

Ciência & Ambiente

A black and white photograph of Albert Einstein riding a bicycle, overlaid with the equation $E = mc^2$. The image is semi-transparent and serves as a background for the text.
$$E = mc^2$$

30

Einstein

Sumário|C&A|30

- 3 EDITORIAL
- 4 PRÓXIMA EDIÇÃO
- 5 CARTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
Adalberto Fazzio
- 7 OS RELÓGIOS DE EINSTEIN
O LUGAR DO TEMPO
Peter Galison
- 35 CAMPO CONTÍNUO E QUANTA: AS DUAS ABORDAGENS TEÓRICAS DA
MATÉRIA SEGUNDO EINSTEIN
A RELAÇÃO DA TEORIA COM SEU OBJETO
Michel Paty
- 51 SOBRE A PRECEDÊNCIA DE HILBERT EM RELAÇÃO A EINSTEIN
Aguinaldo Medici Severino e Abel Lassalle Casanave
- 63 A(S) RELATIVIDADE(S) DE EINSTEIN
Antonio Luciano Leite Videira
- 83 EINSTEIN E A MECÂNICA QUÂNTICA
Luiz Davidovich
- 101 EINSTEIN E A COSMOLOGIA
Saulo Carneiro
- 111 EINSTEIN E A POLÍTICA
PENSAMENTO E AÇÃO
Olival Freire Jr.
- 125 EINSTEIN E A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
Ildeu de Castro Moreira e Nelson Studart
- 143 EINSTEIN X BOHR, O FÓTON E O BRASIL
Ildeu de Castro Moreira
- 155 “O RADIANTE CÉU DO BRASIL”
O ECLIPSE DE SOBRAL DE 1919 E A VISITA DE EINSTEIN AO RIO DE JANEIRO EM 1925
Antonio Augusto Passos Videira
- 163 A CORRESPONDÊNCIA EINSTEIN-BESSO
Henrique Fleming
- 171 ALBERT EINSTEIN
UMA CRONOLOGIA
Cássio Leite Vieira
- 183 INSTRUÇÕES PARA PUBLICAÇÃO
- 184 INSTRUCCIONES PARA PUBLICACIÓN

Ciência & Ambiente

Universidade Federal de Santa Maria
Prédio 13/CCNE – Sala 1110 – Campus Universitário – Camobi
97105-900 – Santa Maria – Rio Grande do Sul – Brasil
Fone/Fax: (55)2208735 e (55)2208444/ramal 30
ambiente@ccne.ufsm.br
www.ufsm.br/cienciaeambiente

Ciência & Ambiente/Universidade Federal de Santa Maria.
UFSM - v. 1, n.1 (jul. 1990) - Santa Maria :
Semestral

CDD:605 CDU:6(05)

Ficha elaborada por Marlene M. Elbert, CRB 10/951

ISSN 1676-4188

A revista *Ciência & Ambiente* é indexada ao
LATINDEX – Sistema Regional de Información en
Línea para Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Reitor *Paulo Jorge Sarkis*

Centro de Ciências Rurais *Luiz Carlos de Pellegrini – Diretor*

Centro de Ciências Naturais e Exatas *Edgardo Ramos Medeiros – Diretor*

Centro de Ciências Sociais e Humanas *João Manoel Espina Rosses – Diretor*

Editor *Delmar Antonio Bressan*

Editores Convidados *Antonio Augusto Passos Videira e Ronaldo Mota*

Conselho Editorial *Beatriz Teixeira Weber*

Élgion Loreto

José Newton Cardoso Marchiori

Miguel Antão Durló

Ronai Pires da Rocha

Ronaldo Mota

Zília Mara Scarpari

Conselho Consultivo *Alvaro Mones*

André Furtado

Andrey Rosenthal Schlee

Antonio Carlos Robert Moraes

Aziz Nacib Ab'Saber

Emilio Ulibarri

Franz Andrae

Luisa Massarani

Luiz Antonio de Assis Brasil

Pascal Acot

Análise, preparação e revisão de texto *Zília Mara Scarpari*

Editoração de texto e programação visual *Valter Antonio Noal Filho*

Ilustração da capa *Dayane Cabral Ziegler, sobre foto pertencente ao arquivo do
Instituto Tecnológico da Califórnia, Estados Unidos.*

*As ilustrações da capa e de abertura dos artigos foram produzidas
por alunos do curso de Desenho Industrial da UFMS, na disciplina
Ilustração I, ministrada pelo professor André Dalmazzo.*

Impressão e acabamento *Gráfica Editora Pallotti/Santa Maria*

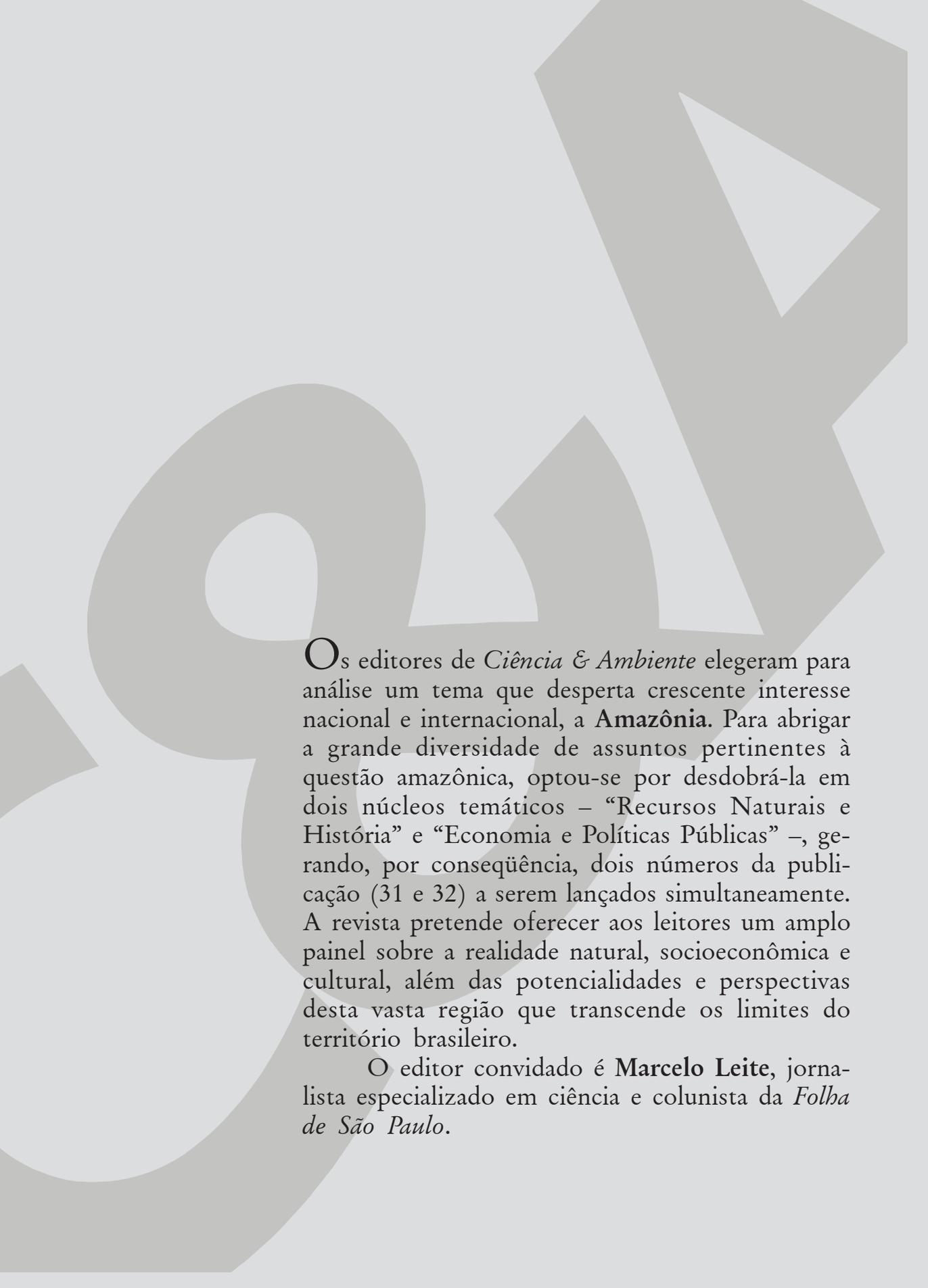
A Organização das Nações Unidas declarou 2005 como o Ano Internacional da Física. O motivo principal para essa decisão é a comemoração do centenário do ano miraculoso de Albert Einstein (1879-1955). Em 1905, época para nós já distante por aspectos diversos – por exemplo, as duas grandes guerras, que tanto marcariam os destinos do mundo, ainda não haviam acontecido –, Einstein, então um jovem funcionário do escritório de patentes na Suíça, publicou uma série de trabalhos científicos que transformariam o ambiente da Física.

Mas não foi apenas por causa das suas descobertas, feitas em 1905, que Einstein aparece associado ao Ano Internacional da Física. Até pelo menos 1925, ele deu grande e decisiva contribuição para o desenvolvimento deste ramo da ciência. A partir de 1919, oportunidade em que sua Teoria da Relatividade Geral foi confirmada empiricamente, passou a ser mundialmente conhecido; o seu nome e a sua figura atraíram a atenção de todos, fato que lhe permitiu desfrutar de fama digna de astros da música e do cinema. Tudo isso faz com que não seja exagero afirmar que o nome de Einstein está intimamente associado ao século XX.

A presente edição de *Ciência & Ambiente* pretende demonstrar por que **Einstein** pode ser considerado o mais

importante cientista de todo o século passado, conforme escolha da revista *Time*. Além dos artigos que se ocupam da descrição de alguns dos seus resultados científicos mais relevantes, como as duas teorias da relatividade (a especial e a geral) e as contribuições para a mecânica quântica, o 30º número da revista traz, para apreciação do público, facetas menos conhecidas de sua produção intelectual e de suas ações como cidadão, entre elas, as incursões pela política, o estilo próprio de fazer ciência e a importância que concedia à divulgação científica. Apesar de possuir características típicas dos gênios, foi um homem do seu tempo e as influências da época ressoam em seu trabalho, inclusive explicando-o. São também lembradas a visita que fez ao Brasil há exatos 80 anos, e a longa amizade que o uniu a Michele Besso. Enfim, uma cronologia permite situar o leitor em relação à vida e obra do grande cientista.

O século XX foi o período em que a ciência passou a desfrutar de uma relevância sem precedentes. Não se pode, portanto, compreender o século passado sem avaliar o papel da ciência. Confiamos, pois, que lembrar e comemorar as descobertas de Einstein podem ser excelentes motivos para rever o que foi a Era dos Extremos, na expressão de Eric Hobsbawm, e tentar compreender aquilo que nos espera no futuro.

The background features large, light gray, stylized letters 'C' and 'A' that are partially obscured by the text. The 'C' is on the left and the 'A' is on the right, both rendered in a bold, sans-serif font.

Os editores de *Ciência & Ambiente* elegeram para análise um tema que desperta crescente interesse nacional e internacional, a **Amazônia**. Para abrigar a grande diversidade de assuntos pertinentes à questão amazônica, optou-se por desdobrá-la em dois núcleos temáticos – “Recursos Naturais e História” e “Economia e Políticas Públicas” –, gerando, por consequência, dois números da publicação (31 e 32) a serem lançados simultaneamente. A revista pretende oferecer aos leitores um amplo painel sobre a realidade natural, socioeconômica e cultural, além das potencialidades e perspectivas desta vasta região que transcende os limites do território brasileiro.

O editor convidado é **Marcelo Leite**, jornalista especializado em ciência e colunista da *Folha de São Paulo*.

CARTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

Em 1905, trabalhando no Escritório Suíço de Patentes, Albert Einstein publicou cinco trabalhos extraordinários. O primeiro artigo chegou à revista *Annalen der Physik* em 18 de março. Einstein propôs um modelo corpuscular para a luz – introduzindo a idéia revolucionária do quantum de luz (fóton) – e, com isso, explicou o efeito fotoelétrico. A comprovação de seu modelo para esse efeito lhe daria mais tarde o Prêmio Nobel. Depois de seis semanas, o jovem cientista apresentou sua tese de doutoramento, que tratava das dimensões das moléculas e como estas contribuíam para a mudança na viscosidade da água. Em seguida, submeteu para publicação seu trabalho que dizia respeito ao incessante movimento de pequenas partículas na água – chamado de Movimento Browniano. Ele mostrou que o movimento era causado por moléculas de água que colidiam continuamente com as partículas. Em junho daquele ano, introduziu a teoria especial da relatividade. Baseado no fato experimental de que a velocidade da luz, c , é constante, mudou as leis da mecânica de forma a compatibilizá-las com a experiência. E em setembro, como consequência dessa teoria, deduziu a equação mais famosa da física: $E = mc^2$, mostrando a equivalência de massa e energia; trabalho publicado na *Annalen der Physik*.

Para comemorar os 100 anos desses importantes trabalhos de Einstein, organizações internacionais como

ONU, UNESCO, IUPAP e muitas outras se uniram para decretar 2005 como o Ano Mundial da Física (World Year of Physics – WYP2005). Assim, foi criado internacionalmente um *Steering Committee* para coordenar as atividades a serem desenvolvidas nesse ano, em todo o mundo, e a Sociedade Brasileira de Física (SBF) se agregou a esses esforços. O principal objetivo do WYP2005 é chamar a atenção do público em geral, especialmente dos jovens, para a importância e o impacto da física no mundo moderno. Impacto não só nos avanços teóricos e experimentais da física, mas também suas grandes contribuições para a construção de um mundo melhor e suas inter-relações com outras áreas do conhecimento.

Sabendo da importância de promover uma disseminação maior do conhecimento científico e tecnológico, a SBF programou uma série de atividades para o Ano Mundial da Física. Dentre essas atividades, a revista *Ciência & Ambiente*, publicada na Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, nos premiou com uma edição especial cujo tema é Albert Einstein e que conta com artigos escritos por destacados colegas cientistas nas mais variadas áreas da Física.

A Sociedade Brasileira de Física agradece, em nome de sua comunidade, aos editores da publicação por esta valiosa obra.

Adalberto Fazzio

Presidente da Sociedade Brasileira de Física

OS RELÓGIOS DE EINSTEIN

O lugar do tempo



Peter Galison

Diferentemente da imagem tradicional de Einstein, segundo a qual ele foi antes de tudo um cientista-filósofo, tendo em vista a revisão a que procedeu no seu artigo sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento, defendendo a tese de que, ao menos no que concerne a simultaneidade, Einstein a redefiniu a partir de necessidades práticas existentes em seu tempo como, por exemplo, a sincronização dos horários de partida e chegada dos trens. Apesar de o próprio Einstein afirmar a necessidade da solidão para a realização do seu trabalho científico, uma análise mais detida das suas atividades no início do século XX nos mostra que ele estava perfeitamente inserido em seu tempo. A função de perito de patentes em Berna, durante o período em que formulou a relatividade especial, foi fundamental para que ele definisse a simultaneidade como o fez.

Ilustração de abertura

Lucas Colusso

¹ Albert Einstein, pronunciamento no Royal Albert Hall, Londres, aos 3 de outubro de 1933, em *Einstein on Peace*, editado por Otto Nathan e Heinz Norden. Nova York, 1960. p. 238. A menos quando indicado o contrário, todas as traduções são minhas. (N. A.)

Einstein, 1933: “Há certas profissões, mesmo na sociedade moderna, que impõem uma vida solitária e que não requerem um grande esforço físico ou intelectual. Nesse caso, lembramos de empregos tais como o serviço em faróis ou em navios-faróis”.¹ Einstein argumentava que a solidão seria perfeita para o jovem cientista ocupado com problemas filosóficos e matemáticos. Ficamos tentados a especular que a juventude do próprio Einstein pode ser pensada dessa forma: o escritório de patentes de Berna, onde ele ganhava a vida, parecia nada mais do que um navio-farol distante no meio do oceano. De acordo com essa imagem de transcendência, cultuamos Einstein como o cientista-filósofo que, indiferente ao barulho do trabalho no escritório, repensou os fundamentos de sua disciplina e fez ruir as crenças newtonianas absolutas acerca do espaço e do tempo.

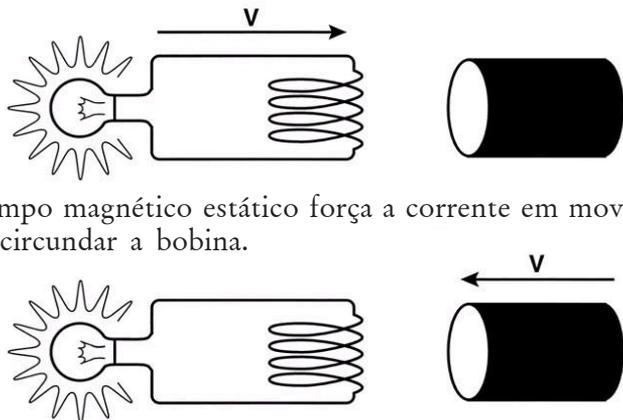
A remoção desses absolutos filosóficos por Einstein foi mais do que uma contribuição para a relatividade; tornou-se um símbolo da substituição de uma época filosófica por outra. Para físicos tais como Henri Poincaré, Hendrik Lorentz e Max Abraham, a relatividade especial de Einstein foi surpreendente, quase incompreensível, porque começou com hipóteses básicas sobre o comportamento de relógios, réguas e corpos em movimento livre de força – começou, em suma, por pressupor o que aqueles físicos mais antigos tinham esperado provar com pressuposições sobre a estrutura do elétron, a natureza das forças e a dinâmica do éter. Logo uma geração de físicos, inclusive Werner Heisenberg e Niels Bohr, padronizou sua epistemologia quântica em torno das definições quase operacionais que Einstein elaborou sobre o espaço e o tempo, em termos de réguas e relógios coordenados. Para os filósofos do Círculo de Viena, inclusive Moritz Schlick, Rudolf Carnap e Philipp Frank, o trabalho de Einstein sobre a relatividade especial foi também um divisor de águas, uma bandeira sempre desfraldada para a filosofia científica.

Por todas essas razões, o trabalho de Einstein de 1905, *On the Electrodynamics of Moving Bodies*², tornou-se o artigo mais conhecido na física ao longo do século vinte. O argumento de Einstein, conforme é comumente interpretado, diverge tão radicalmente do antigo mundo prático da mecânica clássica que se tornou um modelo de quebra revolucionária. Em parte filosofia e em parte física, esse repensar da simultaneidade distante veio a se tornar um símbolo da quebra irreconciliável entre a física do século vinte e aquela do século dezenove. Vejamos a ordem dos argumentos. Einstein começou com a afirmação de que

² EINSTEIN, A. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. In: *Textos fundamentais da física moderna. O princípio da relatividade*, vol. 1. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1958. (N. T.)

havia uma assimetria na interpretação das equações de Maxwell, uma assimetria que não estava presente nos fenômenos da natureza (figura 1). O ímã que se aproxima de uma bobina produz uma corrente indistinguível daquela corrente gerada quando uma bobina se aproxima de um ímã. Na visão de Einstein, isso era o mesmo fenômeno (bobina e ímã ao se aproximarem produzem uma corrente na bobina). Mas na sua interpretação usual, as equações de Maxwell davam duas explicações diferentes para aquilo que estava acontecendo, dependendo se a bobina ou o ímã estava em movimento em relação ao éter difuso. Quando a bobina se movia, a carga dentro dela experimentava uma força devido ao campo magnético estático; quando o ímã se movia, o campo magnético em movimento alterado produzia um campo elétrico que guiava a corrente em volta da bobina em repouso. O objetivo de Einstein era produzir uma explicação simétrica, que não fizesse distinção entre a explicação dada, usando o sistema de referência da bobina, daquela explicação dada quando o sistema de referência fosse o ímã. O problema, conforme Einstein diagnosticou, era que não se prestou atenção suficiente ao fato de que a eletrodinâmica sempre dependeu da visão sobre a cinemática, isto é, sobre como os relógios e as régulas se comportavam na ausência de força.³

³ EINSTEIN, A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, 892, 1905, de ora em diante abreviada como “ZE”; tradução de Arthur I. Miller, sob o título de *On the Electrodynamics of Moving Bodies*, apêndice em *Albert Einstein’s Special Theory of Relativity: Emergence (1905) e Early Interpretation (1905-1911)*. Reading, Mass., 1981, p. 393, de ora em diante abreviada como “OE”.



O campo magnético estático força a corrente em movimento a circular a bobina.

O campo magnético em transformação cria um campo elétrico; o campo elétrico leva a corrente estática a circular a bobina.

Figura 1: Bobina e ímã

Um sistema coordenado era, na visão de Einstein, um sistema de hastes de mensuração rígida que incorporavam a geometria euclidiana e que eram descritíveis com as coordenadas cartesianas comuns. Tudo certo até aí. Mas então

⁴ Ver GALISON, Peter L. Minkowski's Space-Time: From Visual Thinking to the Absolute World. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 10, 85-121, 1979.

⁵ Todos nós aprendemos a ler os artigos de Einstein com atenção através do extenso trabalho de HOLTON, Gerald. *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Cambridge, Mass., 1973. Também considero muito útil a obra mais recente de PAIS, Abraham. *Subtle is the Lord*, traduzida para o português como *Sutil é o Senhor* e publicada em 1995 pela Editora Nova Fronteira. Menciono ainda: WARWICK, Andrew. On the Role of the Fitzgerald-Lorentz Contraction Hypothesis in the Development of Joseph Larmor's Electronic Theory of Matter. *Archive for History of Exact Sciences*, 43, n. 1, 29-91, 1991; Cambridge Mathematics and Cavendish Physics: Cunningham, Campbell, and Einstein's Relativity, 1905-1911, Part I: The Uses of Theory. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 23, 625-56, dezembro 1992 e Cambridge Mathematics and Cavendish Physics: Cunningham, Campbell, and Einstein's Relativity, 1905-1911, Part II: Comparing Traditions in Cambridge Physics. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 24, 1-25, março 1993; o trabalho de STALEY, Richard. On the Histories of Relativity: The Propagation and Elaboration of Relativity Theory in Participant Histories in Germany, 1905-11, *Isis*, 89, 263-99, junho 1998; e o livro de FÖLSING, Albrecht. *Albert Einstein: A Biography*, tradução de Ewald Osers. Nova York, 1997, p. 155.

surge a parte surpreendente: a nova análise do tempo que contemporâneos de Einstein, como Hermann Minkowski, viram como o centro do seu argumento.⁴ Conforme Einstein: “Temos que levar em conta que todos os nossos julgamentos, nos quais o tempo desempenha um papel, são sempre julgamentos de *eventos simultâneos*. Se, por exemplo, eu digo ‘Aquele trem chega aqui às sete horas’, eu quero dizer algo como: ‘O fato de que o ponteiro das horas do meu relógio está apontando para o sete e o fato da chegada do trem são eventos simultâneos’” (“ZE,” p. 893; “OE”, p. 393).⁵ Para simultaneidade em um ponto, não há qualquer problema: se um evento localizado imediatamente próximo ao meu relógio (por exemplo, o motor do trem chegando perto de mim) acontece exatamente quando o ponteiro da hora do relógio alcança o algarismo sete, então esses eventos são considerados como simultâneos. A dificuldade, Einstein insistia, surge quando temos que conectar eventos que estão distantes: o que significaria dizer que dois eventos distantes são simultâneos?

Para tratar dessa questão, Einstein elabora, aparentemente sob uma perspectiva filosófica, um experimento intelectual infinitamente distante das exigências de instrumentos e ainda mais distante das considerações diárias da vida no escritório de patente. Como, pergunta-se Einstein, devemos coordenar nossos relógios? “Poderíamos em princípio nos satisfazer em marcar o tempo de eventos usando um observador com um relógio, que se localizasse na origem do sistema que coordena a chegada do sinal de luz originado a partir do evento a ser cronometrado... com os ponteiros do seu relógio” (“ZE”, p. 893; “OE”, p. 393). Infelizmente, Einstein observa que, pelo fato de a luz viajar a uma velocidade finita, esse sistema não é independente do observador com o relógio central. Dois exemplos julgados simultaneamente com respeito a uma origem não serão simultâneos se a origem se mover. Esse espantoso epistêmico não nos dirá o tempo com precisão (figura 2).

O jovem Einstein tinha um sistema melhor: deixemos que um observador no ponto *A* envie um sinal de luz ao meio-dia para outro observador no ponto *B* a uma distância *d*. O observador *B* acerta seu relógio ao meio-dia mais o tempo que um sinal de luz leva para chegar até *B*, meio-dia + d/c , onde *c* é a velocidade da luz. Continuando dessa forma, todos os outros observadores e seus respectivos relógios estão postos em sincronia. Com esse sistema de coordenação, não há qualquer origem especial; não há qualquer relógio mestre. Aqui, conforme reza a narrativa que

criamos, reside o triunfo filosófico da crítica epistêmica neo-machiana sobre os absolutos fossilizados de um espaço e de um tempo intocáveis. Einstein, o cientista-filósofo, usou experimentos intelectuais para derrotar os dogmas escolares inquestionáveis e uma estrutura científico-técnica, excessivamente sofisticada para propor questões básicas. Mas espere.

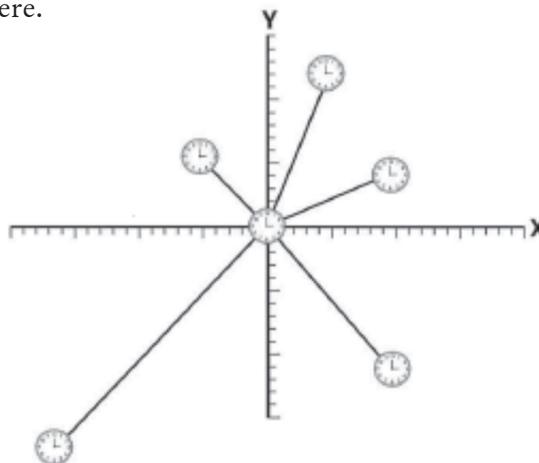


Figura 2: Coordenação pelo relógio central.

Voltemos ao trem de Einstein. Você recordará que ele deseja saber o que queremos dizer ao indicar a chegada de um trem à estação às sete horas. Por muito tempo, segui o próprio Einstein na leitura dessas anotações sobre trens e simultaneidade como um exemplo do modo como levantava questões normalmente postas apenas na “primeira infância”, uma questão que ele, peculiarmente, ainda estava se perguntando quando “já era um adulto”.⁶ Tais charadas sobre tempo e espaço parecem ser, nessa leitura, tão elementares, tão básicas, que elas se localizam abaixo da atenção consciente da comunidade da Física. Mas será que ela realmente estava abaixo do nível do pensamento? Será que em 1904-5 não havia ninguém se perguntando o que significava para um observador distante saber que um trem estava chegando à estação às sete horas? Será que a idéia de definir simultaneidade distante era um empreendimento filosófico de tal monta?

No último verão eu estava parado numa estação de trem no norte da Europa, olhando distraidamente os relógios do final do século que se alinhavam na plataforma. Todos eles marcavam o tempo da mesma forma, com precisão de minutos. Curioso. Bons relógios. Mas então notei que, para onde olhasse, até mesmo o movimento *staccato* do

⁶ Citado em *Helle-Zeit-dunkle Zeit. In Memoriam Albert Einstein*, organizado por Carl Seelig. Zurich, 1956, p. 71; traduzido em *The Quotable Einstein*, organizado por Alice Calaprice. Princeton, N. J., 1996, p. 182.

ponteiro dos segundos estava em sincronia. Esses relógios não estavam simplesmente andando corretamente, pensei eu, esses relógios estão coordenados. Einstein certamente viu esses relógios coordenados enquanto estava concentrado em seu trabalho de 1905, tentando entender o significado da simultaneidade distante.

Já nos anos 30 e 40, Charles Wheatstone e Alexander Bain, ambos na Inglaterra, e logo depois Mathias Hipp em Württemberg e uma miríade de outros inventores começaram a construir sistemas de distribuição elétrica para ligar relógios distantes a um relógio central chamado alternadamente de *horloge-mère*, relógio-mestre, *Primäre Normaluhr* e relógio central (figura 3).⁷ Na Alemanha, Leipzig foi o local onde um dos primeiros desses sistemas de tempo distribuído eletronicamente existiu, seguido de Frankfurt em 1859; Hipp (então diretor de um escritório de telegrafia)

deu início ao esforço suíço no Palácio Federal em Berna, onde cem relógios começaram a funcionar simultaneamente em 1890. Genebra, Basel, Neuchâtel e Zurique imediatamente o seguiram, cada uma com seu próprio sistema de coordenação de relógios. Logo após, estradas de ferro na Suíça – para as quais a coordenação de relógios era vital – foram equipadas com o tempo coordenado.⁸

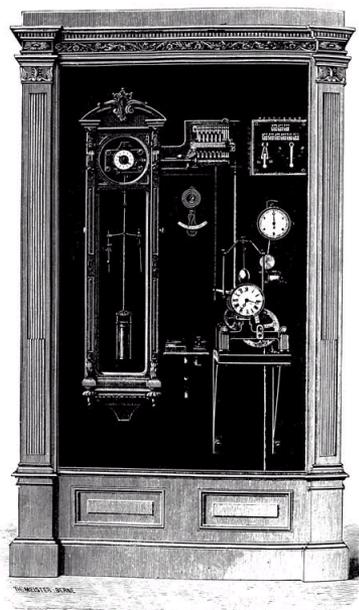


Fig. 288

Figura 3: L'Horloge-mère, Neuchâtel, De A. Favarger, *L'Électricité et ses applications à la chronométrie* (Neuchâtel, 1924). p. 414.

Sem tempos coordenados, as metrópoles, cidades e vilarejos funcionavam nos seus respectivos tempos, marcando uma individualidade que se manteve sem importância antes da estrada de ferro. Na Inglaterra, durante a década de 1830, a hora em Londres andava à frente de Reading por quatro minutos, marchava adiante de Cirencester por sete minutos e trinta segundos, e soava quatorze minutos antes de Bridgewater. Se você quisesse mostrar as horas no frontispício de um edifício central, precisaria mais do que um

⁷ Relógios remotos foram discutidos por Charles Wheatstone e William Cooke, o relojoeiro escocês Alexander Bain, e o inventor americano Samuel F. B. Morse, entre outros. Para Wheatstone, Cooke e Morse, a coordenação de relógios surgiu do trabalho deles sobre telegrafia. Ver WELCH, Kenneth F. *Time Measurement: An Introductory History*. Newton Abbot, 1972. p. 71-72.

⁸ Para discussões a respeito do extenso trabalho sobre coordenação de relógios antes de 1900, ver, por exemplo, a série de artigos publicados por FAVARGER, A. *L'Électricité et ses applications à la chronométrie*. *Journal suisse d'horlogerie*, 9, 153-58, set. 1884/jun. 1885; FAVARGER, A. Les Horloges électriques. In: CHAPUIS, Alfred. (ed.) *Histoire de la pendulerie neuchâteloise*. Paris, 1917. p. 399-420; AMBRONN, Friedrich Anton Leopold. *Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde*, 2 vols. Berlin, 1899, esp. 1: 183-87. Sobre a expansão da rede de Berna, ver Gesellschaft für elektrische Uhren in Bern, *Jahresberichte* (1890-1910), Stadtarchiv Bern.

relógio. A Torre da Ilha (Isle Tower) em Genebra exibia três: o imenso relógio no centro mostrava o tempo em Genebra (aproximadamente 10h13min), o relógio da esquerda mostrava o tempo com referência a Paris usado ao longo da via férrea da companhia de trem Paris-Lyon-Méditerranée (9h58min), e o relógio da direita exibia a hora de Berna – uns bons cinco minutos adiantado (10h 18min) (figura 4). Alguns anos mais tarde, a standardização entrou na foto (figura 5), mas avançou linha a linha – toda a companhia de trem definia o seu próprio horário e fazia isso com a maior cerimônia. Em Londres,

⁹ BAGWELL, Philip S. *The Transport Revolution from 1770*. London, 1974. p. 125, citado em SCHIVELBUSCH, Wolfgang. *The Railway Journey: Trains and Travel in the Nineteenth Century*, traduzido por Anselm Hollo. New York, 1980. p. 48-50.

*todas as manhãs, um emissário do correio do Tribunal da Marinha portava um relógio mostrando a hora certa até a guarda na saída do correio irlandês que deixava Euston em direção a Holyhead. Na chegada em Holyhead, a hora certa era passada adiante aos oficiais do barco para Kingstown que a levavam até Dublin. Na volta do correio para Euston, o relógio era trazido de volta para o emissário do Tribunal da Marinha em Euston uma vez mais.*⁹



Figura 4: Torre da Ilha, Genebra, 1880. Três relógios. Centre d'iconographie genevoise. RVG N13x18 14934.

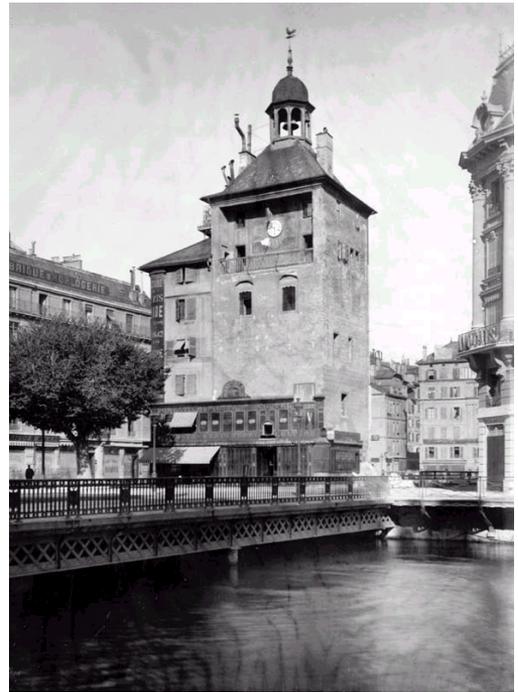


Figura 5: Torre da Ilha, Genebra, 1880. Um relógio. Centre d'iconographie genevoise. VG N13x18 1769.

A Alemanha, que pela maior parte dos relatos era a mais avançada em seus esforços de coordenar o tempo, ainda lutava com uma miscelânea de sistemas mecânicos e elétricos em 1891, quando o idoso conde Helmuth von Moltke veio falar, pela última vez, ao Parlamento Alemão Imperial, em 16 de março; ele morreu aproximadamente um mês depois disso.¹⁰

Como chefe dos oficiais prussianos (e mais tarde dos alemães), von Moltke tinha alterado dramaticamente a distribuição das tropas. Enquanto as gerações anteriores tinham enviado exércitos através de estradas pouco confiáveis, von Moltke explorou as estradas de ferro para abastecer, passar em revistas e transportar as tropas para as frentes de batalha. Os sucessos de Moltke com essa estratégia – na Guerra Franco-Prussiana – indubitavelmente chamaram a atenção da audiência quando ele se pronunciou sobre as ferrovias, o império e a força militar. Numa voz áspera, ele entoou:

Meine Herren,... eu não os deterei por muito tempo, uma vez que estou muito rouco, e, por causa disso, tenho que pedir por sua indulgência.

É universalmente reconhecido que a unidade do tempo [Einheitszeit] é indispensável para a operação satisfatória das estradas de ferro e não há o que discutir. Mas, meus senhores, nós temos na Alemanha cinco unidades diferentes de tempo. Na Alemanha do Norte, inclusive na Saxônia, nós nos guiamos pelo horário de Berlim; na Bavária, por aquele de Munique; em Württemberg, pelo horário de Stuttgart; em Baden, pelo horário de Karlsruhe; e no Palatinato do Reno pelo horário de Ludwigshafen. Temos, portanto, na Alemanha, cinco fusos horários, com todos os impedimentos e desvantagens que isso acarreta. Isso em nossa própria pátria, além daqueles que infelizmente encontramos nas fronteiras francesas e russas. Devo dizer que isso é uma lástima que se tem mantido desde o tempo em que a Alemanha estava estilhaçada. Mas, agora que somos um império, deve ser eliminada apropriadamente.

Da audiência, levantou-se o coro “pura verdade”. Von Moltke continuou dizendo que, se por um lado essa fragmentação lamentável do tempo tornava-se apenas uma inconveniência para o viajante, por outro lado era uma “dificuldade efetiva de importância vital” para os negócios da estrada de ferro e, pior ainda, para os militares. O que, perguntava ele, aconteceria no caso da mobilização das tropas? Deveria haver um padrão que se alinhasse ao décimo

¹⁰ O estabelecimento do tempo uniforme é discutido nos trabalhos de KERN, Stephen. *The Culture of Time and Space, 1880-1918*. Cambridge, Mass., 1983. p. 11-14; e de HOWSE, Derek. *Greenwich Time and the Discovery of Longitude*. Oxford, 1980. p. 119-20. Simon Schaffer usa a máquina do tempo de H. G. Wells como um guia através da intersecção na virada do século, do trabalho do escritório mecanizado e o envolvimento literário e científico com o tempo, no texto “Máquinas do Tempo” (manuscrito inédito da Universidade de Cambridge).

quinto meridiano (cerca de cinqüenta milhas a leste do portão de Brandenburg), que seria o ponto de referência. A hora local dentro da Alemanha diferiria, mas apenas por meia hora ou algo em torno disso, em qualquer um dos extremos do império. “*Meine Herren*, a unidade de tempo meramente para a linha de ferro não elimina todas as desvantagens que eu mencionei brevemente; isso será possível apenas quando chegarmos a um cálculo para a unidade de tempo para toda a Alemanha, isto é, quando toda hora local for eliminada”¹¹.

¹¹ MOLTKE, Helmuth von. Dritte Berathung des Reichshaushaltsetats: Reichseisenbahnamt Einheitszeit. *Gesammelte Schriften und Denkwürdigkeiten des General-Feldmarschalls Grafen Helmuth von Moltke*, 8 vols. Berlin, 1891-93, 7:38-39, 39, 40; traduzido por Sandford Fleming, sob o título General von Moltke on Time Reform. In: *Documents Relating to the Fixing of a Standard of Time and the Legalization Thereof*, Canada Parliament Session, 1891, n. 8, p. 25 e 26.

¹² MOLTKE, Helmuth von. Dritte Berathung des Reichshaushaltsetats: Reichseisenbahnamt Einheitszeit. *Op. cit.*, p. 40; Sandford Fleming. (tradutor). General von Moltke on Time Reform, *Op. cit.*, p. 26.

¹³ Para detalhes biográficos sobre Mathias Hipp, ver: MES-TRAL, Aymon de. *Mathias Hipp, 1813-1893*; Jean-Jacques Kobler, *1860-1930*; Eugène Failletaz, *1873-1943*; Jean Landry, *1875-1940*. Zurich, 1960, pp. 9-34. O trabalho de LANDES, David S. *Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World*. Cambridge, Mass., 1983. p. 237-337, é excelente ao tratar da indústria suíça de relógios, embora não focalize aqui as redes, mas sim a produção de relógios.

Von Moltke entendia que o público pudesse discordar – equivocadamente. Mas depois de algumas “considerações cuidadosas”, os homens de ciência dos observatórios veriam as coisas claramente e emprestariam “sua autoridade para combater o espírito de oposição”. “*Meine Herren*, a ciência deseja muito mais do que nós desejamos. Ela não está contente com a uniformidade do tempo na Alemanha, ou na Europa central, e deseja obter um tempo mundial, baseado no meridiano de Greenwich, certamente com plenos direitos sobre ele e para aqueles fins que tem traçados.”¹² Os trabalhadores das fazendas e das fábricas podem acertar seu relógio de ponto a seu bel-prazer. Se o dono de uma fábrica deseja que seus trabalhadores comecem ao amanhecer, então deixemos que ele abra os portões às 6h 29min, em março. Deixemos que os fazendeiros sigam o sol, que as escolas e cortes dêem conta de seus horários sempre flexíveis. A Alemanha tomou a decisão de estender seus domínios de tempo, e uma grande parte da Europa a seguiu.

Na Suíça, Hipp, o relojoeiro mundialmente famoso (apesar de ter sido preso por se relacionar com anarquistas) deu continuidade a seu desenvolvimento do pêndulo mantido eletricamente até chegar ao desenvolvimento prático de um sistema de distribuição de tempo, usando circuitos de baixa tensão. Fundada como uma pequena fábrica de aparatos telegráficos e elétricos em Neuchâtel, a companhia de Hipp evoluiu do estabelecimento da primeira rede de relógios elétricos públicos em Genebra em 1861 para um patamar de grande proeminência; em 1889, ela se tornou A. de Peyer, A. Favarger & Cia. De 1889 a 1908, essa preocupação ampliou o alcance do relógio-mestre para além do âmbito das ferrovias até os relógios das torres das igrejas e, mais além, até chegar aos relógios despertadores dentro dos hotéis.¹³ Com as horas sendo marcadas em cada rua, havia a necessidade de métodos para ampliar indefinidamente o número de unidades que poderiam andar juntas – um fluxo de patentes que se seguiu aperfeiçoou os amplificadores de

¹⁴ Ver FAVARGER, A. *L'Électricité et ses applications à la chronométrie*. 3. ed. Neuchâtel, 1924. p. 408-9.

¹⁵ ROSSUM, Gerhard Dohrivan. *History of the Hour: Clocks and Modern Temporal Orders*, traduzido por Thomas Dunlap. Chicago, 1996. p. 350. Ver também MERLE, Ulla. *Tempo! Tempo! Die Industrialisierung der Zeit im 19. Jahrhundert*. In: JENZEN, Igor A. (org.) *Uhrzeiten: Die Geschichte der Uhr und ihres Gebrauchs*. Frankfurt am Main, 1989. p. 166-78.

¹⁶ Centenas de patentes estão listadas no *Journal suisse d'horlogerie* durante os anos relevantes (1902-1905). Infelizmente, o escritório de patentes suíço destruiu, conforme esperado, todos os documentos oficiais processados por Einstein dezoito anos depois da criação deles; esse era um procedimento padrão nas opiniões de patentes, e mesmo a fama de Einstein não permitiu que houvesse exceção. Ver FÖLSING, Albrecht. *Albert Einstein, Op. cit.*, p. 104.

¹⁷ A mais detalhada relação entre o trabalho de patentes de Einstein e seu trabalho científico é sobre os compassos giromagnéticos e a produção de Einstein do efeito Einstein-de Haas. Ver GALISON, Peter. *How Experiments End*. Chicago, 1987, cap. 2; além disso, ver HUGHES, Thomas. *Einstein. Inventors and Invention. Science in Context*, 6, 25-42, Spring 1993 e PYENSON, Lewis. *The Young Einstein: The Advent of Relativity*. Bristol, 1985. Sobre o trabalho de Einstein para avaliar as patentes da eletricidade, ver FLÜCKIGER, Max. *Albert Einstein in Bern: Das Ringen um ein neues Weltbild: Eine dokumentarische Darstellung über den Aufstieg eines Genies*. Berna, 1974, p. 62.

sinal e relés. A rede de tempo urbana de Berna foi inaugurada em 1890; melhorias, expansões e novas redes surgiram por toda a Suíça. Afinal, o tempo coordenado e preciso não apenas era importante aos passageiros das estradas de ferro européias e ao exército prussiano, mas também era igualmente crucial à dispersa indústria relojoeira suíça, que desesperadamente precisava meios de calibragem consistente.¹⁴ Mas isso foi sempre uma necessidade prática, mais do que prática, uma necessidade material econômica urgente e um imaginário cultural. O professor Wilhelm Förster do Observatório de Berlim, observatório esse que mantinha uma vigilância sacrossanta sobre o relógio mestre de Berlim, desdenhava qualquer relógio urbano que não garantisse o tempo com precisão de minutos, classificando-o de uma máquina que “simplesmente desconsiderava as pessoas”.¹⁵

A tecnologia que brotava produziu patentes em cada setor da rede: patentes de geradores de baixa voltagem, patentes de receptores eletromagnéticos, com todos os seus escapamentos e armaduras, patentes de interruptores de contato. Razoavelmente típico dessa classe de trabalhos eletrocronométricos, que surgiu nos anos depois de 1900, foi o inusitado receptor de David Perret, que detectava e usava um sinal cronométrico de corrente direta para guiar uma armadura oscilante que recebeu a patente suíça de número 30351, às 17 horas do dia 12 de março de 1904. Ou então, tome-se o receptor do próprio Favarger que fazia exatamente o oposto, tomava uma corrente alternada de um relógio-mestre e a transformava no movimento unidirecional de uma roda dentada. Essa patente usada amplamente foi submetida a análise no dia 25 de novembro de 1902 e oficializada no dia 2 de maio de 1905. Havia patentes de alarmes remotos, regulação remota de pêndulos, transmissão de tempo por telefone – mesmo sem fio; outras patentes chegavam propondo relógios para as saídas e chegadas das estações de trem, além de patentes para relógios que indicavam a hora em outras zonas de tempo.

Todas essas patentes cronométricas – juntamente com um grande número de outras relacionadas a elas – passaram pelo escritório suíço de patentes em Berna, e indubitavelmente muitas delas passaram pela mesa de trabalho de Einstein.¹⁶ Einstein começou a trabalhar no escritório de patentes de Berna no dia 16 de junho de 1902 como um técnico especializado, terceira classe, onde era principalmente encarregado de avaliar patentes eletromagnéticas.¹⁷ De pé, em seu podium de madeira, ele, do mesmo modo que cerca de outros doze técnicos especializados no escritório

¹⁸ Ver FLÜCKIGER, Max. *Albert Einstein in Bern, Op. cit.*, p. 66.

¹⁹ Ver J. Einstein & Cia. e Sebastian Kornprobst. *Vorrichtung zur Umwandlung der ungleichmässigen Zeigerausschläge von Elektrizitäts-Messern in eine gleichmässige, gradlinige Bewegung*, Kaiserliches Patentamt n. 53.546, 26 de fevereiro de 1890; *Neuerung an elektrischen Mess- und Anzeigervorrichtungen*, Kaiserliches Patentamt n. 53.846, 21 de novembro de 1889; *Federndes Reibrad*, Kaiserliches Patentamt n. 60.361, 23 de fevereiro de 1890; e *Elektrizitätszähler der Firma J. Einstein & Cia., München (System Kornprobst)*, *Offizielle Zeitung der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung*, n. 28, 949, outubro de 1891. Ver também FRENKEL, Viktor Yakovlevitch & YAVELOV, Boris Efimovitch. *Einstein: Izobreteniia i eksperiment (Einstein: invention e experiment)*. Moscow, 1990, p. 75-79 e PYENSON, Lewis. *The Young Einstein, Op. cit.*, p. 39-53.

²⁰ Na “pequena máquina” (*Machinchen*), ver STACHEL, John et al.. *Einstein’s ‘Machinchen’ for the Measurement of Small Quantities of Electricity*, nota editorial em *The Swiss Years: Correspondence, 1902-1914*, vol. 5 in STACHEL et al. (ed.) *The Collected Papers of Albert Einstein*, tradução Anna Beck, Princeton, N. J., 1995, p. 51-55; sobre o efeito Einstein-de Haas, ver GALISON, Peter, *How Experiments End, Op. cit.*, cap. 2; e FRENKEL, Viktor & YAVELOV, Boris. *Einstein, Op. cit.*, cap. 4.

de patentes, examinava metodicamente cada solicitação de patente procurando seus princípios centrais.¹⁸ O conhecimento de Einstein sobre mecanismos eletromecânicos vinha em parte do negócio de família. Na verdade, o pai de Einstein, Hermann, e seu tio Jakob, construíram seu negócio a partir das patentes do tio sobre sensíveis mecanismos elétricos semelhantes a relógios, para medir o uso de eletricidade. Um dos mecanismos de mensuração elétrica de J. Einstein & Cia., criada por Jakob Einstein e Sebastian Kornprobst, foi mencionado com ênfase no relatório da feira eletrotécnica de Frankfurt de 1891. Algumas páginas anteriores mostram um mecanismo típico daquela época para montar um relógio-mestre substituto para assegurar a operação contínua de um sistema de relógios elétricos. Os sistemas de mensuração elétrica e as tecnologias relojoeiras eram tão próximos que ao menos uma das patentes de Jakob Einstein e Sebastian Kornprobst explicitamente registrava sua aplicação a mecanismos relojoeiros de maneira mais geral (figura 6).¹⁹

O trabalho técnico posterior do próprio Einstein (que, aliás, tinha um grande número de patentes) e que ele chamava de sua *Machinchen* (um dispositivo para multiplicar e mensurar correntes elétricas muito pequenas), bem como

seus estudos sobre o efeito Einstein-de Haas (que levou a sua teoria atômica de átomos ferromagnéticos), foram apenas dois outros exemplos posteriores de seu interesse especial por sensíveis dispositivos eletromecânicos. As patentes de coordenação de relógios eletromagnéticos estavam dentro da sara de Einstein, uma vez que elas se centravam sobre meios de transformar correntes elétricas pequenas em movimentos rotatórios de alta precisão.²⁰



Figura 6: Jakob Einstein & Cie. Elektrotechnische Fabrik. Elektrizität. *Offizielle Zeitung der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung, Frankfurt am Main, 1891*, organizado por H. Massenbach e Max Quarck, 20 de outubro de 1891. p. 949.

Quem chefiava o escritório de patentes durante a carreira de Einstein era Friedrich Haller, que supervisionava com severidade seus subordinados. No início ele chamou a atenção de Einstein: “Como físico você não entende nada de desenho. Você precisa aprender a compreender desenhos e especificações técnicas antes que eu possa lhe dar um posto permanente.”²¹ Em setembro de 1903, Einstein recebeu o aviso de que seu emprego provisório tinha se tornado permanente, embora Haller não estivesse disposto a promovê-lo, comentando que Einstein “deveria esperar até que tivesse controle completo sobre a tecnologia das máquinas; afinal, ele estudava física.” O conhecimento veio à medida que Einstein mergulhou na avaliação crítica do mar de patentes que se abria diante dele. Por abril de 1906, Einstein parece ter persuadido as autoridades de que, apesar da física, ele tinha de fato compreendido a tecnologia e foi promovido a técnico especialista de segunda classe. Haller agora julgava que Einstein “podia ser reconhecido como um dos *experts* mais estimados no escritório”²².

A janela que se abriu para Einstein, no mundo eletrocronométrico, veio em uma época crucial. Apesar do apoio expressivo de von Moltke e do entusiasmo incansável dos defensores de um horário único mundial, Albert Favarger, um dos principais engenheiros da companhia Hipp e o homem que de fato sucedeu Hipp na chefia daquela companhia, não estava de maneira nenhuma satisfeito. Na exposição mundial de 1900, o Congresso Internacional de Cronometria se reuniu para discutir o *status*, entre outras coisas, dos esforços de coordenação dos relógios.²³ No início de sua fala ao Congresso, Favarger se levantou para perguntar como era possível que a distribuição do tempo eletrônico estava ficando tão preocupantemente atrás das tecnologias equivalentes em telegrafia ou telefonia. Em primeiro lugar, ele sugeria que havia dificuldades técnicas; relógios coordenados remotamente não podiam se basear num amigo compreensivo (“*ami complaisant*”) para supervisioná-lo e corrigir as menores dificuldades enquanto que o engenho a vapor, o dínamo ou o telégrafo, todos pareciam funcionar com uma companhia humana constante. Em segundo lugar, havia falta de técnicos: os melhores técnicos estavam ocupados trabalhando com dispositivos de energia e de comunicação, e não com máquinas de tempo. E finalmente, lamentava que o público não estava financiando a distribuição de tempo como deveria. Tal falta de entusiasmo frustrava Favarger:

Será possível que nós não tenhamos experimentado a necessidade absoluta, imperativa, e eu diria ainda coletiva,

²¹ Citado em FLÜCKIGER, Max. *Albert Einstein in Bern*, *Op. cit.*, p. 58.

²² Citado em PAIS, A. *Subtle Is the Lord*, *Op. cit.*, p. 47-48.

²³ Ver FAVARGER, A. Sur la distribution de l'heure civile. In: FICHOT, E. & VANSSAY, P. de (ed.) *Congrès International de Chronométrie, Comptes rendus des travaux, procès-verbaux, rapports, et mémoires*. Paris, 1902, p. 198-203; daqui em diante abreviada como “SD”.

de tempo distribuído de forma exata, uniforme e regular?... Eis aqui uma questão que chega às raias da impertinência quando dirigida a um público do final do século dezanove, bombardeado por negócios e sempre premido pelo tempo, um público que cunhou o famoso adágio: Tempo é dinheiro (“SD”, p. 199).

No ponto de vista de Favarger, o deplorável estado da distribuição do tempo estava desproporcional às exigências da vida moderna. Ele insistia que os seres humanos necessitavam de um sistema de exatidão e universalidade que estivesse correto até o milésimo de segundo. Nenhum sistema mecânico, hidráulico ou pneumático antigo serviria – eletricidade era a chave do futuro, um futuro que só se realizaria apropriadamente se a humanidade rompesse com o seu passado de relógios mecânicos alquebrado pela anarquia, incoerência e pela rotina. Em seu lugar, um mundo de relógios eletrocoordenados deveria se basear em uma abordagem racional e metódica. Conforme ele mesmo coloca,

Você não precisa sair em longas jornadas por Paris para notar inúmeros relógios, tanto públicos como privados, que discordam entre si – qual deles é o maior mentiroso? Na verdade, se apenas um deles está mentindo, suspeita-se da sinceridade de todos eles. O público ganhará segurança apenas quando cada um dos relógios indicar unanimidade ao mesmo tempo e no mesmo instante. (SD”, p. 200).

E como poderia ser diferente? Trens costumeiramente atravessavam em alta velocidade os campos, indo em direções opostas no mesmo trilho. Um erro de tempo na troca de desvios poderia, e de fato levava, a uma calamidade. A regulação remota de tempo que reunisse observatórios, estradas de ferro e telégrafos era tudo que se interpunha entre uma viagem tranqüila e uma tragédia. O tempo estava à venda, e os astrônomos, os telegrafistas e fabricantes de relógio, todos ganharam à medida que se adotava o tempo coordenado ao longo da ferrovia. As primeiras zonas de fuso horário foram esses territórios longos e estreitos estabelecidos pelos trilhos de trem.²⁴

Favarger lembrou ao público presente, reunido na exposição, que a velocidade dos trens que corriam pela Europa estava aumentando – 100, 150 e até mesmo 200 Km/h. As pessoas que dirigiam os trens e dirigiam os seus movimentos – sem contar os passageiros que entregavam suas vidas aos transportes velozes – tinham que corrigir os horários. A 55 m/s cada movimento do relógio contava, e os sistemas mecânicos vigentes, mas obsoletos, de coordenação

²⁴ Ver STEPHENS, Carlene. The Most Reliable Time: William Bond, the New England Railroads, and Time Awareness in Nineteenth-Century America. *Technology and Culture*, 30,1-24, jan. 1989 and Before Standard Time: Distributing Time in Nineteenth-Century America. *Vistas in Astronomy*, 28, 114-15, partes 1-2, 1985.

nação estavam fadados a serem inferiores. Apenas o sistema elétrico automático era verdadeiramente apropriado: “o sistema não-automático, mais primitivo, mas ainda o mais usado, é a causa direta da anarquia do tempo da qual devemos fugir” (“SD”, p. 201).

Anarquia do tempo. Não há dúvida que a referência de Favarger era, em parte, ao anarquismo, que tinha se tornado uma poderosa influência entre os fabricantes de relógio da região do Jura²⁵, conforme Pyotr Kropotkin testemunhou em suas *Memórias de um Revolucionário*. Com certeza, Kropotkin lembrou que as questões teóricas, levantadas por Bakunin e outros, contra o despotismo econômico, eram importantes,

*mas as relações igualitárias que eu encontro nas Montanhas do Jura, a independência de pensamento e expressão que eu vi se desenvolver nos trabalhadores, e sua devoção ilimitada à causa me emocionaram ainda mais intensamente; e quando eu voltei das montanhas, depois da estadia de uma semana com os fabricantes de relógio, minhas perspectivas sobre socialismo estavam estabelecidas. Eu era um anarquista.*²⁶

²⁵ Montanhas entre a França e a Suíça (N. T.)

²⁶ KROPOTKIN, Peter. *Memoirs of a Revolutionist*. Montreal, 1989. p. 267.

O próprio Hipp havia sido preso, mas Favarger estava evidentemente preocupado com outras coisas, com a desintegração mais ampla da regularidade pessoal e social. Apenas a distribuição elétrica da simultaneidade poderia fornecer a “expansão indefinida da zona de tempo unificada” (“SD”, p. 202). O apoio de Favarger à simultaneidade distante foi, ao mesmo tempo, político, econômico e pragmático.

Se conseguíssemos escapar deste infeliz “anarco-relogismo”, teríamos uma chance de preencher uma grande lacuna no nosso conhecimento do mundo. Uma vez que, conforme Favarger insistia, mesmo que o Bureau Internacional de Pesos e Medidas tivesse começado a conquistar as duas primeiras quantidades fundamentais – espaço e massa –, o tempo, a última fronteira, ainda se mantinha inexplorado (ver “SD”, p. 203). E a maneira de conquistar o tempo era criar e até mesmo ampliar a rede elétrica, amarrá-la a um relógio-mestre, conectado a um observatório que dirigiria os relés que multiplicariam os sinais e enviariam as correções automáticas aos relógios dos hotéis, das esquinas das ruas, das torres das igrejas, pelos continentes. Associada em parte a Favarger, estava uma companhia que tinha por objetivo sincronizar a rede de Berna. Quando, em 1º de agosto de 1890, Berna acertou os ponteiros dos seus relógios de maneira coordenada, a imprensa saudou o fato como uma “revolução dos relógios”.²⁷ Não devemos esquecer

²⁷ Citado em MESSERLI, Jakob. *Gleichmässig pünktlich schnell: Zeiteinteilung und Zeitgebrauch in der Schweiz im 19. Jahrhundert*. Zurich, 1995. p. 126.

que, de vários lugares em Berna, enxergava-se claramente vários relógios públicos imensos; quando, naquele agosto, todos eles começaram a funcionar coordenadamente, a ordem do tempo se tornou visível.

Os jornais suíços não estavam sozinhos nessa sua visão da coordenação do tempo como uma questão de ampla importância cultural. Para o entusiasta do tempo norte-americano, Sandford Fleming, e seus aliados na década de 1890, o estabelecimento de um tempo “universal” ou “cósmico” era prático e mais do que prático – uma benção à comunicação e ao transporte, mas também uma “revolução silenciosa” que traria progresso a todas as esferas da vida cultural e pessoal.²⁸

²⁸ FLEMING, Sandford. *Time-Reckoning for the Twentieth Century*. Washington, D. C., 1889. p. 357. Ver BARTKY, Ian R. The Adoption of Standard Time. *Technology and Culture*, 30, 41, jan. 1989 para ligações entre Sandford Fleming e Cleveland Abbe e outros meteorologistas.

Durante a década de 1890, Einstein ainda não tinha a menor preocupação com os relógios; mas, como um jovem de dezesseis anos em 1895, ele já estava muito preocupado com a natureza da radiação eletromagnética. Mesmo para sua imaginação pouco elaborada, alguma coisa estava errada com a concepção costumeira de radiação como uma onda no éter substancial e estático. Imagine, ele pensava consigo mesmo, que uma pessoa pudesse alcançar uma onda de luz – como a física clássica poderia inferir. Então, como um surfista surfando um trem de ondas do mar, ele poderia ver o campo eletromagnético se abrir a sua frente oscilando no espaço, mas praticamente não se transformando no tempo. No entanto, isso não correspondia a qualquer coisa jamais observada.²⁹ Quatro anos mais tarde, Einstein ainda estava agonizando sobre a natureza dos corpos em movimento e sobre a eletrodinâmica. Para a sua amada, Mileva Maric, ele reiterava sua impressão de que as teorias ingênuas sobre o éter simplesmente tinham que desaparecer.

²⁹ Ver EINSTEIN, A. Autobiographical Notes. In: SCHILPP, Paul Arthur (ed.). *Albert Einstein. Philosopher-Scientist*. 3. ed. La Salle, 1970. p. 53.

Querida Dollie,

³⁰ Einstein a Mileva Maric, talvez 10(?) de agosto de 1899, em Einstein e Maric. *The Love Letters*, traduzido por Shawn Smith, organizado por Jürgen Renn e Robert Shulmann. Princeton, N. J., 1992. p. 10. Sobre o conhecimento específico de Einstein com respeito aos aspectos da eletrodinâmica, ver HOLTON, Gerald. *Influences on Einstein's Early Work, Thematic Origins of Scientific Thought*, Op. cit., e MILLER, Arthur. *Albert Einstein's Special Theory of Relativity*, Op. cit.

*Devolvi o livro de Helmholtz e agora estou relendo a propagação da força elétrica de Hertz com grande interesse, porque não entendi o tratado de Helmholtz sobre o princípio da ação mínima na eletrodinâmica. Estou cada vez mais convencido de que a eletrodinâmica dos corpos em movimento, conforme apresentada hoje, não corresponde à realidade, e que será possível apresentá-la de uma forma mais simples. A introdução do termo éter nas teorias da eletricidade levou à concepção de um meio cujo movimento pode ser descrito, acredito eu, sem que se lhe atribua um significado físico.*³⁰

A eletricidade e o magnetismo, concluiu Einstein, poderiam ser definidos como o movimento de massas elétricas “verdadeiras” com realidade física através do espaço

vazio. Ou as teorias físicas centrais do século dezanove estariam acabadas. Então, antes que Einstein entrasse no escritório de patentes, pedaços cruciais do quebra-cabeça da relatividade se encaixaram em seus lugares: ele conhecia as equações de Maxwell, estava decidido a construir uma imagem realista das cargas elétricas em movimento e tinha excluído o éter. Mas nenhuma dessas considerações tinha relação direta com o problema de como tratar o tempo.

Enquanto isso, alguns dos maiores físicos do século dezanove estavam começando, de maneira desesperada, a fazer experimentos com variações matemáticas no modo como a variável de tempo t mudava em sistemas referenciais diferentes. Mas todos eles – Poincaré, Lorentz, Abraham – se mantiveram fiéis à noção de uma estrutura estática do verdadeiro éter. E eles não concordaram entre si sobre a relevância desses horários locais e o tempo físico verdadeiro (absoluto) do sistema de repouso do éter. Poincaré, Lorentz e Abraham queriam começar com pressuposições especiais sobre as forças básicas da natureza, as forças que mantinham juntos os blocos atômicos dos braços do interferômetro, as forças que impediam os elétrons de explodir por causa de sua alta repulsão eletrostática. A partir de teorias construídas e construtivas da matéria, como essas, eles buscavam deduzir a cinemática – o comportamento da matéria na ausência de força. Einstein não queria nada disso; ele tinha por objetivo construir uma teoria que iniciaria com princípios físicos simples, do mesmo modo que a termodinâmica começou com a conservação da energia e com o crescimento da entropia. Poincaré, Lorentz e Abraham estavam dispostos a elaborar pressupostos especiais sobre como uma noção de tempo artificial, e útil ao cálculo, variaria de um sistema para outro sistema de referência. Nenhum deles deu origem a uma física detalhada, com um conjunto de pressuposições físicas acerca do espaço medido e do tempo coordenado.

Esse era o estado de coisas nos anos que se seguiram à chegada de Einstein ao escritório de patentes em 1902.³¹ Nesse escritório, de acordo com as instruções dadas por Haller, ele tinha a obrigação de ser crítico em todos os estágios: “Quando você pegar um pedido, pense que tudo que o inventor diz está errado.” Seria flertar com o desastre seguir “o modo de raciocínio do inventor, e isto prejudicará você. É preciso ficar extremamente alerta.”³² Esse era um conselho para o trabalho oficial de patente, mas se aplicava também a qualquer campo etéreo da física. Pois, na eletrodinâmica dos corpos em movimento, Einstein tinha um

³¹ Aqui não é o lugar para oferecer uma reconstrução de todos os aspectos do caminho que Einstein seguiu até a relatividade especial. O leitor pode se reportar a uma excelente síntese em STACHEL, John *et al.* Einstein on the Special Theory of Relativity, nota editorial no *The Swiss Years: Writings, 1900-1909*, vol. 2. In: STACHEL, John *et al.* (ed.) *The Collected Papers of Albert Einstein*. Princeton, N. J., 1989, pp. 253-74, esp. p. 264-65. Os autores argumentam que a difícil seqüência do trabalho de Einstein foi: 1) convicção de que apenas o movimento relativo de corpos ponderáveis era significativo; 2) abandono da teoria de Lorentz sobre o significado físico do movimento absoluto; 3) exploração de uma eletrodinâmica alternativa que justificaria a hipótese de missão de luz relativa à fonte; 4) abandono dessa eletrodinâmica alternativa uma vez que Einstein assumisse uma velocidade da luz independente da velocidade da fonte; 5) crítica da concepção usual de intervalos temporais e espaciais, e especialmente a simultaneidade distante; e 6) definição física de simultaneidade e construção de uma teoria cinemática nova. O meu foco aqui é em (5), a introdução de uma noção convencional de simultaneidade distante.

³² Citado em FLÜCKIGER, Max. *Albert Einstein in Bern*, *Op. cit.*, p. 58.

problema que o havia intrigado muitas vezes ao longo de sete anos; um problema que, cada vez mais, intrigava os físicos mais importantes da época. Enquanto isso, em volta de Einstein, literalmente, crescia a fascinação com o tempo eletrocoordenado. Todos os dias, Einstein fazia uma pequena caminhada a partir de sua casa, dobrando à esquerda na Kramgasse, até o escritório de patentes; todos os dias ele

deve ter visto as grandes torres do relógio que se erguiam acima de Berna com seus relógios coordenados, e a miríade de relógios nas ruas que se guiavam orgulhosamente pelo escritório central dos telégrafos. Afinal, ele tinha que passar debaixo de um dos mais famosos deles, o Zeitglockenturm, e também por muitos outros (figura 7). Em algum momento, em meados de maio de 1905 – e notamos que Einstein se mudou para o limite da zona

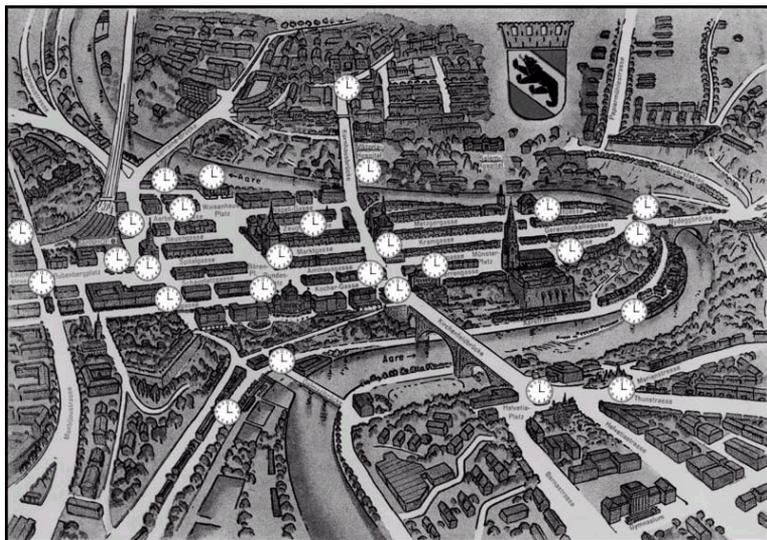


Figura 7: Mapa da rede de relógios elétricos em Berna. Coleção de Mapas de Harvard, com base nos dados de Jakob Messerli, *Gleichmässig pünktlich schnell*.

de tempo unificado de Berna em 15 de maio – ele e seu amigo mais chegado, Michel Besso, cercaram o problema do eletromagnetismo por todos os lados. “Então”, recorda Einstein, “de repente entendi onde estava a chave do problema.” Ele nem saudou Besso no dia seguinte e já foi dizendo: “Pode me dar os parabéns; resolvi completamente o problema”. Uma análise do conceito de tempo foi minha solução. O tempo não pode ser definido em termos absolutos e há uma relação inseparável entre tempo e velocidade sinalizada³³. Apontando para o relógio da torre de Berna – um dos famosos relógios sincronizados da cidade – e depois para um relógio numa torre em Muri (que ainda não estava ligado ao relógio-mestre de Berna), Einstein descreveu sua sincronização dos relógios (figuras 8 e 9).³⁴

Dentro de poucos dias, Einstein enviou uma carta ao seu amigo Conrad Habicht, implorando que lhe mandasse uma cópia de sua dissertação e prometendo a ele quatro novos artigos em retribuição. “O quarto artigo é ainda um rascunho grosseiro nesse ponto. É uma eletrodinâmica dos corpos em movimento que emprega uma modificação da teoria do espaço e do tempo. A parte puramente cinemática

³³ EINSTEIN, A. *How I Created the Theory of Relativity*, palestra proferida em Kyoto, 14 de dezembro de 1922, tradução de Yoshimasa A. Ono. *Physics Today*, 35, 46, agosto de 1982.

³⁴ Ver SAUTER, Josef. Comment j’ai appris à connaître Einstein. In: FLÜCKIGER, Max. *Albert Einstein in Bern*, *Op. cit.*, p. 156 e FÖLSING, Albrecht. *Albert Einstein*, *Op. cit.*, p. 155.

³⁵ Einstein para Conrad Habich, Berna, [18 ou 25 de maio de 1905], *The Swiss Years: Correspondence, 1902-1914*, p. 20.

desse trabalho [começando com novas definições de sincronização de tempo] certamente lhe interessará³⁵. Dez anos de pensamento tinham sido dedicados a esse problema, mas a sincronização do tempo era o passo final que coroaria o desenvolvimento da relatividade especial.

Nessa perspectiva, o trabalho de Einstein, completado ao final de junho de 1905, pode ser agora lido de um modo totalmente diferente. Além do puro “Einstein cientista-filósofo”, ganhando a vida num mero escritório de patentes, podemos vê-lo também como um “Einstein cientista-oficial-de-patentes”, refratando a metafísica subjacente à sua teoria da relatividade através da maioria dos mecanismos simbolizados da modernidade. O trem chega à estação

às sete horas, como antes, mas agora não é apenas Einstein que se preocupa com o que significa em termos de simultaneidade distante. Evidentemente que não. Determinar o horário de chegada dos trens usando os relógios co-

ordenados por meio eletromagnético era *precisamente* a questão tecnológica que vinha torturando a Europa. Choviam patentes em todo o sistema, melhorando os pêndulos elétricos, alterando os receptores, introduzindo novos relés e expandido a capacidade do sistema. A coordenação de tempo na Europa central, de 1902 a

1905, não era um assunto misterioso; mas algo de primeira ordem para a indústria de relógios, para a indústria militar, e para a ferrovia. Era também um símbolo da modernidade de um mundo interconectado e veloz.

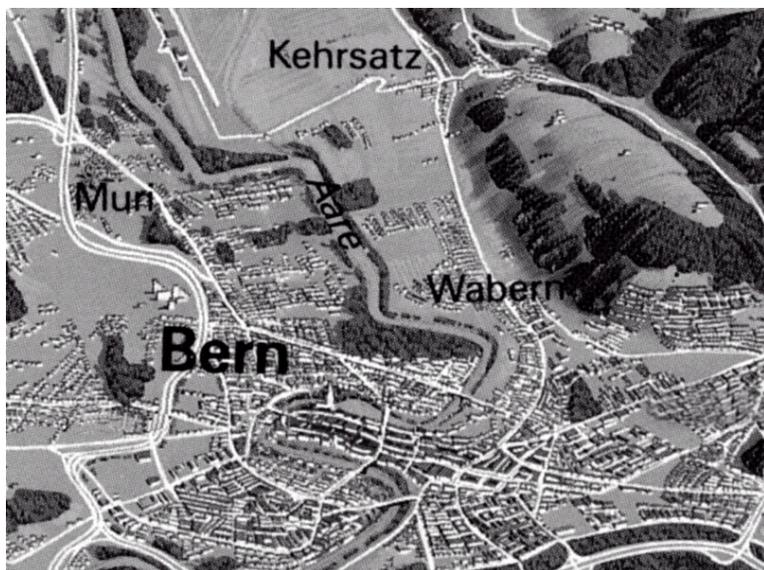


Figura 8: Mapa Berna-Muri. Skorpion-Verlag.

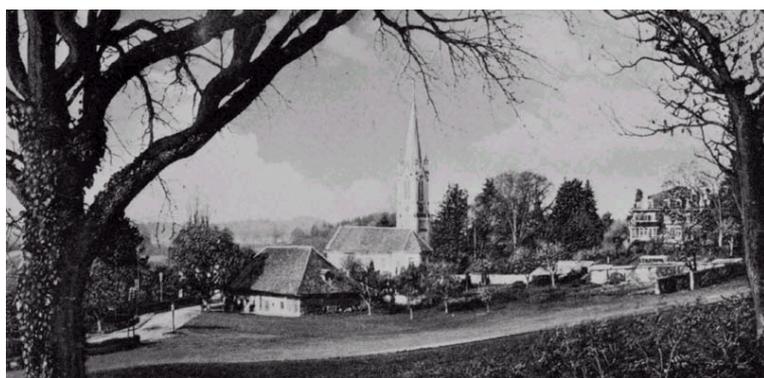


Figura 9: Torre do relógio de Muri, por volta de 1900. Gemeindeschreiberei Muri bei Bern.

Ao se deter sobre o problema da simultaneidade distante, Einstein estava elaborando uma nova tecnologia poderosa e amplamente reconhecida que convencionasse simultaneidade, primeiro para sincronizar as linhas de trem e estabelecer longitudes, e depois para fixar fusos horários. Foi nesse mundo que Einstein elaborou uma base convencional para sua visão de uma física de princípios. Vestígios de um sistema de coordenação de tempo existente são perceptíveis no próprio trabalho de 1905. Reconsideremos o esquema de coordenação que Einstein explicitamente recusou em aceitar: um observador equipado com um relógio no centro do sistema de coordenação. O relógio-mestre acionado para a posição espacial $(0, 0, 0)$ determina simultaneidade quando os sinais eletromagnéticos de pontos distantes chegam lá no mesmo horário local. Mas, agora esse sistema centrado padrão não mais aparecia como uma preocupação abstrata. Essa estrutura coordenada de relógio radial, e que se espria em braços, visível em cabos, geradores e relógios, mostrada em livro após livro sobre a mensuração do tempo, *era precisamente aquela do sistema europeu do relógio-mestre, bem como seus dependentes secundários e terciários*. Quando os sinais enviados a partir do centro chegavam aos pontos distantes, estivessem eles na sala ao lado ou a 100 km de distância, eram *definidos* como simultâneos; e com base nisso os trens viajavam, as tropas eram movidas e as mensagens de telégrafo eram enviadas. Também é nessa época que preparações estavam sendo feitas para enviar o sinal de coordenação do tempo por ondas de rádio. Em 1904, havia uma intensa atividade em torno de sistemas de coordenação por rádio como esses, tanto na Suíça quanto na França, e trabalhadores testavam, desenvolviam e começavam a demonstrar o novo sistema de tempo por rádio. O próprio diretor da *La Nature* empunhou sua caneta para registrar novos desenvolvimentos na distribuição do tempo por métodos sem fio. Ao reportar experimentos conduzidos no Observatório de Paris, ele apontou que, com o auxílio de um cronógrafo, a sincronização distante parecia ser possível até o limite de dois ou três centésimos de segundo – e as tecnologias sem fio prometiam determinar o horário em todos os lugares de Paris e subúrbios em volta. Os objetivos científicos, tais como a determinação da longitude, não apenas seriam alcançados, como estariam livres das limitações da materialidade de um fio, portanto o tempo poderia ser transmitido a partir de navios no mar e mesmo nos lares comuns.³⁶ Por volta de 1905, a marinha americana estava usando relógios controlados por rádio e,

³⁶ Ver PARVILLE, Henri de. Distribution de l'heure par télégraphie sans fil, *La Nature*, 30 de julho de 1904. p. 129-30. Experimentos foram conduzidos por G. Bigourdan, astrônomo do Observatório de Paris, e apresentados à Academia das Ciências em 27 de junho de 1904; esses resultados foram impressos no *Comptes rendus de l'Académie* e citados na íntegra (junto com o trabalho de outros, inclusive do diretor do Observatório de Neuchâtel) em *La Télégraphie sans fil et la distribution de l'heure. Journal suisse d'horlogerie*, 29, 81-83, setembro de 1904.

em 1910, aproximadamente, a estação da Torre Eiffel controlava os ponteiros dos relógios em toda a Europa (figura 10). De acordo com um dos principais trabalhadores do ramo de controle de horário por rádio em 1911, o planejamento da simultaneidade por rádio começou com o próprio rádio, presumivelmente em algum momento por volta de 1901.³⁷ Mas fosse por linha telegráfica ou sem fio, o controle centralizado do horário era a glória físico-temporal do império alemão unificado que von Moltke desejava e à qual deu corpo por meio da grande *Primäre Normaluhr*, na estação de trem Silesischer Bahnhof em Berlim, ou no elegante relógio-mestre barroco de Neuchâtel.

³⁷ Sobre o estabelecimento do controle de tempo sem fio, ver, por exemplo, ROUSSEL, Joseph. *Le premier livre de l'amateur de T. S. F.* Paris, 1922. esp. p. 150-52. De acordo com BOULANGER, Julien Auguste & FERRIÉ, Gustave Auguste. *La Télégraphie sans fil et les ondes électriques*, 7^a ed. Paris, 1909, a estação de rádio da torre Eiffel data de 1903. FERRIÉ, G. Sur quelques nouvelles applications de la télégraphie sans fil, *Journal de Physique*, 5^o ser., 1, 178-89, 1911, esp. p. 178, indica que o planejamento para a coordenação de tempo sem fio começou no início do trabalho sobre mecanismo sem fio; ROTHÉ, Edmond. *Les Applications de la télégraphie sans fil: Traité pratique pour la réception des signaux horaires*. Paris, 1913, discute os detalhes do procedimento de coordenação do tempo por comunicação a rádio.



Figura 10: Estação de rádio da Torre Eiffel. De Julien Auguste Boulanger e Gustave Auguste Ferrié, *La Télégraphie sans fil et les ondes électriques*. 7. ed. Paris, 1909, p. 429.

Para os técnicos dos telégrafos, geodésicos e astrônomos, o novo esquema de coordenação de tempo de Einstein poderia ser claramente compreendido em termos dos métodos de coordenação de relógios já existentes na época. Na École Professionnelle Supérieure des Postes et Télégraphes, em 19 de novembro de 1921, quando Léon Bloch procurou explicar o significado do tempo, chamou a atenção de sua audiência para a tecnologia real e amplamente divulgada que já conheceriam como a palma da mão:

*O que chamamos de tempo na superfície da terra? Tomemos um relógio que mostra o tempo astronômico – o pêndulo-mãe do Observatório de Paris – e transmitamos esse tempo por mecanismos sem fio para locais distantes. Em que consiste essa transmissão? Consiste em nada além de duas estações que necessitam de sincronização, a passagem de um sinal luminoso ou hertziano comum.*³⁸

³⁸ BLOCH, Léon. *Le Principe de la relativité et la théorie d'Einstein*. Paris, 1922, p. 15-16. Dominique Pestre caracteriza Bloch (e seu irmão) como físicos incomuns para o seu tempo na França, por escreverem livros didáticos que olhavam positivamente a nova física do início do século vinte, e que caracteristicamente escreviam usando uma série de generalizações progressivas que iam do concreto ao abstrato (sem dúvida para chamar a atenção dos seus colegas mais interessados em experimentação). Ver PESTRE, Dominique. *Physique et physiciens en France, 1918-1940*. Paris, 1984. p. 18, 56, 117.

³⁹ Ver Bureau des Longitudes. *Réception des signaux horaires: Renseignements météorologiques, sismologiques, etc., transmis par les postes de télégraphie sans fil de la tour Eiffel, Lyon, Bordeaux, etc.* Paris, 1924. p. 83-84.

⁴⁰ Ver LEBON, Ernest. *Henri Poincaré: Biographie, bibliographie analytique des écrits*. Paris, 1909. p. 16-17.

Pelo menos, nos Postes et Télégraphes, a relatividade era entendida por meio de sua eficaz infra-estrutura de relógios coordenados. Mas, ainda assim, a relatividade vai além da mera necessidade de sincronia entre relógios. Por volta de 1924 e, muito provavelmente, algum tempo antes disso, os coordenadores de relógios haviam começado (a exemplo de Einstein) a observar a velocidade finita das ondas de rádio. A máquina de tempo universal de Einstein, em pouco tempo, surgiu do mundo tecnológico, reformatou o mundo físico-metafísico e agora começava a reconfigurar as máquinas.³⁹

De fato, devido ao impacto físico – e cultural – da coordenação de relógios, e sua aplicação numa variedade de contextos, cabe perguntar se, antes de 1905, alguém, além de Einstein, havia se preocupado com a definição do tempo por meio de uma rigorosa sincronização que levasse em conta a velocidade finita da luz. Surpreendentemente havia uma outra pessoa, alguém que – e, até certo ponto, isso era esperado – havia sido membro do Escritório Francês de Longitudes (French Bureau of Longitudes) desde 4 de janeiro de 1893, assumindo a presidência em 1899 (e em 1909), sendo que a determinação da longitude havia sido por séculos o território no qual a coordenação de relógios havia sido crítica. Ademais, essa pessoa tornara-se professor na École Professionnelle Supérieure des Postes et Télégraphes em 4 de julho de 1902. Quando os relógios eletrocoordenados surgiram, foram os Postes et Télégraphes que assumiram o controle. Essa outra pessoa era, sem dúvida, Poincaré.⁴⁰ Ele – assim como Einstein – introduziu relógios que eram coordenados por meio da troca de sinais luminosos.

A primeira exploração da simultaneidade por Poincaré veio em 1898, quando argumentou que a simultaneidade não era um conceito absoluto, insistindo que não temos uma intuição direta acerca de tal noção. O que de fato temos são certas regras, regras que devemos invocar para fazermos o trabalho técnico bastante concreto de, por exemplo, determinar a longitude. “Quando marinheiros ou geógrafos determinam uma longitude, eles precisam resolver exatamente o mesmo problema acerca do qual temos tratado aqui. Apesar de não estarem em Paris, precisam determinar a hora em Paris. E como fazem isso?” Eles poderiam mover um relógio (com todos os problemas advindos de um esforço dessa natureza), ambos poderiam se reportar a um evento astronômico ou, finalmente, “eles poderiam se utilizar do telégrafo. Em primeiro lugar, é claro que a recepção de um sinal em Berlim, por exemplo, é posterior ao envio desse mesmo sinal de Paris.”⁴¹ Esse não é um exemplo puramente hipotético. Autores têm freqüentemente tratado a referência de Poincaré à telegrafia como se fosse um problema imaginário, um exemplo de ruminância filosófica abstrata. Não era. Por volta de 1898, um sistema efetivo de coordenação de relógios existia para a determinação de longitudes. Com efeito, à necessidade meteorológica e geodésica de tempo coordenado (para determinar a longitude), acresceram-se as exigências de economia e segurança da ferrovia para lançar o projeto de fusos horários.⁴²

Poincaré, conforme mencionado, era um membro sênior do Escritório de Longitudes em 1898, e sua alusão não era à telegrafia como um exemplo abstrato de propagação de sinal finito, mas sim, explicitamente, como um meio de funcionamento de longitude coordenada por relógio:

Em geral, a duração da transmissão (de Paris a Berlim) é negligenciada e os dois eventos são considerados como simultâneos. Mas, para ser rigoroso, uma pequena correção ainda teria de ser feita por meio de um cálculo complicado. Na prática, uma correção como essa não é feita porque seria menor do que erros observáveis, porém, no nosso ponto de vista, sua necessidade teórica não diminui, qual seja, aquela de fornecer uma definição rigorosa (de simultaneidade). (“M”, p. 12; “MT”, p. 35.)

“Teoricamente necessário” era reconhecer que simultaneidade era *sempre* convencional. E, ao menos nesse caso, o convencionalismo de Poincaré ficava associado, mais do que por simples homonímia, ao abjeto mundo das convenções reais que estavam, exatamente naquele contexto, estabelecendo a simultaneidade de fusos horários, a simultaneidade da estrada de ferro e a unificação do horário nacional.

⁴¹ POINCARÉ, Henri. La Mesure du temps. *Revue de métaphysique et de morale*, 6, 11-12, 1898 de ora em diante abreviado como “M”; conforme POINCARÉ, H. *La Valeur de la science* (1905). Paris, 1970, p. 53; traduzido por George Bruce Halsted, sob o título *The Measure of Time, The Value of Science*. New York, 1907, p. 35, de ora em diante abreviado como “MT”.

⁴² Ver BARTKY, Ian. The Adoption of Standard Time. *Op. cit.*, p. 25-56.

⁴³ “A obra *Science and Hypothesis* de Poincaré... nos monopolizou e manteve encantados por semanas” (SOLOVINE, Maurice. Introdução à obra *Letters to Solovine* de Einstein, traduzida por Wade Baskin. New York, 1987, p. 9). Ver, por exemplo, *La Mécanique classique*, cap. 6 da obra de POINCARÉ, H. *La Science et l’hypothèse*. Paris, 1902, especialmente a página 111: “Não apenas não temos uma intuição direta acerca da igualdade de duas durações, como nem mesmo temos uma intuição acerca da simultaneidade de dois eventos diferentes que ocorrem em dois locais diferentes; isso é o que expliquei em um artigo intitulado ‘The Measure of Time.’”

⁴⁴ Entre 1900 e 1904, Poincaré manteve suas declarações programáticas sobre simultaneidade em grande parte separada de suas explorações acerca dos detalhes da eletrodinâmica. Entretanto, mesmo quando Poincaré finalmente introduziu, em sua eletrodinâmica, a noção de hora local, para frisar a convencionalidade dos julgamentos acerca da simultaneidade, ele não usou, diferentemente de Einstein, a coordenação luz-sinal para reorganizar a mecânica e a eletrodinâmica, de tal modo que a análise livre de força de espaço e tempo claramente começa antes de qualquer consideração sobre deformação de elétrons e forças moleculares. Para Einstein, a questão era exatamente que a cinemática, a interação entre medidas temporais e espaciais, deveria vir antes da dinâmica. Mas aqui não é o lugar para debater as contribuições relativas desses dois físicos. Compare o texto *Relations entre la physique expérimentale et la physique mathématique* de Henri Poincaré in GUILLAUME, Ch.-Éd. & POINCARÉ, L. (ed.) *Rapports présentés au*

Alguns meses depois da primavera de 1902, Einstein talvez tenha lido “The Measure of Time” de Poincaré. Sabemos, pelo amigo de Einstein, Maurice Solovine, que seu pequeno grupo de discussão (chamado grandiosamente de Academia Olímpica) de fato leu um trabalho posterior de Poincaré, *Science and Hypothesis*, que citava o trabalho de 1898.⁴³ Embora criticasse qualquer tentativa de fingir que as convenções de coordenação do tempo fossem absolutas intuitivos, na prática, conforme sugere no comentário acima, ele não defendia o abandono da cinemática newtoniana. As regras comuns de simultaneidade, “fruto de um oportunismo inconsciente”, não eram “impostas a nós e talvez possamos nos divertir, inventando outras tantas; mas elas não poderiam ser ignoradas, sem complicar tremendamente a enunciação das leis da física, da mecânica e da astronomia” (“M”, p. 13; “MT,” p. 36). Poincaré acreditava que as correções ao mundo Newtoniano seriam pequenas e complicadas, portanto a “necessidade teórica” teria de ser abandonada em favor da demanda por simplicidade. Einstein encarava a simultaneidade distante quase do mesmo modo que Poincaré. Mas onde Poincaré via a nova sincronização entre sinal-luz como um passo em direção a uma complexidade inevitável, Einstein a via como um presságio de uma física imensamente *mais simples*.⁴⁴

O mundo euro-americano da virada do século era um entrecruzamento de redes de coordenação sobrepostas: a malha ferroviária, as linhas telegráficas, as redes meteorológicas, os levantamentos longitudinais sob o zeloso (e cada vez mais universal) sistema de relógios. Nesse contexto, o sistema de coordenação de relógios introduzido por Einstein era, num sentido não-trivial, uma máquina mundial, uma vasta (e, a princípio, apenas imaginada) rede de relógios. Apesar de parecer contraditório, havia a impressão de que a teoria da relatividade era uma máquina, uma máquina imaginativa, com certeza. Todavia, uma máquina construída em uma confusão de cabos que sincronizavam máquinas de tempo por meio da troca de sinais eletromagnéticos.

Tal leitura *tecnológica* de um trabalho tão técnico sugere uma observação final. Há muito tempo, os pesquisadores deram-se conta de que o estilo do texto “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” nem mesmo se assemelha àquele de um artigo de física comum. Quase não há notas de rodapé. Há poucas citações, nenhuma menção a novos resultados experimentais e muita zombaria dos processos físicos simples que parecem estar fora dos limites da

Congrès International de Physique. 4 vol. Paris, 1900. v. 1:1-29, e o texto L'État actuel et l'avenir de la physique mathématique. *Bulletin des sciences mathématiques*, 28, 302-24, 1904 também de sua autoria. Para uma comparação entre a compreensão de Einstein e aquela de Poincaré sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento, ver de MILLER, Arthur *Albert Einstein's Special Theory of Relativity*. *Op. cit.* e PAIS, Abraham *Special Theory of Relativity*. *Op. cit.*

⁴⁵ Isso já foi apontado muitas vezes por INFELD, Leopold. em *Albert Einstein: His Work and Its Influence on Our Times*. New York, 1950, p. 23; por HOLTON, Gerald. no texto *Influences on Einstein's Early Work*, em *Thematic Origins of Scientific Thought*; por MILLER, Arthur. em *Albert Einstein's Special Theory of Relativity* e também no texto *The Special Relativity Theory: Einstein's Response to the Physics of 1905*; e por HOLTON, Gerald & ELKANA, Yehuda (Ed.) em *Albert Einstein: Historical and Cultural Perspectives*. Princeton, N. J., 1982, p. 3-26.

⁴⁶ MYERS, Greg. *From Discovery to Invention: The Writing and Rewriting of Two Patents*. *Social Studies of Science*, 25, 77, fev., 1995.

⁴⁷ EINSTEIN, A. *The World as I See It*. SEELIG, Carl. (Ed.) *Ideas and Opinions*, traduzido por Sonja Bargmann. New York, 1954. p. 10.

ciência.⁴⁵ Se tomarmos um típico artigo dos *Annalen der Physik*, uma forma muito diferente aparecerá, assim como em quase todos os artigos restantes: eles começam tipicamente com um problema experimental, uma correção de cálculo e estão cheios de referências a outros artigos. Mas se lermos o artigo de Einstein com olhos do mundo das patentes, repentinamente ele se torna menos estranho – ao menos no estilo. Conforme um autor comentou, patentes são *exatamente* caracterizadas pela sua recusa em alojar-se entre outras patentes, por meio de notas de rodapé – isso comprometeria a vantagem empreendedora que o autor busca. A zombaria simplista não é incomum. Patentes são de fato escritas para uma “pessoa educada na arte” (como era o linguajar de patentes na época) e não leitores especialistas.⁴⁶ É a história narrada pelo autor tenta descrever um procedimento ao invés de apontar a direção em uma longa série de trabalhos.

Ao considerarmos o encaixe dessa intervenção científico-tecnológica no mundo mais amplo da coordenação do tempo, outro enigma surge. De certo modo, Einstein – o mesmo Einstein que, aos dezesseis anos, abandonou sua nacionalidade germânica e que, durante toda vida, desancou a “vida de rebanho” do “sistema militar” – ironicamente, completou, aos vinte e seis anos, o projeto de von Moltke.⁴⁷ Tempo foi identificado como controle do horário, e *Einheitszeit* tornou-se o ponto final tecnopolítico para o estabelecimento, procedimental, da simultaneidade distante em um domínio sempre em expansão. O sistema de sincronização de relógios de Einstein, como seus predecessores, reduziu o tempo à sincronia procedimental, conectando relógios por sinais eletromagnéticos. E, no esquema de Einstein, a unidade de relógios se estendia para além da cidade, do país e do império, além do continente, de fato, além do mundo, ao universo infinito, agora pseudo-cartesiano, como um todo.

Mas a ironia se inverte. Afinal, enquanto que seu procedimento para coordenação de relógios se baseava em pelo menos quinze anos de esforços intensos para chegar à unificação eletromagnética do tempo, Einstein havia removido, devastadoramente, um elemento crucial da visão de von Moltke. Na máquina de tempo infinita de Einstein, não havia *Primäre Normaluhr, horloge-mère*, relógio-mestre. O seu era um sistema coordenado de uma extensão espaço-temporal infinita, mas sua infinidade não tinha um centro – não havia *Silesischer Bahnhof* (estação de trem) ligada, para cima, pelo observatório de Berlim, aos céus, e, para baixo,

às fronteiras do império. Ao estender infinitamente uma unidade de tempo, que tinha sido originalmente associada aos imperativos da unidade nacional germânica, Einstein havia, ao mesmo tempo, completado e subvertido o projeto. Ele havia aberto a zona de unificação, e havia, ao longo do processo, não apenas removido Berlim do posto de *Zeit-zentrum*, mas também concebido uma máquina que tinha posto de pé a própria categoria de centralidade metafísica. Uma vez definida a coordenação do tempo, Einstein agora poderia finalizar sua descrição da teoria eletromagnética dos corpos em movimento, sem qualquer referência espacial ou temporal a um sistema em repouso de um éter especialmente escolhido. Ele tinha uma teoria da relatividade na qual a assimetria entre sistemas de referência havia sido eliminada.

Os tempos mudam. Einstein deixou o escritório de patentes em Berna em 1909 e se transferiu para a Universidade de Zurique, depois foi para Praga e, finalmente, em 1914, assumiu seu posto na Universidade de Berlim. Depois da Segunda Guerra Mundial, Favarger, aquele avatar de unidade cronométrica suíça, publicou a terceira edição técnica de 550 páginas do seu tratado sobre o controle elétrico do tempo, enquadrando-o, mais uma vez, em termos amplamente culturais. A Primeira Grande Guerra, argumentava ele, contribuiu com desenvolvimentos técnicos poderosos, mas também destruiu uma grande parte da riqueza humana que a paz permanente havia criado. O mundo que restou era, por contraste, “um monte de ruínas, de misérias e de sofrimento”⁴⁸. Para escapar a esse desastre, ao menos materialmente, o trabalho salvaria a humanidade e o trabalho, como nos ensina a mecânica, é um produto do tempo e da força. O tempo, continua ele, “não pode ser definido em substância. Em termos metafísicos, é tão misterioso quanto a matéria e o espaço.” (Mesmo obstinados relojoeiros suíços eram atraídos pelo tempo para a metafísica.) Todas as atividades do homem, sejam elas evidentes ou inconscientes – dormir, comer, meditar ou brincar – ocorrem no tempo; sem ordem, sem planejamentos específicos, corremos o risco de cair na anarquia – na “miséria física, intelectual e moral.” A solução: a mensuração e a determinação precisas do tempo com o rigor de um observatório astronômico. Mas o tempo medido não pode permanecer no reduto do astrônomo; o rigor temporal deve chegar eletricamente a todos aqueles que o desejam ou que dele necessitam: “devemos, em resumo, popularizá-lo, devemos *democratizar* o horário” para que as pessoas vivam e prosperem. Devemos transformar cada homem no “*maître du temps*, mestre não

⁴⁸ FAVARGER, A. *L'Électricité et ses applications à la chronométrie*. Op. cit., p. 10.

⁴⁹ FAVARGER, A. *L'Électricité et ses applications à la chronométrie*. Op. cit., p. 11.

apenas das horas, mas também dos minutos, do segundo e mesmo, em casos especiais, do décimo, do centésimo, do milésimo, do milionésimo de segundo”⁴⁹. Tempo distribuído, coordenado, valia mais do que dinheiro para Favarger; significava o acesso de cada pessoa a um mundo, interior e exterior, ordenado. Ao longo do século dezenove e início do século vinte, relógios coordenados nunca eram apenas engrenagens e ímãs.

⁵⁰ Ver GALISON, Peter. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago, 1997.

Minha esperança, ao explorar a cultura material da coordenação de relógios, é estabelecer o lugar de Einstein em um universo de significados que atravessasse mecanismos e metafísicas. De maneira mais geral, minha esperança aqui – e em outros trabalhos⁵⁰ – para os estudos sobre a cultura material da ciência é de evitar duas posições igualmente problemáticas na relação entre as coisas e os pensamentos. De um lado, temos uma longa tradição de um incorrigível materialismo ou empirismo, uma visão de que as idéias surgem de modo casual e univalente da disposição dos objetos e da impressão que causam em nós. Na história da física, o empirismo, de um tipo positivista especificamente lógico, moldou direta e inequivocamente uma narrativa indutiva do desenvolvimento científico, centrada na observação, codificada nas *Harvard Case Histories in Experimental Science*, mas presente ao longo das décadas de 50 e 60. Nesse quadro, a teoria (e a filosofia com a qual estava associada), era um acréscimo sempre provisório, não o baluarte da ciência. Einstein aparece aqui como tendo dado o inexorável passo à frente em um processo indutivo que gradualmente tirou de cena o éter: o éter não poderia ser medido na razão da velocidade para a velocidade da luz (v/c), também não poderia ser medido por c/v e, portanto (ao menos, esse era o argumento), Einstein concluiu que o éter era supérfluo.⁵¹ Não há dúvida de que há muito a ser dito em favor desse Einstein orientado para a experimentação – sua fascinação pela condução detalhada dos experimentos com elétrons e seu trabalho com um girocompasso na *Physikalisch-Technische Reichsanstadt* revelam um teórico com claro senso dos procedimentos laboratoriais e da operação de máquinas. As coisas estruturavam os pensamentos.

⁵¹ Há uma abundância de representações da relatividade de Einstein como o ápice das cada vez mais acuradas mensurações “sem éter”. Talvez a tentativa mais acadêmica de localizar a formulação de Einstein como mera variante das antigas teorias éter-elétron encontra-se em WITTAKER, Edmund. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. London, 1953, cujo capítulo *The Relativity Theory of Poincaré and Lorentz* inclui o seguinte comentário: “Einstein publicou um artigo (em 1905) que expõe a teoria da relatividade de Poincaré e Lorentz com algumas ampliações, o qual atraiu muita atenção. Ele defendeu, como um princípio fundamental, a constância da velocidade da luz... que, na época, era amplamente aceita, mas que foi seriamente criticada por autores mais recentes” (p. 40). Ver HOLTON, G. *Thematic Origins of Scientific Thought*. Op. cit. especialmente o capítulo 5, e MILLER, Arthur. *Albert Einstein's Special Theory of Relativity*. Op. cit.

Por outro lado, e característico do projeto inverso, havia o movimento anti-positivista das décadas de 60 e 70 que, de modo geral, tinha o objetivo de reverter a ordem epistêmica da geração anterior: programas, paradigmas e esquemas conceituais tinham prioridade, e isso reformulou experimentos e instrumentos de alto a baixo. Agora os pensamentos estruturavam inteiramente as coisas. No panorama

anti-positivista, Einstein aparece como o filósofo inovador que se desobrigava totalmente com o mundo material em uma busca permanente por simetria, princípios e definições operacionais. Desse lado, também se encontram muitas verdades; com a reação anti-positivista aprendemos a ser sensíveis àqueles momentos em que Einstein se mostrava cauteloso com os resultados experimentais, desconfiado, por exemplo, das supostas refutações da relatividade especial, elaboradas nos laboratórios, e das astronômicas contradições com a teoria geral.

Reconhecendo o valor de ambas as tradições historiográficas, não proponho resolver a diferença entre elas e certamente não estou defendendo um reducionismo tecnológico. Ao invés disso, parece-me que temos uma saída para essa oscilação binária entre uma historiografia de um idealismo implícito ou a de um materialismo implícito, na forma de uma cultura material historicizada e filosoficamente informada. A pesquisa sobre telégrafos, máquinas a vapor, instrumentos científicos e observação astronômica, ao longo dos últimos anos, estabeleceu questões que recusam a oposição indefensável entre “isso ou aquilo”, entre coisas e pensamentos.⁵² Em cada instância, podemos explorar as questões filosóficas associadas a valores e símbolos historicamente específicos.

Quando Einstein veio para o escritório de patentes de Berna em 1902, penetrou em um mundo no qual o triunfo do elétrico sobre o mecânico já estava simbolicamente ligado a sonhos de modernidade. Ele encontrou um mundo no qual a coordenação de relógios era um problema de ordem prática (trens, tropas e telégrafos) que demandava soluções viáveis e patenteáveis exatamente na área em que ele tinha maior interesse e mais atividade profissional: instrumentação eletromecânica de precisão. O escritório de patentes era tudo, menos um navio-farol de alto mar. Não, o escritório era uma tribuna de honra para o grande desfile das modernas tecnologias. E, à medida que os relógios coordenados iam passando, não avançavam sós; a rede de coordenação elétrica significava, ao mesmo tempo, unidade política, cultural e técnica. Einstein tomou em suas mãos essa nova máquina de simultaneidade convencional e a instalou no nascedouro dos princípios de sua nova física. De certo modo, ele havia completado o grande projeto de coordenação do tempo do século dezenove, mas, ao eliminar o relógio mestre e alçar a hora certa convencional ao patamar de um princípio da física, ele deu início a uma física da relatividade claramente moderna e associada ao século vinte.

⁵² Ver SCHAFFER, S. Late Victorian Metrology and Its Instrumentation: A Manufactory of Ohms. In: BUD, Robert & COZZENS, Susan. (org.) *Invisible Connections: Instruments, Institutions, and Science*. Washington: Bellinngham, 1992. p. 23-59; WISE, M. N. Mediating Machines. *Science in Context*, 2, 77-114, Spring, 1988; e GALISON, Peter. *Image and Logic*. Op. cit.

Hipersimbolizada – com esse termo me refiro ao fato de que existiam muitas interpretações paralelas – a coordenação controlada do *Einheitszeit* significava, por outro lado, poder imperial, democracia, cidadania mundial e antianarquismo. O que eles tinham em comum era um senso de que cada relógio significava o indivíduo e que a coordenação dos relógios veio para asseverar uma lógica de ligação entre as pessoas e entre os povos. Como tal, o projeto para controle nacional ou mundial fez surgir condições específicas para possíveis ações tecnoculturais – isto é, ações que teriam significação tanto tecnológica quanto cultural.

Tornou-se lugar comum, nos últimos trinta anos, contrapor explicações indutivas e dedutivas. Nenhuma, por si, é a solução. Se tomássemos emprestado um antigo ditado medieval que busca capturar as conexões entre alquimia e astronomia, poderíamos dizer da seguinte maneira: Ao olharmos para baixo – para a rede de relógios controlados eletromagneticamente – miramos acima – as imagens de impérios, a metafísica e a sociedade civil. Ao olharmos para cima – para a metafísica da simultaneidade distante operacionalizada de Einstein, para a cultura em transformação do espaço, tempo e movimento – miramos abaixo – os cabos, as engrenagens e os pulsos passando pelo escritório de patentes de Berna. Encontramos metafísica em máquinas e máquinas na metafísica.

Peter Galison é professor da Cátedra de História da Ciência e da Física na Universidade de Harvard, Estados Unidos. É autor de *How experiments end* (1987) e *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics* (1997) e co-editou *Picturing Science, Producing Art* (1998), com Caroline Jones, e *The Architecture of Science* (1999), com Emily Thompson.
galison@harvard.edu

Artigo publicado originalmente na revista *Critical Inquiry*, 26, Winter 2000. p. 355-389.

Texto traduzido por Désirée Motta-Roth.

CAMPO CONTÍNUO E QUANTA: AS DUAS ABORDAGENS TEÓRICAS DA MATÉRIA SEGUNDO EINSTEIN

a relação da teoria com seu objeto



Michel Paty

Os três artigos pioneiros publicados por Einstein em 1905, sobre a teoria molecular, os quanta de luz e a relatividade restrita, referem-se a três objetos diferentes, exatamente delimitados, para os quais são propostos três modos específicos de abordagem teórica. As pesquisas ulteriores do grande físico irão divisar sempre, na mesma linha de pensamento, o domínio atômico e quântico e o do campo contínuo, apesar de sua concepção de unidade da matéria e de sua preocupação com uma teoria unificada. Percebe-se aí uma característica de seu peculiar estilo científico, em que a dimensão crítica acompanha a perspectiva de uma estreita relação teórica com o “objeto” físico considerado. O pensamento crítico prepara uma construção teórica sobre a base de conceitos e princípios físicos identificados. E a separação correlativa das abordagens teóricas para objetos de natureza diferente (como o campo contínuo e os fenômenos quânticos) surge enquanto efeito do propósito de uma relação de adequação a mais justa possível (estrita e “completa”, num sentido bem definido) entre a teoria e o objeto que ela se propõe a descrever e explicar.

Ilustração de abertura
Filipe Furian Rolim

Os trabalhos de Einstein no campo da física parecem obedecer a uma separação rigorosa entre as pesquisas que se referem, por um lado, à física do contínuo do espaço-tempo (teoria da relatividade restrita e da relatividade geral, tentativas de teorias unificadas da gravitação e do eletromagnetismo, cosmologia) e, por outro lado, às propriedades atômicas e quânticas dos corpos. Cada um desses dois grandes temas remete a um gênero de objeto característico, apreendido por um tipo de representação teórica muito diferente um do outro. Preocupado com os dois temas desde suas primeiras pesquisas e durante toda a sua vida, Einstein sempre os tratou de maneira distinta, tão distinta que por vezes chegamos a nos admirar que tais pesquisas teóricas sejam obras da mesma pessoa. Na verdade, reconhecemos, nesses dois campos de apreensão dos fenômenos físicos, a mesma “griffe do leão” (para retomar a expressão de Jacques Bernoulli ao receber uma peça anônima de Newton), a mesma precisão e o mesmo ângulo de perspectiva, fundamental e conceptual, na abordagem do problema colocado. Se o método de tratamento difere, é claramente em razão da natureza do objeto.

Gostaríamos de mostrar ao longo deste artigo como tal separação metodológica é reveladora do “estilo científico” próprio de Einstein, cujos traços principais é possível resumir como segue: a dimensão crítica acompanha a perspectiva de um acercamento preciso do “objeto” físico em consideração; o pensamento crítico prepara uma construção teórica sobre a base de conceitos e princípios físicos identificados; enfim, a separação correlativa das abordagens teóricas para objetos de natureza diferente (como o campo contínuo e os fenômenos quânticos) surge como o efeito da idéia de uma relação de adequação a mais exata possível (estrita e “completa”, num sentido bem definido) entre a teoria e o objeto que ela se propõe a descrever e explicar.

O objeto da teoria física: duas abordagens da matéria e uma questão de estilo teórico

É admirável que Einstein, guiado como sabemos por uma visão unitária, tenha estudado esses dois domínios sem os haver submetido a uma unificação forçada. Pode-se notar aí a marca de um *estilo científico* próprio, sensível a uma exigência particular de adequação “completa” – num sentido de que ainda falaremos – entre *a teoria e seu objeto*. O segundo (o objeto), isto é, a matéria vista seja como corpúsculos discretos (singulares ou até mesmo singularidades),

seja como unidades (campos), definidos sobre um contínuo do espaço-tempo, apelando para a primeira (a teoria), conforme sua natureza e suas necessidades; e a teoria, em contrapartida, designando o objeto conforme seus princípios físicos gerais e suas grandezas-conceitos apropriadas.

Tal caracterização de *estilo* parece estar mais de acordo com o que podemos conhecer do método de trabalho de Einstein, de seu *pensamento* científico, do que com certas qualificações esquemáticas remetendo a dois períodos ou atitudes em suas pesquisas no campo da física, quais sejam, a construção – empírica – na juventude e a crítica – em nome de um racionalismo e de um realismo quase metafísicos – a partir da maturidade¹. Podemos acompanhar, na verdade, ao longo de suas pesquisas, desde os primeiros trabalhos até suas derradeiras reflexões, a permanência desta dupla preocupação, com o campo contínuo e com os quanta, bem como a dualidade persistente, nessas duas direções, de sua metodologia, constituída sempre de um exame crítico com vistas a uma construção teórica.

Assim é que os três primeiros trabalhos mais importantes publicados por Einstein em 1905, que atrairiam sobre ele a atenção do meio científico, versavam sobre três assuntos diferentes, bem delimitados e tratados segundo abordagens teóricas distintas. O primeiro diz respeito à energia atômica da matéria, o segundo se refere à energia da radiação luminosa e o último, à relatividade dos movimentos na eletrodinâmica. Retornaremos a este ponto mais adiante. Os dois primeiros integram o estudo da constituição da matéria, pelo qual Einstein sempre iria se interessar e que resultou em contribuições de rara fecundidade, desenvolvendo e discutindo aquilo que se tornaria a *teoria quântica*. O terceiro, conhecido como a teoria da relatividade restrita, abria uma das vias reais de suas investigações, em direção à *teoria da relatividade* generalizada para quaisquer movimentos e para os campos de gravitação, com seus prolongamentos na cosmologia e no campo unificado. Einstein, no futuro, daria continuidade às suas pesquisas nessas duas direções de maneira independente, e no mais das vezes, alternadamente.

De 1905 a 1911, sua atenção se fixou nos quanta, com exceção do artigo – fundamental – de 1907, em que apresentava uma primeira síntese das idéias sobre a relatividade – então no sentido restrito –, e que constitui seus prolegômenos à teoria da relatividade geral. Tendo obtido resultados significativos com os quanta – uma primeira forma de dualidade ondulatório-corpúscular para a luz, a extensão

¹ Tal concepção redutora e normatizadora é frequentemente encontrada entre os físicos que “tomaram o partido de Bohr” contra Einstein no debate sobre a interpretação da mecânica quântica, e entre um certo número de historiadores e de filósofos das ciências.

da hipótese quântica à estrutura atômica através do problema dos calores específicos –, ele se consagrou quase exclusivamente, de 1912 a 1915, à relatividade geral. Tão logo a viu concluída, no final do ano de 1915, retomou os problemas da radiação e da estrutura atômica e formulou, em 1916-1917, sua teoria então quase clássica dos quanta, primeira síntese preparatória dos aperfeiçoamentos vindouros que conduziram, em 1925-1926, à mecânica ondulatória de Erwin Schrödinger e à mecânica quântica de Max Born, Werner Heisenberg, Pascual Jordan, Paul Dirac e outros.

No período intermediário, de 1923 a 1925, Einstein deu contribuições significativas à questão dos aspectos quânticos da matéria, desenvolvendo, independentemente, suas idéias sobre a teoria do campo. Em seguida, esta última pareceu ocupar-lhe toda a atenção, com a cosmologia e a teoria unitária, sobre as quais versaram desde então quase todos os seus artigos científicos. Conduziu suas investigações à margem da corrente dominante dos físicos, agora voltados para os múltiplos desdobramentos da física quântica, atômica e depois nuclear. Manteve-se, a partir de 1927, cada vez mais afastado dessa direção, mergulhado que estava em trabalhos que naquele momento mais pareciam matemáticos que físicos, abandonando o papel de *chef de file* nas investigações dos problemas mais atuais da física, papel que tinha desempenhado durante vinte anos. Era intensamente criticado pela escolha de um caminho considerado puramente especulativo – sua fecundidade ulterior só apareceria mais tarde, com a cosmologia evolucionária e as teorias físicas de simetria – e pela insatisfação que manifestava em relação às novas concepções da física.

Isso não quer dizer que desde então ele se tenha desinteressado pela física dos quanta. Muito pelo contrário, esta constituía sua preocupação permanente, como confessava a algumas pessoas mais íntimas e conforme testemunham múltiplas notas a seus correspondentes, acerca dos desenvolvimentos da mecânica quântica, bem como alguns artigos, escalonados regularmente ao longo dos anos, nos quais se interrogava sobre o caráter fundamental dessa teoria. Tais contribuições críticas tiveram, de fato, grande importância para a elucidação de um certo número de aspectos à primeira vista paradoxais da mecânica quântica.

O tratamento em separado dos dois grandes tipos de problemas de física, do modo como Einstein os formulava, ou seja, os do campo contínuo e aqueles dos quanta, aparece como uma constante em sua abordagem teórica. No essencial, com raras exceções de que falaremos ainda –

notadamente sobre a luz, em 1909 –, as contribuições científicas sobre uma questão não tratam da outra. Se alguma vez acontece que seja mencionada a questão dos quanta em trabalhos sobre o campo unificado – a partir dos anos 20 –, isto se dá de maneira muito breve, geralmente nas linhas de conclusão. Entretanto, Einstein falava de bom grado daquela questão em cartas a seus correspondentes, quando comentava pesquisas sobre o campo; mas o conteúdo dessas pesquisas não era de modo algum afetado pela sua preocupação subterrânea pelos quanta, centrando-se apenas na questão do campo.

Essas observações de Einstein, de certa forma incidentais, indicam somente que os problemas dos quanta se mantinham sempre no pano de fundo de suas preocupações. Ele não esperava da formulação contemporânea dos mesmos – pela mecânica quântica e pela teoria quântica dos campos que a prolongava – um avanço significativo; ao contrário, apostava que a elucidação dos quanta viria como um acréscimo de compreensão – e de determinação – dos desenvolvimentos da teoria do campo contínuo unificado. Na verdade, os problemas da estrutura da matéria atômica o preocupavam tanto quanto os do campo contínuo – senão mais do que estes –, porque tratam de fenômenos que nos são mais próximos – como ele próprio afirmou. A estrita delimitação dos dois domínios, ou das duas perspectivas, fica mais evidente em sua pesquisa, revelando uma questão de fundo, e não de circunstância, sobre a natureza de seu método de trabalho e seu pensamento teórico.

Em contrapartida, como é natural, Einstein abordava juntos os dois temas, o campo contínuo e os quanta, em seus textos gerais sobre a física, sua evolução e seus problemas atuais, como “Física e realidade” (1936), “Notas autobiográficas” (escritas em 1946 e publicadas em 1949), “Respostas aos críticos” (1949) e outros. Essas diferenças entre os trabalhos de pesquisa e os textos de síntese – tratamento separado dos dois temas nos primeiros, sua consideração em conjunto nos últimos – confirmam que a separação se deve ao seu método teórico em relação ao tipo de problema – ao objeto – estudado, o que tentaremos caracterizar. Para fazê-lo, retomaremos primeiramente os três artigos de 1905, que mostram da maneira mais clara a separação temática dos problemas, conforme o “efeito de estilo” referido. Também nos deteremos nos eventuais pontos de encontro que esses trabalhos apresentam e que revelam, em profundidade, a unicidade do objeto de estudo, para além das possibilidades de tratamento teórico.

Três trabalhos separados sobre objetos distintos

Desde as três publicações principais que vieram à luz no “ano de ouro” de 1905, sobre os fenômenos atômicos e a radiação, por um lado, e por outro, sobre o campo eletromagnético e o princípio da relatividade, vemos Einstein tratar separadamente os problemas correspondentes, cada um de modo muito particular, em função do objeto estudado. Esses três problemas eram geralmente considerados como os mais importantes da física na época, mas a tendência era sobretudo examiná-los em conjunto, sob a égide de uma teoria física que remetia a uma força fundamental única, a da eletrodinâmica. A “visão eletromagnética do mundo” era então uma perspectiva bastante privilegiada entre numerosos físicos e físicos-matemáticos, entre os quais Hendryk A. Lorentz, Wilhelm Wien, Max Abraham, Paul Langevin, Alexandre Winkowski, e até mesmo, com algumas ressalvas, Henri Poincaré. Uma comunicação de Langevin mais ou menos contemporânea dos referidos trabalhos de Einstein, propunha, sob o título de “A física do elétron”, um ensaio de síntese que tomava todos esses problemas em consideração – incluindo os fenômenos da radioatividade, recém-descoberta –, detectando neles as manifestações de uma mesma realidade física subjacente, cuja natureza era fundamentalmente eletromagnética².

² LANGEVIN, Paul. La physique des électrons (comunicação apresentada no Congresso International de Artes e Ciências em Saint Louis, Missouri, aos 23 de setembro de 1904). *Revue générale des sciences*, 15 mars 1905. Publicada também em LANGEVIN, Paul. *La physique depuis vingt ans*. Paris: Doin, 1923. p. 1-69.

Em suas próprias pesquisas realizadas nessa época sobre tais problemas, Einstein não previa uma síntese futura: dedicava-se ao exame das teorias existentes para cada gênero de fenômeno estudado, interrogando-se sobre a validade delas e suas limitações, as quais afetavam a significação física dos conceitos em jogo nessas condições teóricas. Ele não compartilhava da “concepção eletromagnética do mundo”, uma vez que, a seus olhos, a teoria eletromagnética era apenas uma das teorias físicas disponíveis, da mesma forma que a termodinâmica e a mecânica clássica. Com relação a certas categorias de fenômenos, essas teorias entravam em contradição; nenhuma era absoluta, mas cada uma delas continha “uma parte fundamental de verdade” – expressão que Einstein continuaria a usar com frequência e evocada em todas as suas reformulações teóricas. Para os fenômenos físicos de naturezas distintas estudados nesses três artigos, Einstein propunha uma solução teórica apropriada para cada um, cada qual sendo tratado de maneira independente. Ou, ao menos, quase independente, pois se constatam, entre essas três abordagens teóricas – a da constituição molecular, a da quantificação da energia da radiação

³ EINSTEIN, Albert. Eine Theorie der Grundlagen der Thermodynamik. *Annalen der Physik*, ser. 4, XI, 1903, 170-187. (CP, 2, p. 77-94). Trad. fr. (parcial). Une théorie des fondements de la thermodynamique. OC, 1, p. 18-28. k é a constante de Boltzmann. Anteriormente ao trabalho de Einstein, por exemplo em Planck, W tinha a significação matemática de uma probabilidade no sentido da análise combinatória. *Observação*: as edições das obras reunidas de Einstein serão designadas daqui por diante de CP (*The Collected Papers of Albert Einstein*, organizados por STACHEL, J.; CASSIDY, D. C.; SCHULMANN, R. & KLEIN, M. et al.. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1987-, 5 v. publicados até 1993. Cada volume é acompanhado de outro com tradução em inglês) ou OC (EINSTEIN, Albert. *Oeuvres choisies*, organizadas por BALIBAR, F. et al. Paris: Seuil/CNRS, 1989-1993, 6 v.)

⁴ EINSTEIN, Albert. Ueber die von der molekular kinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 549-560. (CP, 2, p. 224-235). Trad. fr. Mouvement des particules en suspension dans un fluide au repos impliqué par la théorie moléculaire cinétique de la chaleur. OC, 1, p. 55-64. PERRIN, Jean. Mouvement brownien et réalité moléculaire. *Annales de chimie et de physique*, 8^e série, n. 18, 1-114, 1909; retomado in PERRIN, J. *Oeuvres scientifiques*. Paris: Éd. du C.N.R.S., 1950. p. 171-239. PERRIN, Jean. *Les atomes* (1913). Nova edição, Paris: Gallimard, 1970. PATY, Michel. *La matière dérobée*. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine. Paris: Archives contemporaines, 1988. Cap. 3. *A materia*

luminosa e a da relatividade restrita –, pontos de contato que resultam do *movimento do trabalho do pensamento* aplicando-se a esses problemas.

Precedendo as duas publicações de 1905 sobre as dimensões moleculares e sobre os quanta de luz, encontra-se uma reflexão crítica sobre o “princípio de Boltzmann” da termodinâmica – o nome foi dado por Einstein –, expresso pela equação tomando a entropia (S) em função da probabilidade do estado (W) de um sistema físico ($S = k \log W$). Einstein, em 1903, havia proposto reinterpretar a função de probabilidade, dando-lhe a significação física de uma frequência de estados para um sistema no decurso de sua evolução no tempo³. Donde havia deduzido a existência de flutuações em torno do valor médio desta *probabilidade física*, indicando que tal consideração poderia ser aplicada aos *movimentos moleculares* tanto quanto aos problemas da *radiação térmica*: essas flutuações deviam corresponder a efeitos físicos observáveis. A utilização das probabilidades e o cálculo de flutuações de grandezas físicas em torno de um valor médio iria tornar-se, nas mãos de Einstein, um instrumento heurístico sistemático para a exploração dos fenômenos ligados à constituição da matéria, que se encontra na origem de praticamente todas as suas contribuições à elaboração da física quântica.

Foi essa idéia que ele implementava em seu segundo artigo de 1905, famoso pela explicação do “fenômeno browniano”, mas, também, porque fornecia relações precisas sobre as dimensões das moléculas ou dos átomos e seus livres percursos (tais relações seriam verificadas experimentalmente algum tempo depois, por Jean Perrin)⁴. Num primeiro artigo sobre a radiação térmica, Einstein propunha uma aproximação entre o comportamento de uma radiação num circuito fechado e de um volume fechado de gás, em razão da mesma forma da equação termodinâmica no equilíbrio – a equação de Boltzmann –, o que acarretava a quantificação da energia da radiação ($E = hn$)⁵.

O terceiro artigo, de natureza diferente – não se trata aqui de estrutura da matéria, nem de probabilidade –, referia-se à formulação teórica da eletrodinâmica dos corpos em movimento, cujo resultado definitivo Einstein apresentava agora e que posteriormente seria conhecido como *a teoria da relatividade restrita*, embora nada houvesse publicado a respeito anteriormente. Contudo, este trabalho tinha sido preparado por pesquisas e reflexões anteriores sobre a *teoria eletromagnética*, considerada sob o ângulo de sua relação com o movimento, pesquisas que acabaram por persuadi-lo

roubada. A apropriação crítica do objeto da física contemporânea. Trad. em português por Mary Amazonas Leite de Barros. São Paulo: Edusp, 1995.

⁵ EINSTEIN, Albert. Ueber einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 132-148, 1905. (CP, 2, p. 150-166). Trad. fr. Un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière. OC, 1, p. 39-53.

⁶ EINSTEIN, Albert. Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 891-921, 1905. (CP, 2, p. 276-306). Trad. fr. Sur l'électrodynamique des corps en mouvements. OC, 2, p. 31-58. Para maiores detalhes, ver: PATY, Michel. *Einstein philosophe*. La physique comme pratique philosophique. Paris: Presses Universitaires de France, 1993. PATY, Michel. Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte. *Revue philosophique de Louvain*, 94, 447-470, 1996 (n. 3, août).

da necessidade de reformular a teoria. A razão essencial invocada era de que a *teoria* eletromagnética, conforme sua formulação na época – a de Maxwell-Lorentz –, estava em contradição com o princípio da relatividade dos movimentos de inércia (retilíneos e uniformes) da mecânica, por sua referência a um éter em repouso absoluto, sede das ondas eletromagnéticas. Ora, os *fenômenos* eletromagnéticos – em particular a indução, influência mútua de uma corrente elétrica e de um campo magnético em movimento, um em relação ao outro – e as experiências de óptica advogavam, ao contrário, em favor deste princípio.

Preocupado em preservar aquilo que lhe parecia essencial na teoria eletromagnética – a constância da velocidade da luz no vácuo, que estava na base mesma da teoria de Maxwell –, Einstein formulou o problema definindo-o como uma conciliação entre esta propriedade, elevada à categoria de princípio físico, e o princípio da relatividade para os movimentos de inércia, provindo da mecânica, mas que parecia de validade mais universal. Essa conciliação seria possível desde que se redefinissem as coordenadas de espaço e de tempo para os corpos materiais, submetendo-os à obediência dos dois princípios adotados⁶.

A teoria da relatividade restrita, que resultou dessa reconstrução, propunha uma *reforma* da teoria eletromagnética, não como uma outra *dinâmica* – uma *nova teoria* do campo eletromagnético –, mas como a consequência na forma das equações admitidas na dinâmica, de uma modificação mais geral da *cinemática*, isto é, da teoria fundamental das velocidades e das acelerações, pela reformulação, desde suas bases, das concepções físicas de espaço e de tempo. Infere-se, portanto, que a *insatisfação com referência à teoria eletromagnética de então* foi o ponto de partida do raciocínio de Einstein.

Reformando a mecânica clássica e a teoria eletromagnética, uma pela outra, através da confrontação de seus respectivos princípios fundamentais, Einstein não considerava nem uma nem outra como absolutas ou definitivas, e a crítica que lhes reservou foi o marco inicial da reconstrução que promoveu. Ora, nesse justo momento ele estava consciente de outras dificuldades da teoria eletromagnética, como as que se referem ao espectro da radiação da luz, dificuldades que transpareciam nos trabalhos de Planck e cujo caráter problemático ele foi o primeiro a perceber – donde a necessidade de dispor de uma outra teoria. Isso devia tornar-se evidente pela descontinuidade da *energia* dos quanta de radiação, dos quais a teoria do campo

eletromagnético contínuo não podia dar conta: os trabalhos de Planck de 1900 só citavam uma quantificação de trocas de energia, sem mencionar a radiação em si mesma. A primeira abordagem dos quanta que Einstein realizou conduziu-o por conseguinte a suspeitar de imediato dos limites da teoria eletrodinâmica no domínio molecular; ele precisou desses limites a partir do ano seguinte, pelo seu método das flutuações aplicadas à radiação⁷, o qual também lhe confirmou sem dúvida a inutilidade do éter.

No artigo sobre a eletrodinâmica e o princípio da relatividade, Einstein constatava a identidade, para uma radiação luminosa, entre a fórmula de transformação relativística da energia e a da frequência, e fazia este comentário simples: “É notável que a energia e a frequência de um complexo luminoso variem com o estado do movimento do observador seguindo a mesma lei”⁸. Observando a invariância da relação E/n , ele poderia avaliar a coincidência entre esta propriedade e a relação $E = hn$, que havia obtido independentemente em seu artigo precedente sobre os quanta. Que ele não o tenha feito nesse trabalho sobre a teoria da relatividade, trabalho totalmente independente daquele sobre os quanta de luz, é sem dúvida significativo como traço de seu “estilo”; além disso, as duas contribuições teóricas não tinham, a seus olhos, o mesmo estatuto. A primeira constituía uma reforma fundamental, baseada em princípios teóricos claramente identificados; a outra apresentava-se como um simples “ponto de vista heurístico”.

Portanto, as primeiras pesquisas de Einstein atraem-se no mesmo movimento – ou até na unidade profunda – de um pensamento físico que se preocupa entretanto em fazer jus à especificidade dos fenômenos e objetos estudados, em relação à possibilidade de suas interpretações teóricas. É assim que os três problemas-chave da física, em 1905, são examinados e tratados em três artigos separados e de três maneiras distintas. O exame desses textos, prolongado pelo exame dos trabalhos subsequentes sobre o mesmo tema, faz emergir os caracteres de *estilo* mencionados, que revestem os conteúdos dos problemas de física em questão⁹.

Ângulos de abordagem e recobrimentos teóricos

Raros são os trabalhos científicos de Einstein em que se encontram juntas considerações relativas aos dois domínios, quais sejam, a física quântica e a teoria da relatividade. Um dos mais significativos é o que foi apresentado numa conferência proferida em 1909 em Salzbourg, por ocasião

⁷ EINSTEIN, Albert. Zur Theorie der Lichtzeugung und Lichtabsorption. *Annalen der Physik*, ser. 4, XX, 199-206, 1906. (CP, 2, p. 350-357). Trad. fr. (parcial), *Théorie de la production et de l'absorption de la lumière*. OC, 1, p. 68-72. Ver ainda:

JAMMER, Max. *The conceptual development of quantum mechanics*. New York: McGraw-Hill, 1966.

KUHN, Thomas. *Black-body theory and the quantum discontinuity, 1894-1912*. New York: Clarendon Press, 1978.

PATY, Michel. Einstein et la complémentarité au sens de Bohr: du retrait dans le tumulte aux arguments d'incomplétude. *Revue d'histoire des sciences* 38, (n. 3-4, *La Complémentarité*), 325-351, 1985.

⁸ EINSTEIN, Albert. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?. *Annalen der Physik*, ser. 4, XVIII, 1905, 639-641. (CP, 2, p. 312-314). Trad. fr. L'inertie d'un corps dépend-elle de sa capacité d'énergie?. OC, 2, p. 60-62. (Segunda parte, *Elektrodynamique*, parágrafo 8).

⁹ PATY, Michel. *Einstein philosophe*. Op. cit. e ainda *Einstein, les quanta et le réel*. Critique et construction théorique (no prelo).

de um simpósio de física, sob o título de “A evolução de nossas concepções sobre a natureza e a constituição da radiação”¹⁰. Tratava-se dessa vez da relação que os quanta de luz mantêm com a teoria da relatividade restrita, na medida em que esta última coloca em evidência uma propriedade da radiação eletromagnética.

Einstein havia mostrado, em 1905, num artigo que completava o da relatividade estabelecendo a inércia da energia (com a fórmula $E = mc^2$), que “a radiação transporta inércia entre os corpos que a emitem e os corpos que a absorvem”¹¹. Retomando esse resultado, dava-lhe agora uma nova demonstração, fundamentada na cinemática: “A massa inerte de um corpo diminui de L/c^2 quando este emite a energia radiante L ”. Também retomava ele a invariância da relação entre a energia e a frequência E/h – relação esta apontada sem outro comentário em 1905, como se viu –, aproximando-a desta vez explicitamente da relação quântica $E = h\nu$. Percebia ali uma indicação de coerência quanto à natureza e às propriedades dos raios de luz, cuja energia, por sua própria descontinuidade, continha todas as características de uma grandeza física autônoma¹².

“A teoria da relatividade”, dizia ele na conferência de Salzbourg, “mudou portanto nossas concepções sobre a natureza da luz”, na medida em que “a luz não é mais concebida como estados de um meio hipotético (o éter), mas existe de modo autônomo, como a matéria; ainda mais, ela transfere massa inerte entre o corpo que a emite e o corpo que a absorve”. Contudo, essa informação não resolvia o problema da natureza da luz propriamente dita: a relatividade não interferia absolutamente na questão. Em outras palavras, apenas explicitava as relações que advêm da cinemática, mas permanecia muda quanto à dinâmica. Ela nada mudou, “em particular, de nossa concepção sobre a repartição da energia no espaço atravessado pela radiação”, observava Einstein na transição entre a parte de sua exposição sobre a teoria da relatividade e a parte sobre os quanta, sendo que “nossa teoria clássica (eletromagnética) da luz é incapaz de explicar certas propriedades fundamentais dos raios luminosos”¹³.

Einstein enfatizava com isso a insuficiência da teoria eletromagnética, no que diz respeito aos fenômenos da radiação, que ele havia reconhecido como falha desde 1906, demonstrando, por um raciocínio baseado num cálculo de flutuação, que a introdução dos quanta de Planck era inconsistente no quadro da teoria clássica¹⁴. Fundamentando-se no resultado obtido a respeito da radiação, apresentado na

¹⁰ EINSTEIN, Albert. Ueber die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung. *Deutsche Physikalische Gesellschaft, Verhandlungen*, 7, 1909, 482-500; também, *Physikalische Zeitschrift*, X, 817-825, 1909. (Conférence de Salzbourg, 21 novembro 1909.) CP, 2, p. 564-582. Trad. fr. L'évolution de nos conceptions sur la nature et la constitution du rayonnement. OC, p. 86-100.

¹¹ EINSTEIN, Albert. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?. *Op. cit.* Ver também EINSTEIN, Albert. Ueber die vom Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie. *Annalen der Physik*, ser. 4, XXIII, 1907, 371-384. (CP, 2, p. 414-427).

¹² Ele também havia mencionado o fenômeno, pouco tempo antes, em uma carta a H. A. Lorentz de 23.5.1909 (Archives Einstein). Trad. fr. in EINSTEIN, Albert. OC, vol. 1, p. 105-109.

¹³ EINSTEIN, Albert. Ueber die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung.... *Op. cit.*, 1909.

¹⁴ EINSTEIN, Albert. Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption.... *Op. cit.*, 1906.

segunda parte de sua conferência, Einstein previa “que a próxima etapa do desenvolvimento da física teórica” corresponderia à obtenção de uma teoria da luz que seria interpretada “como uma espécie de fusão da teoria ondulatória e da teoria da emissão [isto é, corpuscular]”. A questão da dualidade ondulatória e corpuscular da luz só seria totalmente resolvida quando se tornasse evidente, além da energia quantificada, característica de uma espécie de “entidade independente”, sua impulsão ligada à frequência: prova disso ele obteve em 1916, ajustando a primeira teoria dos quanta, ainda não clássica, a qual seria o ponto de partida das idéias que conduziram às mecânicas ondulatória e quântica¹⁵.

Einstein admitia a dualidade referida como uma característica dos fenômenos quânticos, da qual esperava, porém, uma formulação mais racional por uma teoria quântica futura. Ele enfatizaria de maneira muito explícita, em seus comentários críticos sobre a mecânica quântica, que esta última estava presa a concepções clássicas e mesmo mecânicas, tais como a onda e o corpúsculo, enquanto que uma teoria satisfatória deveria ir mais além. Esse também era o caso, segundo ele, das “relações de indeterminação” de Heisenberg entre grandezas conjugadas (do tipo $Dx \cdot Dp \geq \frac{1}{2} h$), das quais ainda esperava ser convencido quando estivessem totalmente comprovadas¹⁷. Tais propriedades que era preciso admitir, pois os fenômenos quânticos as impunham através de sua coerência, encontravam uma formulação contraditória no quadro de teorias baseadas em conceitos clássicos: a concepção “ortodoxa”, fundamentando a complementaridade sobre a dualidade, em nome da necessidade de se reportar a conceitos clássicos, apropriados aos instrumentos de observação e de medida (a referência era a “realidade tal qual a observamos”), não escapava a essa limitação.

De certo modo, a formulação da mecânica quântica à época exemplificava para Einstein o inconveniente que existe em querer misturar, na elaboração de uma teoria fundamental, abordagens parciais e contraditórias. Estas poderiam ser apenas paliativos provisórios, justificados somente por sua força heurística: revelavam as modificações conceituais que era preciso operar para fundar uma teoria que fosse totalmente apropriada aos fenômenos, ou seja, a seu objeto específico – uma “teoria propriamente quântica” –, como ele mesmo havia qualificado.

Ao voltarmos aos dois gêneros de teorias de que Einstein se ocupava, apropriadas a seus respectivos objetos, concebidas por abordagens independentes (a relatividade

¹⁵ EINSTEIN, Albert. Strahlungsemission und -absorption nach der Quantentheorie. *Deutsche physikalische Gesellschaft, Verhandlungen*, XVIII, 318-323, 1916.

EINSTEIN, Albert. Zur Quantentheorie der Strahlung, *Physikalische Gesellschaft Mitteilungen* (Zürich), 1916, 47-62; também in *Physikalische Zeitschrift* XVIII, 121-128, 1917. Trad. fr. por Michel Dembno-Tchaïkowsky e Daniel Fargue. Sur la théorie quantique du rayonnement. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 4, 65-83, 1979. Outra trad. fr.: OC, 2, *Théorie quantique du rayonnement*, p. 134-147.

¹⁶ x representa as coordenadas de espaço, p a impulsão e h a constante de Planck reduzida.

¹⁷ PATY, Michel. Einstein et la complémentarité au sens de Bohr... *Op. cit.*, 1985.

restrita e os quanta), verificamos que a luz era um dos lugares de seu recobrimento possível. O papel da luz manifesta-se na teoria da relatividade, por sua velocidade (primeiro com a relatividade restrita em virtude da consideração do campo eletromagnético, depois mais amplamente enquanto constante estrutural do espaço-tempo, tanto para a relatividade restrita quanto para a relatividade geral), bem como na teoria dos quanta, portanto ela é radiação de energia quantificada produzida por trocas de energia na estrutura atômica. Nesse sentido, as relações entre a energia e a frequência e entre a impulsão e o comprimento de onda, indicavam um terreno comum entre a relatividade restrita e os quanta: tal vertente seria explorada por Louis de Broglie, que utilizou a relatividade restrita para estender essas relações, isto é, a dualidade onda-corpúsculo, aos elementos da matéria¹⁸.

Mas isso não seria suficiente aos olhos de Einstein, que enfatizou ao mundo científico a importância desse resultado, para conciliar a teoria dos quanta e a relatividade ou pretender reforçar a primeira juntando-lhe a segunda, uma vez que esses conceitos de base permaneciam os mesmos: ele não fora convencido nem pela teoria de Dirac (teoria quântica do elétron relativístico), nem pela teoria quântica do campo (ou eletrodinâmica quântica), submetida a procedimentos artificiais para eliminar quantidades infinitas...

Um outro lugar ou motivo possível de superposição das representações teóricas separadas, que eram, para Einstein, a do campo contínuo e a dos fenômenos quânticos, residia no fato de que, para ele, tais representações deviam dar-se no espaço e no tempo: essa representação, explícita para o campo contínuo, constituía-se apenas uma demanda, no caso da física quântica. A substituição do objeto de uma das teorias por elementos da outra marca-se, com efeito, de maneira diferente, nas interpretações que Einstein ofereceu de certos caracteres quânticos, ao traduzi-los em termos de propriedades espaciais. Não lhe importava que tivesse de interpretá-los em seguida de outro modo, se tais propriedades fossem impensáveis, embora a teoria quântica não as tivesse proposto nesses termos. É o caso da indistinguibilidade das partículas idênticas, e da “não-localidade” ou da “não-separabilidade local”.

O próprio Einstein estabeleceu em 1924-1925 a propriedade de *indistinguibilidade* das partículas idênticas – aquelas que foram em seguida chamadas de *bósons*, submetidas à estatística dita “de Bose-Einstein” com uma função de estados simétricos em relação à permutação de duas dessas partículas; as outras, ou *férmions*, eram caracterizadas

¹⁸ DE BROGLIE, Louis. *Recherches sur la théorie des quanta*. Thèse, Paris, 1924; *Annales de physique*, 10^e série, 3, 22-128, 1925; reedição. Paris: Masson, 1963.

¹⁹ EINSTEIN, Albert. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. *Preussische Akademie Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte*, 22, 261-267, 1924. Trad. fr.: *Théorie quantique du gaz parfait monoatomique*. OC, p. 172-179.

EINSTEIN, Albert. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. *Zweite Abhandlung. Preussische Akademie Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte*, p. 3-14, 1925. Trad. fr. *Théorie quantique du gaz parfait monoatomique. Deuxième mémoire. Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 7, 129-145, 1982. Outra trad. fr. (parcial). *Théorie quantique du gaz parfait. Deuxième mémoire*. OC, p. 180-192.

EINSTEIN, Albert. Quantentheorie des idealen Gases. *Preussische Akademie Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte*, p. 18-25, 1925.

²⁰ EINSTEIN, Albert. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. *Op. cit.*, 1924.

EINSTEIN, Albert. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. *Op. cit.*, 1925.

EINSTEIN, Albert. Quantentheorie des idealen Gases. *Op. cit.*, 1925.

²¹ BORN, Max. Quantenmechanik der Stössvorgänge. *Zeitschrift für Physik*, 38, 803-827, 1926; também in BORN, Max. *Ausgewählte Abhandlungen*. 2 v. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1963. v. 2, p. 233-258. Trad. inglês: Quantum mechanics of collision processes in LUDWIG, G. *Wave Mechanics*. London: Pergamon Press, 1968.

BORN, Max. Das Adiabatenprinzip in der Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 40, 167-192, 1926; também in BORN, Max. *Ausgewählte Abhandlungen*. *Op. cit.*, 1963. v. 2, p. 258-283.

Sobre a filiação da noção de “campo fantasma” de Einstein à onda de probabilidade de Born, ver PAIS, Abraham. *Subtle is the Lord*. The science and life of Albert Einstein. Oxford: Oxford University Press, 1982. p. 442-443 e STACHEL, John. Einstein and the quantum: fifty years of struggle. In: COLODNY, Robert (org.). *From quarks to quasars*. Pittsburg: University of Pittsburg Press, 1986.

²² EINSTEIN, Albert. Interventions au Cinquième Conseil Solvay de 1927 in *Electrons et photons* 1928, p. 253-256, 266. Publicado (em parte) in OC, p. 210-211.

PATY, Michel. Einstein et la complémentarité au sens de Bohr: ... *Op. cit.*, 1985.

por uma estatística, estabelecida por Fermi e Dirac, de funções de estados anti-simétricos. No primeiro caso, o intercâmbio de duas partículas idênticas no seio de um mesmo sistema físico não mudava em nada o estado do sistema; no segundo caso, esse intercâmbio não era possível – pelo princípio de exclusão de Pauli. Em ambos os casos, a propriedade não possuía análogo com as partículas no sentido habitual, as quais podem ser idênticas, mas são sempre identificáveis. Einstein aceitava essa propriedade, que ele considerava conhecida empiricamente, da mesma forma que a dualidade ondulatória e corpuscular das partículas quânticas, e a concebia como uma dependência inexplicada entre partículas localizadas diferentemente no espaço – nas dimensões atômicas¹⁹.

Ele acreditava firmemente que tal propriedade correspondia aos fenômenos, já que inferiu daí suas previsões memoráveis acerca da condensação de um gás de bósons (condensação dita de Bose-Einstein), da supracondutividade e da superfluidez, que ele compreendia como fenômenos plenamente físicos, e que só seriam confirmados muito mais tarde²⁰.

Sobre a não-localidade, ele conduziu uma demonstração, a partir de 1927, a respeito do fenômeno de difração dos elétrons e da interpretação estatística da função de onda, formulada em 1926 por Max Born, que se inspirou aliás numa sugestão do próprio Einstein²¹.

Os impactos corpusculares de um feixe de elétrons sobre a tela, que reproduzem a distribuição de probabilidade, indicam uma espécie de dependência entre os diversos lugares possíveis de um mesmo impacto, se a probabilidade é relativa a um elétron individual²². Analisando mais tarde esse gênero de propriedade paradoxal que dizia respeito à forma da função de estado e de sua significação em termos de amplitude de probabilidade, Einstein foi conduzido a elaborar, a partir de 1935, com seu “argumento EPR”, uma forma mais sistemática e surpreendente dessa não-localidade aparente. Dois subsistemas físicos de um mesmo sistema inicial (situação de origem condicionando um vínculo, no sentido matemático, entre suas grandezas respectivas), distanciados de maneira arbitrária, estabeleceriam uma conexão instantânea, contrária aos princípios da relatividade restrita.

Com efeito, explicitou Einstein em vários textos, a medida de um desses subsistemas fornece – pela relação condicionante inicial comum – o conhecimento da função de estado do outro, sem que este último seja modificado

- ²³ BELL, John. *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- PATY, Michel. La non-séparabilité locale et l'objet de la théorie physique. *Fundamenta Scientiae*, 7, 47-87, 1986.
- PATY, Michel. *La matière dérobée*. *Op. cit.*
- PATY, Michel. The nature of Einstein's objections to the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. *Foundations of physics*, 25, n. 1, 183-204, 1995 (january).
- ²⁴ BOHR, Niels; KRAMERS, Hendrik Anton & SLATER, John Clarke. The quantum theory of radiation. *The Philosophical Magazine*, 47, 785-822, 1924.
- BOTHE, W. & GEIGER, H. Ein Weg zu experimentellen Nachprüfung der Theorie von Bohr, Kramers und Slater. *Zeitschrift für Physik*, 26, 44, 1924. Trad. inglês: Experimental test of the theory of Bohr, Kramers and Slater in LINDSAY, Robert (org.). *Early concepts of energy in atomic physics*. Stroudsbury (Penns.): Dowden, Hutchinson and Ross, 1979. p. 230-231.
- BOTHE, W. & GEIGER, H. Über das Wesen des Comptoneffekts; eine experimentelles Beitrag zur Theorie des Strahlung. *Naturwissenschaft*, 13, 440-, 1925; *Zeitschrift für Physik*, 32, 639-663, 1925.
- EINSTEIN, Albert. Observações sobre a situação actual da teoria da luz. *Revista da Academia Brasileira de Ciências*, n. 1, p. 1-3, 1926 (abril). Original em alemão: Bemerkungen zu der gegenwärtigen Lage der Theorie des Lichtes, manuscrito reproduzido em fac-símile por TOLMASQUIM, Alfredo T. & MOREIRA, Ildeu C. *Ciência Hoje*, v. 21, n. 124, 25-27, 1997. (Comunicação à Academia Brasileira de Ciências em 7 de maio de 1925).

pela medida. Se queremos manter uma correspondência biunívoca entre o subsistema e sua função de estado, é preciso admitir uma tal interação instantânea entre o sistema medido e o outro, apesar do distanciamento arbitrário. No caso de essa eventualidade parecer legitimamente inaceitável a um deles, o único recurso, segundo Einstein, seria considerar que a função de estado não representa um sistema quântico individual, mas somente um conjunto estático de tais sistemas. Ele via nisso a prova do caráter incompleto da mecânica quântica. Mais tarde, depois dos trabalhos de John Bell – inspirado notadamente nas observações de Einstein – e das experiências de correlação quântica à distância, ficaria provado que essa *não-separabilidade local*, que parecia inaceitável a Einstein, é ainda uma propriedade fenomênica dos sistemas físicos quânticos²³.

Efetivamente, todos os traços de não-localidade levantados seriam apenas aparência, pois que não se referem na realidade a sistemas ou partículas quânticas individuais. Seriam propriedades grosseiras de conjuntos estatísticos. Nessa perspectiva, teriam o papel de ligar as propriedades espaço-temporais de tipo somente estatístico a uma significação para acontecimentos individuais: um fóton ou um elétron interfere nele mesmo, e a função de estado que o representa, como amplitude de probabilidade, dá conta disso muito bem.

Einstein sabia particularmente que o caráter quântico dos fenômenos concerne sistemas físicos individuais. Fato que havia previsto para o que se refere às propriedades corpusculares da luz, pela evidência de correlações individuais entre as “partículas” que se soltam na difusão de um fóton sobre um elétron. Tais correlações haviam sido verificadas pelas experiências de Bothe e Geiger realizadas em 1925, enquanto a teoria “BKS” de Bohr, Kramer e Slater, segundo a qual a conservação da energia e da impulsão seria somente estatística, propunha, ao contrário, uma ausência de correlação, assinalando o caráter somente estatístico da reação, e portanto a ausência de aspecto diretamente corpuscular, que salvaguardaria a teoria ondulatória contínua clássica²⁴. Convencido da “realidade” irredutível dos quanta, Einstein estimava que “a mecânica quântica”, que surgia como necessária, não podia ancorar-se na teoria clássica da luz: uma generalidade maior lhe parecia imprescindível, e para isso a teoria eletromagnética devia ser modificada de maneira profunda²⁵.

PATY, Michel. *Einstein, les quanta et le réel*. Critique et construction théorique (no prelo).

²⁵ Einstein, carta a Ehrenfest de 31.5.1924 (grifada por Einstein). O termo “mecânica quântica” foi igualmente empregado por Max Born em artigo do mesmo ano: Ueber Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 26, 1924, 379-395.

²⁶ PATY, Michel. *La matière dérobée*. Op. cit., 1988.

PATY, Michel. La non-séparabilité locale et l’objet de la théorie physique. Op. cit., 1986.

PATY, Michel. *Einstein, les quanta et le réel*. (no prelo).

²⁷ EINSTEIN, Albert. Reply to criticism. Remarks concerning the essays brought together in this cooperative volume in SCHILPP, Paul Arthur (org.). *Albert Einstein, philosopher-scientist*. The library of living philosophers. Open Court, La Salle, 1949. p. 663-693. (Trad. inglês por SCHILPP, P. A. a partir do original alemão *Bemerkungen zu den in diesen bande Vereinigten Arbeiten*, 1949. p. 493-511). Reeditado pela Cambridge University Press, London. (3ª edição, 1970). Edição em alemão. SCHILPP, P. A. *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Stuttgart: Kohlhammer Verlag, 1955.

²⁸ Einstein, carta a Max Born de 1.6.1948 in EINSTEIN, Albert & BORN, Max. *Briefwechsel 1916-1955*. München: Nymphenburger Verlagshandlung, 1969. Trad. fr. por LECCIA, P. *Correspondance 1916-1955, commentée par Max Born*. Paris: Seuil, 1972.

²⁹ Mesmo aqueles que, como Pauli, estavam atentos a este aspecto da posição de Einstein, negavam que isso fosse verdade. (Conforme PAULI, Wolfgang. Einstein’s contribution to Quantum theory in SCHILPP, Paul

Não lhe pareceu, entretanto, que a mecânica quântica proposta a partir de então fosse aquela teoria radicalmente nova que ele tanto almejava, e em particular que respondesse à necessidade de descrever sistemas físicos individuais. Porém, tinha firmado essa convicção com a transcrição em termos espaciais de *propriedades* quânticas, as quais, afinal, ele era o primeiro a admitir. Na medida em que se empenhava em produzir uma representação (uma visualização) espacial dessas propriedades – simetria de partículas indistinguíveis, não separabilidade local – ele as interpretava como manifestações de dependência mútua de natureza dinâmica. Pois as formulações teóricas que as fazem perceptíveis, tomadas estritamente, de fato não implicam interação em sentido próprio (entre elementos que não são definidos de outro modo): consideradas *a minima*, elas se limitam a descrever traços característicos do gênero de sistema físico que são os estados quânticos²⁶.

Em certa medida, se me é permitido este julgamento, Einstein havia transgredido sua própria regra metodológica, ao admitir precipitadamente que a descrição de sistemas físicos como os quanta de matéria devia dar-se no espaço, quando os elementos teóricos estritamente requeridos pelos fenômenos quânticos não continham essa exigência – o que, aliás, ele mesmo havia percebido²⁷. Tendo em vista que as partículas quânticas se apresentam como “sistemas naturalmente extensos”, sem que isso infrinja a relatividade restrita, desde que as definições correspondentes não lhe digam respeito –, não se trata mais de pontos de espaço-tempo individualizados, entre os quais sinais seriam transmitidos.

A questão da unidade teórica

Resta enfim a questão da unidade teórica, que se impõe mesmo respeitando o método einsteiniano do tratamento em separado, a qual também traz consigo seus eventuais efeitos de troca de objetos e de representações, ainda que parciais. Essa unidade, que Einstein não tinha feito entrar diretamente em seu trabalho até a Relatividade Geral, começava a delinear-se diante dele, considerando-se o estado da física teórica à época, a partir dos anos 20. Respondendo a uma crítica de físicos quânticos, na ocasião Max Born e Wolfgang Pauli, ele replicou um dia o seguinte: “Não sou absolutamente um defensor obstinado do esquema dito clássico, mas creio ser necessário satisfazer de um modo ou de outro a Relatividade Geral, cujo poder heurístico

Arthur (org.). *Albert Einstein, philosopher-scientist. Op. cit.*, 1949, p. 147-160. Texto original: Einstein Beitrag zur quantentheorie in SCHILPP, Paul Arthur (org.). *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Op. cit.*, 1955. ed. em alemão. p. 74-83; também in PAULI, Wolfgang. *Collected scientific papers*. 2 v. organizados por KRONIG, R. & WEISSKOPF, V. F. New York: Interscience/Wiley and Sons, 1964. v. 1, p. 1013-1022.

Sobre o programa de Einstein ver PATY, Michel. The nature of Einstein's objections to the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. *Op. cit.*, 1995.

³⁰ PATY, Michel. Sur la notion de complétude d'une théorie physique in FLEURY, Norbert; JOFFILY, Sérgio; MARTINS SIMÕES, J. A. & TROPER, A. (orgs.). *Leite Lopes Festschrift. A pioneer physicist in the third world*. Singapore: World Scientific Publishers, 1988. p. 143-164. PATY, Michel. *Einstein philosophe. Op. cit.*, 1993.

³¹ PATY, Michel. *Einstein philosophe. Op. cit.*, cap. 9. PATY, Michel. Einstein et la pensée de la matière in MONNOYEUR, Françoise (org.). *La matière des physiciens et des chimistes. Le Livre de poche*. Paris: Hachette, 2000. p. 213-252.

Michel Paty é diretor emérito de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) – Equipe Rehseis, UMR 7596 e Université Paris 7, Denis Diderot, França – e professor visitante do Departamento de Filosofia da Universidade de São Paulo, Brasil.

paty@paris7.jussieu.fr

Texto traduzido por Zília Mara Scarpari.

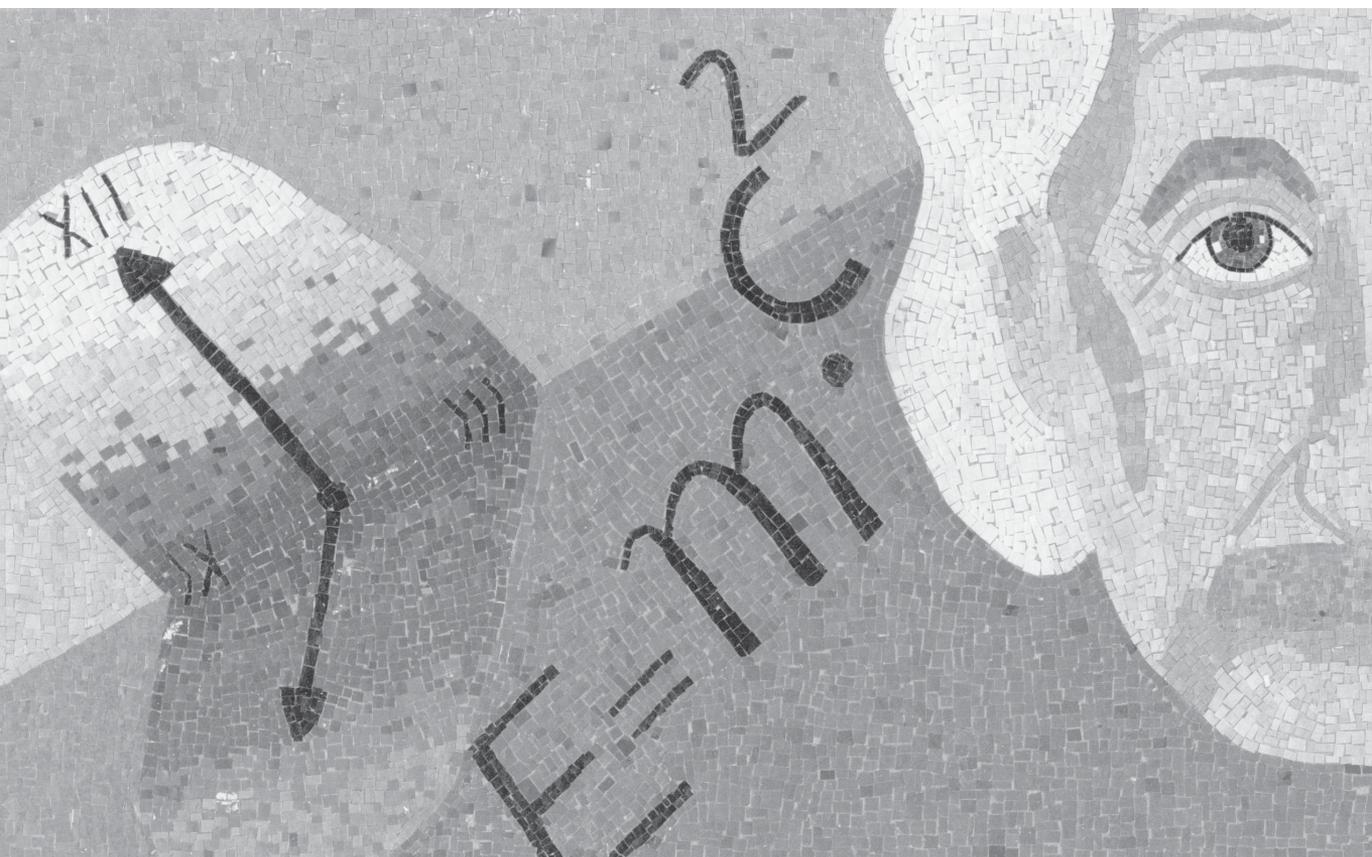
é indispensável, na minha opinião, ao progresso real”²⁸. A alusão à Relatividade Geral constitui uma indicação sobre seu próprio programa de pesquisas, que ele concebia essencialmente como um avanço, jamais como um passo atrás²⁹.

Para Einstein, a física havia atingido um estágio em que ela não podia contentar-se com ser uma simples “fenomenologia”; de uma forma ou de outra, devia integrar as lições da Relatividade Geral. Os fenômenos quânticos, no estado atual das coisas, sinalizavam para uma abordagem diferente daquela proposta em termos de campo definido sobre o *continuum* espaço-temporal, e as considerações de Einstein sobre a mecânica quântica limitavam-se à especificidade desta última (conforme foi referido anteriormente). Um dia seria preciso harmonizar numa unidade maior a teoria da matéria elementar e a teoria da gravitação: para além de suas críticas imediatas, era com um programa desse tipo que Einstein sonhava constantemente. Para tanto, ele não impunha à mecânica quântica as exigências que formulava para a teoria do campo; ele se perguntava apenas se a mecânica quântica podia servir de base para ir mais longe, se ela estava “completa”, em sentido fraco – no sentido do argumento EPR, ou seja, se ela estava fornecendo uma representação unívoca de um sistema físico individual –, para servir de base à construção de uma teoria “completa”, em sentido forte: uma teoria completa da relatividade geral seria uma teoria do campo e de sua fonte, sem parâmetro arbitrário³⁰.

Quanto ao resto, Einstein evitou misturar os tratamentos teóricos dessas duas ordens de fenômenos, apostando, interiormente por assim dizer, que a solução do segundo – a natureza e a representação satisfatória do domínio quântico – poderia ser obtida indiretamente a partir de uma condição que o primeiro – o campo contínuo, convenientemente tratado – faria surgir como necessária.

Essas indicações sobre a maneira como Einstein “pensava a matéria” em seu trabalho científico deveriam prosseguir pela evocação de suas concepções epistemológicas e filosóficas mais gerais sobre o mesmo assunto, concernentes às abordagens das outras disciplinas (sobretudo a química e a biologia) e sua relação com a matéria segundo a física, na perspectiva da unidade da matéria e do conhecimento da natureza em geral. Mas isso extrapolaria os limites que estabelecemos para o presente artigo³¹.

SOBRE A PRECEDÊNCIA DE HILBERT EM RELAÇÃO A EINSTEIN



Aguinaldo Medici Severino e Abel Lassalle Casanave

Em novembro de 1915, Einstein e Hilbert submeteram a publicação dois artigos tratando do mesmo assunto: a Teoria da Relatividade Geral. O artigo de Hilbert foi apresentado cinco dias antes do artigo de Einstein, mas foi aceito e publicado na sua forma final quase um mês depois. A idéia que floresceu em virtude desta precedência é a de que ambos desenvolveram a teoria por meios paralelos e independentes, sendo que Hilbert teria sido o primeiro a formular a teoria e Einstein aquele que de forma mais consistente entendeu as implicações físicas da teoria. Assim sendo, mesmo hoje, quando o nome de Einstein é amplamente identificado com as mais importantes contribuições a esta, bem como a várias outras teorias, não é incomum encontrar-se referências à precedência de encaminhamento do artigo de Hilbert como argumento para, ao menos informalmente, desmerecer Einstein, enfatizando sua capacidade de apropriar-se de idéias e de trabalhos alheios. Este artigo apresenta a gênese da controvérsia, alguns desdobramentos dos argumentos favoráveis à antecipação de Hilbert e a elucidação da questão, feita de forma definitiva em meados dos anos 1990, por três historiadores da ciência, que negam qualquer possibilidade de Einstein ter plagiado Hilbert.

Introdução

Ilustração de abertura

Bárbara Bortoluzzi

A teoria da relatividade geral é considerada uma das mais inovadoras, seminais e instigantes contribuições científicas já feitas pelo homem. As equações de campo gravitacional dela derivadas, por terem sido publicadas quase simultaneamente pelo físico Albert Einstein (1879-1955) e pelo matemático David Hilbert (1862-1943), fizeram com que durante muito tempo a teoria fosse referida como teoria da relatividade de “Einstein-Hilbert”. O argumento básico era o de que ambos haviam chegado às equações por meios paralelos e independentes, Hilbert por uma construção axiomática derivada de um princípio variacional, e Einstein como decorrência da generalização de sua teoria da relatividade restrita de 1905.

Apesar da preeminência e reconhecimento de Einstein como o grande cientista envolvido no desenvolvimento das modernas teorias de gravitação, um incômodo reparo a sua maior contribuição quase sempre era incluído nas citações. Neste reparo registrava-se usualmente que, além da quase simultaneidade na publicação dos dois artigos, verificava-se especificamente que havia a precedência, de cinco dias, na submissão do artigo de Hilbert em relação à submissão do artigo de Einstein aos respectivos órgãos editoriais. Por conta destes cinco dias, a pretensa precedência de Hilbert em relação a Einstein na formulação e publicação da teoria da relatividade geral foi motivo de controvérsia por aproximadamente 80 anos. Era comum argumentar-se sobre a recorrência de Einstein em plagiar idéias alheias. Assim, o mero fato do artigo conclusivo de Hilbert, *Die Grundlagen der Physik*¹, ter sido encaminhado para publicação cinco dias antes do encaminhamento por Einstein do artigo *Die Feldgleichungen der Gravitation*², forma final de sua formulação da teoria, autorizou tanto a comunidade acadêmica quanto os divulgadores científicos a argumentarem a favor da precedência do trabalho de Hilbert. Para os simpatizantes ou entusiastas da ulterior contribuição de Einstein, um outro reparo era igualmente feito, dando conta de que as equações de Hilbert careciam de maior fundamentação física e que esta fundamentação necessária era encontrada na formulação de Einstein, principalmente pela adequação de suas equações de campo ao princípio de equivalência, ou seja, o princípio que estabelece que as observações realizadas em um sistema de referência acelerado são indistinguíveis daquelas realizadas no interior de um campo gravitacional newtoniano. Cabe dizer que na acepção formal da

¹ HILBERT, David. Die Grundlagen der Physik (Erste Mitteilung). *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*, 1916, 395-407, 1916. Este artigo foi submetido para publicação no dia 20 de novembro de 1915.

² EINSTEIN, Albert. Die Feldgleichungen der Gravitation. *Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte*, 1915, 844-847, 1915. Este artigo foi submetido para publicação no dia 25 de novembro de 1915.

teoria da relatividade geral tais observações podem envolver não apenas fenômenos da mecânica, mas também, de forma ampla, os fenômenos naturais da ótica e do eletromagnetismo. Neste trabalho apresentamos o argumento da precedência defendido por Jagdish Mehra³, mas que pode ser igualmente encontrado em publicações mais recentes, como na biografia de Einstein, *Subtle is the Lord*, escrita por Abraham Pais⁴ ou em textos de revisão e divulgação das teorias de relatividade de Einstein, como o escrito por Ray D’Inverno⁵.

O argumento da precedência de Hilbert sobreviveu até meados da década de 1990, quando um trabalho de três historiadores da ciência, Leo Corry, Jürgen Renn e John Stachel⁶, publicado na revista *Science*, demonstrou que Hilbert de fato baseou a formulação de sua relatividade geral em idéias desenvolvidas também em vasta correspondência trocada entre ele e o próprio Einstein durante as semanas que precederam o encaminhamento dos dois artigos para publicação.

De qualquer forma, tendo apenas estas duas datas de submissão dos artigos, cabe perguntar: apenas a troca de correspondência entre Hilbert e Einstein justifica o fato histórico de que é Einstein quem por fim granjeia todo o crédito pelo desenvolvimento da teoria geral da relatividade? Qual é a relevância que a associação do nome de Einstein a um possível plágio pode ter tido na divulgação da teoria, em que pese as inerentes imensas dificuldades de compreensão, aceitação e posterior disseminação, tanto acadêmica quanto não acadêmica, da teoria geral da relatividade? Ainda uma pergunta: o fato de Einstein notadamente sempre se valer de sua grande capacidade intuitiva para incorporar com êxito idéias novas e aparato formal a seus modelos implicaria a necessidade de dividir a paternidade da teoria da relatividade geral com Hilbert?

Para discutir essas questões, apresentaremos um breve histórico da controvérsia e sua elucidação. Discutimos também o processo pelo qual determinadas verdades científicas podem ou não ser incorporadas ao discurso acadêmico; sobre a necessidade de consultar-se fontes primárias sempre que estas estiverem ao alcance material e finalmente sobre as repercussões, na formação do conhecimento científico do público leigo, que a repetição sistemática de informações secundárias e pouco acuradas podem gerar ao deslocar a atenção deste público não especializado a pontos pouco fundamentais, como a prosaica paternidade e precedência de determinada teoria ou modelo.

³ MEHRA, Jagdish. *Einstein, Hilbert, and the Theory of Gravitation*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1974.

⁴ PAIS, Abraham. *Subtle is the Lord. The Science and the Life of Albert Einstein*. New York: Oxford University Press, 1982. Este livro foi traduzido para o português e publicado como: *Sutil é o Senhor. A Ciência e a Vida de Albert Einstein*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

⁵ D’INVERNO, Ray. *Introducing Einstein’s Relativity*. New York: Oxford University Press, 1993.

⁶ CORRY, Leo; RENN, Jürgen & STACHEL, John. Belated Decision in the Hilbert-Einstein Priority Dispute, *Science*, 278, 1270-1273, 1997.

Dos argumentos favoráveis à precedência de Einstein

Dois dos trabalhos fundamentais de Einstein publicados no “ano miraculoso” de 1905 foram posteriormente unificados no que hoje chamamos de Teoria da Relatividade Restrita. No primeiro deles, intitulado *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*⁷, Einstein propõe a unificação dos conceitos de espaço e tempo, transformando a velocidade da luz em uma constante universal da natureza e também na velocidade limite de propagação para quaisquer corpos com massa. O segundo destes artigos, *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*⁸, demonstra que a massa de um corpo corresponde a uma determinada quantidade de energia, usualmente identificada pela fórmula $E=mc^2$. A tese geral em torno da qual giram as considerações destes dois trabalhos é o princípio da relatividade restrita ou especial, ou seja, o princípio da relatividade física dos movimentos uniformes, não acelerados, de modo que a formulação das leis gerais da natureza para a descrição dos movimentos de um corpo somente pode ser entendida tendo como base o movimento relativo em relação a outros corpos. Tanto pela simplicidade dos postulados básicos contidos nestes, mas também nos demais artigos desta época, quanto pelo paradoxal caráter revolucionário para o desenvolvimento da física do início do século XX, verificou-se que as idéias de Einstein, ainda que lentamente, fizeram-se aceitar pela comunidade científica do período.

Foi necessária quase uma década para Einstein generalizar seu argumento e construir uma teoria da relatividade também para os corpos em movimento não uniforme, ou seja, para a descrição das leis da natureza quaisquer que sejam os estados de movimento dos corpos, sejam eles acelerados ou não. Esta extensão da teoria implicou a análise do papel da gravitação no movimento dos corpos, sendo assim uma teoria da gravitação. Basicamente podemos dizer que na interpretação de Einstein, derivada da teoria da relatividade geral, o universo é um espaço contínuo de espaço-tempo quadridimensional. A presença de uma massa deforma este espaço-tempo de tal maneira que um campo gravitacional é criado. Nestes termos, o campo gravitacional é a representação de uma vizinhança de um determinado corpo no espaço no qual se dá a propriedade de massa, ou seja, a massa é a manifestação do campo gravitacional.

O desenvolvimento da teoria geral da relatividade por Einstein pode ser dividido em três estágios. No primeiro, basicamente contido nos trabalhos publicados entre 1907 e

⁷ EINSTEIN, Albert. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, *Annalen der Physik*, 17, 891-921, 1905.

⁸ EINSTEIN, Albert. *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*, *Annalen der Physik*, 18, 639-641, 1905.

1914, Einstein discute a influência da gravidade sobre a trajetória da luz e se esforça na definição precisa do princípio da equivalência, tendo sido muito estimulado por questões e críticas feitas por Max Abraham e também por Gunnar Nordström. Há um segundo estágio de desenvolvimento que envolve os trabalhos feitos por Einstein em colaboração com Marcel Grossmann, em que foram progressivamente incorporados à teoria da relatividade formalismos matemáticos mais avançados, em especial aqueles obtidos no que hoje definimos por geometria diferencial. Em 1914, ambos publicam um artigo discutindo a covariância das equações de campo na teoria da gravitação. O último estágio, em que finalmente as equações de campo gravitacional são formuladas, se concentra basicamente na segunda metade de 1915 e no ano de 1916, quando há uma estreita colaboração entre Einstein e Hilbert. No artigo *Die Feldgleichungen der Gravitation*⁹, forma final de sua teoria, Einstein acrescenta novas idéias, incluindo aplicações à astronomia, especialmente para uma explicação adequada à precessão do perihélio de Mercúrio. Assim, Einstein trabalhou quase ininterruptamente entre 1907 e 1915, para chegar à equação de campo gravitacional:

$$R_{mn} = -k (T_{mn} - a.g_{mn}.T),$$

onde g_{mn} é o tensor métrico representando os potenciais gravitacionais; R_{mn} é o tensor de Ricci, um tensor que descreve a curvatura do espaço-tempo; T_{mn} é o tensor momento-energia; T é o traço deste tensor e k e a são constantes. No caso de T_{mn} satisfazer as equações de conservação $\tilde{\nabla}_n T_{mn} = 0$, a constante a é igual a $1/2$.

A robustez dos argumentos utilizados nessa formulação e a simultânea proposição de verificações experimentais sobre o desvio gravitacional da luz e o desvio para o vermelho da radiação de fundo gravitacional (*red shift*) garantiram o progressivo sucesso da teoria da relatividade geral, que se associou intrinsecamente ao nome de Einstein.

Dos argumentos favoráveis à precedência de Hilbert

Segundo Mehra, em seu trabalho de historiografia dos primeiros anos da teoria da gravitação, publicado em meados de 1974, a contribuição de Hilbert foi fundamental para que a pesquisa de Einstein alcançasse a contento sua forma conclusiva. Para ele a história do desenvolvimento da teoria da relatividade geral começa de fato por Einstein já em 1907, e o envolvimento de Hilbert especificamente neste

⁹ EINSTEIN, Albert. *Die Feldgleichungen der Gravitation*. *Op. cit.*

problema se inicia apenas em 1915. De qualquer modo, no trabalho submetido para publicação no final de 1915, antes da submissão do artigo de Einstein, Hilbert também obtém a equação de campo gravitacional. Hilbert, que já havia se dedicado a problemas físicos básicos, como o da estrutura da matéria e o da eletrodinâmica relativística em colaboração com Gustav Mie, envolveu-se mais diretamente com a estrutura matemática das equações de campo gravitacional apenas em meados de 1915, época de uma visita de Einstein a Göttingen. O envolvimento tornou-se progressivamente intenso nos meses seguintes a esta visita, com troca de correspondência e de notas de trabalho entre ele e Einstein.

Ainda de acordo com Mehra, Hilbert discute, no trabalho apresentado em novembro de 1915, que as equações de campo com que Einstein estava trabalhando compreendiam dez equações diferenciais não-independentes, já que àquela altura era ainda necessário incluir quatro equações de contorno auxiliares para poder obter de fato univocamente as dez componentes do tensor métrico g_{mn} . Assim, Hilbert argumenta que o que é realmente relevante e deve ser determinado é a geometria e curvatura do espaço-tempo. Ao mesmo tempo as coordenadas a serem utilizadas na descrição deveriam ser adimensionais. Todavia, como eram necessárias as quatro equações auxiliares para determinar os dez componentes do tensor métrico, as coordenadas somente seriam determinadas em função da própria geometria. Como sabemos que somente o intervalo entre um evento e outro tem significado físico real, as coordenadas não poderiam ficar associadas à geometria.

No ano seguinte, 1916, Einstein cita estes argumentos de Hilbert em uma nota de rodapé de seu trabalho *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*¹⁰. Não apenas os cita como também os inclui na redação final do artigo de 1915. Hilbert de fato apontou para a necessidade de maior rigor matemático na forma como os argumentos de Einstein relativos à gravitação deveriam ser apresentados. O objetivo inicial de Hilbert ao interessar-se por uma teoria da relatividade geral foi o de unificar o campo eletromagnético e o campo gravitacional, ou seja, encontrar uma lei universal que simultaneamente explicasse a estrutura do universo como um todo e a estrutura atômica dos elementos. Este objetivo foi, segundo Mehra, anterior à iniciativa do próprio Einstein (e ainda de Weyl) para obter a unificação do campo. Apesar desta apropriação (nas palavras de Mehra), apesar de ter publicado seu artigo alguns dias após Hilbert e, por fim, apesar de ter sido sempre crítico dos métodos

¹⁰ EINSTEIN, Albert. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 49, 769, 1916.

axiomáticos de Hilbert, foi Einstein quem ganhou para si a paternidade da Teoria Geral da Relatividade.

Segundo Guth¹¹, citado por Mehra, aparentemente foi Weyl¹², em um dos primeiros livros textos sobre a teoria da relatividade geral, quem argumentou pela primeira vez sobre uma possível dupla paternidade da teoria, advogando que Hilbert desenvolveu-a de forma simultânea e independente de Einstein. Posteriormente Pauli¹³ e outros autores passaram a reproduzir o argumento original de Weyl.

Aparentemente Hilbert nunca se preocupou com a questão da paternidade da teoria a ponto de lutar pela citação de seu nome na derivação das equações do campo gravitacional de forma independente de Einstein, já que o considerava seu principal arquiteto. Max Born¹⁴, em comunicação feita por ocasião de uma comemoração dos sessenta anos de Hilbert, cita que, apesar da quase coincidência da data de publicação da teoria, nunca houve controvérsia entre ambos sobre a precedência no desenvolvimento da teoria e que a correspondência entre eles, iniciada na troca de informações puramente técnicas sobre artigos científicos, desenvolveu-se para cartas repletas de manifestações de apreço, profundo respeito e amizade.

Do trabalho de historiografia da ciência de Corry, Renn e Stachel

Como já dissemos, em 1997 um trabalho de três historiadores da ciência, Leo Corry, Jürgen Renn e John Stachel¹⁵, publicado na revista *Science*, demonstrou que Hilbert de fato baseou a formulação de sua relatividade geral em idéias desenvolvidas também em vasta correspondência trocada entre ele e o próprio Einstein durante as semanas que precederam o encaminhamento e a publicação dos dois artigos. Os três estudiosos citam uma das mais recentes biografias de Einstein, publicada por A. Fölsing¹⁶ para corroborar o ponto de vista usualmente aceito que defende a formulação simultânea das equações de campo gravitacional por Hilbert e Einstein. Nesta biografia mantém-se a versão convencional da seqüência de atos que culminaram na publicação dos trabalhos de Einstein e Hilbert: ambos obtiveram as equações de forma paralela e independente, mas a primeira apresentação dos resultados foi a do trabalho de Hilbert. Assim sendo, seria possível que Einstein tenha lido o artigo de Hilbert e verificado que o termo que faltava em sua equação de campo gravitacional era justamente o traço do tensor momento-energia. Um

¹¹ GUTH, Eugene. *Contribution to the History of Einstein's Geometry as a Branch of Physics, Relativity*. New York: Plenum Press, 1970.

¹² WEYL, Hermann. *Raum, Zeit, Materie*. Springer, 1918, depois republicado no livro *Space, Time, Matter*. New York: Dover, 1952.

¹³ PAULI, Wolfgang. "Relativitätstheorie", *Encyklopädie der math. Wiss. V/19*, (1919), depois reeditado no livro texto *Theory of Relativity*. Oxford: Pergamon Press, 1958.

¹⁴ BORN, Max. *Ausgewählte Abhandlungen*, Band II. Berlin: Van den Hoeck & Ruprecht, 1963.

¹⁵ CORRY, Leo; RENN, Jürgen & STACHEL, John. *Op. cit.*

¹⁶ FÖLSING, Abrahan. *Albert Einstein: A Biography*. New York: Viking, 1997.

argumento favorável à precedência de Einstein lembra que o trabalho de Hilbert é matematicamente muito complexo e dificilmente Einstein poderia compreendê-lo a ponto de retirar argumentos que pudessem ser utilizados em sua própria teoria em apenas quatro ou cinco dias. De qualquer forma, justamente este argumento, menos do que absolver Einstein de utilizar idéias de Hilbert sem a devida citação, valoriza a contribuição deste último, pois é baseado na alta complexidade do trabalho de Hilbert.

Para verificar a exata seqüência dos eventos relacionados à publicação dos dois artigos, Corry, Renn e Stachel utilizaram os arquivos do Instituto Max Plank de História da Ciência e tiveram acesso ao conjunto de versões preliminares (provas) dos artigos de Einstein e Hilbert. Tais versões correspondem a trabalho editorial e gráfico, tendo sido compostas para publicação e enviadas aos respectivos autores para verificação e revisão de eventuais erros de impressão. Segundo os historiadores, tanto as provas quanto a versão final do artigo de Hilbert estão grafadas “submetidas em 20 de novembro de 1915”. Numa cópia das provas, preservada nos arquivos do Instituto Max Plank de História da Ciência, lê-se a anotação manuscrita pelo próprio Hilbert: “primeira prova e minha primeira revisão”, junto a um carimbo com a data de 6 de dezembro de 1915. Todavia, na capa da versão que serviu de fato para Hilbert marcar as muitas correções posteriores, encontra-se a data de 31 de março de 1916. Ademais, na primeira das cópias preservadas já é acrescentada a citação ao trabalho de Einstein submetido no dia 25 de novembro e publicado no dia 2 de dezembro de 1915. As diferenças entre cada uma das várias provas e a versão publicada do trabalho de Hilbert justificam a afirmação que o trabalho de Einstein influenciou também conclusões ulteriores de Hilbert. Duas diferenças são particularmente importantes. Nas primeiras provas, Hilbert afirma que sua teoria não pode ser covariante e que isto é necessário para garantir o princípio de causalidade e a conservação do momento e energia. Este tipo de afirmação segue justamente argumentos que Einstein vinha utilizando em seus trabalhos entre os anos 1913 e 1915. Já na versão publicada, Hilbert elimina esta afirmação, argumentando que não está totalmente convencido de sua validade. Entretanto, a redefinição da covariância implica que as coordenadas utilizadas não têm significado físico algum. A segunda diferença entre as provas e a versão final está relacionada a um termo em suas equações que tem a forma da derivada de um termo gravitacional em relação à própria

métrica. Este termo, que é implícito nas provas, é explicitamente incluído na versão final e justificado com o argumento de que apenas o tensor de Ricci é o único tensor de segunda ordem que é invariante e pode ser construído a partir do tensor métrico g_{mn} e de suas derivadas parciais. Esse argumento será uma vez mais revisto quando da republicação dessa comunicação em 1924, ocasião em que a teoria já está consolidada.

Assim sendo, segundo Corry, Renn e Stachel, baseados nas provas e nas versões finais dos trabalhos, a mais provável seqüência de eventos é a seguinte: inicialmente Hilbert não obteve explicitamente a forma das equações de campo. Após a publicação do trabalho de Einstein, em que esta forma está presente, Hilbert argumenta que não é necessário cálculo para incluir a referida forma. Como no trabalho final Hilbert inclui o termo que gera a forma necessária (o traço do tensor métrico) e garante a covariância das equações, deduz-se que para isto ele foi influenciado por argumentos do próprio Einstein. Ainda segundo os historiadores, verifica-se na troca de correspondência entre Einstein e Hilbert muitos argumentos que parecem confirmar o fato. No dia 14 de novembro de 1915, Hilbert escreve a Einstein convidando-o a visitar Göttingen no dia 16 para que ele pudesse participar da comunicação em que Hilbert pretendia apresentar sua solução axiomática do problema de relatividade geral. Ele inclui em um adendo a sua carta que para ele sua solução é totalmente diferente da obtida e apresentada por Einstein no dia 4 de novembro na Academia de Ciências da Prússia. Já no dia seguinte, Einstein responde que não poderá participar do evento e pede uma cópia do trabalho de Hilbert tão cedo quanto possível. O que deve ter sido feito por Hilbert, pois Einstein escreve outra carta já no dia 18 de novembro. Nessa carta ele inicia refutando qualquer precedência da abordagem de Hilbert, dizendo que as equações obtidas eram exatamente idênticas àquelas obtidas por ele e já submetidas à publicação. Ele acrescenta que sua postulação da necessidade de covariância das equações era conhecida há mais de três anos e insinua que Hilbert não discute em seu trabalho nem os fundamentos físicos nem as implicações científicas de suas equações. Em suas próprias palavras: “A dificuldade não é encontrar a forma covariante das equações tensor métrico g_{mn} , já que isto é obviamente facilitado com o tensor de Riemann. O que é difícil é reconhecer a generalização implícita nestas equações, ou seja, que elas são uma generalização das leis de Newton”¹⁷.

¹⁷ EINSTEIN, Albert. *Letter to David Hilbert*, 18 November 1915. Einstein Archives Call n°. 13-091.

Corry, Renn e Stachel argumentam que a aparente ironia de Einstein é compreensível, pois exatamente na comunicação do dia 4 de novembro ele havia anunciado enfaticamente seu retorno a idéias anteriores que davam ao tensor de Riemann um papel fundamental nas equações, recolocando-o como o ponto de partida apropriado para uma teoria geral da gravitação. Tanto a teoria apresentada neste dia (4.11) quanto a teoria apresentada por Hilbert no dia 16.11 (a que Einstein teve acesso provavelmente no dia seguinte) são ligeiramente diferentes da versão da teoria proposta por Einstein no dia 18 de novembro. Todavia, todas são igualmente baseadas no tensor métrico e no tensor covariante de Riemann. Fölsing argumenta que à carta de Einstein do dia 18 de novembro houve uma carta resposta de Hilbert aceitando a precedência dos argumentos de Einstein. De qualquer forma, nas provas corrigidas no dia 6 de dezembro Hilbert inclui explicitamente no texto original, submetido no dia 20 de novembro, que o tensor métrico foi introduzido inicialmente por Einstein. Em uma outra carta¹⁸ de Einstein a Hilbert, datada de 20 de dezembro de 1915 e portanto anterior à publicação final da comunicação de Hilbert, Einstein escreve de forma mais amável, tentando contornar qualquer ressentimento que aquele pudesse ter em virtude dos termos de sua correspondência anterior, sinalizando que a questão da precedência já estava resolvida entre eles. Na versão final do artigo de Hilbert, a menção à precedência de Einstein é inequívoca: Hilbert escreve que as equações diferenciais da gravitação obtidas por ele estão de acordo com a teoria da relatividade geral estabelecida por Einstein.

A conclusão final de Corry, Renn e Stachel é a de que não haveria controvérsia alguma nesta questão, caso Hilbert tivesse incluído na versão final de sua comunicação a menção de que seu artigo havia sido reexaminado e revisado em qualquer data posterior a 2 de dezembro de 1915, que é a data da versão final publicada do artigo de Einstein.

Uma excelente discussão sobre as repercussões do trabalho de Corry, Renn e Stachel foi publicada recentemente por David Rowe.¹⁹

Conclusões

Até muito recentemente, a falsa controvérsia sobre a autoria da teoria geral da relatividade gerava citações incorretas em biografias de Einstein, textos de divulgação e mesmo em artigos científicos sobre a matéria. Apesar da

¹⁸ EINSTEIN, Albert. *Letter to David Hilbert*, 20 December 1915. Einstein Archives Call n.º. 13-093.

¹⁹ ROWE, David. *Einstein meets Hilbert: at the crossroads of physics and mathematics. Physics in perspective*, vol. 3(4), 379-424, 2001.

evidente contribuição de Hilbert para o estabelecimento das bases formais desta teoria, sabe-se que para ambos os envolvidos nunca ficou em dúvida a seqüência de contribuições de cada um e a contribuição seminal das idéias por Einstein desenvolvidas ao longo de quase dez anos.

Certamente os procedimentos editoriais de nossa época, incluindo preparo do texto, sua submissão a conselhos editoriais, leitura por terceiros, provas e revisões em tempo real por meios eletrônicos, impediriam que uma controvérsia deste tipo tivesse alguma relevância e seguimento. Na mesma medida tais meios eletrônicos provavelmente possibilitariam que o debate entre Einstein e Hilbert fosse ainda mais rico. Entretanto, a fugacidade inerente a esses procedimentos provavelmente tornarão no futuro muito mais difícil traçar em detalhes, como foi feito no trabalho de Corry, Renn e Stachel, os caminhos por vezes tortuosos que teorias e idéias levam até alcançar sua forma final. Fica claro na leitura da fértil correspondência entre Einstein e Hilbert que com ela ambos ganharam maior compreensão e elucidaram questões cruciais. Por fim, o artigo de Corry, Renn e Stachel, publicado na revista *Science* em 1997, demonstra cabalmente que em um trabalho de história da ciência muito dificilmente alguma outra metodologia de pesquisa pode substituir a consulta às fontes primárias. E isto é verdade, por mais que um determinado assunto já tenha sido fartamente discutido e mesmo documentado.

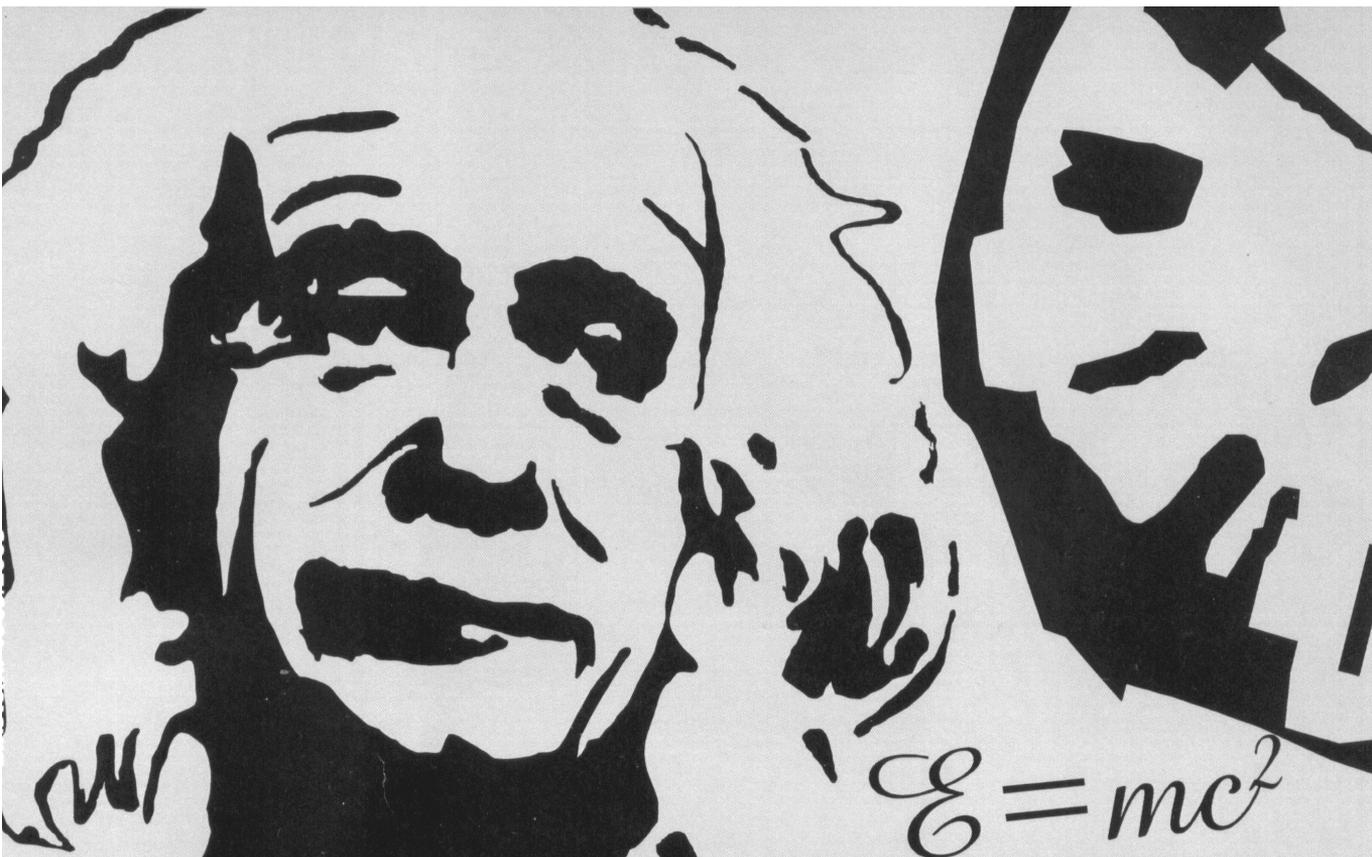
Aguinaldo Medici Severino é graduado e doutor em Física e professor da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

severino@ccne.ufsm.br

Abel Lassalle Casanave é graduado e doutor em Filosofia e professor da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

abel@ccsh.ufsm.br

A(S) RELATIVIDADE(S) DE EINSTEIN



Antonio Luciano Leite Videira

O mundo que nos chega através dos nossos sentidos será dotado de uma realidade própria, imanente, ou, pelo contrário, serão muitas das suas características percebidas por nós estritamente dependentes do particular observador envolvido?

A visão de um Mundo objetivo, a que nos acostumáramos desde Aristóteles a Newton, foi-nos decididamente retirada pela Relatividade de Einstein: se não todas, certamente muitas das medidas através das quais nos apropriamos dos fenômenos percebidos vão depender do estado de movimento relativo entre o sistema observador e o sistema observado.

1905: *annus mirabilis*

Ilustração de abertura
Mathias Townsend

Na Primavera de 1905 – assinados por um perfeito desconhecido e em rápida sucessão – apareceram, nas prestigiadas páginas dos *Annalen der Physik* de Berlim, quatro trabalhos em física teórica abordando temas totalmente distintos. Tratava o primeiro da questão – fundamental na altura, em que ainda se discutia vivamente a própria realidade dos átomos – da determinação das dimensões moleculares. (Nada mau, nada mau mesmo.) Levando em conta o movimento browniano, o segundo analisava precisamente a realidade atômica. (Este, por si só, já dava bem o calibre do autor.) O terceiro, recuperando desassombradamente as idéias corpusculares de Newton sobre a natureza da luz, atribuía-lhe heurísticamente (estendendo de maneira audaz a perturbadora proposta de Max Planck) características duais de onda e partícula, absolutamente revolucionárias. (Viria a ser este trabalho a principal justificação oficial para seu autor ser agraciado em 1922 com o Prêmio Nobel de Física relativo ao ano de 1921.) Por último, um trabalho em que se rejeitava liminarmente o conceito de simultaneidade absoluta da mecânica newtoniana e com isso – ao obrigar à sua reformulação – desvendava toda uma nova e deslumbrante visão de mundo, a Relatividade.

O responsável solitário por esse assombroso quarteto, um tal A. Einstein, apesar de nascido em Ulm no sul da Alemanha, detinha desde a adolescência a cidadania suíça e acabara de completar 26 anos; casado e já com um filho (e encontrando-se completamente à parte da comunidade científica), ganhava a sua vida modestamente como um oficial subalterno do Serviço de Patentes em Berna.

Mundo imanente ou mundo contingente?

O Mundo de que tomamos consciência através das nossas janelas sensoriais pareceu-nos, desde sempre, dotado de uma realidade própria (imanente, inerente, intrínseca), especificada pelas características (qualidades, propriedades) próprias aos objetos que o constituem. Uma estrela, observada aqui da Terra ou de outro ponto qualquer deste nosso Universo (por nós ou por putativos alienígenas) apresentar-se-á (a nós e a eles) com as mesmas e idênticas qualidades que lhe são inerentes, que a definem e singularizam: o seu espectro de radiação, o seu diâmetro, a sua massa e por aí fora. Essa é uma evidência que, para além de óbvia, nos parece irrefutável. Aí baseou Aristóteles a sua *physis*, aí baseou Newton a sua *physiks*, aí baseamos todos nós a certeza de que *as coisas são o que são*, e, portanto, que *o Mundo é o que é*.

¹ Distinguido, digamos, por um cavalinho rampante.

Um carro de corrida vermelho¹, com tais e tais dimensões, apresentará exatamente a mesma cor e terá as mesmas dimensões tanto para o piloto que o conduz como para qualquer espectador nas arquibancadas; assim também os relógios nos pulsos respectivos do piloto e do espectador concordarão com qual venha a ser o tempo transcorrido numa determinada volta. E, no entanto, enquanto que, para o piloto, o som produzido pelo seu carro permanecerá inalterado (desde que a velocidade não se altere), para o espectador, o som percebido varia acentuadamente, consoante o carro esteja a aproximar-se ou a afastar-se dele (devido ao efeito Doppler). Analogamente, enquanto que, aqui da Terra, a luz emitida pelo nosso Sol é vista como “amarela” (digamos, para simplificar), observada da grande galáxia espiral Andrômeda, uma vizinha nossa (a dois milhões e duzentos e cinqüenta mil anos-luz de distância) que se está aproximando de nós (e com a qual a nossa galáxia virá a colidir) parecerá algo mais “azulada”. Tanto as ondas sonoras como as ondas luminosas afiguram-se distintamente para diferentes observadores: as ondas não são o que são, mas são coisas distintas para diferentes observadores. Mas, se se observam diferenças no comportamento das ondas dependendo do (estado de) movimento relativo entre a fonte das ondas e o observador, o que verdadeiramente se passará com as demais entidades naturais?

Acabamos de estabelecer que as características observadas do nosso carro de corrida são as mesmas, seja o observador alguém que se encontre em repouso com ele (o piloto), seja o observador alguém que se encontra em movimento com respeito a ele (o espectador). Será essa concordância, porém, rigorosamente válida, qualquer que seja o valor da velocidade relativa entre o sistema observado e o sistema observador? Sendo a Física a ciência por excelência dos fenômenos naturais, a sua validação tem que se fundar estritamente na observação e na medida. Não se pode almejar uma adequação efetiva entre as considerações congeminadas pela mente humana e o mundo natural sem que às nossas especulações correspondam efetivamente as nossas medidas e observações. Daí que, qualquer que seja o objeto natural em causa (elétron ou fóton, pulsar ou quasar, cachalote ou ocelote, estetoscópio ou periscópio), qualquer pessoa, isto é, qualquer observador terá que submetê-lo a uma série de medidas, que se traduzirão num determinado conjunto de números (referidos a um dado sistema de unidades, por exemplo, o Sistema Internacional, baseado no segundo, no metro e no quilograma), números esses que refletirão

a precisão conseguida com os dispositivos de medida disponíveis. Repetamos, então, a pergunta: “Serão as propriedades de qualquer objeto, de qualquer sistema natural, inteiramente independentes de qualquer relação entre o objeto e o observador que mediu essas propriedades – o que implicará que se possa atribuir uma *qualidade essencial* a cada objeto – ou, pelo contrário, só se poderão estabelecer os atributos de um objeto *relativamente a um dado observador previamente determinado?*” A primeira alternativa assegura-nos a existência de um Mundo tal como ele é, enquanto que a última permite-nos apenas considerar um Mundo contingente.

Esta é, com efeito, a questão central da Teoria da Relatividade e a sua resposta nos levará à análise das idéias-chave envolvidas. Um reparo, porém, antes de mais nada. Disse Teoria da Relatividade quando, de fato, têm-se duas teorias: a Teoria da Relatividade Restrita (TRR), dada à luz na tal primavera de todos os milagres, e a Teoria da Relatividade Geral (TRG), a que Einstein só chegou no outono de 1915. A TRR – apesar de, à primeira vista, poder afigurar-se-nos como abstrusa, bastante distinta da nossa “intuição” e daquilo que nos acostumamos a considerar como “senso comum” – é, quanto a mim, realmente muito simples, tanto no seu conteúdo conceitual quanto na sua estrutura formal (que, pelo menos na sua versão original de 1905 exige pouco mais do que álgebra elementar). Já a TRG é toda uma outra história. Envolvendo uma significativa complexidade, mais no que respeita às exigências formais do que propriamente quanto às suas idéias de base, a sua manipulação (que envolve o tratamento de nada menos do que 10 equações diferenciais não lineares acopladas) é incomparavelmente mais árdua do que no caso da TRR. Por outro lado, enquanto que a TRR se aplica a todos os fenômenos envolvendo velocidades próximas da da luz (abrangendo em particular a física nuclear, a física das partículas elementares e a teoria quântica de campos), a TRG restringe-se essencialmente aos casos envolvendo campos gravitacionais muito intensos, o que faz com que as suas manifestações no nosso sistema solar se evidenciem sob a forma ou de pequenas correções à gravitação newtoniana ou de efeitos pouco evidentes. O que resulta em que, enquanto a TRR é amplamente difundida, a TRG permanece, ainda hoje, nove décadas após a sua formulação, praticamente desconhecida pela grande maioria dos próprios físicos. O que é uma pena, uma enorme pena, pois, para todos aqueles que chegam a conhecê-la, ela constitui indubitavelmente uma das mais profundas, mais deslumbrantes, mais belas produções do espírito humano.

² Percebem-se as sombras do Estagirita, de Kepler, de Galileu, de Darwin, ...

Mas voltemos à nossa pergunta e imaginemos que os dois maiores físicos de sempre, Newton e Einstein, se encontrem sentados lado a lado no canto do Hades reservado aos verdadeiramente grandes da Ciência², comentando uma notícia que lhes chegara e que anunciava que a nave espacial *D. Pedro*, levando a bordo o casal de astronautas João e Maria e lançada oito anos antes da base espacial de Alcântara no Maranhão rumo ao cinturão de Kuiper, acabava de ultrapassar a órbita de Netuno. Para Newton, as informações referentes à *D. Pedro* – um gigante azul com 50 metros de comprimento e 200 toneladas de massa – traduzem dados absolutos, inerentes à nave, independentes da escolha de observador, e, portanto, válidos, para *todos* os observadores, quaisquer que esses dados sejam. Era essa, desde sempre, a maneira de entender e descrever o Mundo, perfeitamente de acordo com a intuição de todos nós, assente nas sensações que recebemos dos fenômenos com que nos deparamos no nosso dia-a-dia. Repetidamente, vemos o mesmo Sol e a mesma Lua percorrerem os seus périplos celestes; e vemos os campos de futebol e os jogadores e a bola sempre com o mesmo aspecto; e vemos os nossos relógios marcarem o tempo de jogo sempre da mesma maneira. E, por isso mesmo, estamos todos convencidos (desde que tomamos consciência daquilo que nos rodeia) de que as coisas têm propriedades intrínsecas, dispõem de qualidades imanentes que as caracterizam e individualizam: as coisas são o que são, independentemente de qual seja o observador. E a física de Newton – vindo ao encontro das expectativas da nossa intuição e da nossa observação corriqueira – é a descrição que justifica com sucesso a estabilidade do nosso sistema planetário, bem como da própria Via-Láctea, assim como também é ela que permite aos computadores delinearem as trajetórias seguidas nas nossas viagens de ida-e-volta à Lua, ou das naves não tripuladas (como o par Cassini-Huygens enviado para investigar Saturno e a sua lua Titã), ou da futura *D. Pedro*.

A razão que Einstein nos traz – embora necessariamente de acordo com a de Newton no domínio em que esta última tem demonstrado a sua inequívoca validade – é fundamentalmente outra. Einstein reage às informações pertinentes à *D. Pedro* (como, a rigor, de qualquer outro sistema natural) estabelecendo na TRR que aquelas propriedades anunciadas de cor, comprimento e massa (como ainda outras) não são características intrínsecas, absolutas, inalteráveis do objeto nave, mas que os seus valores dependem estritamente do par sistema observado – sistema observador,

sendo os valores anunciados (azul, 50 metros, 200 toneladas) válidos unicamente para um único observador, e que é aquele que se encontra em repouso relativamente ao objeto observado; para qualquer outro observador, que esteja em movimento com respeito à nave, as qualidades que a caracterizam divergirão tanto mais daquelas medidas no seu referencial de repouso quanto maior for a velocidade relativa entre o observador e a nave. Necessariamente, a nossa experiência diária demonstra que as diferenças implicadas pela TRR com os valores de repouso – também dito *valores próprios* – só comecem a ser significativas para velocidades relativas não muito inferiores à da propagação da luz no vácuo, e que é de aproximadamente trezentos mil quilômetros por segundo. Ou seja, para Einstein, nem todas as propriedades mensuráveis de um sistema físico lhe são intrínsecas, mas dependem estritamente do estado de movimento relativo entre o sistema observado e o seu observador, e, até que se especifique essa relação, não faz sentido afirmar que essas propriedades lhe são realmente intrínsecas e, portanto, absolutas, as mesmas para qualquer observador, mesmo que esta se desloque rapidamente relativamente ao objeto em causa. O que não significa que toda e qualquer medida que se possa efetuar sobre um dado sistema dependa do estado de movimento relativo entre o sistema de medida e o sistema medido, havendo quantidades que são efetivamente essenciais a um dado sistema físico, como o número de átomos (e, portanto, o seu número de prótons, nêutrons e elétrons), bem como a natureza desses átomos. Uma bola de ferro poderá ser uma esfera azul para um determinado observador ou um elipsóide vermelho para um outro, mas permanecerá para ambos como detendo igual número de átomos de ferro: a Relatividade não faz alquimia.

Imaginemos que dois observadores idênticos (isto é, dotados de dispositivos de medida – réguas, relógios, balanças, espectrógrafos... – idênticos), cada um deles imóvel sobre uma régua, estabelecem que ambas são amarelas e medem um metro de comprimento. Se eles se encontram em repouso relativamente um ao outro, ao medirem o comprimento e a cor da régua do outro verificarão que cada uma delas também mede um metro e apresenta o mesmo tom de amarelo que a sua. Se, por outro lado, eles estiverem em movimento relativo, embora a régua de cada um deles (em repouso relativo) permaneça, para si, inalterável, a outra régua (em movimento relativo) será medida por cada um deles como sendo mais curta do que a sua (comprimento inferior a um metro), como se o movimento a

fizesse contrair, além de sua cor deixar de ser amarela para aproximar-se do vermelho, no caso da distância entre os dois observadores estar a aumentar, ou aproximando-se do azul, quando a distância entre eles diminuir. E mais. Dotados de relógios idênticos, ao compará-los quando em repouso relativo, verificam que um determinado intervalo de tempo para um dos relógios, digamos um segundo, corresponde exatamente ao mesmo intervalo de um segundo para o outro relógio. Porém, mais uma vez, se os seus respectivos relógios se encontrarem em movimento relativo, um segundo medido por cada um dos dois relógios corresponde a um intervalo de tempo maior no relógio em movimento relativamente a si: relativamente ao seu relógio próprio (em repouso), cada um dos observadores medirá o tempo do relógio em movimento em relação ao seu como transcorrendo mais devagar, mais lentamente. Assim: a TRR estabelece que a *maior* distância entre dois pontos sobre uma régua é aquela medida no referencial próprio da régua e que o *menor* intervalo de tempo é o medido no referencial próprio do relógio.

Quando um bastão passa do repouso para o movimento uniforme, nada acontece com ele. Diz-se que ele se contrai, porém o comprimento não é uma propriedade do bastão, mas sim uma relação entre o bastão e o observador. Até que se especifique o observador, o comprimento do bastão é inteiramente indeterminado.

Com estas palavras, o famoso astrofísico britânico Arthur Stanley Eddington (1882-1944) – aliás, o primeiro responsável direto por Einstein se ter tornado, a partir de 1920, uma figura mundialmente reconhecida – quis estabelecer que a contração do comprimento observada em um objeto³ em movimento não se prende a qualquer fenômeno ocorrendo ao nível atômico ou molecular, mas sim – e muito mais simplesmente – que o comprimento (tal como vários outros atributos) de um objeto só pode ser estabelecido uma vez estabelecido o estado de movimento relativo entre o sistema observado e o sistema observador. E pronto, aqui está a essência última da TRR; permita-se-me, pois, que insista neste ponto.

De acordo com a TRR, as medidas de tempo e espaço tomadas separadamente variam de observador para observador; variações essas, porém, que se cancelam mutuamente ao se considerar a geometria quadridimensional do espaço-tempo construído pela união do tri-espaço com o tempo, intervindo a velocidade da luz como “cola” entre o espaço

³ Eddington fala de “bastão” como eu falei de “régua”, objetos ambos nos quais predomina uma dimensão sobre as outras duas, para enfatizar que apenas se contrai a dimensão que se desloca paralelamente ao observador.

⁴ Lembrando que (velocidade) x (tempo) = (espaço) e que, ao multiplicar o tempo pela velocidade da luz, obtém-se uma quarta dimensão espacial, que corresponde ao tempo.

e o tempo⁴, de modo a ter-se uma única entidade espaço-temporal. Note-se que, neste quadro, para a luz, não existem independentemente as entidades espaço e tempo, mas apenas espaço-tempo; daí que, para a luz, não existam intervalos espaciais ou temporais: a luz, ela própria, não percebe nem o espaço nem o tempo.

Uns quarenta anos antes do aparecimento da TRR, James Clerk Maxwell (1831-1879) havia-nos trazido a sua fusão de três classes de fenômenos, vistos, até então, como totalmente independentes, a eletricidade, o magnetismo e a ótica. Ao casar os campos elétrico e magnético no campo eletromagnético, Maxwell impõe que a luz nada mais seja do que radiação eletromagnética. Foi preciso vir Einstein apontar-nos que a fusão eletromagnética de Maxwell traz consigo, automaticamente, a fusão do espaço com o tempo; o que significa que o Eletromagnetismo de Maxwell é automaticamente compatível com a TRR. Mas, então, em que consiste afinal essa TRR?

A Relatividade de 1905

Uma teoria física é uma estrutura abstrata lógico-formal erguida a partir de uma base axiomática convencional, sendo ela tão mais elegante formalmente quanto menor for o número de axiomas (postulados ou princípios) de que o seu arquiteto faça uso. No final do século dezenove, a Física consistia essencialmente da Mecânica de Newton – satisfeita pelas massas – e do Eletromagnetismo de Maxwell – satisfeito pelas cargas. Ora, Galileu estabelecera, na primeira metade do século dezessete, que as leis do movimento de uma massa são as mesmas para todos os observadores que se deslocam uniformemente uns relativamente aos outros, o que (apesar de, até Einstein, ninguém ter-se dado conta disso) obriga a que a Mecânica Newtoniana seja efetivamente uma teoria relativística, satisfazendo o chamado *Princípio da Relatividade Galileana*.

Uma vez admitido um Princípio da Relatividade (PR), necessita-se um outro postulado que estabeleça, que fixe a relação entre as observações realizadas por diferentes observadores inerciais⁵, ou seja, precisa-se de um postulado que sirva de “ponte” entre as medidas realizadas por cada observador inercial (OI) no seu referencial próprio. O fato de a Mecânica Newtoniana satisfazer o PR Galileana implica que a ela esteja associada uma ponte no espaço-tempo de Newton, expressa pelas chamadas *transformações de Galileu*, relacionando as medidas de diferentes OI em

⁵ Isto é, observadores não acelerados.

movimento relativo nesse palco. Pode-se, então, afirmar que a física de Newton é a estrutura formal, logicamente consistente, desenvolvida a partir do PR Galileana e das transformações de Galileu, tomados ambos como a sua base axiomática.

Por seu lado, contudo, a teoria eletromagnética de Maxwell não satisfaz manifestamente o PR de Galileu, o que levava a que a situação em finais do século dezanove fosse a seguinte. A dinâmica das massas (newtoniana) satisfazia a relatividade galileana⁶, enquanto que a dinâmica das cargas (maxwelliana) não o fazia. Admitamos agora que se quisesse impor um certo tipo de simetria entre os conceitos de massa e carga, propondo que ambas as respectivas dinâmicas (e, portanto, *toda* a física da época) seguissem um princípio relativístico, tal que todas as observações de fenômenos implicando seja a massa, seja a carga não diferenciassem entre diferentes OI. Só que a imposição dessa simetria entre massa e carga levaria inapelavelmente à alteração da, à época, ainda recente, pouco testada e pouca compreendida construção maxwelliana, a fim de que se pudesse preservar em todo o seu augusto esplendor, velho de dois séculos, o estudadíssimo e testadíssimo edifício newtoniano, ou, contrariamente, à manutenção da novel estrutura de Maxwell e à conseqüente (quase que iconoclasta) alteração da estrutura de Newton. (Uma terceira possibilidade seria ainda a de mandar Newton e Maxwell simultaneamente às urtigas, o que, apesar de logicamente válido, seria o mais difícil de implementar.)

Tal como uma moeda tem, necessariamente, que ser composta pelos dois elementos indissociáveis de “cara” e “coroa”, não admitindo qualquer delas uma existência autônoma, qualquer representação formal do mundo fenomenológico que se idealize, qualquer “peça”, assim qualquer teoria física que se confabule tem, imprescindivelmente, que consistir da fusão da entidade espaço-tempo – a geometria ou “palco” espaço-temporal – onde ocorrem os acontecimentos transcritos na “peça” com a entidade composta pelos intervenientes nesses acontecimentos, os agentes ou “atores” que compõem essa peça (os tais elétron ou próton, pulsar ou quasar...), que compõem essa representação do mundo natural.

Assim, a representação formal que chamamos física newtoniana exige um certo tipo de espaço-tempo (aquele que os nossos sentidos percebem à nossa volta), compatível com uma certa dinâmica (a de Newton). Essa geometria, esse palco – que consiste do produto de quatro retas

⁶ Embora não seja demais repetir que ninguém percebesse a física de Newton como relativística.

infinitas, mutuamente ortogonais, uma para o tempo, três para o espaço – admite a possibilidade de sistemas físicos poderem se deslocar a velocidades arbitrariamente elevadas (e, portanto, infinitas), sendo, pois, compatível com o conceito de simultaneidade absoluta.⁷ Observe-se que nada há de logicamente inconsistente com esta representação newtoniana – que, aliás, dominou indisputadamente até Einstein⁸: o espaço-tempo newtoniano, bem como a dinâmica que lhe está associada, são perfeitamente consistentes do ponto de vista lógico-formal, o que, apesar de não obrigar a Natureza a concordar com esse quadro, ela o faz suficientemente de perto, de modo a não desmerecer as nossas exigências sobre ele. Exceções raríssimas (e que não foram tomadas como verdadeiras ameaças) eram quase que unicamente o pequeno desvio da órbita de Mercúrio, conhecido desde 1859, e o resultado nulo do interferômetro de Michelson e Morley de 1881.

Na TRR, Einstein resolve propor que *toda* a física – tanto a dinâmica associada à massa, como a dinâmica associada à carga – deve ser a mesma para todos os OI, que as leis naturais (e, claro está, os fenômenos a elas relacionados) são as mesmas para todos os OI. É este o seu Princípio da Relatividade: “As leis da Natureza são independentes do movimento translacional uniforme de um sistema físico como um todo”; ou mais concisamente: “As leis da Natureza são as mesmas para todos os OI.”

Como vimos, a admissão de um PR exige que pelo menos uma das duas dinâmicas em vigor – ou a mecânica de Newton ou o eletromagnetismo de Maxwell – tenha que sofrer alterações. O mais “razoável” seria admitir sem reservas a mecânica de Newton, compatível com o PR de Galileu e com as transformações de Galileu entre diferentes OI, e modificar o eletromagnetismo de Maxwell, de modo a torná-lo – também ele – compatível com esse mesmo PR e com essas mesmas transformações. Privilegiar Newton sobre Maxwell; privilegiar uma dinâmica com tantas provas dadas contra uma outra, muitíssimo mais recente (expressa, ademais, numa linguagem matemática à época bastante pouco familiar de equações diferenciais parciais), e com uma base empírica incomparavelmente mais estreita. Tivesse sido essa a opção da nova teoria relativística e o seu segundo postulado, relacionando as diferentes medidas próprias conduzidas por OI em movimento relativo, teria que ser logicamente equivalente a postular que as transformações entre diferentes OI mantivessem inalteradas tanto as equações de Newton como as equações do novo eletromagnetismo

⁷ As propriedades intrínsecas do espaço-tempo newtoniano são os intervalos temporais entre dois acontecimentos (ou eventos) quaisquer – o tempo é absoluto – e os intervalos espaciais (no caso de eventos simultâneos) – o espaço é absoluto.

⁸ É verdade que, numa conferência em 1904, Henri Poincaré prenunciara a necessidade de mudanças no sentido daquelas que vieram a ser implementadas meses depois por Einstein na sua TRR.

(não-maxwelliano). E como as transformações que deixam invariantes as equações de Newton são as transformações de Galileu, também as equações da nova teoria eletromagnética diferente da de Maxwell teriam que ser invariantes com respeito a essas mesmas transformações. Não foi esse o caminho seguido por Albert Einstein, que escolheu precisamente a opção contrária: privilegiar Maxwell sobre Newton.

A estrutura geométrica do espaço-tempo newtoniano (aquele que se ajusta às observações nas nossas vizinhanças) decorre fundamentalmente da aceitação pela física pré-einsteiniana da existência na Natureza de velocidades arbitrariamente elevadas, admissão essa que levou ao Princípio da Simultaneidade Absoluta. Mas, e se não se aceitar que a Natureza admita que sistemas físicos se propaguem a uma velocidade infinita? (Saberá a Natureza, efetivamente, o que seja o infinito?) Está-se, aqui, perante uma questão de gosto: ou se aceitam valores arbitrariamente elevados para a velocidade de propagação de um sistema natural, ou se admite que a Natureza imponha um valor máximo finito para a velocidade de propagação de um sinal físico qualquer, isto é, um limite finito para a velocidade de propagação da informação. Foi algo logicamente equivalente a isso que Einstein propôs como a segunda coluna mestre da TRR, atribuindo à luz⁹ a propriedade de se propagar no vácuo mais rapidamente do que qualquer outro sistema natural. E, uma vez que se postula a existência de uma velocidade máxima para a propagação de um sinal físico (qualquer que ele seja), esse valor limite terá que ser universal, terá que ter exatamente o mesmo valor constante para todos os OI, o que concorda automaticamente com o PR, que estabelece que não podem existir observadores preferenciais. Como, por um lado, sistemas com massa podem ser acelerados (podem alterar a sua velocidade), e como, por outro, as ondas eletromagnéticas, que não possuem massa, se propagam (no vácuo) com velocidade constante, é natural supor, postular que sejam os objetos de massa nula (e, portanto, também de carga nula), a saber: a radiação eletromagnética¹⁰ – o agente físico a deslocar-se à velocidade máxima, e, conseqüentemente, constante (velocidade “um”, digamos), permitida na Natureza: “A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os OI”, que é justamente o chamado Postulado da Constância da Velocidade da Luz (PCVL). Como o arquiteto da nova estrutura relativística era realmente *muito* bom, bastaram-lhe dois únicos pilares – o PR e o PCVL – para sustentar todo o magnífico edifício da TRR.

⁹ A rigor, a qualquer sistema de massa nula.

¹⁰ E, eventualmente, a radiação gravitacional, prevista pela Teoria da Relatividade Geral, mas não detectada até hoje.

A admissão do PCVL obriga ao abandono da moldura espaço-temporal newtoniana e à utilização de uma nova geometria – o chamado espaço-tempo de Minkowski¹¹ – o palco para a peça da TRR.

¹¹ Desenvolvido em 1908 por Hermann Minkowski, antigo professor de Einstein em Zurique e que havia se manifestado no sentido de que este jamais chegaria a ser alguém na vida.

A TRR é, pois, a estrutura logicamente consistente, erguida no espaço-tempo de Minkowski sobre a base axiomática do PR e do PCVL, assegurando o primeiro que a Natureza se apresenta invariavelmente com o mesmo “aspecto” a todos os OI e estabelecendo o segundo como efetuar a passagem, como lançar a ponte no palco de Minkowski – as chamadas transformações de Lorentz, que vêm substituir as transformações de Galileu – entre diferentes OI. De modo equivalente, pode-se dizer que a TRR é a estrutura desenvolvida a partir do PR e das transformações de Lorentz.¹²

¹² Que relacionam medidas de tempo, espaço, velocidade, momento, energia, campo elétrico, campo magnético e por aí fora, efetuadas por um determinado OI com as medidas correspondentes efetuadas por um outro OI, estando esses observadores em movimento relativo uniforme.

Dado que incontáveis observações asseguram que a física de Newton descreve exemplarmente incontáveis fenômenos naturais, sempre que eles não envolvem velocidades significativamente próximas da da luz, a física da Relatividade Restrita terá, no regime de baixas velocidades, a que reproduzir a representação newtoniana.

A necessidade de uma teoria relativística para a gravitação

Enquanto que o Eletromagnetismo de Maxwell é automaticamente condizente com a TRR, a gravitação newtoniana não o é, bastando lembrar que, nesta última, duas massas separadas por uma distância arbitrariamente grande interagem instantaneamente (a força gravitacional newtoniana não envolve o tempo), o que, sendo compatível com a existência de uma velocidade de propagação dos efeitos físicos infinita (e, portanto, com a noção de simultaneidade absoluta), não é consentâneo com a exigência da TRR de um limite superior finito para a velocidade (e da correspondente relatividade da simultaneidade). Tem-se, pois, que procurar desenvolver uma nova teoria da gravitação que seja conforme com os ditames da relatividade; da relatividade, sim, mas qual?

Einstein logo se convenceu de que não seria possível idealizar uma descrição da gravitação no quadro conceitual da TRR. A equivalência entre massa inercial e energia¹³, ditada pela TRR, juntamente com a igualdade empírica entre massa inercial e massa gravitacional, implica que tudo na Natureza tenha peso, e, portanto, que todas as formas de energia estejam sujeitas à atração gravitacional, de onde

¹³ Expressa pela equação mais famosa entre todas, $E=mc^2$, onde m é a massa inercial.

resulta que, na presença de matéria e radiação, a noção de movimento inercial da TRR só faça sentido localmente no espaço e no tempo; o que equivale a dizer que, ao se basear num PR restrito a OI, a TRR não admite a possibilidade de movimento acelerado.

O princípio de equivalência

Ainda na fase de testes e ensaios da missão que a levaria até aos confins do nosso sistema solar, a *D. Pedro* encontra-se imóvel na sua base de Alcântara, com a astronauta Maria a bordo, enquanto que, numa pequena nave de apoio, João havia sido enviado para uma breve viagem de duas semanas¹⁴. Em ambas as naves, existe uma esfera de aço ligada a um eletroímã e situada 9,8 metros acima dos respectivos pisos, de modo que, aqui na Terra, ao se desligar a corrente, as duas esferas atinjam, cada uma, a base da sua nave após um segundo, o que nos diz que a aceleração da força gravitacional terrestre é de 9,8 metros por segundo por segundo (1g). Ao repetir essa experiência longe da Terra, e encontrando-se a sua nave em movimento uniformemente acelerado com 1g, João verifica que a sua esfera de aço leva exatamente o mesmo tempo de um segundo para percorrer 9,8 metros até embater no piso, o que o leva a concluir que a esfera se deslocou em direção ao piso com aceleração de 1g. De fato, a centenas de milhar de quilômetros da Terra (e de qualquer outro corpo astronômico), o que caracteriza o “piso” e o “teto” da nave é a direção do seu movimento acelerado: ao observar a esfera deslocar-se de uma posição inicial – o “teto” – para uma posição final – o “piso” –, o astronauta sabe que a nave está se deslocando no sentido oposto com o mesmo valor numérico da aceleração com que ele viu a esfera “cair” no interior da nave. A aceleração da nave de João foi escolhida justamente para que fosse igual numericamente à aceleração gravitacional da Terra, de modo que ele, na nave, tal como se se encontrasse parado em Alcântara, possa ficar “em pé”, com os pés apoiados no piso e que qualquer objeto que não esteja fixo na nave “caia” (“para baixo”) em direção a esse piso. Assim, ao ficar livre da força eletromagnética que a mantinha fixa, a esfera de aço na nave de João no espaço interplanetário passa a não estar sujeita a qualquer força, o que a leva a permanecer exatamente no mesmo sítio – relativamente ao Sol, digamos – onde se encontrava quando presa ao eletroímã; a nave, porém, continuando a acelerar-se com 1g, devido aos seus motores, deixará a esfera ficar

¹⁴ A fim de aterrar no asteroide Éris, quando este se encontrasse no seu ponto de aproximação máxima da Terra, a 840 mil quilômetros de distância.

para trás, fazendo com que um observador solidário com a nave (isto é, deslocando-se também com aceleração $1g$) perceba a esfera deslocar-se no sentido do piso com $1g$. Ou seja, tanto em repouso em Alcântara (em presença do campo gravitacional terrestre), como em movimento acelerado no espaço interplanetário (longe de qualquer efeito gravitacional mensurável sobre a esfera), e desde que a aceleração gravitacional da Terra e a aceleração da nave coincidam, os movimentos das esferas na Terra e na nave são indistinguíveis.

Apesar de João e Maria observarem as suas respectivas esferas deslocarem-se exatamente da mesma maneira, as suas leituras do movimento de cada uma delas são marcadamente distintas. Enquanto Maria é compelida a uma descrição newtoniana *dinâmica*, em termos da força gravitacional exercida pela Terra sobre a sua esfera, João, por seu lado – estando ele, a sua nave e a sua esfera – longe de qualquer possível efeito gravitacional, é induzido a uma descrição *cinemática*, livre da intervenção de qualquer força. Haverá, então, algum meio, algum processo físico capaz de permitir que as situações das duas esferas possam ser distinguidas, estabelecendo-se que uma delas se encontra efetivamente sob a ação de uma força gravitacional, enquanto que a outra está completamente livre?

A resposta é decididamente negativa. Mais uma vez, como no caso do movimento com velocidade uniforme, não há qualquer possibilidade de distinguir empiricamente as medidas de João das de Maria: como observadores são inteiramente equivalentes. Conclusão esta que conduz ao chamado *Princípio de Equivalência* (PE): “Há uma plena equivalência entre uma força gravitacional (uniforme) e um movimento (uniformemente) acelerado.”

Este PE, que veio permitir a formulação da gravitação não em termos de uma força, como o fizera Newton, mas em termos meramente cinemáticos, foi idealizado por Einstein em 1907, enquanto ainda funcionário da seção de patentes em Berna. Confidenciou ele, muito mais tarde, que a idéia – por ele considerada como “a mais feliz” que tivera em toda a sua vida – lhe ocorreu no local de trabalho, enquanto ele, quase como que num transe, especulava sobre o que sentiria alguém dentro de um elevador em queda livre.¹⁵

Gravitação como curvatura

No espaço-tempo de Newton atua uma misteriosa força da gravidade; para Newton, há o palco do espaço-tempo

¹⁵ Não havendo ainda naves espaciais em 1907, mas já dispondo de elevadores, foi a imagem de um deles caindo livremente com alguém no seu interior que acudiu a Einstein.

e há o ator gravitação. Já a explicação da gravitação desenvolvida por Einstein na TRG prescinde de qualquer força externa ao espaço-tempo; para Einstein há apenas a arena espaço-temporal. Necessariamente, o palco não poderá ser tão simples quanto o utilizado por Newton na sua física (e, portanto, por nós, no nosso dia-a-dia), tendo que ser estruturalmente mais complexo do que aquele, e sendo precisamente essa estrutura da geometria espaço-temporal que irá representar a gravitação no quadro da TRG.

Como é sabido, ainda há gente que acredita que o nosso planeta seja plano. Pois bem, imaginemos dois desses sábios situados sobre o equador terrestre, distanciados de dez quilômetros e que, munidos cada um deles com a sua bússola, decidam deslocar-se paralelamente um ao outro em direção ao norte. Após terem percorrido duzentos quilômetros, param e medem conscienciosamente a distância entre ambos, obtendo o valor de 9.995 metros, o que os surpreende. Retomando caminho, medem repetidamente as distâncias entre eles e verificam que, apesar de terem decidido seguir ao longo de trajetórias escrupulosamente paralelas, eles vão, paulatinamente, se aproximando um do outro. “Ah!” – dizem eles – “Temos aqui a manifestação inequívoca de uma força atrativa, que nos está aproximando mutuamente. Cumpre que investiguemos as características desta força atrativa atuando sobre nós.” Após uma série de medidas e de considerações, os dois sábios (sem o suspeitar) refazem toda a descrição newtoniana da gravitação, acabando por concluir que o fato de eles irem se acelerando um relativamente ao outro, terminando por chocar-se um com o outro, deve-se a uma força gravitacional atrativa entre ambos, proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa em cada instante.

Mas, e quanto a nós? Nós que sabemos que a Terra não é plana, mas esférica, o que é que nós dizemos de toda aquela azáfama e de todas aquelas conclusões? Nós, é claro, simplesmente confirmamos que, devido à esfericidade da Terra, todos os grandes círculos de longitude, depois de se cruzarem nos pólos, vão-se afastando uns dos outros até atingir a sua máxima separação relativa no equador. Para nós, a aproximação mútua dos dois sábios não se deve a qualquer força gravitacional atuando à distância e instantaneamente sobre eles, mas prende-se tão simplesmente à curvatura do nosso planeta e ao fato de eles se deslocarem ao longo de dois grandes círculos, sempre totalmente livres da ação de qualquer tipo de força.¹⁶

¹⁶ Não confundamos a força atrativa entre eles com a força que os atrai a ambos para o centro da Terra.

A primeira representação da gravitação, desenvolvida na segunda metade do século XVII, usa uma geometria espaço-temporal tão simples quanto possível (quatro retas cruzando-se perpendicularmente), na qual atua uma força; é essa a idealização de Newton. A segunda é a de Einstein na TRG e lança mão de um espaço-tempo mais complicado (dotado de curvatura), prescindindo, porém, da intervenção de qualquer força para reproduzir o fenômeno gravitacional; a curvatura do espaço-tempo é tudo o que é preciso para dar conta da aproximação cada vez mais rápida dos dois viajantes. Enquanto que, para Newton, os seus movimentos – que, para eles, ocorrem numa geometria plana – são ditados por uma força gravitacional atuando misteriosamente à *distância*, para Einstein, cada um deles é guiado ao longo do seu percurso pela geometria *local* onde ele se encontra em cada instante (com o tempo e o espaço intimamente interligados numa entidade única). E isso vale tanto para um viajante sobre a Terra como para a Lua ao seu redor; vale para a nossa nave, esteja ela em órbita planetária ou longe de qualquer corpo celeste; vale para quaisquer planetas girando à volta dos seus sóis; vale para esses mesmo sóis nos seus périplos galácticos; vale para as galáxias; vale para a própria luz. Todos terão que seguir ponto a ponto, inexoravelmente, os trilhos do espaço-tempo.

Esta é uma das faces do deslumbrante painel da TRG, no qual a gravitação é representada como o efeito da geometria espaço-temporal sobre o movimento dos sistemas físicos – a matéria e a radiação – nesse palco quadridimensional:

O espaço-tempo atua sobre a matéria e a radiação, ditando-lhe como elas se devem deslocar.

Para vermos a outra face da TRG, pensemos num caracol a arrastar-se sobre uma abóbora e na haste da abóbora que provoca uma deformação na forma da superfície da cucurbitácea: a TRG determina que a presença da matéria – a haste – encurva o espaço-tempo nas suas proximidades:

A matéria e a radiação atuam sobre o espaço-tempo, ditando-lhes como ele deve se encurvar.

Concluindo: a matéria aqui (haste) encurva o espaço-tempo aqui (cova na superfície da abóbora), e uma curvatura aqui implica em curvatura além (o efeito estende-se no espaço-tempo); assim, a matéria aqui (haste) influencia a matéria além (caracol). Esta é a explicação de Einstein para a gravitação, que, embora formalmente muitíssimo mais exigente do que a elaboração newtoniana, é muitíssimo mais apelativa conceitualmente.

¹⁷ Por nós possuímos 3 dimensões espaciais, não conseguimos visualizar superfícies tridimensionais, daí o recurso de se reduzir a 2 a dimensionalidade espacial do Mundo.

Uma maneira conveniente (e, por isso mesmo, comumente utilizada) é visualizar uma membrana elástica plana¹⁷, que se deformará pela presença de um objeto de massa M . O encurvamento da superfície é máximo na região imediatamente vizinha a M , diminuindo gradualmente com a distância, até que, para pontos suficientemente afastados, a deformação causada por M passa a ser desprezível e a superfície torna-se plana. Uma pequena massa m – pequena querendo dizer aqui que a sua presença sobre a membrana não altera a sua forma (qualquer que ela seja), dentro da sensibilidade de registro observacional de que se disponha – a uma certa distância de M irá se acelerando na direção desta última. Para Einstein, o fenômeno gravitacional é a manifestação do local do espaço-tempo onde e quando m se encontrar: m vai “sentindo”, em cada instante, a geometria tridimensional. (Tal como o caracol vai sentindo em cada instante a forma da superfície da abóbora.)

A equação de Einstein

A TRG consiste, portanto, de duas faces ou metades justapostas, nenhuma delas podendo existir sem a outra.

Tal como a mecânica de Newton consiste da união do espaço-tempo newtoniano com as transformações lineares de Galileu, e a física da Relatividade Restrita compõem-se da junção do espaço-tempo de Minkowski com as transformações lineares de Lorentz, assim a física gravitacional einsteiniana apresenta-se como a ligação de um espaço-tempo riemanniano com as transformações lineares gerais. A TRG distingue-se, contudo, das demais por ser exemplo único de uma teoria física em que a sua arquitetura apresenta a face geométrica (o plano do espaço-tempo) e a face entidades dinâmicas (os atores matéria e radiação) explicitamente entrelaçados na sua equação fundamental do campo gravitacional – a chamada Equação de Einstein, por ele finalmente apresentada à *Preussische Akademie der Wissenschaften* em Berlim, em 25 de novembro de 1915 –, e cujo conteúdo traduz *grosso modo* que:

$$\{\text{Curvatura do espaço-tempo } 3+1 \text{ dimensional}\} = \{\text{Densidade de Matéria e Radiação}\}^{18}$$

As conseqüências empíricas da TRG

Embora a TRG constitua indubitavelmente uma das mais belas criações do espírito humano, isso não obriga a que o quadro nela representado encontre correspondência na Natureza. Só a comparação entre as previsões da teoria

¹⁸ A rigor não é exatamente isto que ela representa, já que o lado esquerdo não corresponde a toda a curvatura do espaço-tempo em causa (que é manifestada pelo tensor de Riemann), mas a uma quantidade (o tensor de Ricci) que descreve como é que se efetua o chamado movimento paralelo ao longo desse espaço-tempo.

e as nossas medidas dos fenômenos correlatos poderá decidir se ela é ou não conforme com o mundo natural. Ora, as observações astronômicas e as experiências desenvolvidas ao longo de quase um século têm invariavelmente validado a descrição de um espaço-tempo encurvado pela presença de matéria e radiação com um grau de precisão confirmadamente crescente, a par do aumento da sofisticação tecnológica disponibilizada.

No nosso sistema planetário, a massa do Sol é largamente dominante¹⁹, portanto sendo ele fundamentalmente o responsável pela gravitação nas suas redondezas. Como a nossa estrela é relativamente pouco massiva, os desacordos entre as previsões newtonianas e as da TRG são correspondentemente pequenas; onde se tem que lançar mão do instrumental completo da TRG é em sistemas extremos, tal como estrelas de nêutrons ou buracos negros (a existência destes últimos, por si mesma, uma necessidade imposta pela teoria).

As órbitas planetárias – desde que calculadas no contexto newtoniano, em termos da interação de apenas dois corpos, o planeta em questão e o Sol – correspondem a elipses, ou seja, a trajetórias fechadas, cada planeta repetindo vezes sem conta, ao longo de bilhões de anos, o seu périplo em torno da estrela mãe. Ora, desde 1859 que os astrônomos sabiam que a órbita de Mercúrio gira – diz-se que ela “precessiona” – lentamente, não descrevendo, assim, uma elipse fechada, mas uma rosácea aberta, com as medidas de precessão do perihélio²⁰ de Mercúrio acusando 5.600 segundos de arco por século.

Tratava-se, então, de salvar a teoria newtoniana, mesmo porque, além de ser a única formalização da gravitação existente até ao aparecimento da TRG, a menos deste comportamento da órbita de Mercúrio, tão impecavelmente havia reproduzido todos os fenômenos para os quais fora sendo invocada desde o seu primeiro aparecimento nos *Principia* em 1687. Tendo-se incluído nos cálculos da órbita de Mercúrio, além do Sol, todas as correções devidas aos efeitos dos demais planetas, isso permitiu dar conta da quase totalidade do deslocamento do perihélio, 5.557 segundos de arco por século; e, todavia, por pequena que fosse, essa discrepância, essa famosa discrepância de 43 segundos de arco por século, não podia ser ignorada. Daí que – ciente dessa situação – Einstein, mesmo antes de conseguir a sua equação de campo definitiva (que, de fato, não é necessária, na sua completa generalidade, para a determinação da precessão), houvesse, já em 1914, calculado o movimento de Mercúrio e conseguido obter justamente o resíduo de 43 segundos.²¹

¹⁹ A massa de Júpiter não chega a ser um milésimo da massa solar.

²⁰ Perihélio sendo o ponto da elipse mais próximo do foco onde se encontra o Sol. Sendo máxima para Mercúrio, a precessão ainda é detectável para Vênus, a Terra e Marte.

²¹ Confessou Einstein que, no seguimento desse acordo entre essa previsão do quadro teórico que ele tão longa e empenhadamente se esforçava por desenvolver e a observação astronômica, ele passou dois ou três dias num autêntico estado de euforia. E não era para menos!

No caso do avanço do perihélio de Mercúrio, o sucesso alcançado pela descrição einsteiniana refere-se a um fenômeno previamente identificado pela ciência, o que não lhe permitia ainda auferir de um estatuto de supremacia face ao augusto legado newtoniano. Aquilo que veio verdadeiramente impressionar, pode-se mesmo dizer que veio realmente deslumbrar, não apenas a comunidade científica, mas a generalidade do mundo letrado logo a seguir à Primeira Grande Guerra, foi a previsão da teoria de algo que, além de ser inteiramente insuspeitado, vinha ainda implicar características radicalmente inovadoras para o tempo e para o espaço, muito distanciadas daquelas universalmente admitidas até então, o encurvamento do espaço-tempo.

Além de aparentemente surpreendente, a deflexão da trajetória luminosa causada por uma massa como a do Sol, é inevitável no contexto da TRG, uma vez que esta teoria estabelece que, na ausência de forças externas, tanto a matéria como a radiação se deslocam o mais eficientemente possível, o que quer dizer ao longo dos percursos mais curtos – as geodésicas – do seu espaço-tempo. Como a geometria espaço-temporal é determinada pelos seus ocupantes matéria e radiação, as geodésicas dependerão do conteúdo de cada domínio espaço-temporal e a luz terá que seguir os trilhos geodésicos que vier a encontrar, e que não poderão ser as retas de uma geometria plana, sem curvatura²².

Bastante mais espetacular que o encurvamento provocado pelo Sol é o devido a galáxias. A luz que nos chega das profundezas do nosso Universo, proveniente de galáxias e quasares velhos de bilhões de anos, encontra no seu caminho, por vezes, uma galáxia, mais próxima de nós, cuja massa fará com que essa luz se encurve sob a forma de um arco (os chamados anéis de Einstein). Tal é a nossa confiança na TRG que utiliza a medida desse encurvamento a fim de estimar a massa da galáxia interveniente.

O que falta fazer

Várias outras previsões da teoria da gravitação de Einstein têm sido, com o passar do tempo, submetidas a testes cada vez mais exigentes, sendo os resultados invariavelmente consistentes com a teoria. Quase um século após a sua formulação, a TRG continua inteiramente válida nas escalas macroscópicas do tempo e do espaço, onde não se espera que seja necessária a intervenção da física quântica. O que não significa que a representação por ela proposta para a gravitação continue válida ao nível quântico. Todavia,

²² A TRG prevê uma deflexão de 1,75 segundos de arco para a luz tangencial à superfície solar e a melhor observação fornece $1,760 \pm 0,016$ segundos de arco, ou seja, concordância plena.

ao contrário do caso dos fenômenos eletromagnéticos e nucleares, que já dispõem de uma descrição relativística quântica, o fenômeno gravitacional, o primeiro a ser incorporado à física, é também o último a resistir tenazmente, até hoje, a todos os esforços (e têm sido muitos) desenvolvidos no sentido de se elaborar uma teoria relativística da gravitação.

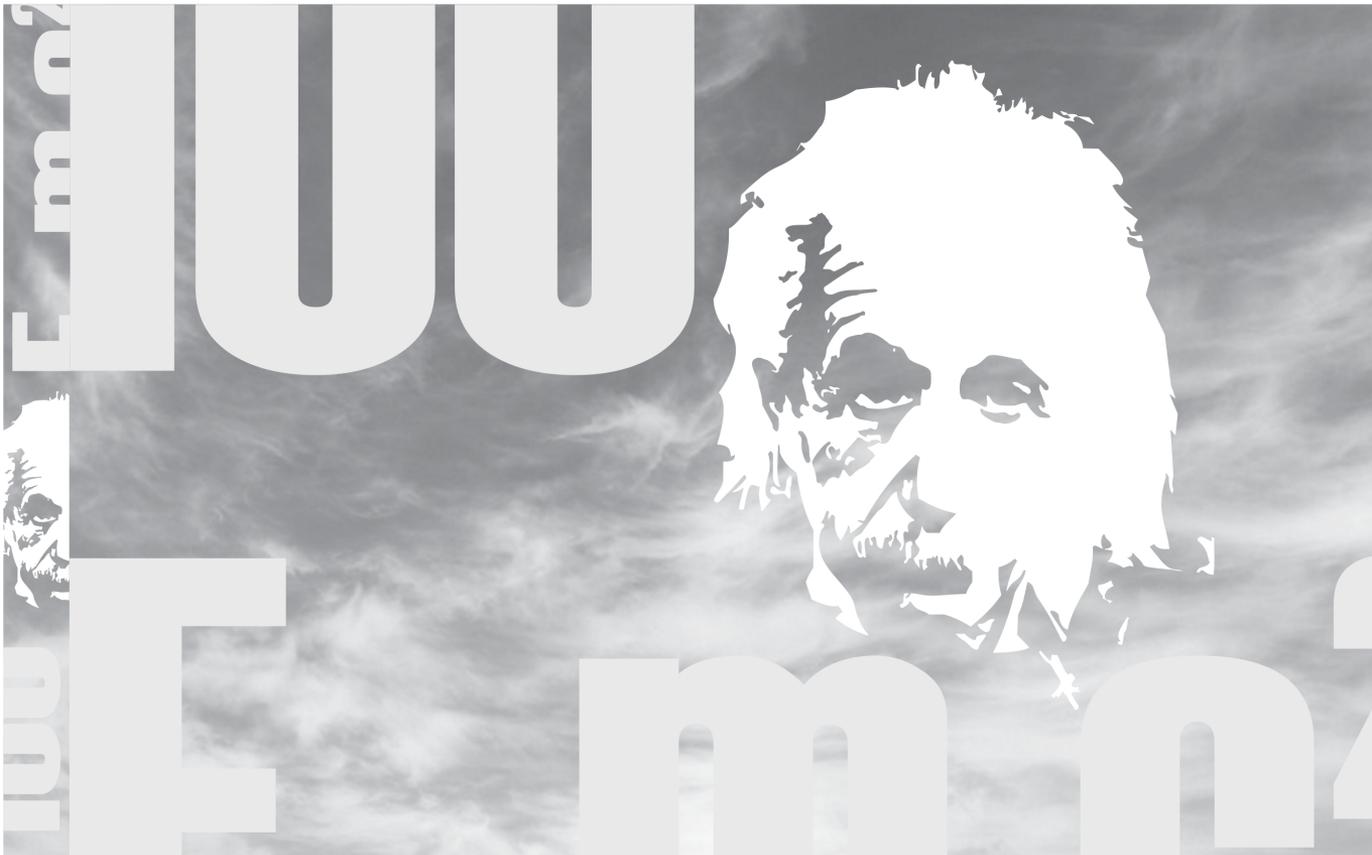
Na realidade, tem-se uma incompatibilidade entre a TRG e a teoria quântica responsável pelas outras três interações fundamentais (eletromagnética, nuclear fraca e nuclear forte). Enquanto a TRG alterou o conceito de espaço-tempo, mantendo inalterada a relação entre observador e observado, a teoria quântica, por seu turno, alterou as hipóteses sobre a relação entre observado e observador, mantendo a concepção newtoniana sobre o espaço-tempo. O que quer dizer que, tanto a TRG como a teoria quântica contêm hipóteses que cada uma delas contraria, o que obriga a que se tenha que ultrapassar este estágio da Física, procurando desenvolver uma única teoria – a Teoria Quântica da Gravitação – que inclua, que unifique os aspectos relacionais da geometria trazidos pela TRG e os aspectos relacionais entre o observador e observado exigidos pela teoria quântica. Este é um assunto fascinante (embora extremamente difícil), que, apesar de ter conseguido significativos progressos, sobretudo nas últimas duas décadas, permanece em aberto, não se sabendo ainda quando se poderá dispor de uma teoria que, finalmente, venha juntar a gravitação às outras três interações. E não podemos esquecer que toda a cosmologia depende disso. Há ainda muito caminho a percorrer, mas enquanto a nossa espécie perdurar, ela continuará, na sua ânsia essencial de saber, a perseguir o exemplo daqueles entre nós que dedicam o melhor das suas vidas a procurar desvendar sempre um pouco mais este maravilhoso Mundo que nos coube.

Os anos de busca no escuro por uma verdade que se presente mas que não se pode expressar, o intenso desejo e a alternância de confiança e de dúvida até se romper caminho para a claridade e a compreensão, são coisas conhecidas apenas por aqueles que as experimentam.

Assim disse tão bem aquele que nos inspirou e conduziu ao longo destas páginas. Albert Einstein.

Antonio Luciano Leite Videira é graduado e doutor em Física e professor do Departamento de Física da Universidade de Évora, Portugal.
lvideira@uevora.pt

EINSTEIN E A MECÂNICA QUÂNTICA



Luiz Davidovich

Albert Einstein foi um dos pais da mecânica quântica e, ao mesmo tempo, seu grande crítico. No período de 1905 a 1925, ele funda três áreas da física quântica, com repercussões até os dias atuais: a teoria quântica da luz, a teoria quântica dos sólidos e a teoria dos gases bosônicos, incluindo a condensação de Bose-Einstein. Após esse período, no entanto, Einstein reage fortemente contra o caráter probabilístico da nova teoria, que considera incompleta. E ao analisar implicações da nova física, aponta aspectos extremamente sutis do mundo quântico, que só seriam melhor entendidos muitos anos depois.

A mais revolucionária das hipóteses de Einstein: os quanta de luz

Ilustração de abertura
Renan Nunes Paz

¹ EINSTEIN, A. *Annalen der Physik* (Leipzig), 17, 132, 1905; sobre ser a hipótese dos quanta considerada “muito revolucionária” por Einstein, mais que sua teoria da relatividade, ver PAIS, Abraham. *Subtle is the Lord. The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 1982. p. 30. Esse excelente livro deve ser consultado para um tratamento detalhado das contribuições de Albert Einstein.

Em artigo submetido para publicação em 17 de março de 1905, e publicado em 9 de junho do mesmo ano, com o título “Sobre um ponto de vista heurístico concernindo a geração e a conversão da luz”, Einstein propõe o que considerou a mais revolucionária de suas hipóteses¹: a de que a luz comporta-se como se fosse constituída de unidades elementares de energia proporcional à sua frequência. A formulação dessa hipótese, envolvendo a expressão “como se”, traduz a resistência de Einstein em aceitar que a luz pudesse ser de fato constituída de corpúsculos. A resistência tinha sólidas razões: a teoria de Maxwell do campo eletromagnético apoiava-se em firme base experimental, que incluía a demonstração pelo cientista britânico Thomas Young, em 1800, do caráter ondulatório da luz: um feixe de luz, passando por um anteparo contendo duas fendas, produz em outro anteparo uma figura de interferência, análoga à obtida quando dois estiletos oscilam sincronicamente em um tanque de água (figura 1).

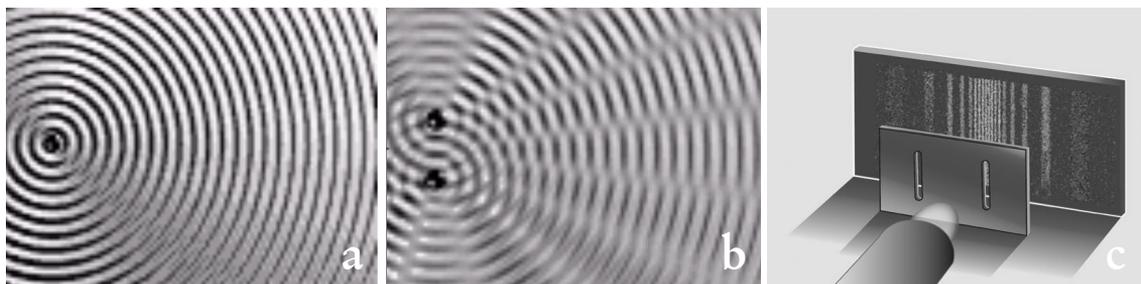


Figura 1: (a) Ondas produzidas em um tanque de água por um pino oscilante; (b) Ondas produzidas no mesmo tanque por dois pinos oscilantes: as raiais são um efeito de interferência, em que o máximo das ondas produzidas por um dos pinos superpõe-se ao mínimo das ondas produzidas pelo outro pino; (c) Experiência de Young: o feixe de luz passa pelo anteparo com duas fendas, produzindo em um segundo anteparo uma série de franjas claras e escuras.

Neste caso, a interferência é obtida quando o máximo da onda circular produzida por um estilete coincide com o mínimo da onda produzida pelo outro, resultando em que a superfície da água não se move.

É importante que os pinos oscilem sincronicamente, caso contrário as regiões em que há interferência destrutiva deslocar-se-iam rapidamente, e não poderíamos ver o padrão ilustrado na figura 1. Para a luz, cada fenda age como se fosse uma fonte secundária, e nas regiões em que o

máximo de uma onda coincide com o mínimo da outra ocorre sombra. Assim como, no tanque de água, é necessário que haja uma sincronicidade das oscilações produzidas pelas duas fendas. Dizemos, nesse caso, que há *coerência* entre as respectivas contribuições.

A resistência de Einstein a essa idéia é compartilhada por toda a comunidade científica da época, que por outro lado assimila rapidamente a contribuição de Planck, anunciada em 14 de dezembro de 1900, data que marca o nascimento da física quântica. Em 19 de outubro do mesmo ano, o físico alemão Max Planck divulga uma expressão matemática para o espectro do corpo negro, que se ajusta admiravelmente bem aos dados experimentais.² O resultado de Planck respondia a um desafio lançado em 1860 por Gustav Kirchoff³, o qual mostrou que a quantidade de energia emitida por unidade de área, de tempo e de frequência, por um corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele, convertendo-a em calor (esse é o “corpo negro”), depende apenas da frequência e da temperatura. Segundo Kirchoff, “é uma tarefa extremamente importante encontrar essa função”. Em 14 de dezembro, Planck publica uma dedução da fórmula apresentada em outubro, baseada na hipótese de que a matéria que emite a radiação é constituída de osciladores cujas energias só podem ser múltiplos de uma quantidade básica, proporcional à frequência de oscilação.⁴ A idéia de Planck de uma energia quantizada, porquanto revolucionária, abrange somente os osciladores materiais, e assim não entra em confronto com a teoria de Maxwell, sólido arcabouço da física do final do século dezenove.

O artigo publicado por Einstein em 1905 propõe uma explicação para o efeito fotoelétrico: luz incidindo sobre a superfície de certos metais leva à emissão de elétrons, cuja energia independe da intensidade da luz e parece aumentar com a frequência. A teoria clássica do eletromagnetismo, por outro lado, previa que a energia do elétron deveria aumentar com a intensidade da luz. Einstein propõe que a emissão de um elétron deve-se à absorção de um fóton de energia $h\nu$, sendo h a constante de Planck e ν a frequência da luz. A energia do elétron emitido é dada por $E = h\nu - W$, sendo W a energia necessária para vencer uma barreira de energia que depende do metal. A dependência linear da energia com a frequência, prevista por Einstein em 1905, só é confirmada experimentalmente 10 anos depois, através do trabalho experimental de Millikan na Universidade de Chicago⁵ e de Duane e Hunt em Harvard⁶. Em 1922, Einstein ganha o Prêmio Nobel de Física, com a citação:

² PLANCK, M. *Verh. Deutsch. Phys. Ges.*, 2, 202, 1900; *Abhandlugen*, vol. 1, p. 687.

³ KIRCHOFF, G. *Ann. Phys. Chem.* 109, 275, 1860.

⁴ PLANCK, M. *Verh. Deutsch. Phys. Ges.*, 2, 237, 1900; *Abhandlugen*, vol. 1, p. 698.

⁵ MILLIKAN, R. A. *Phys. Rev.*, 6, 55, 1915.

⁶ DUANE, W. & HUNT, F. L. *Phys. Rev.*, 6, 166, 1915.

“Por suas contribuições para a física teórica, e em especial pela sua teoria do efeito fotoelétrico”. Mesmo na citação do Prêmio Nobel, não é mencionada a teoria dos quanta de luz, ainda controversa nessa época.

Nasce a teoria quântica dos sólidos

Em 1907, Einstein inaugura a teoria quântica dos sólidos com dois artigos sobre o calor específico.⁷ Essa teoria, baseada na idéia de Planck de quantização dos osciladores materiais, mostra que o calor específico de sólidos anula-se quando a temperatura se aproxima do zero absoluto, e explica o valor anormalmente baixo do calor específico do diamante, que durante muitos anos desafiava qualquer explicação baseada na física clássica. É interessante observar que, até essa data, a hipótese de Planck sobre a quantização de energia dos osciladores materiais desempenha um papel apenas no problema da radiação do corpo negro. O trabalho de Einstein mostra que essa hipótese tem implicações muito mais gerais.

⁷ EINSTEIN, A. *Annalen der Physik* (Leipzig), 22, 180, 1907; *Annalen der Physik* (Leipzig), 22, 800, 1907.

Dualidade onda-corpúsculo e aleatoriedade na teoria quântica da luz

Em 1909 Einstein retorna à teoria quântica da luz, em dois artigos nos quais examina as flutuações de energia da luz emitida por um corpo negro, descrita pela distribuição de Planck.⁸ Nesse trabalho, Einstein mostra que há dois tipos de contribuição para essas flutuações, e associa uma delas ao caráter ondulatório da luz, e a outra ao caráter corpuscular, mencionando que esse segundo termo seria o esperado “se a radiação consistisse de quanta pontuais com energia $h\nu$ movendo-se independentemente”. Assim, muitos anos antes da introdução do conceito de complementaridade por Niels Bohr, Einstein aponta para a dualidade onda-corpúsculo da luz.

⁸ EINSTEIN, A. *Phys. Zeitschr.*, 10, 185, 1909; *Phys. Zeitschr.*, 10, 817, 1909.

Em 1916 e 1917, Einstein retorna ao problema da luz, com três artigos que tratam dos processos de emissão e absorção de radiação e que introduzem dois tipos de emissão, espontânea e induzida.⁹ A emissão espontânea ocorre quando um átomo ou molécula encontra-se em um estado excitado e emite radiação, na ausência de qualquer campo eletromagnético. Na emissão induzida, a radiação presente estimula o átomo ou molécula excitada a emitir. Segundo Einstein, a radiação emitida tem a mesma direção do pacote incidente. Mais ainda, “se um pacote de radiação faz com que uma molécula emita ou absorva uma quantidade

⁹ EINSTEIN, A. *Verh. Deutsch. Phys. Ges.*, 18, 318, 1916; *Mitt. Phys. Ges. Zürich*, 16, 47, 1916; *Phys. Zeitschr.*, 18, 121, 1917.

de energia $h\nu$, então um momento $h\nu/c$ é transferido para a molécula, dirigido ao longo do pacote no caso de absorção e na direção oposta, no caso de emissão”. Einstein associa pois, pela primeira vez, um momentum ao fóton! Muitos anos depois, o conceito de emissão induzida teria aplicações importantíssimas no maser (1956) e no laser (1960).

O processo de emissão espontânea tem dois elementos aleatórios: o instante e a direção de emissão. Isso preocupa Einstein profundamente, antes mesmo do aparecimento da interpretação probabilística da mecânica quântica. No artigo de 1917, Einstein considera ser “... um ponto fraco da teoria ... que ela deixe ao acaso o instante e a direção dos processos elementares”. Nesse mesmo artigo, prevê um desenvolvimento que só ocorreria dez anos mais tarde, com a teoria quântica da radiação de Dirac: “As propriedades dos processos elementares... fazem parecer quase inevitável formular uma teoria verdadeiramente quantizada da radiação”.

Em janeiro de 1920, escreve uma carta a Max Born, na qual revela sua preocupação com os aspectos probabilísticos da teoria da radiação: “Poderão a absorção e emissão quânticas da luz jamais ser entendidas no sentido do requisito de causalidade completa, ou um resíduo estatístico permanecerá? Devo admitir que me falte nesse ponto a coragem de uma convicção. Todavia, eu ficaria muito infeliz de renunciar à causalidade completa”¹⁰.

Desenha-se assim, desde cedo, a principal objeção de Einstein à teoria quântica: seu caráter probabilístico.

Ondas de matéria e condensação de Bose-Einstein

Em setembro de 1923, Louis de Broglie faz duas comunicações à Academia Francesa de Ciências.¹¹ Nelas, propõe que a relação $E = h\nu$ aplica-se não somente à radiação, mas também a partículas materiais e, em particular, a elétrons. Isto é, devem-se associar ondas a partículas materiais, implicando que os fenômenos ondulatórios demonstrados anteriormente para a radiação deveriam ser observáveis com partículas. Essas comunicações serviram de base para a tese defendida por de Broglie em novembro de 1924. Uma cópia da tese foi enviada a Einstein por Langevin, um dos examinadores de de Broglie.

Nessa época, Einstein encerrava seu ciclo de contribuições fundamentais à física quântica. Em três artigos, o primeiro publicado em setembro de 1924¹² e os dois outros em 1925¹³, Einstein deduzia as propriedades estatísticas de um gás de partículas idênticas, inspirado por um artigo

¹⁰ EINSTEIN, A. Carta a M. Born, 27 de janeiro de 1920; em BORN, M. (Org.). *The Born-Einstein Letters*. New York: Walker, 1971. p. 23.

¹¹ BROGLIE, L. de C. R. *Acad. Sci. Paris*, 177, 507, 1923; *C. R. Acad. Sci. Paris*, 177, 548, 1923.

¹² *Sitzungsberichte*, Preussische Akademie der Wissenschaften, p. 261, 1924.

¹³ *Sitzungsberichte*, Preussische Akademie der Wissenschaften, p. 3, 1925; *Z. Phys.*, 31, 784, 1925.

enviado para ele pelo físico Satyendra Nath Bose, onde a equação de Planck para a luz é deduzida a partir de um novo método de contagem de estados. O trabalho de Bose impressionou fortemente Einstein, que aceitou o pedido de Bose de interceder para que o artigo, rejeitado pelo *Philosophical Magazine*,¹⁴ fosse publicado. Einstein traduziu o artigo, escrito em inglês, para o alemão, e submeteu-o ao *Zeitschrift für Physik*, adicionando uma nota de tradutor: “Em minha opinião, a dedução da fórmula de Planck por Bose constitui um avanço importante. O método usado aqui leva também à teoria quântica do gás ideal, como discutirei com mais detalhes em outro lugar”.

No segundo artigo, Einstein mostra que, para temperaturas suficientemente baixas, um número crescente de moléculas ocupa o estado de energia mais baixa do gás (com energia cinética nula), efetuando-se assim uma separação do conjunto de moléculas em duas partes, uma que condensa, e outra que permanece um gás ideal. Esse fenômeno é conhecido hoje em dia como “condensação de Bose-Einstein”. Einstein observa ainda, nesse mesmo artigo, que “os quanta e as moléculas não são tratados como estatisticamente independentes”, e que a diferença entre a contagem de estados de Boltzmann e a usada nos artigos de Bose e Einstein “expressam indiretamente uma hipótese sobre a influência mútua das moléculas que por ora é de natureza bastante misteriosa”. Essa influência é entendida pouco depois, através dos trabalhos de Pauli, como uma consequência da obrigatoriedade da função de onda, associada às partículas consideradas completamente simétrica por Einstein.

Em seu primeiro artigo sobre gases quânticos¹⁴, Einstein deduz uma fórmula para as flutuações de energia análoga à que deduzira para a luz em 1909. Novamente aparecem dois termos, um que pode ser associado a partículas e outro a ondas. A existência desse segundo termo é reconhecida por Einstein como uma evidência do aspecto ondulatório da matéria, enfatizado por Louis de Broglie. Para Einstein, essas ondas seriam “ondas guia”, devendo-se associar uma onda a cada partícula.

É interessante observar que, nesse período, Einstein é ainda um dos poucos defensores da tese de que a luz era constituída de corpúsculos, não obstante o fato de que Arthur Compton mostrara, em 1922, ao analisar experimentos em que radiação incidente sobre um átomo provoca a emissão de um elétron e de radiação pelo átomo, que “os quanta de radiação carregam consigo momentum, além de energia”¹⁵.

¹⁴ *Sitzungsberichte*, Preussische Akademie der Wissenschaften, p. 261, 1924.

¹⁵ COMPTON, A. H. *Phys. Rev.*, 21, 483, 1923.

Niels Bohr, juntamente com Hendrik Anton Kramers e John Clarke Slater propõe em janeiro de 1924 uma teoria alternativa¹⁶, chamada de teoria BKS devido às iniciais de seus autores, que abre mão da conservação da energia e do momentum em processos individuais de emissão de radiação em nome da manutenção da teoria ondulatória. Nessa teoria, quando um átomo emite radiação em uma transição de um estado com maior energia para um de menor energia, a energia do átomo muda descontinuamente (uma vez que, segundo o modelo atômico postulado por Bohr em 1913, os níveis atômicos são discretos), enquanto a energia do campo muda continuamente. Isso torna impossível a conservação da energia e momentum em cada etapa do processo: segundo os autores, essas leis de conservação valeriam apenas como uma média estatística, tomada sobre um número muito grande de processos de emissão. Os autores argumentam que as experiências realizadas por Compton em 1922 (e publicadas em 1923) envolvem uma média sobre várias realizações e, portanto, não demonstram a validade das leis de conservação para cada processo individual. Mais ainda, na teoria BKS, o problema da indeterminação do instante de emissão espontânea, que tanto preocupava Einstein, é resolvido através da proposição de que não existe de fato uma emissão espontânea, postulando um “campo eletromagnético virtual”, que de fato provocaria uma emissão induzida para o átomo excitado. Testes experimentais, desenvolvidos por Walther Bothe e Hans Geiger em Berlim¹⁷, e por Arthur Compton e A. W. Simon¹⁸ em Chicago, não confirmaram, no entanto, a teoria BKS.

Em maio de 1925, Einstein é homenageado, por ocasião de sua visita ao Rio de Janeiro, na Academia Brasileira de Ciências. Segundo a ata da sessão da Academia, “O professor Einstein, agradecendo às homenagens que lhe são prestadas, ao invés de um discurso, diz ele, mostra o seu reconhecimento e o seu apreço à Academia fazendo uma rápida comunicação sobre os resultados que, na Alemanha, estão sendo obtidos nos estudos realizados sobre a natureza da luz, comparando a teoria ondulatória e a dos quanta”. Referia-se ele às experiências de Bothe e Geiger¹⁹. Em 21 de abril de 1925, diante das novas evidências experimentais, Bohr propõe, em carta escrita para Fowler, “dar aos nossos esforços revolucionários um funeral tão digno quanto possível”²⁰. E escreve, em artigo publicado julho de 1925: “Devemos estar preparados para o fato de que a generalização necessária da teoria eletrodinâmica clássica requer uma revolução profunda nos conceitos sobre os quais se baseou até agora a descrição da natureza”²¹.

¹⁶ BOHR, N.; KRAMERS, H. A. & SLATER, J. C. *Phil. Mag.*, 47, 785, 1924.

¹⁷ BOTHE, W. & GEIGER, H. *Z. Phys.*, 26, 44, 1924; *Naturw.*, 13, 440, 1925; *Z. Phys.*, 32, 639, 1925.

¹⁸ COMPTON, A. H. & SIMON, A. W. *Phys. Rev.*, 26, 289, 1925.

¹⁹ BOTHE, W. & GEIGER, H. *Op. cit.*

²⁰ PAIS, A. *Op. cit.*

²¹ BOHR, N. *Z. Phys.*, 34, 142, 1925.

Nasce a mecânica ondulatória

A evidência do caráter ondulatório da matéria, exposta no artigo de Einstein, teve um papel decisivo no aparecimento da nova teoria quântica, desenvolvida pelo físico austríaco Erwin Schrödinger e pelo físico alemão Werner Heisenberg. Em artigo enviado para publicação no final de 1925, Schrödinger propõe tratar o gás quântico diretamente a partir de uma descrição ondulatória, “levando a sério a teoria ondulatória das partículas em movimento de Louis de Broglie-Einstein”²². Em 1926, Schrödinger publica seu artigo sobre a equação de ondas para o átomo de hidrogênio²³, que apresenta como uma generalização das considerações de de Broglie e Einstein. Esse artigo marca o nascimento da mecânica ondulatória. As duas contribuições de Schrödinger são recebidas com entusiasmo por Einstein. Em carta a Michel Besso, datada de 1º de maio de 1926, escreve que “Schrödinger publicou dois artigos maravilhosos sobre as regras quânticas”²⁴. Segundo Abraham Pais, essa é a última vez em que ele escreve algo aprovando a mecânica quântica²⁵.

Em junho de 1926, Max Born observa que o módulo ao quadrado da função de onda de Schrödinger deve ser interpretado como uma densidade de probabilidade.²⁶ O abandono da idéia de causalidade clássica, decorrente dessa interpretação, leva Einstein a escrever para Born, em dezembro de 1926, que “A mecânica quântica é muito impressionante. Mas uma voz interna me diz que ela não é ainda a última palavra (*the real thing*). A teoria produz muitos resultados, mas não nos traz mais perto do segredo do Velho. Estou de qualquer forma convencido de que Ele não joga dado”²⁷.

Em março de 1927, Heisenberg estabelece o princípio da incerteza²⁸, mostrando que não é possível ter informação arbitrariamente precisa sobre o momentum (para uma partícula com massa m , na ausência de campos eletromagnéticos, o *momentum* é definido como o produto da massa da partícula por sua velocidade) e a posição de uma partícula: o produto das duas incertezas, definidas matematicamente como o desvio médio quadrático das medidas, deve ser maior que a constante de Planck dividida pelo número 4π .

Cabe aqui um comentário sobre a diferença entre os conceitos de estado nas físicas clássica e quântica. Na teoria clássica, o estado de uma partícula é definido pela posição e pelo momentum da mesma. Conhecidas essas duas quantidades em um dado instante, e as forças que agem sobre a partícula, é possível prever o valor da posição e do momentum da partícula em qualquer instante futuro. Na teoria

²² SCHRÖDINGER, E. *Phys. Zeitschr.*, 27, 95, 1926.

²³ SCHRÖDINGER, E. *Annalen der Physik* (Leipzig), 79, 361, 1926.

²⁴ PAIS, A. *Op. cit.*

²⁵ PAIS, A. *Op. cit.*

²⁶ BORN, M. *Z. Phys.*, 37, 863, 1926.

²⁷ BORN, M. (Ed.) *The Born-Einstein Letters*. p. 90. *Op. cit.*

²⁸ HEISENBERG, W. *Z. Phys.*, 43, 172, 1927.

quântica, a posição e o momentum não podem ser conhecidos com precisão arbitrária no mesmo instante. O estado quântico é definido por uma função matemática, a *função de onda*, que permite determinar as probabilidades de obter valores da posição e do momentum, ou de qualquer outra grandeza física, quando se realizam medidas sobre a partícula. Conhecida a função de onda em determinado instante, a equação de onda permite determiná-la em qualquer instante posterior.

A interpretação probabilística, a dualidade onda-corpúsculo e a complementaridade

A interpretação probabilística permite finalmente conciliar a teoria ondulatória de Maxwell com a noção de que a luz é constituída de corpúsculos. Na experiência de Young, a onda associada aos corpúsculos descreve a probabilidade de eles chegarem nas diversas regiões do anteparo onde se produzem as franjas claras e escuras. As regiões de sombras correspondem a valores nulos da distribuição de probabilidades, ou seja, é nula a probabilidade de um fóton ser observado nas regiões de sombra.

Uma consideração mais detalhada desse experimento, à luz da interpretação probabilística, leva a questões intrigantes. Experiências de Young têm sido realizadas com feixes tênues de luz, de modo que praticamente um só fóton passa pelas fendas de cada vez. Após vários fótons passarem, observamos que aparece a figura de interferência: nenhum fóton atinge a região de sombra. Ora, para produzir a interferência, a onda deve passar pelas duas fendas ao mesmo tempo. Se fechamos uma das fendas, podemos verificar efetivamente que some a figura de interferência. O que ocorre então com os corpúsculos, passam também eles simultaneamente pelas duas fendas? Para responder a essa questão, devemos pensar em uma experiência que permita verificar a hipótese. Colocamos, logo após cada uma das fendas, um detector de fótons, e observamos que, para feixes tênues de luz, jamais ouvimos “cliques” coincidentes em ambos os detectores: os fótons passam sempre, nessa experiência, por uma das duas fendas! Por outro lado, some nesse caso a figura de interferência, pois os fótons detectados são absorvidos pelos detectores.

Não importa como se faça a medida, sempre que detectamos por onde passam os fótons, some a figura de interferência! Esse fenômeno reflete um aspecto complementar da mecânica quântica, salientado pela primeira vez por Niels Bohr: as manifestações dos aspectos corpuscular

(nesse caso, fótons com trajetória definida) e ondulatório ocorrem em experimentos distintos. A configuração experimental é um elemento essencial para a descrição do sistema. O físico dinamarquês Niels Bohr cunha um termo, o *phenomenon*, que se refere a observações obtidas sob condições especificadas, incluindo uma descrição do aparato experimental. Para ele, as condições de medida constituem um elemento inerente a qualquer fenômeno ao qual o termo “realidade física” possa ser atribuído.

Para a física quântica, a observação das franjas exclui, conforme prevê o princípio da complementaridade, afirmações do tipo “o fóton passou por uma fenda ou por outra”. Só podemos dizer que a partícula é descrita por uma função de onda que a localiza em torno das duas fendas ao mesmo tempo! A superposição dessas duas contribuições localizadas produz a figura de interferência, exatamente como nas ondas em um tanque de água.

Mais especificamente, sendo a densidade de probabilidade, segundo Max Born, proporcional ao quadrado do módulo da função de onda, se esta é dada pela soma de duas contribuições (as ondas que emanam das duas fendas na experiência de Young), teremos no quadrado termos que envolvem produtos das duas ondas. São esses os termos de interferência.

Realidade objetiva e estados emaranhados

A partir desse momento, Einstein trava uma batalha heróica contra a nova mecânica quântica, procurando encontrar paradoxos que demolissem as bases dessa teoria. As discussões que teve com Niels Bohr a esse respeito constituem um ponto alto da física do século XX.²⁹ Convencido finalmente da consistência da teoria, Einstein considera-a, no entanto, incompleta, e almeja uma teoria que permita a descrição determinista de fenômenos independentemente das condições experimentais, ou seja, uma teoria que descreva o que ele chama de *realidade objetiva*.

Perseguindo o objetivo de apontar o caráter incompleto da mecânica quântica, Einstein discute, em artigo publicado em 1935 juntamente com Boris Podolsky e Nathan Rosen³⁰, um aspecto extremamente sutil da nova teoria, envolvendo a noção de *estados emaranhados*. Nesse artigo, é introduzido o conceito de “elemento de realidade física”: “se, sem perturbar um sistema, podemos prever com certeza (isto é, com probabilidade igual a um) o valor de uma quantidade física, então existe um elemento de realidade física correspondendo a essa quantidade física”.

²⁹ BOHR, N. in SCHILP, P. (Ed.) *Albert Einstein. Philosopher-Scientist*. New York: Tudor, 1949. p. 199.

³⁰ EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B. & ROSEN, N. *Phys. Rev.*, 47, 777, 1935.

Considera-se então o seguinte sistema. Duas partículas, cada uma com posição e momentum (q_i, p_i) , estão em um estado com posição relativa bem definida $q = q_1 - q_2$ e momentum total também bem definido $p = p_1 + p_2$ (pode-se mostrar que, embora não se possa ter q_i e p_i bem definidos ao mesmo tempo para uma partícula, devido ao princípio da incerteza de Heisenberg, isso é possível para q e p). É importante observar que somente quantidades relativas ao conjunto de duas partículas estão bem definidas: a posição e o momentum de cada partícula permanecem indefinidos, ligados apenas pela condição de que a soma dos momenta deve ser igual a p e a diferença de posições igual a q . Essa é a situação típica de estados emaranhados: o estado do sistema global é conhecido, mas os estados das partes que o compõem são incertos.

Supõe-se então que a partícula 1 é observada muito depois das duas partículas terem interagido, quando estão muito distantes uma da outra. Como q é bem definido, se medirmos a posição da partícula 1 poderemos saber a posição da partícula 2, sem interagir diretamente com esta partícula. Portanto, de acordo com os autores, q_2 é um elemento de realidade. Por outro lado, poderíamos também medir o momentum da partícula 1, e assim determinar o momentum da partícula 2 sem interagir com ela. Segue assim que p_2 é também um elemento de realidade. Mas a mecânica quântica afirma que q_2 e p_2 não podem ser simultaneamente elementos de realidade, pois não podem ser bem determinados ao mesmo tempo. Portanto, segundo os autores, a mecânica quântica seria uma teoria incompleta. Esse argumento fica conhecido como o “paradoxo EPR”, em virtude das iniciais dos três autores.

Niels Bohr contrapõe a esse argumento o conceito de complementaridade³¹: arranjos experimentais diferentes e complementares são necessários para medir a posição e o momentum da partícula 1, e a complementaridade desses arranjos deve ser levada em consideração na descrição do sistema. Nesse sentido, o conceito de elementos de realidade só deveria ser aplicado para grandezas físicas que podem ser perfeitamente definidas ao mesmo tempo.

No mesmo ano de 1935, Schrödinger publica, logo após Einstein, Podolsky e Rosen, três artigos que aprofundam o exame de conseqüências sutis da nova teoria quântica.³² No primeiro desses artigos, reconhece e estuda o fenômeno de emaranhamento, afirmando que “Eu não diria que o emaranhamento é *um* mas o traço característico da mecânica quântica, aquele que leva ao abandono completo

³¹ BOHR, N. *Phys. Rev.*, 48, 696, 1935.

³² SCHRÖDINGER, E. *Naturw.*, 23, 807, 1935; 23, 823, 1935; 23, 844, 1935. Tradução para o inglês por J. D. Trimmer, *Proc. Am. Phys. Soc.*, 124, 3235, 1980.

do pensamento clássico”. Escreve ainda: “Dispomos assim provisoriamente (até que o emaranhamento seja destruído pela observação) apenas de uma descrição comum dos dois [subsistemas] em um espaço de mais dimensões. Esta é a razão pela qual a informação sobre os sistemas individuais pode ser extremamente reduzida, ou mesmo nula, enquanto a informação sobre o sistema combinado permanece máxima. A melhor informação possível do todo não inclui a melhor informação possível sobre suas partes – e isso é que vem constantemente nos assombrar”.

Propõe ainda um experimento mental para mostrar um aparente paradoxo que resulta das leis da física quântica. A proposta, conhecida como “gato de Schrödinger”, ganhou fama nas décadas seguintes e ainda hoje é um bom exemplo da relação extremamente sutil entre os mundos microscópico e macroscópico. Nos últimos anos, foi possível entender um pouco melhor essa relação, e sujeitá-la a testes experimentais.

O gato de Schrödinger

No mundo microscópico, é comum descrever o comportamento de sistemas através de funções de onda não locais, como no caso da experiência de Young, em que a função de onda do corpúsculo que passa pelo anteparo com duas fendas é localizada em torno das duas fendas. Em seu artigo sobre o gato, Schrödinger argumenta que a existência desses estados não locais no mundo microscópico implica necessariamente que estados desse tipo devem também existir no mundo macroscópico.

O argumento de Schrödinger é baseado no fato de que a equação por ele proposta é linear. Isso significa que, se as ondas associadas a um sistema físico, por exemplo, um fóton ou um átomo, interferem de modo coerente em um determinado instante, essas sobreposições não desaparecem, ou seja, mantêm-se à medida que o tempo passa.

Considere-se agora um gato em uma gaiola hermeticamente fechada, na qual é instalada uma cápsula de cianeto (veneno mortal), que pode ser quebrada por um dispositivo acionado ao ser atingido por uma partícula emitida por um átomo radioativo, também presente na gaiola.

Sendo esse átomo radioativo um sistema quântico, seu processo de emissão de partículas (ou decaimento) pode ser descrito por uma função de onda. Inicialmente, temos uma função que descreve o átomo sem emitir a partícula, mas, à medida que o tempo passa, começa a surgir uma outra componente, que determina a probabilidade de que uma partícula

tenha sido emitida em cada instante. Com o tempo, essa outra função de onda torna-se maior, já que a probabilidade de o átomo emitir uma partícula vai aumentando, de modo que, para tempos grandes, só ela estará presente, indicando que o átomo decaiu e uma partícula certamente foi emitida.

Em um instante intermediário, essas duas funções de onda estariam convivendo simultaneamente no sistema, uma representando o átomo antes de emitir uma partícula e outra o átomo decaído mais a partícula emitida. Lembremos que, se o átomo decaí, a cápsula de cianeto é quebrada, e o gato morre; se o átomo permanece no estado inicial, o gato estará vivo. Portanto, em instantes intermediários, o estado do gato também deve envolver uma superposição de dois estados, um em que ele está vivo e outro em que está morto! O caráter coerente dessa superposição pode em princípio ser colocado em evidência através de uma experiência de interferência. Resta então a pergunta: seria possível colocar em evidência a interferência entre estados macroscopicamente distintos, como os estados do gato? Como realizar essa experiência?

Se simplesmente abrimos a gaiola e observamos o estado do gato, verificamos que ele está vivo ou morto. De fato, essa experiência é equivalente a observar por qual fenda passou a partícula na experiência de Young: verificamos que a partícula sempre passa por uma das duas fendas, mas ao mesmo tempo desaparece a figura de interferência. Ou seja, verificar o caminho da partícula e o efeito de interferência são experiências complementares. Precisaríamos assim pensar em uma maneira de colocar em evidência a coerência do estado do gato, o que envolve uma experiência complementar à de verificar se ele está vivo ou morto.

O caráter central na mecânica quântica da questão colocada por Schrödinger decorre do fato de estar esse problema intimamente ligado à teoria da medida quântica. No processo de medida, um equipamento macroscópico, o aparelho de medida, interage com um sistema microscópico, digamos um átomo que pode estar em um de dois estados (como o átomo que decaí, no exemplo acima), e um ponteiro igualmente macroscópico aponta para a direita ou para a esquerda, dependendo do estado do átomo. Suponha que o átomo esteja em uma superposição dos dois estados, como o átomo na gaiola onde está o gato. O ponteiro de medida deveria então ser colocado em uma superposição das duas posições, direita e esquerda. Na experiência do gato, este funciona de fato como um aparelho de medida, sensível ao estado do átomo que decaí.

Um exame mais cuidadoso desse sistema mostra que o átomo e o aparelho de medida estão em um estado emaranhado, análogo ao discutido por Einstein, Podolsky e Rosen, produzido pela interação entre o átomo que está em uma superposição de dois estados e o aparelho de medida. A observação do aparelho de medida permite concluir em qual estado está o átomo, existindo uma correlação perfeita entre o estado do átomo e a posição do ponteiro.

Em 1954, Einstein volta a esse problema, em carta endereçada a Max Born³³, questionando sobre a inexistência, no nível clássico, da maior parte dos estados permitidos pela mecânica quântica, quais sejam, superposições coerentes de estados localizados. A ausência desses estados no mundo clássico leva físicos ilustres a postular a existência de uma “regra de superseleção”, que impediria a realização de experiências de interferência entre estados localizados, ou ainda de um termo não linear na equação de Schrödinger, cujo efeito seria muito pequeno no mundo microscópico, mas relevante para objetos macroscópicos.

A exploração da fronteira sutil entre os mundos quântico e clássico

Nos últimos anos, começaram a aparecer respostas diferentes a essa questão. Em particular, vários físicos mostraram que a superposição de ondas é rapidamente destruída devido às interações do sistema com o resto do universo.³⁴ Essa interação é responsável pelos efeitos dissipativos que provocam transferências de energia de forma desordenada. Vemos exemplos dessa dissipação em fatos cotidianos, como o esfriamento de uma panela de sopa retirada do fogão, ou o aquecimento de um pneu de automóvel pelo atrito com o solo. Tais efeitos são responsáveis não apenas pela variação da energia desses sistemas macroscópicos, como também pela destruição da superposição coerente de estados que representam as diversas alternativas clássicas (fóton passando por uma fenda ou outra, gato morto ou vivo). Isto é, as componentes ondulatórias de um estado perdem o sincronismo, o que impossibilita o aparecimento do fenômeno de interferência.

Uma propriedade importante desse processo é fundamental para entender a transição do mundo microscópico para o macroscópico: as escalas de tempo para a perda de energia e para a perda da coerência das superposições de estados macroscópicos são muito diferentes entre si. No mundo macroscópico, o tempo de perda de coerência é

³³ Citado por JOOS, E. in GREENBERGER, D. M. (org.) *New Techniques and Ideas in Quantum Measurement Theory*. New York: New York Academy of Science, 1986.

³⁴ Ver, por exemplo, GIULINI, D.; JOOS, E.; KIEFER, C.; KUPSCH, J.; STAMATESCU, I.-O. & H. ZEH, D. *Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory*. Berlin: Springer, 1996; ZUREK, W. H. *Rev. Mod. Phys.*, 75, 715, 2003. Ver também DAVIDOVICH, L. *Ciência Hoje*, n. 143, outubro de 1998.

muito menor que o tempo de perda (ou ganho, no caso do pneu) de energia. Por exemplo, para uma pedra que pode estar em dois lugares ao mesmo tempo (isto é, a função de onda da pedra é a superposição coerente de duas componentes localizadas em torno de duas regiões distintas do espaço), separados por uma distância 'd', o tempo de perda de coerência é igual ao tempo de transferência de energia (ou tempo de dissipação) dividido por um fator muito grande, que por sua vez é igual ao quadrado da razão entre a distância 'd' e um comprimento extremamente pequeno, o comprimento de onda da pedra de Louis de Broglie (que é a distância entre dois máximos sucessivos da onda associada à pedra). Em resumo: para temperaturas ambientes (em torno de 30°C), e uma pedra de massa igual a um grama, que poderia ser localizada em duas regiões separadas por um centímetro, esse fator é igual a 10^{40} (o número um seguido de 40 zeros!). Assim, o desaparecimento da coerência entre as funções de onda localizadas associadas às duas posições da pedra é tão rápido que é praticamente impossível observá-la.

A duração extremamente curta dessa superposição parece tornar irrelevante a segunda parte da questão sobre como realizar um experimento de interferência que coloque em evidência a coerência da superposição das funções de ondas. Recentemente, no entanto, o desenvolvimento de técnicas experimentais levou à possibilidade de se produzirem e se medirem estados desse tipo. Essas técnicas envolvem o aprisionamento de átomos em armadilhas magnéticas, ou de campos eletromagnéticos em cavidades supercondutoras, ou ainda a geração de correntes em anéis supercondutores. Nesses sistemas, é possível controlar o processo de dissipação de energia, pois são sistemas muito bem isolados do resto do universo.

No Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos, em Boulder, no Colorado, foi realizado em 1996 um experimento no qual se obteve um átomo, aprisionado em uma armadilha magnética, localizado em duas posições distintas ao mesmo tempo.³⁵ A interferência entre esses estados foi claramente demonstrada. Ainda em 1996, foi realizado outro experimento na Escola Normal Superior de Paris³⁶ – proposto em artigo que teve a participação deste autor³⁷ – que não só levou à construção de uma superposição coerente de dois estados classicamente distintos do campo eletromagnético em uma cavidade, bem como possibilitou, pela primeira vez, acompanhar em tempo real o processo de perda de coerência, além de medir o tempo característico desse processo.

³⁵ MONROE, C.; MEEKHOF, D. M.; KING, B. E. & WINELAND, D. J. *Science*, 272, 1131, 1996.

³⁶ BRUNE, M.; HAGLEY, E.; DREYER, J.; MAÎTRE, X.; MAALI, A.; WUNDERLICH, C.; RAIMOND, J. M. & HAROCHE, S. *Phys. Rev. Lett.*, 77, 4887, 1996.

³⁷ DAVIDOVICH, L.; BRUNE, M.; RAIMOND, J. M. & HAROCHE, S. *Phys. Rev.*, A 53, 1295, 1996.

Verificou-se nesse último experimento que o tempo decresce à medida que o número médio de fótons na cavidade aumenta, ou seja, à medida que o sistema se torna mais macroscópico. Os estados construídos continham um número pequeno de fótons (cerca de cinco) e portanto não poderiam ainda ser considerados como macroscópicos. Não obstante, esse número foi suficiente para permitir o acompanhamento do processo pelo qual a superposição quântica transforma-se numa mistura estatística clássica. Isso significa dizer que um sistema capaz de exibir interferência foi transformado em um que exibe apenas a alternativa clássica do tipo cara ou coroa de uma moeda. Explorou-se assim a fronteira sutil entre o mundo microscópico e quântico de um lado e o mundo macroscópico e clássico do outro.

Superposições coerentes de correntes macroscópicas foram obtidas em anéis supercondutores (junções Josephson).³⁸

³⁸ FRIEDMAN, J. R.; PATEL, V.; CHEN, W.; TOLPYGO, S. K. & LUKENS, J. E. *Nature* (London), 406, 43, 2000; WAL, C. H. van der; HAAR, A. C. J. ter; WILHELM, F. K.; SCHOUTEN, R. N.; HARMANS, C. J. P. M.; ORLANDO, T. P.; LLOYD S. & MOOIJ, J. E. *Science*, 290, 773, 2000.

Fantasmagórica ação à distância

Para Einstein, a idéia prevalente na física quântica de que, para um par de partículas emaranhadas, a medida de uma grandeza física para uma das partículas levava à determinação do valor de uma grandeza física correspondente para a outra partícula, mesmo que elas estivessem muito distantes, correspondia a uma “fantasmagórica ação à distância”, que parecia violar requisitos básicos de causalidade.

Vários autores desenvolvem teorias alternativas, segundo as quais os “elementos de realidade” seriam governados por “variáveis escondidas” que, de forma determinística e local, levariam a valores precisos desses elementos de realidade em cada realização individual.³⁹ Assim, por exemplo, as duas partículas consideradas por Einstein, Podolsky e Rosen teriam, em cada realização experimental, momenta e posições bem definidos, resultantes da interação entre elas, que a teoria quântica não consegue prever por ser uma teoria incompleta, que não inclui a descrição detalhada da ação local das variáveis escondidas sobre os elementos de realidade.

Até 1964, a distinção entre a mecânica quântica e as teorias de variáveis escondidas é considerada como uma questão de preferência filosófica, e alvo de debates aguerridos entre partidários de correntes opostas.

Em 1964, o físico John Bell, trabalhando no Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN) em Genebra, mostra que é possível diferenciar experimentalmente a mecânica quântica das teorias locais de variáveis escondidas

³⁹ FRIESTADT, H. *Suppl. Nuovo Cimento*, 5, 1, 1967; BOHM, D. & BUB, J. *Rev. Mod. Phys.*, 38, 453, 1966; GUDDER, S. P. *J. Math. Phys.*, 11, 431, 1970.

⁴⁰ BELL, J. S. *Physics* (N. Y.), 1, 195, 1964.

⁴¹ FREEDMAN, S. J. & CLAUSER, J. S., *Phys. Rev. Lett.*, 28, 938, 1972; ASPECT, A.; DALIBARD, J. & ROGER, G. *Phys. Rev. Lett.*, 49, 1804, 1982.

(teorias não locais aparecem também, desde o início da mecânica quântica, mas elas não apresentam, em relação à teoria quântica, a vantagem da localidade).⁴⁰ Experimentos realizados posteriormente⁴¹ levam a resultados contrários às previsões das teorias locais de variáveis escondidas. Não é possível supor, assim, que os elementos de realidade têm valores bem definidos, antes da medida! O momentum da partícula 2, na experiência pensada de Einstein, Podolsky e Rosen, torna-se bem definido apenas quando é medido o momentum da partícula 1! No jargão da física quântica, diz-se que ocorre um “colapso” do estado da partícula 2, ao ser medida a partícula 1.

Como conciliar essa concepção com os requisitos da causalidade? A projeção, aparentemente instantânea, do momentum da partícula 2 em um valor bem definido, ao se medir o momentum da partícula 1, não poderia ser usada para transmitir informação instantaneamente, violando assim a causalidade relativística, que afirma ser a velocidade da luz o limite para a transmissão de informação?

É fácil ver que esse processo não pode ser usado para transmitir informação. Se, após a medida realizada sobre a partícula 1, um pesquisador mede o momentum da partícula 2, ele não saberá se o valor por ele encontrado decorre de uma pré-determinação do momentum da partícula 2, em virtude da medida realizada sobre a partícula 1, ou se é apenas um dos resultados aleatórios possíveis, decorrentes da indeterminação do momentum dessa partícula. Assim, ele não pode saber, através de medidas realizadas sobre a partícula 2, se uma medida foi ou não realizada sobre a partícula 1. Além disso, para verificar que existe de fato uma correlação entre as medidas dos dois pesquisadores, eles teriam que se comunicar, e comparar suas tabelas de medidas.

A própria idéia de que o estado da partícula 2 muda instantaneamente ao ser realizada uma medida sobre a partícula 1 leva a paradoxos, quando se consideram, por exemplo, efeitos previstos pela relatividade. Segundo essa teoria, dois eventos simultâneos em um referencial, localizados em regiões distintas, não são simultâneos em um outro referencial que se movimenta em relação ao primeiro. Suponhamos então que, em certo referencial, ocorre a pretendida projeção instantânea do estado da partícula 2 ao ser medida a partícula 1. Mudando-se de referencial, a projeção do estado da partícula 2 poderia ocorrer antes da medida da partícula 1!

⁴² Para a proposta teórica, ver BENNETT, C.; BRASSARD, G.; CREPEAU, C.; JOZSA, R.; PERES, A. & WOOTTERS, W. K. *Phys. Rev. Lett.*, 70, 1895, 1993; para a primeira proposta experimental, ver DAVIDOVICH, L.; ZAGURY, N.; BRUNE, M.; RAIMOND, J. M. & HAROCHE, S. *Phys. Rev.*, A 50, R895, 1994; para realizações experimentais, ver BOUWMEESTER, D.; PAN, J.-W.; MATTLE, K.; ELBL, M.; WEINFURTER H. & ZEILINGER, A. *Nature*, 390, 575, 1997; BOSCHI, D.; BRANCE, S.; DE MARTINI, F.; HARDY L. & POPOVICU, S. *Phys. Rev. Lett.*, 80, 1121, 1998; FURUSAWA, A.; SÖRENSEN, J. L.; BRAUNSTEIN, S. L.; FUCHS, C. A.; KIMBLE, H. J. & POLZIK, E. S. *Science*, 282, 706, 1998; NIELSEN, M. A.; KNILL, E. & LAFLAMME, R. *Nature*, 396, 52, 1998. Ver também DAVIDOVICH L. em *Ciência Hoje*, n. 137, abril de 1998.

⁴³ PRESKILL, J. *Quantum Information and Computation*, Notas de aula disponíveis em <http://www.theory.caltech.edu/~preskill/ph229>, 1998; BENNETT, C. H. & DIVINCENZO, D. P. *Nature*, 404, 247, 2000; BOUWMEESTER, D.; EKERT A. & ZEILINGER, A. (editors). *The Physics of Quantum Information*. Springer, 2000; NIELSEN, M. A. & CHUANG, I. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000. Ver também DAVIDOVICH, L. em *Ciência Hoje*, n. 206, p. 24, julho de 2004.

Luiz Davidovich é graduado e doutor em Física e professor do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. ldavid@if.ufrj.br

O autor agradece o apoio do CNPq, da FAPERJ (através do programa “Cientistas de nosso Estado”) e do Instituto do Milênio de Informação Quântica.

Esse argumento mostra que a idéia do “colapso” é uma representação que, apesar de útil para sintetizar os resultados de medidas realizadas sobre um sistema, não tem fundamento físico: a teoria quântica limita-se a prever os resultados das correlações entre as medidas realizadas sobre as duas partículas. Testes da mecânica quântica envolvem sempre a medida de correlações e prescindem do conceito de colapso. Os resultados de John Bell, que permitem diferenciar a mecânica quântica de teorias de variáveis escondidas, referem-se a correlações entre medidas feitas sobre as duas partículas que formam o par emaranhado.

Surpresas e desafios no final do século XX

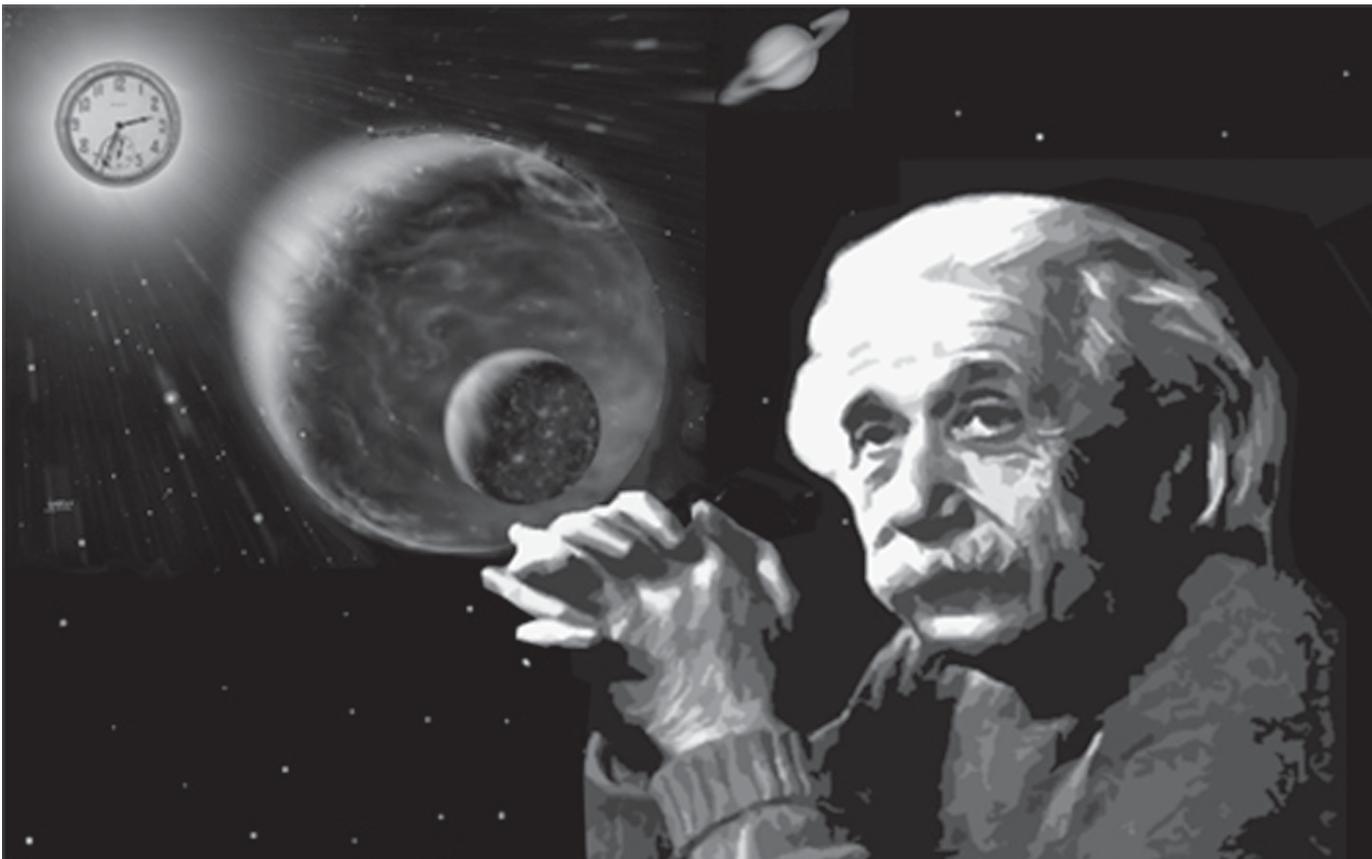
O “paradoxo EPR” e a questão levantada por Einstein em sua carta a Born em 1954, sobre a inexistência de superposições coerentes no mundo macroscópico, estão relacionados a questões que se constituíram no cerne de novos desenvolvimentos da física quântica, ocorridos na última década do século XX.

Um estudo detalhado dos estados emaranhados, compreendido por vários pesquisadores, levou à descoberta de propriedades sutis e propostas surpreendentes, envolvendo, por exemplo, a possibilidade de teleportação de estados quânticos, já demonstrada em vários laboratórios.⁴²

Uma nova disciplina, conhecida pelo nome de “informação quântica”, estuda métodos para caracterizar, transmitir, armazenar, compactar e utilizar computacionalmente a informação contida em estados quânticos.⁴³ Além de proporcionar um entendimento mais profundo da física quântica como uma nova teoria da informação, tem conduzido ao desenvolvimento de novos métodos criptográficos e à idéia de construção de computadores quânticos, baseados em algoritmos de cálculo que levam em conta a propriedade de superposição de estados quânticos.

Apesar dos fantásticos sucessos da mecânica quântica, permanece um problema fundamental de difícil solução: não é possível ainda compatibilizar essa teoria com a relatividade generalizada, que é o arcabouço teórico do fenômeno da gravitação. A compatibilização desses dois grandes desenvolvimentos conceituais do século XX poderá exigir uma nova teoria, que teria a mecânica quântica atual como caso limite, assim como a física clássica surge como limite da física quântica.

EINSTEIN E A COSMOLOGIA



Saulo Carneiro

Ao contrário do que às vezes se pensa, a atividade científica não é uma seqüência lógica de idéias e descobertas, dispendo um a um os tijolos do conhecimento. A história da cosmologia é um belo exemplo do fazer, desfazer e refazer contínuo da ciência. É bastante conhecida a influência que exerceram sobre o trabalho de Einstein as concepções de Mach acerca da origem da inércia, influência manifesta na teoria geral da relatividade e no primeiro modelo cosmológico moderno. Mais fascinante é compreender as razões de tal concepção ter sido, afinal, abandonada. Como abandonada foi, para ressurgir mais tarde, a famosa constante cosmológica.

Introdução

Ilustração de abertura

Bruno V. Thurner

Dado seu papel na fundação da física moderna, seria surpreendente se o nome de Einstein não guardasse relação com a moderna cosmologia. Na verdade, foi quem estabeleceu seus princípios. Foi o criador da teoria geral da relatividade, base dos modelos cosmológicos contemporâneos. A generalização da teoria especial da relatividade surgiu da necessidade de compatibilizá-la com a descrição da gravidade. A gravitação newtoniana fazia uso da interação à distância, instantânea, entre os corpos, enquanto que o princípio da relatividade exigia sua intermediação por campos, nos quais qualquer processo se desse em velocidade finita, não superior à velocidade da luz no vácuo. A teoria eletromagnética não só era compatível com essa exigência, como já a continha em seus fundamentos. A gravitação, no entanto, havia que ser generalizada, o que só foi possível com a generalização da própria relatividade. A teoria resultante coincide com a de Newton no limite de baixas velocidades e campos gravitacionais fracos. Por outro lado, leva a novas previsões quando em presença de grandes massas ou grandes densidades, e é portanto necessária se queremos descrever a evolução do universo em larga escala.

Foi Einstein também quem propôs, em 1917, o primeiro modelo cosmológico relativístico, caracterizado por um espaço finito, porém ilimitado, no qual a matéria é distribuída uniformemente. Nesse modelo, solução das equações da relatividade geral, a densidade da matéria não varia no tempo, o que levou a seu posterior abandono, após o estabelecimento definitivo por Hubble, em 1929, do afastamento das galáxias. No entanto, o modelo de Einstein não foi apenas prototípico dos demais modelos relativistas. Através dele estabeleceu-se a possibilidade de uma definição moderna de cosmos. Pois uma definição razoável de universo – ou ao menos de um universo estático, no qual o movimento médio da matéria é nulo em larga escala, como se acreditava então – não era possível nos marcos da gravitação newtoniana. Em Newton, um universo estático era necessariamente infinito, com matéria uniformemente distribuída em todo o espaço, caso contrário colapsaria sobre si mesmo. Tal cenário continha dificuldades insolúveis, entre as quais o célebre paradoxo de Olber, segundo o qual o céu noturno de um cosmos infinito e homogêneo deveria ser totalmente luminoso.

A definição apropriada do que chamamos universo, e sua consistência com a física que temos em mãos, é condição

básica para qualquer cosmologia. Essa condição era bem satisfeita, por exemplo, na cosmologia medieval, onde o cosmos era o conjunto das esferas etéreas, cada qual girando ao redor da Terra, carregando consigo os corpos celestes. A imobilidade da Terra no centro desse universo estava de acordo com a física aristotélica, segundo a qual os elementos pesados buscavam naturalmente o centro. Além disso, se a Terra se movesse, seu movimento seria perceptível em experiências simples, como soltar um peso do alto de uma torre e vê-lo cair a grande distância da mesma. Foi para dar credibilidade ao modelo heliocêntrico que Galileu desenvolveu sua nova física, em que os conceitos de inércia e de relatividade do movimento desempenham um papel central. Assim, uma longa via de duas mãos foi traçada: da cosmologia aristotélica à física galileana, a qual, aprofundada e ampliada por Newton, não admitia em si uma cosmologia consistente; e da física newtoniana à cosmologia moderna, passando pela nova física relativística.

O interesse primeiro de Einstein não era cosmológico, tendo ele percorrido um caminho inverso ao de Galileu: enquanto este se inspirou em problemas astronômicos para a construção de uma física terrestre, Einstein tinha, em primeiro lugar, interesses eminentemente físicos, que o levaram da eletrodinâmica à relatividade restrita, e desta à relatividade geral. A obtenção de um modelo cosmológico relativístico, assim como a explicação de fenômenos astronômicos antes inexplicados, como a precessão do perihélio de Mercúrio, ou a predição de novos, como a deflexão da luz de estrelas pelo Sol, foram conseqüências da nova teoria, cujo único laboratório à época – e o melhor ainda hoje – são os céus, com suas grandes massas e distâncias.

Isso não significa que, na criação de sua teoria da gravitação, Einstein não tenha tido qualquer inspiração de cunho cosmológico. Ao contrário, ele foi bastante influenciado pela crítica do físico e filósofo Ernst Mach à física newtoniana, crítica na qual um modelo de cosmos era imprescindível. Veremos a seguir que as idéias de Mach não influenciaram apenas o desenvolvimento dado por Einstein à sua nova física, mas influenciaram também o primeiro modelo cosmológico de nossa era.

Einstein e o Princípio de Mach

A grande contribuição de Galileu à defesa do modelo heliocêntrico, posta em forma final pela mecânica newtoniana, consistiu em mostrar que todo movimento uniforme é relativo. Não é possível saber, através de nenhuma experiência,

se um sistema físico está em repouso ou em movimento uniforme em relação a um sistema de referência inercial. O que significa que quaisquer sistemas de referência em movimento uniforme em relação a um sistema inercial são também inerciais, e que as leis físicas devem se expressar da mesma forma em todos eles. É assim que explicamos como a pedra, solta do alto da torre, cairá ao pé da mesma, apesar de a torre, arrastada pela terra, estar em rápido movimento. Como diferentes observadores medem, para um mesmo objeto, diferentes posições e velocidades, seria o mesmo dizer que espaço e velocidade são grandezas relativas, o que conhecemos como princípio da relatividade de Galileu (o princípio da relatividade de Einstein acabaria ainda com o caráter absoluto do tempo).

A primeira crítica que se pode fazer aqui é a respeito do conceito de sistema inercial, que não está previamente definido. Poderíamos defini-lo através da segunda lei de Newton, como aquele em que um corpo livre da ação de forças permanece em movimento uniforme. Mas para isso teríamos que definir força, ou estabelecer as condições em que um corpo é considerado livre, o que só é possível fazendo-se referência a um sistema inercial. A alternativa era simplesmente identificar os sistemas inerciais como aqueles em movimento uniforme em relação às estrelas fixas, ou distantes, identificação que, além de puramente empírica, era mera coincidência.

Outra característica da axiomática newtoniana criticada por Mach, cinco décadas antes do advento da relatividade geral, era o caráter absoluto das acelerações. Ao contrário dos movimentos uniformes, os movimentos acelerados são detectáveis através de experiências. Se no interior de um trem vemos um pêndulo em posição vertical, não saberemos dizer se o trem está em repouso ou em movimento uniforme em relação à estação. Mas, se o mesmo acelera, o pêndulo inclina-se imediatamente. Trata-se aqui do que Newton chamaria aceleração absoluta, ou seja, aceleração em relação a um sistema inercial, em contraposição à aceleração relativa. Por exemplo, se na mesma estação é outro trem que acelera, a aceleração relativa entre os dois não ocasionará qualquer efeito observável sobre o pêndulo.

Para Mach os conceitos de espaço e tempo não são mais que construções do espírito humano, construções secundárias e sempre relativas ao conceito primário de matéria. Para ele, espaço e tempo não podiam ter existência e propriedades independentes da matéria, e qualquer movimento, acelerado ou não, era portanto sempre relativo à

matéria. Quando o trem acelera na estação, ele acelera em relação ao conjunto de toda a matéria do universo, considerada em seu estado médio de movimento, e o desvio do pêndulo seria conseqüência dessa aceleração relativa. Se o trem ao lado tivesse massa suficientemente grande, sua aceleração relativa ao primeiro ocasionaria efeito semelhante. Aí residiria, por outro lado, a explicação para a aparente coincidência entre um sistema inercial e o sistema das estrelas distantes.

Apesar de Mach não propor uma realização física concreta para sua idéias, seria natural que os efeitos inerciais advindos da aceleração relativa entre um corpo e a totalidade do universo resultasse de uma interação gravitacional (alguma correção à gravitação newtoniana?). A gravidade, além de ser de longo alcance, é universal, existindo entre quaisquer corpos. Isto daria às forças de inércia, como a força centrífuga, surgidas em sistemas de referência acelerados, uma origem gravitacional, e justificaria outra curiosa coincidência: aquela observada entre a massa inercial de um corpo, presente na segunda lei de Newton, e sua massa gravitacional, presente na lei da gravitação universal. É esta coincidência que faz massas diferentes caírem com mesma aceleração na superfície da Terra.

Não é difícil perceber a influência dessas idéias sobre Einstein, que, em 1907, teria a inspiração inicial para o desenvolvimento da teoria geral da relatividade. Seu *insight* consistiu em estabelecer uma equivalência entre sistemas uniformemente acelerados e campos gravitacionais uniformes. Considere um cosmonauta no interior de uma pequena espaçonave. Ele não poderá discernir, através de experiências mecânicas, se a espaçonave está uniformemente acelerada “para cima”, ou se se encontra em repouso em um campo gravitacional uniforme que aponta “para baixo”. A razão disto está na já referida coincidência entre as massas inercial e gravitacional, o que faz todos os corpos caírem com mesma aceleração num campo gravitacional uniforme. Einstein postulou que essa equivalência é válida para qualquer experiência física, e não apenas as mecânicas. Em seguida a generalizou para campos não-uniformes, o que só foi possível através de uma formulação local: numa região suficientemente pequena do espaço, qualquer campo gravitacional é fisicamente equivalente a um campo de forças inerciais, ou seja, pode ser localmente “desligado” por uma mudança de sistema de referência. Esse “princípio da equivalência” seria a base da relatividade geral, teoria que só viria à luz em sua forma definitiva em 1916. Do ponto de

vista geométrico, dizemos que um campo gravitacional é equivalente a um espaço-tempo curvo, ao passo que o espaço-tempo plano da relatividade restrita corresponde à ausência de campo.

Inicialmente, Einstein acreditava que a nova teoria seria uma realização das idéias de Mach: se campos gravitacionais são localmente equivalentes a campos inerciais, seria o mesmo dizer que as forças de inércia, presentes em sistemas acelerados, e portanto a própria inércia, têm origem gravitacional. Entretanto, para isso faz-se necessário um modelo cosmológico adequado. Em primeiro lugar, a distribuição de matéria deve ser isotrópica, caso contrário a massa inercial de um corpo poderá depender da direção em que este é acelerado. Como não ocupamos uma posição central no universo (sequer ocupamos uma posição central em nossa própria galáxia), a distribuição da matéria deve ser isotrópica em torno de qualquer ponto, e portanto ela é também homogênea (a isso se chama princípio cosmológico).

Em segundo lugar, a matéria deve estar em repouso em relação a algum sistema localmente inercial (nos referimos ao movimento médio da matéria, tomado em escala cosmológica). Para entendermos o que isso significa, consideremos novamente nosso cosmonauta em sua pequena espaçonave, distante de qualquer corpo celeste. Com as cortinas das janelas fechadas, ele faz algumas experiências para se assegurar de que sua nave é um sistema inercial. Solta uma fruta em repouso, e, percebendo que ela acelera numa certa direção, aciona os retrofoguetes de forma a compensar o efeito. Mas nota ainda que a fruta adquire um movimento de rotação, e novamente o compensa, fazendo com que a nave gire também. Por fim consegue que a fruta permaneça em repouso, e, como sobre a mesma não age qualquer força, conclui que sua nave é agora um sistema inercial. Finalmente, abre as cortinas e observa as estrelas distantes. Segundo Mach, elas deverão estar em repouso (ou em movimento uniforme).

O modelo cosmológico de Einstein cumpre as condições acima: a matéria é distribuída de forma homogênea e isotrópica; e está em repouso num sistema de referência apropriado, que, na vizinhança de um ponto qualquer do espaço, é localmente inercial. Além disso, sendo o espaço finito (porém ilimitado, numa geometria curva isso é possível, pense por exemplo na superfície de um globo), o paradoxo de Olber fica naturalmente resolvido, pois o número de estrelas no céu é finito. Apesar de tudo, a recepção de Mach à teoria da relatividade, mesmo em sua forma

restrita, evoluiu para uma clara rejeição. Einstein atribuiu tal atitude a uma diminuição da capacidade de compreensão do velho filósofo. Veremos que não foi necessariamente assim, e que as razões de Mach foram, provavelmente, as mesmas que levaram Einstein – e a maioria dos cosmólogos modernos – a, paulatinamente, abandonar o “princípio de Mach”.

Antes, chamemos a atenção para outro importante ingrediente do modelo. Para obter uma solução estática, Einstein foi obrigado a adicionar às equações originais da relatividade geral um novo termo, por ele denominado termo cosmológico (também conhecido por constante cosmológica). A presença desse termo fazia, ademais, com que o espaço-tempo plano, vazio de matéria, não fosse solução das equações da teoria. Para Einstein, isto indicava a impossibilidade de soluções na ausência de matéria, em acordo com as expectativas de Mach. Neste ponto, porém, ele não podia estar mais enganado.

Os novos modelos

Suponha que você se encontre em um veículo em movimento. Se o veículo freia bruscamente, você é atirado para a frente, como se uma força real o empurrasse. Na verdade você simplesmente seguiu em movimento uniforme em relação ao referencial – aproximadamente inercial – da terra. Mas, visto do referencial do veículo, você foi retirado do repouso por uma força inercial, a qual, segundo Mach, tem sua origem em uma interação com o conjunto do universo. Note contudo que essa força aparece instantaneamente, assim que os freios do veículo são acionados. Surge então uma incômoda pergunta: como as galáxias distantes “percebem”, instantaneamente, a aceleração (frenagem) do veículo? Há duas possíveis respostas. A primeira nos diz que a interação entre você e o restante do universo se dá à distância, como na teoria newtoniana. Mas isso é contraditório com os princípios da relatividade restrita, segundo os quais nenhuma informação se pode propagar com velocidade superior à da luz.

A segunda alternativa é introduzir um campo que transmita a interação entre você e as galáxias distantes. Na relatividade geral esse papel é desempenhado pelo próprio espaço (na verdade, pelo espaço-tempo). A distribuição de matéria determina a curvatura do espaço em cada ponto, curvatura que, por sua vez, determina a inércia dos corpos em movimento. Mais precisamente, a curvatura determina a trajetória (a geodésica) percorrida por um corpo “livre”, ou

seja, na ausência de outras forças que não a gravidade. Foi esta a solução adotada por Einstein. Mas aqui surgem dois problemas, relacionados entre si. O primeiro é a introdução de uma entidade física, o espaço-tempo, com existência e propriedades intrínsecas, violando a concepção original de Mach sobre a primazia da matéria. O espaço-tempo já não é apenas um palco inerte onde as coisas acontecem, mas participa ele mesmo do desenrolar dos acontecimentos. Segundo, ao representar graus de liberdade independentes, a curvatura do espaço-tempo – e portanto a inércia dos corpos – não é determinada completa e univocamente pela distribuição de matéria.

De fato, no mesmo ano de 1917 veio à luz uma nova solução cosmológica das equações da relatividade geral, devida a de Sitter. Esse universo tinha a surpreendente propriedade de ser vazio, ou seja, de ser uma solução com ausência de matéria, porém com curvatura não nula, o que era possível devido, ironicamente, ao termo cosmológico introduzido por Einstein. Essa curvatura determina as linhas geodésicas seguidas por uma massa de prova, seu movimento inercial, apesar de não haver qualquer outra matéria nesse universo.

Einstein julgou que a solução de de Sitter, apesar de matematicamente correta, continha inconsistências físicas, devido à presença de uma singularidade, ou seja, de uma região do espaço na qual as equações da teoria se tornavam indefinidas. Mas logo ficou claro que esse problema se devia à escolha do sistema de referência utilizado. Para isso foi importante a contribuição, entre outros, do padre belga George Lemaître. Através de uma transformação adequada de coordenadas ele mostrou, em 1925, durante seu doutoramento, que o universo de de Sitter é um universo homogêneo e isotrópico em expansão, e usou em favor deste modelo as observações do afastamento das galáxias, que surgiam à época. Dois anos depois ele proporia um universo que evolui da solução estática de Einstein, com matéria e termo cosmológico, para a solução de de Sitter, na qual a matéria se encontra totalmente diluída, um cenário sugerido originalmente por Eddington, em 1923. Ao mesmo tempo, entre 1922 e 1924, de forma totalmente independente, o matemático russo Alexander Friedmann apresentava soluções cosmológicas não-estáticas das equações de Einstein da gravitação, nas quais o espaço se encontra em expansão. Após o estabelecimento definitivo do afastamento das galáxias, essas soluções se tornaram o paradigma da cosmologia moderna.

Bibliografia Recomendada

- EINSTEIN, Albert. *O Significado da Relatividade*. Coimbra: Armênio Amado, 1984.
- PAIS, Abraham. *Sutil é o Senhor.... A Ciência e a Vida de Albert Einstein*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
- KRAGH, Helge. *Quantum Generations. A History of Physics in the Twentieth Century*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1999. cap. 7 e 23.
- EISENSTAEDT, Jean. Lemaître and the Schwarzschild Solution. In: EARMAN, J.; JANSSEN, M. & NORTON, J. D. (org.). *The Attraction of Gravitation: New Studies in the History of General Relativity*. Boston: Birkhäuser, 1994. p. 353-389.
- GÖDEL, Kurt. A Remark About the Relationship Between Relativity Theory and Idealistic Philosophy. In: SCHILPP, P. A. (org.). *Albert Einstein. Philosopher-Scientist*. La Salle, Illinois: Open Court, 1949. p. 555-562. Ver também *Einstein's reply*, *Idem*, p. 684-688.

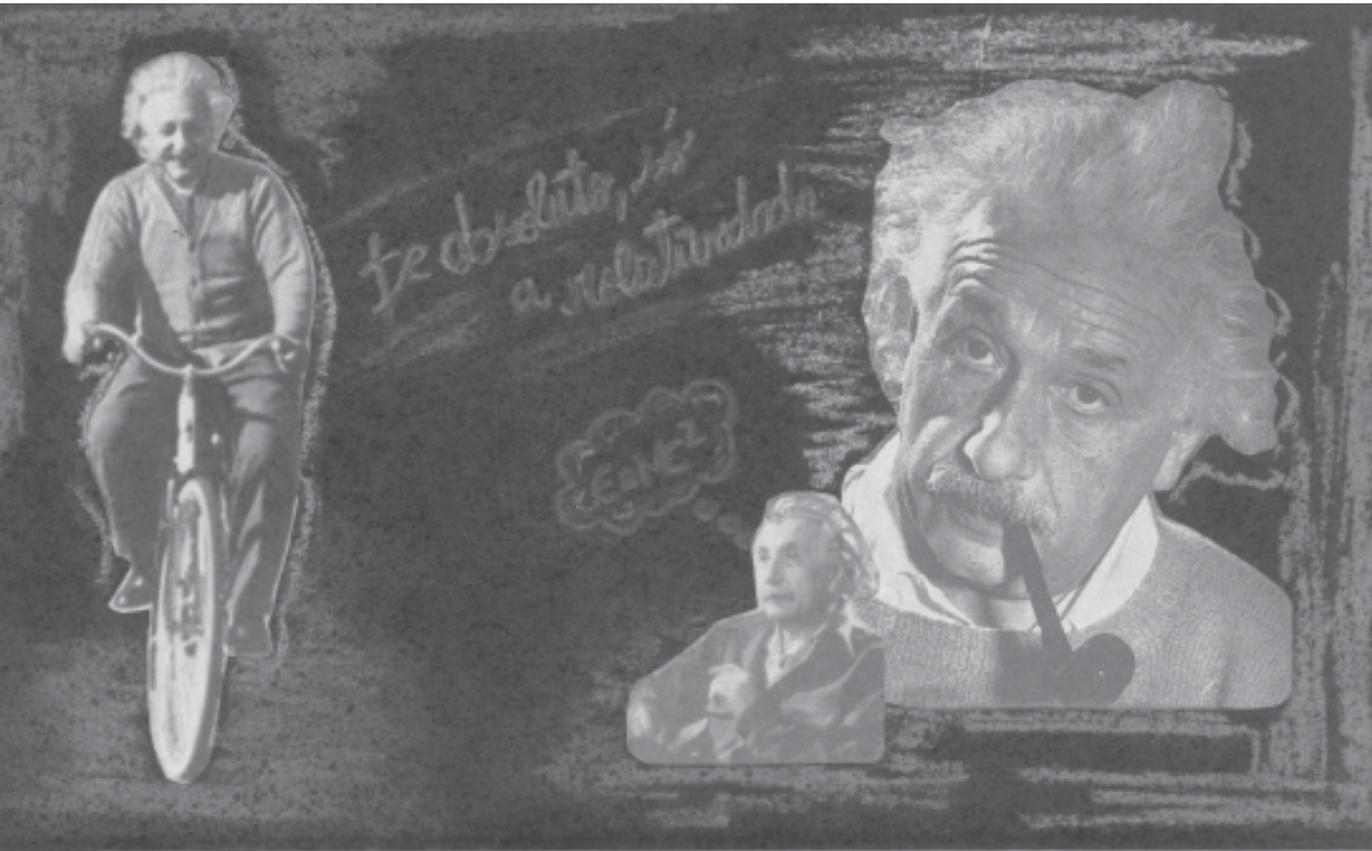
Saulo Carneiro é graduado e doutor em Física e professor do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia. Foi pesquisador visitante do Consejo Superior de Investigaciones Científicas, em Madri, Espanha.
saulo@fis.ufba.br

Apesar de pouco estudado pelos historiadores da ciência, um outro tipo de modelo, surgido várias décadas mais tarde, tornaria ainda mais claro o insucesso da relatividade geral em realizar a concepção de Mach da relatividade de todo movimento. Em 1949, o matemático Kurt Gödel demonstrou a existência de soluções cosmológicas das equações de Einstein nas quais a matéria está em rotação em relação a um sistema localmente inercial. Os sistemas inerciais não coincidem com o das estrelas distantes, cuja rotação é, neste sentido, absoluta. A solução original de Gödel era estacionária (sem expansão) e necessitava de uma constante cosmológica de sinal oposto à introduzida por Einstein. No entanto, não tardou muito para que ele demonstrasse a existência de soluções com rotação e expansão, com ou sem constante cosmológica (curiosamente, nenhuma dessas soluções foi explicitamente encontrada). Outra intrigante característica das soluções de Gödel é a possibilidade de trajetórias espaço-temporais que retornam ao instante de partida, colocando em questão nossa concepção de causalidade, tão cara a Einstein. Com exceção de um pequeno e pouco esclarecedor comentário, não sabemos como este, colega e amigo de Gödel, reagiu a tais resultados.

Para concluir, uma breve nota sobre a constante cosmológica. Após a descoberta da recessão das galáxias, essa constante já não era necessária, pois foi introduzida de forma a possibilitar uma solução estática. Einstein sugere então seu abandono definitivo (ao contrário de Lemaître, que a manteve por toda a vida). O termo cosmológico está presente, contudo, nas versões mais modernas do modelo padrão de evolução do universo, presença corroborada por observações recentes. É surpreendente que o maior erro de Einstein, como teria dito ele próprio, tenha sido afinal mais um brilhante acerto. Essa, porém, é uma outra história.

EINSTEIN E A POLÍTICA

pensamento e ação



Olival Freire Jr.

O pensamento político de Albert Einstein não foi por ele sistematizado num livro específico, mas está presente em testemunhos esparsos, artigos, cartas, discursos dedicados a temas como pacifismo, colaboração entre nações, perigo nazista, direitos civis, socialismo. Merece análise seu posicionamento face à ameaça às liberdades civis durante o período macarthista, quando suspeitas de professar o comunismo repousaram sobre ele e cujas investigações constam nos arquivos do FBI. Vale lembrar ainda seu apoio ao físico David Bohm, exilado no Brasil por três anos, no início da década de 1950, e seu engajamento na luta contra a discriminação racial dos negros norte-americanos. Enfim, uma reflexão sobre o contexto vivenciado por Einstein e sobre questões contemporâneas nos Estados Unidos da América, evidencia uma preocupante atualidade das inquietações políticas do fundador da teoria da relatividade.

Introdução

Ilustração de abertura

Laíse Moraes

Convidado a escrever um artigo sobre Einstein e política, pensei que este convite poderia me levar a duas possibilidades bem diversas. A primeira seria procurar por um pensamento político sistematizado. Isso, contudo, não seria encontrado nos textos publicados por Einstein, ainda que ele tenha escrito um número significativo de artigos e discursos dedicados a temas como pacifismo, colaboração entre povos e nações, direitos do povo judeu, ameaça nazista, ameaça às liberdades civis, socialismo. Tais textos foram sempre escritos como respostas a situações concretas e se tomados fora dessas situações parecerão contraditórios entre si. Dois exemplos podem ilustrar o que digo. Ele defendeu o pacifismo e o desarmamento das nações na década de 1920 mas, na década seguinte, defendeu que as nações democráticas precisavam estar preparadas para enfrentar a ameaça nazista também no terreno militar, e essa foi a razão da carta que escreveu em 1939 ao Presidente Roosevelt, alertando para os riscos de que a Alemanha nazista chegasse primeiro à construção da bomba atômica, e conclamando os Estados Unidos para se antecipar nesse processo. No imediato pós segunda guerra, ele conclamou os judeus a buscarem não a construção de um estado próprio, mas um espaço de convivência com os árabes na Palestina; contudo, no início da década de 1950, na seqüência do ataque de vários estados árabes (Egito, Síria, Iraque, entre outros) ao recentemente criado estado de Israel, passou a apoiar a existência desse estado. Exemplos desse tipo sinalizam então para a segunda possibilidade de reflexão sobre Einstein e política. Ao invés de esperar um pensamento político sistemático, podemos aceitar a mesma sugestão que ele recomendava para se entender o que era a física teórica: ao invés de analisarmos o que o físico teórico diz de sua própria atividade, devemos analisar o que ele realmente faz.¹

Entretanto, ainda restava um problema prático. Einstein adotou posições políticas desde o início da Primeira Guerra Mundial até os seus últimos dias, em 1955. Como analisar e resumir tal escala temporal nos marcos de um artigo? Face a essa questão, a minha resposta foi a escolha de temas e períodos menos presentes na imagem pública construída de Einstein, mas igualmente importantes para a nossa compreensão da sua ação política. Deixo de fora deste artigo, portanto, o Einstein defensor do pacifismo, da cooperação entre os povos, dos direitos do povo judeu, da luta anti-nazista, da paz mundial; e me concentro

¹ “If you want to find out anything from theoretical physicists about the method they use, I advise you to stick closely to one principle: don’t listen to their words, fix your attention on their deeds.” EINSTEIN, A. On the method of theoretical physics. In: FRENCH, A. P. (org.), *Einstein - A Centenary Volume*. Cambridge: Harvard University Press, 1979. p. 310-314.

no Einstein defensor das liberdades civis, nos Estados Unidos, na década entre o final da Segunda Guerra e seu falecimento. Penso que esta escolha pode ser mais informativa ao leitor, mas também penso que ela guarda uma estranha atualidade, desde que ameaças análogas àquelas criticadas e enfrentadas por Einstein estão de novo presentes no cenário dos Estados Unidos.

A defesa das liberdades ameaçadas

A Guerra Fria que sucedeu a Segunda Guerra Mundial foi marcada nos Estados Unidos por uma verdadeira histeria anticomunista, alimentada pela chegada dos comunistas ao poder na China e pela explosão da primeira bomba atômica soviética.² Usualmente essa histeria tem o nome de macartismo, por referência ao Senador Joseph McCarthy, o qual se notabilizou através de sua atuação em Comissão do Congresso. A histeria, contudo, veio de antes, e sobreviveu ao Senador McCarthy, sendo melhor descrita como o ambiente político-cultural dominante nos Estados Unidos até pelo menos a segunda metade da década de 1950. Por essa razão, para melhor entendermos a expressão histeria anticomunista é preciso realçar que o substantivo aqui é a histeria, um estado não racional que tomou conta de parcelas influentes da elite norte-americana. O alvo principal foi o setor da intelectualidade posto sob suspeição de inclinações comunistas. Este setor incluía artistas, cientistas, professores e funcionários públicos. A partir da explosão da bomba atômica pelos soviéticos, o problema adquiriu um foco mais delimitado. Criou-se a idéia de que os soviéticos tinham construído a bomba porque espíões teriam revelado o “segredo” da bomba para os soviéticos. Nesse contexto, os físicos, e em especial os físicos teóricos passaram a ser considerados como o “elo mais fraco” da segurança americana, aqueles que detinham o “segredo” e eram propensos a divulgá-lo para os soviéticos.³

A histeria, contudo, encontrou resistências tanto de um bom número das vítimas, como de um certo número de pessoas que compreenderam que aquele processo, mais que uma perseguição a comunistas, era uma ameaça às próprias liberdades civis. A resistência das vítimas se expressou muitas vezes na recusa a responder aos inquéritos das comissões do Congresso, sob a alegação de que a constituição dos Estados Unidos assegurava o direito do cidadão de não se submeter a interrogatórios que pudessem levar a uma auto-incriminação. Evidência de que a histeria não era restrita ao

² PAIS, Abraham. *Einstein Lived Here*. New York: Oxford University Press, 1994. p. 236. Edição brasileira: *Einstein viveu aqui*, tradução de Carolina Alfaro. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1994.

³ KAISER, David. *The Atomic Secret in Red Hands? Cold War Fears of Theoretical Physicists*, 2004 (no prelo).

Senador McCarthy e seus seguidores é o fato de que o pior acontecia depois da intimação para depor na referida comissão, com as pessoas sendo demitidas de seus empregos, e não só empregos no estado, mas também em universidades e instituições variadas. Para muitas dessas vítimas, a resistência prosseguiu na forma de processos jurídicos visando a recuperação de seus direitos. Como disse anteriormente, também houve resistência entre aqueles que, mesmo não sendo suas vítimas imediatas, viram nesse processo uma ameaça às liberdades individuais. Albert Einstein foi o mais notável deles.⁴

⁴ A resistência empreendida por Einstein está documentada em pelos menos dois livros. O primeiro é o já citado livro de Abraham Pais, que foi físico, colega de Einstein em Princeton, e autor de importantes obras de cunho histórico, entre as quais uma biografia de Albert Einstein e outra de Niels Bohr; o segundo é *The Einstein File*. New York: St. Martin's Press, 2002, escrito pelo jornalista Fred Jerome.

Sua manifestação mais importante foi, seguramente, a carta que endereçou a William Fraeunglass, um professor de inglês da Escola Secundária James Madison, no Brooklyn, New York. Este foi intimado a depor em uma outra comissão do Senado, a propósito de aulas que tinha ministrado anos antes. Ele tomou a decisão de não comparecer à comissão, argüindo ser um direito constitucional não responder questões relativas a filiações políticas. Fraeunglass foi em seguida demitido de seu emprego pela prefeitura da cidade. Procurado pelo professor demitido, Einstein lhe endereçou uma carta na qual assinalava que a mesma não precisava ser mantida em sigilo. De fato, a carta foi divulgada na primeira página do *The New York Times*, em 12 de junho de 1953. Pela relevância desse documento, parece interessante transcrever a matéria publicada:

“Recusar a Testemunhar”, Einstein aconselha intelectuais intimados pelo Congresso.

Artigo por Leonard Buder

Dr. Albert Einstein, em uma carta divulgada ontem, disse que todo intelectual intimado por um comitê de investigação do Congresso, deveria se recusar a testemunhar, e “estar preparado para ir para a prisão, para a ruína econômica, para o sacrifício de seu bem-estar pessoal no interesse do bem-estar cultural de seu país.”

Ele declarou que “é vergonhoso para um cidadão inocente se submeter a tal inquisição,” e que “este tipo de inquisição viola o espírito da Constituição.” O físico mais destacado do mundo externou seu ponto de vista em uma carta a um professor de inglês de New York que está enfrentando a demissão do sistema escolar devido a sua recusa em testemunhar no Subcomitê de Segurança Interna do Senado. O professor William Fraeunglass, da James Madison High School, tornou pública a carta do Dr. Einstein, a qual

continha um pós-escrito afirmando que não precisava ser mantida como confidencial. Entrevistado pelo telefone em sua residência, em Princeton, N. J., Dr. Einstein confirmou a carta que foi lida para ele. Em resposta a uma pergunta, ele afirmou que se recusaria a testemunhar se chamado a um comitê congressional.

Mr. Fraeunglass, um professor de escola secundária por mais de 23 anos, escreveu ao Dr. Einstein, em 9 de maio,

e se referiu a uma declaração que o cientista havia feito recentemente, na qual se descreveu como “um incorrigível não conformista” em um “campo remoto de atividade” que nenhum comitê do Senado havia se preocupado em incomodar.

O professor do Brooklyn relatou então que em 24 de abril havia sido intimado a comparecer ante o subcomitê do Senado em função de aulas que tinha ministrado seis anos antes, em curso de formação organizado pelo Comitê de Educação. O curso, sobre “Técnicas de Ensino Intercultural”, foi criticado por uma testemunha no comitê como sendo “contrário aos interesses dos Estados Unidos.”

“Com fundamento na Constituição, eu me recusei a responder questões sobre filiação política,” escreveu

Mr. Frauenglass, observando que agora estava sendo demitido com base na secção 903 do estatuto da cidade. Esta secção determina que sejam consideradas vagas as posições dos funcionários municipais que se recusem a responder solicitações oficiais com base na proteção fornecida pela Quinta Emenda da Constituição.

“Uma afirmativa sua,” disse o professor, “seria muito útil na mobilização dos educadores e do público para enfren-
tar esse novo ataque obscurantista.”

'Refuse to Testify,' Einstein Advises Intellectuals Called In by Congress
By LEONARD BUDER
New York Times (1857-Clevedo file) Jan 12, 1953; ProQuest Historical Newspapers The New York Times
pg. 1

'Refuse to Testify,' Einstein Advises Intellectuals Called In by Congress

By LEONARD BUDER

Dr. Albert Einstein, in a letter made public yesterday, said that every intellectual called before a Congressional investigating committee should refuse to testify, and "must be prepared for jail and economic ruin, in short, for the sacrifice of his personal welfare in the interest of the cultural welfare of his country."

He declared that "it is shameful for a blameless citizen to submit to such an inquisition," and that "this kind of inquisition violates the spirit of the Constitution."

The world's foremost physicist made his views known in an exchange of correspondence with a New York teacher of English who is facing dismissal from the school system because of his refusal to testify before the Senate Internal Security subcommittee. The teacher, William Frauenglass, of James Madison High School, made public Dr. Einstein's letter, which bore

the postscript that it need not be considered confidential.

Reached by telephone at his home in Princeton, N. J., Dr. Einstein confirmed the letter, which was read to him. He said, in response to a question, that he would refuse to testify if called before a Congressional committee.

Mr. Frauenglass, a high school teacher for more than twenty-three years, wrote to Dr. Einstein on May 9 and referred to a statement the scientist had made recently in which he described himself as "an incorrigible nonconformist" in a "remote field of endeavor" that no Senatorial committee had as yet felt impelled to tackle.

The Brooklyn teacher then related that on April 24 he had been called before the Senate subcommittee as a result of lectures he had given six years earlier at an

Continued on Page 9, Column 2

Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited without permission.

O jornal estampa em seguida a carta de Einstein:

Cientista explica seu ponto de vista

A resposta do Dr. Einstein, datada de 16 de maio, foi a seguinte:

Caro Senhor Frauenglass,

Obrigado por sua comunicação. Por "campo remoto", eu me referi aos fundamentos teóricos da física.

O problema enfrentado pelos intelectuais deste país é muito sério. Os políticos reac-

ionários têm conseguido instilar no público suspeitas sobre as atividades intelectuais, associando-as com perigos sem fundamento.

Tendo obtido êxito até aqui, eles buscam agora suprimir a liberdade de ensino e privar de suas posições todos aqueles que não se revelem submissos, isto é, levá-los à morte pela fome.

O que deve a minoria de intelectuais fazer contra essa ameaça diabólica? Francamente, eu só vejo o caminho revolucionário da não-cooperação, no sentido de Gandhi. Todo intelectual intimado por um desses comitês deveria se recusar a testemunhar, isto é, ele deve estar preparado para a prisão e para a ruína econômica, em suma, para o sacrifício de seu bem-estar pessoal, no interesse do bem-estar cultural do país.

Esta recusa deve estar baseada na afirmativa de que é vergonhoso para cidadãos inocentes se submeter a tal inquisição, e que este tipo de inquisição viola o espírito da Constituição.

EINSTEIN COUNSELS: 'REFUSE TO TESTIFY'

Continued From Page 1

in-service course for teachers arranged by the Board of Education. The course, on "Techniques of Intercultural Teaching," was criticized by a committee witness as being "against the interests of the United States."

"On principled constitutional grounds I refused to answer questions as to political affiliations," Mr. Frauenglass wrote, noting that he now faced dismissal under Section 903 of the City Charter. This section vacates the positions of city employes who refuse to answer official questions by pleading the protection of the Fifth Amendment to the Constitution.

"A statement from you," the teacher's letter said, "would be most helpful in rallying educators and the public to meet this new obscurantist attack."

Scientist Explains Views

Dr. Einstein's reply, dated May 16, was as follows:

Dear Mr. Frauenglass:

Thank you for your communication. By "remote field" I referred to the theoretical foundations of physics.

The problem with which the intellectuals of this country are confronted is very serious. The reactionary politicians have managed to instill suspicion of all intellectual efforts into the public by dangling before their eyes a danger from without. Having succeeded so far they are now proceeding to suppress the freedom of teaching and to deprive of their positions all those who do not prove submissive, i. e., to starve them.

What ought the minority of intellectuals to do against this evil? Frankly, I can see only the revolutionary way of non-cooperation in the sense of Gandhi's. Every intellectual who is called before one of the committees ought to refuse to testify, i. e., he must be prepared for jail and economic ruin, in short, for the sacrifice of his personal welfare in the interest of the cultural welfare of his country.

This refusal to testify must be based on the assertion that it is shameful for a blameless citizen to submit to such an inquisition and that this kind of inquisition violates the spirit of the Constitution.

If enough people are ready to take this grave step they will be successful. If not, then the intellectuals of this country deserve nothing better than the slavery which is intended for them.

Sincerely yours,

A. EINSTEIN.

P. S. This letter need not be considered "confidential."

First Letter Revised

Mr. Frauenglass said yesterday that Dr. Einstein also mentioned in the letter that intellectuals should not seek the protection of the Fifth Amendment in refusing to testify. However, the teacher said that Dr. Einstein agreed to his request to delete this statement, and sent him another copy without such mention.

The teacher added that on Monday morning he had traveled to Princeton, and although he did not have an appointment, was permitted to see Dr. Einstein. He said he had told the scientist of his intention to make public the letter, and he quoted Dr. Einstein as saying that he was prepared to go to jail if he should be called before an investigating committee.

Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited without permission.

Se um número suficiente de pessoas estiver preparado para dar esse grave passo, obterão êxito. Caso contrário, os intelectuais deste país não merecem nada diferente da escravidão que lhes está sendo destinada.

*Sinceramente,
Albert Einstein*

P. S. Esta carta não precisa ser considerada “confidencial.”

O jornalista informa ainda que, segundo o professor, a carta do cientista havia sofrido correção:

Primeira carta revisada

O Sr. Fraeunglass disse ontem que o Dr. Einstein também mencionou na carta que intelectuais não deviam buscar a proteção da Quinta Emenda ao recusar o testemunho. Contudo, o professor disse que o Dr. Einstein concordou com sua solicitação de retirar esta afirmativa, e enviou outra cópia sem tal menção.

O professor acrescentou que na segunda-feira, pela manhã, tinha ido a Princeton, e embora não tivesse entrevista marcada, foi-lhe permitido um encontro com o Dr. Einstein. Ele disse que havia informado o cientista sobre sua intenção de tornar pública a carta. O Dr. Einstein teria dito que estava preparado para ir para a prisão se fosse intimado a comparecer ante um comitê de investigação.⁵

O texto repercutiu intensamente na opinião pública, recebendo apoios e críticas. O apoio mais notável veio de fora dos Estados Unidos. O filósofo britânico Bertrand Russel se manifestou a favor de Einstein, e com sua fina ironia lembrou que, se no passado os norte-americanos não tivessem tido atitude similar àquela pregada por Einstein, ainda hoje os americanos teriam que reverenciar os monarcas britânicos, com o que ele, Bertrand Russel, súdito britânico, teria ficado muito contente.⁶ Dentre as críticas, é de se notar que mesmo alguns setores mais liberais, que manifestavam apreensão quanto ao clima de histeria que havia tomado conta do país, não se posicionaram a favor de Einstein. Tal foi o caso do jornal *The Washington Post*.⁷ Einstein não se curvou à pressão e, das suas várias manifestações posteriores, aquela com maior força de persuasão foi uma declaração ao jornal *The Reporter*, em 18 de novembro de 1954, a qual também merece ser transcrita, pelo seu significado:

⁵ *The New York Times*, 12 de junho de 1953, p. 1. Texto obtido pelo *ProQuest Historical Newspapers*, cortesia da Harvard University.

⁶ “I am compelled to suppose that you condemn George Washington [...] As a loyal Briton I of course applaud this view but I fear it may not win much support in your country.” in PAIS, A. *Op. cit.*, p. 239.

⁷ PAIS, A. *Op. cit.* p. 239.

*Você me pergunta o que eu penso sobre os artigos relativos à situação dos cientistas na América. No lugar de tentar analisar o problema, gostaria de expressar o meu sentimento com uma curta observação: se eu fosse novamente um jovem e tivesse que decidir sobre uma profissão para o meu sustento, não tentaria ser cientista ou professor. Escolheria ser encanador ou caixeiro-viajante, na esperança de encontrar aquele modesto grau de independência ainda possível nas circunstâncias atuais.*⁸

⁸ PAIS, A. *Op. cit.*, p. 240.

A declaração de Einstein teve efeitos práticos entre as vítimas do macartismo, e também repercutiu no seu estado de espírito. Por coincidência, a mesma edição do *The New York Times*, de 12 de junho de 1953, que publicou a primeira carta de Einstein, publicou também a notícia de outro forte desafio às comissões de investigação. O Capitão George Wuchinich, pára-queda herói da Segunda Guerra Mundial, havia sido intimado e compareceu à comissão do Congresso, mas se recusou a colaborar, citou o seu registro de heroísmo e desafiou os inquisidores a responderem onde estavam durante a guerra. Einstein escreveu a Wuchinich solidarizando-se, e os dois trocaram correspondência por certo tempo. Seis meses depois, o engenheiro elétrico Al Shadowitz, também intimado, buscou e obteve apoio de Einstein. Em 16 de dezembro de 1953, compareceu à comissão e não se submeteu ao interrogatório, baseando-se na Primeira Emenda da Constituição norte-americana, e “porque o Professor Einstein orientou-me para não responder.” Pouco depois, outros dois professores de escolas secundárias em New York, Irving Adler e Normand London, também recusaram-se igualmente a colaborar, também apoiados na carta de Einstein. Os Fraeunglass e os Shadowitz visitaram Einstein. Por iniciativa de Tillie Frauenglass, que também era professora, a família registrou o encontro em notas, as quais foram mantidas inéditas por quase meio século. As anotações registram que, no final do encontro, Einstein se dirigiu a William Frauenglass com as seguintes palavras: “obrigado por me ter propiciado a oportunidade de me expressar”, [afirmando que ter escrito a carta] “deu-me uma das mais profundas satisfações de minha vida.”⁹

⁹ Os episódios envolvendo Wuchinich, Frauenglass e Shadowitz estão descritos no livro de Fred Jerome, capítulo “Turning Tides”, p. 233-255.

Einstein, David Bohm e o Brasil

A resistência de Einstein às ameaças às liberdades civis adquiriu o caráter de solidariedade a algumas das vítimas. Um desses casos, o do físico David Bohm, é relevante

também para a história do Brasil. David Bohm era professor na Universidade de Princeton quando foi intimado a depor, em 1949, sobre suas ligações com o Partido Comunista, no período da guerra, quando trabalhava em Berkeley, sob a orientação de Robert Oppenheimer. Bohm compareceu à comissão do Senado, mas se recusou a prestar informações sobre sua posição política. Foi preso por desacato ao Congresso, liberado e posteriormente absolvido pela justiça. A Universidade de Princeton, contudo, decidiu, em meados de 1951, não renovar seu contrato. Bohm, que era amigo de Einstein, buscou seu apoio na tentativa de encontrar um emprego fora dos Estados Unidos, sem sucesso. Nessa altura, o Brasil entrou na história de David Bohm, quando o físico Jayme Tiomno, que finalizava seu doutoramento em Princeton, convidou-o a vir para a Universidade de São Paulo. Einstein foi solidário nesse processo, porque a pedido de Abrahão de Moraes, então Chefe do Departamento de Física da USP, escreveu cartas em defesa de Bohm endereçadas ao Presidente da República, Getúlio Vargas, e ao Governador do Estado, Adhemar de Barros. As cartas foram enviadas a Abrahão de Moraes para serem utilizadas, se necessário. Mas não foram necessárias, e só na década de 1990, devido ao trabalho do pesquisador francês Michel Paty nos Arquivos Einstein, essas cartas vieram a público.¹⁰

¹⁰ Ver FREIRE Jr., Olival. Bohm, Einstein e a ciência no Brasil, in MOREIRA, Ildeu de Castro e VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (orgs.). *Einstein e o Brasil*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1995. Ver também FREIRE Jr., Olival, PATY, Michel & BARROS, Alberto Luís da Rocha. David Bohm, sua estada no Brasil e a Física Quântica. *Estudos Avançados*, 20, 53-82, 1994.

O envolvimento de Einstein com o Brasil, através de David Bohm, teve outros desdobramentos, apenas indiretamente relacionados com o contexto norte-americano. David Bohm nunca se sentiu à vontade no Brasil. O programa de pesquisa que ele então desenvolvia – uma reinterpretação causal da mecânica quântica – não motivava os físicos, e ele tendia a considerar interessantes apenas aquelas pessoas que partilhavam o seu ponto de vista sobre a mecânica quântica. Sem nenhum interesse prévio pelo Brasil, nem conhecimento anterior sobre o país, quando aqui chegou ficou surpreso porque o Brasil não era tão desenvolvido quanto os Estados Unidos. Além disso, como reflexo dos tempos do macartismo, o Consulado Americano confiscou seu passaporte e declarou que ele só o teria de volta para retornar aos Estados Unidos. Bohm não gostava do Brasil, mas gostava menos dos Estados Unidos, temendo um novo processo caso retornasse. Em 1954, Bohm tinha planos de ir para Israel, e mais uma vez buscou apoio em Einstein, que inicialmente hesitou, argumentando que só deveriam partir para Israel aqueles que quisessem se estabelecer por lá. Para o que nos interessa nesse artigo, cabe assinalar que, na tentativa de convencer Einstein, David Bohm lhe escreveu enfatizando

todas as adversidades que encontrou no Brasil. Deve ser dito que Bohm apontou problemas reais da sociedade brasileira da época, como a corrupção generalizada, mas a ênfase foi excessiva. Ele afirmava que o governo brasileiro não incentivava a pesquisa, e é fato que o apoio era insuficiente, mas Bohm não observou que ele mesmo havia recebido todos os auxílios que havia solicitado ao recém criado Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para trazer ao Brasil físicos com os quais queria interagir, como Jean-Pierre Vigié, Ralph Schiller e Mário Bunge. Einstein respondeu a Bohm com uma sentença curta sobre o papel da ciência e da educação em um país como o Brasil: “O que mais me espanta é o governo brasileiro não fazer nenhuma tentativa séria para tornar os altos estudos mais atraentes – é uma necessidade absoluta para o desenvolvimento técnico. Compare, por exemplo, como o Japão agiu no século XIX.” A relevância das observações de Einstein para o Brasil de hoje explica o fato de que, desde quando essas cartas foram publicadas na *Ciência Hoje*, em 1993, de tempos em tempos a frase é retomada por cientistas ou jornalistas em declarações favoráveis a um maior apoio governamental ao desenvolvimento da ciência no Brasil.¹¹

¹¹ Para a estada de Bohm no Brasil, ver também FREIRE Jr., Olival, “Science and Exile: David Bohm, the hot times of the Cold War, and his lasting struggle for a new interpretation of Quantum Mechanics,” trabalho apresentado no workshop “Migrant Scientists in the Twentieth Century, Universidade de Milão, 20-22 de Junho de 2003. Para a declaração de Einstein, ver FREIRE Jr., Olival, *Op. cit.*, 1995.

O dossiê Einstein no FBI

Abraham Pais usou como epígrafe de seu livro *Einstein Lived Here* a seguinte frase de Einstein, publicada em 1944: “Por que ninguém me entende e todos gostam de mim?” Pais usou essa epígrafe para observar que ela não era inteiramente verdadeira. Registrou que em muitos cursos de pós-graduação a teoria da relatividade já era bem ensinada, e que nem todos gostavam de Einstein. Seu livro traz exemplos disso, como nos episódios que descrevemos relacionados às posições de Einstein em defesa das liberdades civis nos Estados Unidos. Hoje temos muito mais evidências de que o físico não estava inteiramente certo. Eu me refiro ao dossiê que o “Federal Bureau of Information” acumulou sobre Einstein e que recentemente veio à tona, como objeto do livro *Einstein’s File*, de Fred Jerome. Esse livro nos propicia uma outra apreciação dos conflitos entre setores da sociedade norte-americana, e entre o estado americano e o físico Albert Einstein. Não tenho espaço nos marcos desse artigo para uma descrição circunstanciada desse dossiê, nem para descrever a saga do escritor para obter a sua liberação. O que farei aqui é um sumário do que passamos a conhecer com esse livro.

A mais significativa revelação contida no dossiê que o FBI acumulou sobre Einstein é que, no início da década de 1950, o todo poderoso chefe do FBI, J. Edgar Hoover, desencadeou uma investigação visando reunir elementos para apresentar Einstein como comunista, ou como espião a serviço dos soviéticos, e com base nessa documentação iniciar um processo de cassação da cidadania norte-americana, para posteriormente deportá-lo do país. A informação contrasta fortemente com a imagem de Einstein, construída na própria América, que o apresenta como o mais ilustre dos que emigraram da Alemanha nazista e que buscaram a cidadania norte-americana. Por que tal investigação não transpirou à época? Primeiro, porque o próprio Hoover, consciente do prestígio internacional de Einstein, conduziu a investigação no mais absoluto sigilo. Segundo, porque o FBI e outras agências norte-americanas nada encontraram de substancial para fundamentar a denúncia. Terceiro, porque o insucesso da investigação e o crescimento, dentro e fora dos Estados Unidos, da insatisfação com a histeria macartista, além das notícias do agravamento da saúde de Einstein, fizeram com que Hoover decidisse, no início de 1955, arquivar o processo. Hoover não pôde anular o prestígio de Einstein, mas não quis transformá-lo em um santo laico. O dossiê Einstein revela, também, que seus adversários na América estavam em atividade desde antes de sua vinda definitiva para a América. Em 1932, uma associação conservadora de mulheres que haviam lutado contra a introdução do sufrágio feminino desencadeou um violento ataque a Einstein, nas páginas do jornal *The Woman Patriot*. O dossiê dessa associação foi imediatamente encaminhado pelo Departamento de Estado à Embaixada americana em Berlim, e é esse documento que está na origem da quase negativa do visto de entrada a Einstein. Uma tentativa que fracassou porque Einstein havia divulgado à imprensa sua recusa a declarar sua filiação política, tendo estipulado um prazo de 24 horas para a Embaixada decidir a questão. O visto foi concedido.

Fred Jerome teve uma segunda surpresa quando leu o dossiê Einstein. A quantidade e a diversidade das atividades políticas ultrapassavam em muito a imagem pública construída pela mídia de um cientista alienado das preocupações terrenas. Além de atividades em defesa das liberdades civis, da paz mundial e dos direitos dos judeus, outra faceta aparece com nitidez no dossiê. Trata-se da luta de Einstein contra a discriminação racial sofrida pelos negros norte-americanos; uma luta que muitas vezes esteve mesclada com

a luta pelas liberdades políticas. Essa atividade começou antes mesmo de Einstein emigrar para a América. Já em 1931, ele e o escritor Thomas Mann participavam de um comitê alemão em defesa dos negros de Scottsboro, os quais haviam sido condenados à cadeira elétrica no estado de Alabama, em um processo viciado pelo ódio racial. Foi a denúncia do racismo e a defesa das liberdades civis que levaram Einstein a desenvolver uma relação próxima com duas personalidades negras norte-americanas, conhecidas pelos seus talentos e pelas inclinações políticas de esquerda. Como observa Fred Jerome, é uma lástima que tantas biografias de Einstein tenham subestimado suas relações com o historiador W. E. B. Du Bois, e com o atleta, ator, cantor e ativista político Paul Robeson. Com Robeson, Einstein manteve uma duradoura amizade. Nenhuma dúvida pode restar quanto ao fato de que o ativismo de Einstein contra a discriminação racial dos negros norte-americanos irritava profundamente J. Edgar Hoover. Tratava-se, claro, de uma época – antes da luta pelos direitos civis, na década de 1960 – na qual um funcionário público com tal responsabilidade não precisava disfarçar sua postura racista.¹²

¹² Ver JEROME, Fred. *Op. cit.*, p. 127-138.

À guisa de conclusão

O livro de Fred Jerome mostra que muito ainda resta a ser investigado para que tenhamos uma visão multilateral da presença de Albert Einstein na história do século XX. A sua atividade contra a discriminação racial dos negros norte-americanos é exemplo de uma faceta ausente em sua biografia. O desenvolvimento do campo de pesquisa dedicado aos fundamentos da teoria quântica também sinaliza que uma apreciação global da intuição de Einstein acerca das implicações dessa teoria científica ainda está por ser alcançada.

Outra consideração surge quando contrastamos o contexto vivenciado por Einstein com questões contemporâneas nos Estados Unidos da América. A atitude de Einstein ao condenar a histeria anticomunista como uma ameaça às liberdades cívicas foi um gesto visionário. Uma visão de conjunto dos efeitos do macartismo, na vida política e cultural dos Estados Unidos, ainda não foi obtida; e é significativo que apenas nos últimos dez anos tenha aparecido um número expressivo de trabalhos lidando com os efeitos de tal contexto entre os cientistas.¹³ A corajosa posição de Einstein, contudo, guarda uma preocupante atualidade. O modo como os Estados Unidos reagiram ao ataque terrorista de 11 de setembro de 2001 tem levado

¹³ Uma bibliografia atualizada sobre o tema é fornecida por JEROME, Fred., *Op. cit.* Em especial, ver SCHRECKER, Ellen. *Many Are the Crimes, McCarthyism in America*. New York: Little, Brown & Co, 1998; e WANG, Jessica. *American Science in the Age of Anxiety*. University of North Carolina Press, 1999. O efeito da histeria macartista entre professores é o tema do romance de ROTH, Philip. *I Married a Communist*. New York: Vintage International, 1998. Este livro tem edição brasileira.

muitos analistas a crer que uma semelhante ameaça às liberdades está posta na ordem do dia.

Eu finalizo este artigo com o alerta contido em um insuspeito manifesto: “O 11 de setembro levou a uma suspensão do processo crítico tão essencial para uma democracia: uma discussão franca e completa dos problemas. O Presidente Bush silenciou todas as críticas denominando-as de impatrióticas. Quando ele disse ‘ou você está conosco, ou você está com os terroristas,’ eu ouvi o sinal de alarme. Temo que ele esteja nos levando em uma direção muito perigosa. Nós estamos perdendo os valores que engrandeceram a América.”¹⁴ Trata-se de um manifesto insuspeito porque não foi escrito por adversários dos Estados Unidos, mas sim por George Soros, o multimilionário de origem húngara, naturalizado norte-americano, que se notabilizou no combate ao comunismo.

A denúncia de George Soros não é fato isolado. Duas últimas informações podem ajudar a compor o quadro do que Soros chamou de “direção muito perigosa.” Em abril de 2004, a associação “Union of Concerned Scientists”, que conta com a adesão de vinte detentores do Prêmio Nobel, divulgou relatório intitulado *Scientific Integrity in Policymaking: An Investigation into the Bush Administration’s Misuse of Science*.¹⁵ A tese básica desse relatório é que a administração Bush tem tentado interferir diretamente na condução da pesquisa, a exemplo da contracepção e do combate à AIDS. Além disso, o governo norte-americano tem sistematicamente colocado nos conselhos e consultorias de diversas agências federais, cientistas que se têm destacado não tanto por seus méritos científicos, mas pela sua identificação com as posições políticas conservadoras da administração Bush. No dia 10 de novembro de 2004, um dos editoriais do jornal *The New York Times* alertava para o número de jornalistas – oito – que estão sendo processados, e na iminência de irem para a prisão, porque têm-se recusado a revelar fontes de matérias incômodas a setores da administração pública. O editorial não nega que a responsabilidade primária por tais atos seja dos juízes que estão conduzindo os processos contra os jornalistas, mas, alerta o jornal, em alguns casos é o próprio governo que tem solicitado tais provas. O editorial conclui, afirmando que “provavelmente não é uma coincidência estar ocorrendo esta ofensiva contra a liberdade de imprensa no período de uma administração que tem uma afeição brejneviana pelo sigilo.”¹⁶ Einstein precisaria escrever uma nova carta a Frauenglass, desta vez dirigida aos jornalistas norte-americanos.

¹⁴ SOROS, George – Why We Must Not Re-elect President Bush, disponível em www.GeorgeSoros.com, acesso em 25.10.2004. Infelizmente, a posição de George Soros, expressa no título de seu manifesto, não prevaleceu na eleição. Ver também seu livro, *The Bubble of American Supremacy – The Costs of Bush’s War in Iraq*. New York: Public Affairs, 2004.

¹⁵ O relatório está disponível no site www.ucsusa.org. Acesso em 15.11.2004. O relatório é comentado por Richard C. Lewontin em Dishonesty in Science, *The New York Review of Books*, 51, 18, 2004.

¹⁶ KRISTOF, Nicholas D. Our Not-So-Free Press, *The New York Times*, 10 de novembro de 2004.

Olival Freire Jr. é graduado e doutor em Física e professor do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia e do Dibner Institute for the History of Science and Technology, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Estados Unidos. freirejr2001@yahoo.com.br

EINSTEIN E A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA



Ildeu de Castro Moreira e Nelson Studart

Einstein foi uma figura mítica do século XX. Ao atingir a fama mundial em 1919, sua popularidade passou a atrair os meios de comunicação e o público em geral em todo o mundo. Uma faceta pouco conhecida de seu trabalho é a atividade de divulgador científico com estilo elegante e, sobretudo, originalíssimo. Sua própria figura carismática prestou-se admiravelmente à difusão da ciência pela capacidade de chamar a atenção do grande público. Sem a preocupação de exaurir o tema, analisamos aspectos da divulgação científica de Einstein no contexto de suas respostas a reações da comunidade científica a suas idéias e teorias, suas conferências ao redor do mundo, seus artigos científicos de revisão, artigos na imprensa e aos dois livros voltados para o público não especializado, “Introdução à Teoria de Relatividade Especial e Geral”, de 1916, e “A Evolução da Física”, em parceria com Leopold Infeld, de 1938. Vale lembrar ainda a sua concepção de divulgação científica e o papel que esta desempenhou na formação do jovem Einstein.

Introdução

Embora a atividade de divulgação científica não seja muito valorizada no meio acadêmico, sendo, ao contrário, freqüentemente vista com suspeita por uma parcela da comunidade científica, ela granjeou sempre o interesse de grandes cientistas. Apesar das limitações e dificuldades, a preocupação com a difusão de suas idéias para um público não restrito à própria especialidade mereceu, da parte de grandes físicos e de cientistas de outras especialidades, uma atenção particular a ponto de consumirem parte de seu tempo fazendo conferências e escrevendo livros, artigos e cartas destinados a uma difusão ampla.

Entre os físicos que se envolveram nessa atividade, podemos citar a iniciativa pioneira de Galileu com o *Sidereus Nuncius* (1610). O livro teve enorme repercussão ao exibir os primeiros desenhos, provenientes de observações com o telescópio, da superfície lunar cheia de crateras, vales e montanhas, além de registrar a existência de satélites de Júpiter e a estrutura estelar da Via Láctea. O *Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo*, publicado em 1632, tornou-se também um clássico, tanto científico quanto marco retórico na difusão das idéias heliocêntricas. Kepler escreveu também uma obra de ficção científica menos conhecida, *Somnium* (1634). Outro livro que pode ser considerado de divulgação e que teve impacto muito grande na ciência e na cultura foi *Micrographia* (1665), de Robert Hooke. Nele, Hooke expôs muitas de suas observações originais com o microscópio, em uma série de pranchas belíssimas; ali deixou registrada a famosa imagem sobre as “células” existentes na cortiça e em outros materiais vegetais. Pouco depois, na França, Fontenelle escreveria seu influente *Ensaio sobre a Pluralidade dos Mundos* (1686).

No século XVIII, começaram a surgir de forma mais intensa livros de divulgação das novas práticas e idéias científicas. Citemos apenas dois, com maior destaque: as *Leçons de Physique Expérimentale* (1745), do Abade Nollet, e as *Cartas a uma Princesa da Alemanha sobre Diversos Temas de Física e de Filosofia*, escrito por Euler, em 1786; traduzido para várias línguas, este livro teve enorme impacto na difusão da física newtoniana. Neste período, Voltaire se destacou também como divulgador das novas idéias científicas, numa antecipação dos comunicadores profissionais da ciência, como Camille Flammarion, que surgiriam na Europa na segunda metade do século XIX. Nesse século, Faraday se sobressaiu pela extraordinária atuação na difusão da experimentação e dos conceitos físicos e químicos. As

conferências populares que dirigiu durante décadas no Royal Institution tornaram-se modelo para muitas outras que se espalharam pelo mundo. Algumas de suas conferências se transformaram em livros excelentes, como a *História Química de uma Vela* (1861). Maxwell, por sua vez, escreverá *Matter and Motion* e vários excelentes verbetes para a Enciclopédia Britânica (1875) sobre conceitos físicos, como átomo e ação à distância. Interessantes e influentes foram também os escritos populares de Helmholtz, Mach e Boltzmann, no continente. O início do século XX viu o surgimento de uma divulgação científica de alta qualidade, permeada por considerações filosóficas sobre o significado e a prática da ciência, realizada por Poincaré. Reconheça-se que às vezes não é fácil distinguir corretamente qual das obras já citadas tinha, de fato, um caráter de divulgação científica no contexto de sua época. É bom lembrar, no entanto, que a divulgação científica abrange audiências bastante diversificadas, desde colegas de outras áreas científicas até o grande público sem maior formação científica.

Quase todos os criadores da física quântica, como Planck, Bohr, Born, Schrödinger e Heisenberg, escreveram artigos e livros de divulgação científica. Mesmo Dirac, um físico mais voltado para o trabalho solitário, escreveu vários artigos desse gênero para revistas como *Scientific American*. Nos Estados Unidos, um nome de grande destaque foi certamente Feynman, com suas conferências e textos provocativos; do mesmo modo, Carl Sagan exerceu enorme influência com seus livros e seus programas para a TV sobre astronomia, astrofísica e cosmologia. Atualmente, podem ser encontrados nas livrarias muitos textos escritos por físicos ou matemáticos renomados, como Hawking, Penrose, Gell-Mann, Mandelbrot, Weinberg, Brian Greene e outros. Alguns cientistas, como Gould e Sagan, tornaram-se mesmo eméritos especialistas no domínio da comunicação pública da ciência. Não se desconsidere o fato de que livros de divulgação científica de grandes cientistas podem alcançar, às vezes, altas tiragens com retornos financeiros significativos para seus autores.

Albert Einstein se destaca, nesse particular, porque, além de um grande cientista e uma figura mítica da nossa cultura, teve a preocupação, ao longo de sua vida, de buscar difundir o conteúdo de suas teorias revolucionárias na física entre o público especializado e o leigo. Einstein dedicou parte de seu tempo à popularização de suas idéias através de ensaios, artigos de revisão e palestras, especialmente após alcançar fama mundial em 1919, quando as observações da

deflexão da luz pelo Sol, em Sobral e na Ilha do Príncipe, foram reconhecidas pela Royal Society de Londres como a comprovação definitiva da teoria da relatividade geral. Fez isso de forma não sistemática e respondendo frequentemente às solicitações decorrentes de sua situação de homem público e famoso. No entanto, no que tange à relatividade, desde 1915 desenvolveu esforços para difundi-la não só entre os pares, mas também para um público ilustrado. Escreveu também muitos artigos de divulgação científica e redigiu textos nos quais discutia a contribuição de grandes cientistas como Newton, Planck, Lorentz. Alguns de seus artigos de divulgação, incorporados a reflexões sobre temas tão variados quanto ciência, religião, questões éticas e sociais foram publicadas nos livros *Mein Weltbild* (1934)¹, *Out of My Later Years* (1950)², *Ideas and Opinions* (1954).

¹ EINSTEIN, A. *Como vejo o mundo*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

² EINSTEIN, A. *Escritos da maturidade*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

Para analisar em que contexto Einstein se envolveu na divulgação científica, é preciso considerar também o espectro bastante amplo de reações às suas idéias e teorias. Alguns de seus escritos de divulgação frequentemente abrangeram comentários a críticas de cientistas, filósofos e intelectuais sobre sua obra. Era contestado tanto pelas dificuldades de compreensão dos novos conceitos e teorias, quanto por oposições aos fundamentos científicos e filosóficos de suas teorias. O enorme interesse despertado por suas novas idéias sobre o espaço e o tempo, conduziram-no também a escrever no afã de deixar mais claras suas concepções e para contrapor-se a distorções e interpretações errôneas. Apesar das dificuldades das questões físicas e matemáticas com as quais tratava, e talvez mesmo em parte por causa disto, Einstein granjeou o fascínio do público; suas conferências em vários países atraíam grande número de pessoas. A admiração popular se expressava também em grandes concentrações públicas à sua volta e no assédio constante da imprensa.³

³ PAIS, A. *Einstein viveu aqui*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1996.

Apresentaremos a seguir alguns dos artigos, livros e atividades de Einstein ligadas à divulgação científica, sem a preocupação de sermos exaustivos diante da multiplicidade de trabalhos escritos por ele. Limitar-nos-emos a destacar alguns de seus textos que nos parecem mais significativos e representativos neste domínio. Nosso objetivo primordial é chamar a atenção para essa faceta pouco explorada de Einstein.

A influência de livros de divulgação na formação inicial de Einstein

Iniciemos pela questão inversa: como os livros de divulgação científica tiveram um interessante papel motivador sobre Einstein quando criança. É muito difundido o fato,

⁴ EINSTEIN, A. *Notas autobiográficas*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.

descrito por ele em suas *Notas Autobiográficas*,⁴ de que o primeiro evento a despertar seu interesse pela ciência teria surgido quando seu pai lhe mostrou uma bússola. Tal experiência lhe causou forte impressão: “Conheci um tal milagre aos quatro ou cinco anos quando meu pai me mostrou uma bússola. O fato da agulha se comportar de maneira tão determinada não correspondia ao curso usual das coisas (...). Lembro-me ainda hoje – ou pelo menos creio que me lembro – que tal acontecimento me deixou uma impressão profunda e duradoura”.

Os livros de divulgação científica tiveram importância na formação de suas concepções iniciais sobre a natureza e sobre sua visão de mundo: “a leitura de livros científicos populares convenceu-me de que a maioria das histórias da Bíblia não podia ser real. A consequência foi uma orgia positivamente fantástica de livre-pensamento, combinada com a impressão de que a juventude é decididamente enganada pelo Estado, com mentiras; foi uma descoberta esmagadora”. Ainda no Ginásio Luitpold em Munique, Einstein começou a ler livros populares sobre a ciência que lhe foram sugeridos por um estudante de medicina chamado Max Talmud. Einstein e Talmud passavam horas discutindo esses livros. Em sua autobiografia, Einstein assinala: “Tive também a chance de iniciar-me nos métodos e resultados essenciais do conjunto das ciências da natureza em uma excelente obra de divulgação científica que se limitava quase exclusivamente a uma exposição qualitativa das coisas (trata-se do livro popular sobre as ciências da natureza de Bernstein, publicado em cinco ou seis volumes) que eu devorava quase sem respirar”.⁵

⁵ BERNSTEIN, Aaron. *Aus dem Reiche Naturwissenschaft, Für Jederman aus dem Volke*, em 12 volumes. Berlim, 1853-1857; reedição aumentada em 1867-1870, em 20 volumes, sob o título *Naturwissenschaftliche Volksbücher*.

Artigos de revisão sobre a relatividade e o quantum de luz

Façamos um salto no tempo e vamos encontrar agora Einstein em 1907, um cientista ainda jovem, mas que já dera uma extraordinária contribuição à ciência com seus cinco artigos de 1905. Einstein adquirira a consciência de que suas idéias e conceitos deveriam ser difundidos com rigor científico, mas de maneira clara e num estilo elegante, mesmo que para o público especializado de cientistas. A leitura desses artigos de 1905 não deixa dúvidas quanto a isto.⁶ Nos primeiros anos, após a publicação de seus trabalhos principais, ele vai, por meio de artigos e conferências, difundir suas teorias e concepções para um público um pouco mais amplo do que apenas os especialistas em física teórica; tenta alcançar pares de outros domínios da física,

⁶ STACHEL, J. *O Ano Miraculoso de Einstein*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2002.

bem como colegas de áreas científicas próximas. Nesse sentido, em 1907, aceitou o convite de Johannes Stark para escrever uma monografia para o periódico *Jahrbuch der Radioaktivität* sobre a teoria da relatividade especial intitulado *Sobre o princípio da Relatividade e Conclusões Extraídas a Partir Dele*. A introdução contém informação valiosa sobre a história do princípio da relatividade, referindo-se, diferentemente do artigo original, à experiência de Michelson-Morley e à teoria eletrodinâmica de Maxwell-Lorentz. A memória analisa com mais detalhes os princípios cinemáticos básicos, uma mecânica relativística re-visitada e a termodinâmica inspirada em trabalho de Planck do mesmo ano, discussões renovadas sobre os conceitos de massa e energia e, ao final e mais importante, a conexão entre um sistema acelerado e a gravidade (pergunta: *É concebível que o princípio da relatividade seja válido também para sistemas acelerados relativos entre si?*) que o levaria à teoria da relatividade geral em 1915.

Numa palestra feita no Japão⁷, muitos anos depois, Einstein declarou: “Enquanto estava escrevendo o artigo, me conscientizei de que todas as leis da natureza, exceto a lei da gravidade, poderiam ser discutidas dentro do arcabouço da teoria da relatividade especial. Gostaria de achar a razão disto, mas não pude atingir este objetivo facilmente. O ponto mais insatisfatório era o seguinte: Embora a relação entre massa e energia fosse dada explicitamente na teoria da relatividade especial, a relação entre inércia e peso, ou energia do campo gravitacional, não era evidente”.

Um outro artigo de revisão/divulgação para especialistas resultou de uma palestra apresentada no congresso realizado em Salzburgo, em setembro de 1909, intitulada *Sobre o desenvolvimento de nossa visão sobre a natureza e constituição da radiação*. O evento foi de suma importância para Einstein por ser a sua primeira aparição pública face a face com renomados físicos, entre eles Planck e Sommerfeld. Os temas centrais da conferência eram os problemas da radioatividade de um lado e o princípio da relatividade do outro. A estrutura da palestra é muito interessante. Einstein discute a teoria da relatividade e sua influência na concepção sobre a luz, indicando alguns fenômenos de difícil explicação de acordo com a teoria ondulatória e culminando com algumas concepções sobre a natureza da radiação. Nesta palestra que, segundo Wolfgang Pauli, pode ser vista como um dos *turning points* na evolução da física teórica, Einstein apresenta a sua concepção dualística da radiação, prevendo que “a próxima fase do desenvolvimento

⁷ EINSTEIN, A. How I created the theory of relativity, tradução da palestra de Kyoto de 14 de dezembro de 1922, por Yoshimasa A. Ono. *Physics Today*, August 1982, p. 45.

em física teórica nos trará uma teoria da luz que possa ser interpretada como uma espécie de fusão da teoria ondulatória e da teoria da emissão da luz”.

Quando chegou em Berlim, já famoso nos meios acadêmicos, Einstein foi convidado a escrever um artigo, *Sobre o princípio da relatividade*, para o jornal alemão de maior tiragem *Die Vossische Zeitung*⁸. Ao final do artigo, questionou se a teoria apresentada, a teoria da relatividade restrita, estava completa ou se era apenas o primeiro passo na direção de uma teoria mais geral. Anteriormente, havia divulgado suas idéias em publicações científicas não especializadas, como o *Archives des Sciences Physiques et Naturelles* (1910)⁹ e no *Vierteljahresschrift der Naturforschende Gesellschaft Zürich* (1911)¹⁰. Contribui ainda com dois artigos sobre relatividade e atomismo, o primeiro muito semelhante ao publicado no *Vossische Zeitung*, na enciclopédia *Die Kultur der Gegenwart: Ihre Entwicklung und ihre Ziele* [A cultura atual. Seu desenvolvimento e objetivos] (1914).

O livro de introdução à teoria da relatividade

Em janeiro de 1916, Einstein, após ter chegado às equações básicas da relatividade geral, escreveu a Lorentz dizendo que atingira seu objetivo, mas que as deduções de suas equações ainda estavam muito complicadas e que deveriam ser simplificadas. Sugeriu, em seguida, que Lorentz fizesse isso: “Eu próprio poderia fazê-lo, pois tudo está claro para mim. Infelizmente, porém, a natureza negou-me o dom da comunicação, de modo que o que escrevo está certamente correto, mas é completamente impossível de digerir”. Lorentz propôs que o próprio Einstein expusesse seus princípios de uma forma tão simples quanto possível, de modo que os físicos pudessem se familiarizar com a teoria. Einstein escreveu, então, um artigo de revisão, *Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral*¹¹. A boa aceitação desse artigo teria levado Einstein, segundo Abraham Pais, a escrever um texto que pudesse atingir um público ainda mais amplo.¹² Para Fölsing¹³, foi o livro de divulgação sobre a relatividade, escrito por Max Born no início de 1916, que teria levado Einstein a buscar uma apresentação geral da teoria, tanto quanto possível, com pouca matemática. Também em 1916 Erwin Freunlich publicou um livreto contendo as idéias fundamentais da relatividade com um mínimo de matemática. No breve prefácio, Einstein recomendou o livro porque o autor “tornou as idéias básicas da teoria acessíveis a qualquer um que tenha alguma espécie de familiaridade com os métodos de raciocínio das ciências exatas”.

⁸ EINSTEIN, A. Von Relativitätsprinzip. *Die Vossische Zeitung*, 29 de abril de 1914.

⁹ Le principe de relativité et ses conséquences dans la physique moderne e Théorie des quantités lumineuses et la question de la localisation de l'énergie électromagnétique.

¹⁰ Die Relativitätstheorie.

¹¹ EINSTEIN, A. The foundations of the general theory of relativity. In: EINSTEIN, A.; LORENTZ, H. A.; WEYL H. & MINKOWSKI, H. *The Principle of Relativity*. New York: Dover, 1952. p. 111-164.

¹² PAIS, A. *Sutil é o Senhor... A ciência e a vida de Albert Einstein*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

¹³ FÖLSING, A. *Albert Einstein*. New York: Penguin Books, 1998.

Em algum momento, no primeiro semestre de 1916, Einstein decidiu escrever um livro, destinado a um público com formação de ensino médio (no contexto alemão da época), que conteria tanto a teoria da relatividade especial quanto a teoria da relatividade geral. Dizia, então, em carta a seu amigo Michele Besso: “Por outro lado, se eu não o fizer, a teoria, simples como basicamente ela é, não será entendida assim”. Einstein percebera que, para a aceitação de sua teoria junto à própria comunidade científica, era necessário que suas idéias centrais se tornassem palatáveis para um público mais amplo. Por outro lado, julgava importante a difusão de um conhecimento que achava necessário para o aprimoramento da cultura científica geral. Estava imbuído de uma certeza profunda na validade da teoria, o que justificava o esforço de apresentá-la de um ponto de vista “ao alcance de todos”, embora pretendesse de fato atingir um público com formação média. O título que o livro recebeu foi: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)*, ou seja, *A teoria da relatividade especial e geral (uma exposição popular)*. Mais tarde Einstein diria, sobre seu esforço de divulgação, que deveria ter sido chamado de *gemeinunverständlich* (“incompreensível”), em vez de *gemeinverständlich* (“popular”, “ao alcance de todos”).

Apesar disso, o livro teve um sucesso grande, sendo publicado em várias línguas e atingido mais de trinta reimpressões na língua inglesa. Transformou-se também em um paradigma para centenas de livros sobre a relatividade, escritos nos anos seguintes. Esse livro de Einstein, segundo vários depoimentos, teria influenciado muitos jovens, que se tornaram posteriormente cientistas conhecidos, a se dedicarem à pesquisa em física e em matemática. O livro foi finalizado em dezembro de 1916, portanto alguns meses após a conclusão de seus artigos fundamentais sobre a teoria da relatividade geral.

No prefácio, Einstein deixa claros seus propósitos e comenta sobre o formato da exposição:

Este livro pretende dar uma idéia, a mais exata possível, da Teoria da Relatividade àqueles que, de um ponto de vista geral científico e filosófico, se interessam pela teoria mas não dominam o aparato matemático da física teórica. A leitura pressupõe que o leitor tenha formação equivalente à do ensino médio e – apesar da brevidade do livro – paciência e força de vontade. O autor não poupou esforços para apresentar as idéias principais de maneira particularmente clara e simples,

*respeitando, em geral, a seqüência e o contexto em que elas surgiram na realidade. No interesse da clareza, foi inevitável repetir-me muitas vezes, sem preocupação com a elegância da apresentação; pautei-me, escrupulosamente, pela norma do genial físico teórico Ludwig Boltzmann, que deixava as questões de elegância a cargo de alfaiates e sapateiros. Julgo não haver ocultado ao leitor as dificuldades inerentes ao assunto. Já os fundamentos físicos empíricos da teoria, conscientemente tratei-os com certa negligência, para evitar que o leitor menos familiarizado com a física fizesse como aquele caminhante que, de tantas árvores, não conseguiu enxergar a floresta. Que este pequeno livro possa proporcionar a muitos leitores algumas horas de estímulo intelectual.*¹⁴

¹⁴ EINSTEIN, A. *A teoria da relatividade especial e geral*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

¹⁵ MASSARANI, L. M. & MOREIRA, I. C. A retórica e a ciência – Dos artigos originais à divulgação científica. *Ciência & Ambiente* 23, 31-47, julho-dezembro de 2001.

Em artigo anterior, um dos autores do presente artigo analisou algumas das características básicas deste livro, em particular as estratégias das transformações sofridas pelos textos originais sobre a relatividade especial e a relatividade geral, ao serem “acomodados” por Einstein para a forma de um livro de divulgação.¹⁵ Mencionemos alguns dos pontos principais ali destacados. Notemos, de início, os cuidados de Einstein no prefácio ao apontar as omissões, escolhas e limitações do livro, o que é raro em se tratando de livros de divulgação científica. A obra praticamente não contém deduções matemáticas; uma exceção maior é a dedução simplificada das transformações de Lorentz-Poincaré, transferida para o apêndice. As fórmulas principais são apresentadas, com alguma justificação, e seu significado físico discutido. Do ponto de vista da ordem das informações apresentadas, Einstein mantém, com pequenas variações, aproximadamente a mesma seqüência de argumentação no livro e nos artigos científicos. Segundo ele mesmo, busca oferecer ao leitor ilustrado uma linha lógica de raciocínio próxima à desenvolvida por ele originalmente (embora o caminho real tenha sido bastante mais tortuoso). Surge aqui uma diferença significativa em relação a textos de divulgação de outros autores, particularmente em jornais e revistas, onde as argumentações e enfoques costumam diferir muito da linha de construção seguida pelo cientista. No livro, Einstein não dá muito destaque às comprovações empíricas da teoria. Os experimentos vão ser decisivos, após a montagem do arcabouço teórico, na verificação (ou não) das previsões feitas.

Nos artigos da relatividade especial, Einstein não utilizou qualquer figura. No livro, existem, na parte referente à relatividade especial, três figuras, todas bastante esquemáticas. Quanto à relatividade geral, o artigo original traz

apenas uma figura, pouco expressiva, na seção referente ao desvio da luz em campo gravitacional. No livro são colocadas duas ilustrações: a primeira delas mostra o esquema das coordenadas gaussianas em uma superfície bidimensional e a segunda (em um dos apêndices) mostra, de forma simplificada, o desvio da trajetória da luz de uma estrela ao passar nas vizinhanças do Sol. As figuras do livro não são de fato muito enriquecedoras, sendo um reflexo do tipo de ilustração simplificada que muitos manuais de física exibiam na época.

O estilo que adota pretende ser de conversação direta com o leitor. Em várias passagens refere-se diretamente ao leitor, seja para animá-lo a enfrentar as dificuldades do texto, seja para colocar perguntas e questões inteligentes em sua boca e tentar, em seguida, convencê-lo de suas idéias ou questionar (pre)conceitos bem estabelecidos. Em alguns momentos, utiliza frases interrogativas, usadas com o propósito de estimular a reflexão do leitor e de colocar dúvidas em sua mente. Uma das características marcantes é o uso dos experimentos imaginados (*gedanken*). Nos artigos originais da relatividade especial não aparece o famoso experimento mental dos dois observadores, um colocado dentro de um trem e outro na plataforma da estação. No livro esse experimento *gedanken*, ainda hoje discutido sob várias formas¹⁶, é utilizado em vários momentos. Um segundo experimento *gedanken*, que ficou famoso, é introduzido no livro na parte referente à relatividade geral: o experimento da caixa (ou aposento) no espaço livre e que é puxada com uma aceleração constante. Nele se escora a discussão do princípio da equivalência e da deflexão da luz em campo gravitacional. Tais experimentos mentais voltarão posteriormente a ser utilizados no livro *A Evolução da Física*.

Viagens, conferências e artigos (1922-1955)

Em 1918, Einstein escreveu um artigo de divulgação, *Diálogo sobre as objeções opostas à teoria da relatividade*¹⁷, no qual utiliza um diálogo envolvendo dois debatedores: o Criticus e o Relativista. Nesse artigo, ele discute o paradoxo dos gêmeos e aproveita também para refutar algumas críticas de Lenard ao princípio da relatividade geral. O ano de 1919 foi um marco divisório na atividade de divulgação científica de Einstein, quando foi “canonizado” pela comunidade de cientistas, na metáfora usada por Pais. No auge de sua exposição à mídia, aumentaram os pedidos feitos a Einstein para escrever artigos explicativos para os jornais.

¹⁶ É interessante ressaltar que este experimento mental que ficou conhecido como o “trem de Einstein”, introduzido originalmente para discutir a relatividade da simultaneidade, foi abordado por A. I. Janis para obter resultados quantitativos e qualitativos básicos da cinemática relativística [“Simultaneidade e cinemática relativística especial”. *Am. J. Phys.*, 51 (3), 209 (1983)]. Este artigo está incluído na lista dos “Memorable papers of AJP” [Editorial, *AJP*, 59 (3), 201 (1991)].

¹⁷ EINSTEIN, A. *Die Naturwissenschaften*, 1918. p. 697-702.

Inicia com um artigo no *Times* de Londres de 28 de novembro de 1919. Einstein afirma ali: “aceito com prazer e saúdo esta oportunidade de expressar meus sentimentos com alegria e gratidão aos astrônomos e físicos da Inglaterra depois da lamentável paralisação no velho e ativo intercâmbio”. Neste artigo, com o título de *Minha Teoria*, ele classifica as teorias físicas entre as construtivas (a maioria delas), como a teoria cinética dos gases, e as “teorias baseadas em princípios”, categoria a que se enquadra a teoria da relatividade. Depois de expor as idéias gerais da relatividade, conclui com a observação de que “a nova teoria da gravitação diverge consideravelmente, no que tange aos princípios, da teoria de Newton”, mas que os resultados são praticamente os mesmos, exceto pelas previsões da precessão das órbitas planetárias em torno do Sol, da deflexão dos raios luminosos por ação de campos gravitacionais e no deslocamento para o vermelho do espectro da luz que nos chega de grandes estrelas. Ao final, uma nota irônica em que “para deleite do leitor segue mais uma aplicação do princípio da relatividade. Hoje na Alemanha sou considerado como um ‘sábio alemão’ e na Inglaterra como um ‘judeu suíço’. Se algum dia vier a ser retratado como uma *bête noire*, certamente me tornarei um ‘judeu suíço’ para os alemães e um ‘sábio alemão’ para os ingleses!” Em 1919, Einstein escreveu ainda um artigo interessante de caráter geral: *Indução e dedução em física*, publicado no dia de Natal no jornal de grande circulação *Berliner Tageblatt*.

Em 1920, Einstein fez uma conferência na Universidade de Leiden sobre o éter e a teoria da relatividade para o público que assistia à cerimônia de sua nomeação como professor extraordinário daquela universidade. O texto seria editado em Berlim e depois traduzido para o francês, tendo sido publicado pela Gauthier-Villars em 1921 (sairia em inglês no livro *Sidelights of Relativity*, Londres, Methuen, 1922). Procura mostrar ali que, com a teoria da relatividade geral, pode-se voltar a falar em um éter, mas em sentido diferente do éter material do século XIX. Em 1921, faria também a conferência *A geometria e a Experiência*, na sessão pública da Academia de Ciências que homenageava o nascimento de Frederico II.

Depois que atingiu a fama mundial, Einstein realizou viagens por todo o mundo e em todas elas realizou palestras, ministrou cursos etc., nos Estados Unidos e Itália (1921), França (1922), Japão e Espanha (1922-1923), América do Sul (Brasil, Argentina e Uruguai, em 1925). Nessas viagens, como a da América do Sul, realizou

¹⁸ Ver, por exemplo, MOREIRA, I. C. & VIDEIRA, A. A. P. (orgs.). *Einstein e o Brasil*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1995.

conferências, a maioria sobre a relatividade, que foram reproduzidas – às vezes de forma pouco cuidadosa – por jornais locais.¹⁸ As quatro palestras ministradas em sua visita a Princeton em maio de 1921 foram transcritas para o livro *The Meaning of Relativity*, com inúmeras traduções e várias edições; a última revisão deste livro técnico é considerada a derradeira obra científica de Einstein publicada em 1956 (a última reimpressão é de 2003). Einstein, ao longo de sua vida, continuou a divulgar suas teorias em inúmeras conferências, e por ocasião de visitas a países e a instituições de prestígio.

Nos anos seguintes às suas viagens pelo mundo, Einstein faria muitas outras conferências similares e escreveria artigos de caráter geral sobre aspectos específicos de suas teorias e sobre os métodos da ciência, a responsabilidade do cientista, a educação, aspectos éticos e religiosos etc. Alguns exemplos: *Religião e Ciência* (Berliner Tageblatt, 1930), *A exigência moral e sua origem* (1938); *Sobre a metodologia da física teórica* (Herbert Spencer Lecture, 1933), *Generalidades sobre a escola* (Conferência, 1936), *A Física e Outras Ciências* (1950); *O Avilissement do cientista* (em *Impact*, revista da UNESCO, 1950). *Física e Realidade* constitui-se em um artigo geral particularmente interessante pela sua densidade e pelo fato de ser talvez o texto einsteiniano que oferece uma síntese mais completa de suas reflexões sobre a ciência. Apareceu no *Franklin Institute Journal*, em 1936. Nele, Einstein insiste, contrariamente à opinião de muitos filósofos da ciência, que a ciência não difere essencialmente do pensamento comum: “a ciência nada mais é do que um refinamento do pensamento cotidiano”. No *Techion Journal* de Nova York (1946) apresentou uma simples, didática e original *Derivação Elementar da Equivalência entre Massa e Energia* baseada na lei da conservação do momento, na expressão para o momento da radiação e na fórmula da aberração estelar. Trata-se, talvez, da dedução de Einstein mais acessível, para o público de nível médio, da mais famosa equação da Física, $E = mc^2$.

Sobre cientistas e filósofos, Einstein escreveu vários textos publicados em livros comemorativos ou revistas. São, em geral, artigos curtos nos quais buscava destacar os aspectos centrais das obras e os traços característicos das personalidades consideradas: Planck (1913); Mach (1916); Kant (1924); Lorentz (1928); Maxwell (1931); Newton (1927); Spinoza (1932); Ehrenfest (1933); Nernst (1942); Galileu (1953).¹⁹

¹⁹ A maioria desses artigos e notas biográficas foi republicada em *Escritos da Maturidade e Como vejo o Mundo*, já referenciados.

A evolução da Física

Como dizíamos no início, escrever um livro de divulgação científica pode, em certos casos, levar a resultados econômicos não desprezíveis para seu autor. E não foi outra a motivação do segundo livro de divulgação científica do qual Einstein é co-autor, embora o interesse não tenha sido ajudar a si mesmo financeiramente – sua situação econômica era tranqüila àquela hora. Tratava-se de uma proposta de seu auxiliar Leopold Infeld, que passava por dificuldades dessa ordem.

Em 1934, Einstein, que havia atendido o pedido de Infeld, escreveu uma introdução curta para a edição inglesa do livro de divulgação científica de Infeld intitulado *The World in Modern Science*. O editor Gollanz acreditava que as vendas aumentariam dez vezes se Einstein fizesse uma apreciação inicial sobre o livro. Einstein afirmou em carta que “tinha tido muito prazer em ler o livro por causa de sua expressividade, clareza e simplicidade”. Deste modo, para Einstein, Infeld já revelara talento para escrever livros populares de ciência.

Em 1936, com Infeld trabalhando em Princeton, Einstein não conseguiu recursos do Instituto para mantê-lo por um segundo ano. Infeld propôs então escrever um livro de divulgação científica em colaboração com Einstein, certo de que assim resolveria os problemas financeiros de mais um ano de estadia. Em sua autobiografia *Quest*²⁰, Infeld narra a reação de Einstein: “Esta não é, afinal, uma idéia estúpida... Vamos fazê-lo.” Segundo Infeld: “a idéia original para o material do livro partiu de Einstein. Sua intenção era escrever um livro popular contendo as principais idéias da Física e seu desenvolvimento lógico. Seu ponto era que existem poucas idéias admiráveis em física e elas podem ser representadas por palavras. Como disse, ‘nenhum cientista pensa por fórmulas [...] É um drama, um drama de idéias que deve ser absorvente e altamente interessante para todos que gostam de ciência’”. Einstein acompanhou a elaboração do livro em discussões mantidas regularmente a cada duas semanas. Enquanto Einstein curtia férias de verão, Infeld concluiu o livro. Recebeu o *imprimatur* de Einstein em carta de 27 de agosto de 1937: “Fico maravilhado com a energia com que você trouxe nosso boneco ao mundo e o equipou”.

O livro se transformou no segundo grande sucesso de divulgação científica de Einstein: *The Evolution of Physics – From early concepts to Relativity and Quanta*. Foi publicado

²⁰ INFELD, L. *Quest: An autobiography*. New York: Chelsea Publ. Co., 1980.

²¹ EINSTEIN, A. & INFELD, L. *The evolution of Physics: The growth of ideas from early concepts to relativity and quanta*. New York: Simon and Schuster, 1938. No Brasil, a tradução da primeira edição foi feita por Monteiro Lobato, em 1939, para a Companhia Editora Nacional com o título *A Evolução da Física* – desenvolvimento das idéias desde os primitivos conceitos até a Relatividade e os Quanta. A quarta edição foi traduzida por Giasone Rebuá para a Zahar Editores, em 1980. A última edição do livro no Brasil, pela Guanabara Koogan (1988), está esgotada, assim como as anteriores.

simultaneamente nos EUA, Inglaterra e Holanda em 1938.²¹ No prefácio, os autores anunciam que não pretendem “um curso sistemático de fatos e teorias físicas elementares”, mas objetivam uma exposição de como as idéias da relatividade e dos quanta entram na ciência para “dar alguma idéia da eterna batalha da mente inventiva humana para um entendimento mais completo das leis que governam os fenômenos físicos”. Ressalte-se um aspecto essencial da obra. Os autores repetem o método usual – uma contribuição revolucionária de Einstein – de avaliar os mesmos fenômenos físicos sob a perspectiva de dois observadores.

O livro é formado por quatro capítulos. Inicialmente, a ascensão do paradigma newtoniano – o conceito de um universo mecânico –, o modelo de que todos os fenômenos físicos podem ser descritos em termos de forças de atração e repulsão entre partículas, atuando a distância, que formam fluidos de calor, elétricos e magnéticos. Uma longa seção é incluída sobre a teoria cinética da matéria, com uma descrição do movimento browniano (há fotografias tiradas por Perrin e ilustração do movimento randômico das partículas no meio). A discussão é pródiga em analogias – conceitos de potencial elétrico versus temperatura e carga elétrica versus calor, por exemplo – e metáforas (o cientista como um leitor ávido a buscar soluções no livro da natureza), mas fica claro em todas as oportunidades que as analogias são restritas a algumas situações.

Na segunda parte, o declínio do universo mecânico, discutem-se as dificuldades de adaptar o conceito mecânico a inúmeros fenômenos, como a deflexão de um ímã pela passagem da corrente elétrica (Oersted), o enigma da luz (experiências de difração e polarização). Na terceira parte – Campo, Relatividade – o conceito de campo, como uma representação da realidade, é usado na descrição dos fenômenos eletromagnéticos e ópticos. Discute-se a teoria eletromagnética de Maxwell, que descreve a estrutura do campo atuando em todo o espaço, e que as perturbações de campo são transmitidas na forma de ondas eletromagnéticas com velocidade igual à velocidade da luz. Uma discussão elegante e clara é introduzida para ressaltar as diferenças entre a descrição do movimento na mecânica newtoniana (sistemas de coordenadas galileanas no espaço e tempo absolutos) e a propagação da luz no éter. É um dos pontos altos do livro. Diferentes alternativas são propostas, argumentos são detalhados, suposições são levantadas e confrontadas com a experiência, contradições tornam-se evidentes em prol da suposição adotada: os dois postulados

básicos da relatividade restrita. Neste aspecto, o livro amplia consideravelmente e com maior clareza a discussão feita no livro de 1917, onde apenas a seção 7 – “a aparente incompatibilidade entre a lei de propagação da luz e o princípio da relatividade” – toca nos problemas cruciais que levaram à construção da teoria da relatividade restrita. A partir daí, os conceitos de relatividade do tempo e distância, a equivalência entre massa e energia e o contínuo do espaço-tempo são analisados.

O “trem de Einstein” transforma-se aqui em duas salas envidraçadas em movimento com observadores interno e externo. O livro recorre ao antigo e tradicional estilo de apresentar os tópicos através de diálogos entre um físico antigo e um físico moderno. Os autores haviam recorrido, no capítulo anterior, a este expediente numa pertinente discussão entre Newton e Huyghens sobre a natureza corpuscular ou ondulatória da luz. Na apresentação da teoria da relatividade geral, as experiências mentais consistem de um elevador em queda livre e de um elevador sendo puxado para cima por uma força constante. Os movimentos, vistos por dois observadores dentro e fora do elevador, são analisados com a finalidade de concluir sobre a equivalência entre a massa inercial e gravitacional e a deflexão da luz pelo campo gravitacional. Com relação a medidas de comprimentos e tempos na relatividade geral e a questão da geometria euclidiana e não-euclidiana, recorre-se ao disco giratório como na obra de 1917, mas com um nível de profundidade maior. O livro discute também as verificações experimentais da teoria da relatividade geral.

Ao final do capítulo, o pensamento de Einstein acerca do sucesso de uma teoria de campo unificado no futuro é assim expresso:

Não podemos construir a Física somente com base no conceito de matéria. Mas a divisão em matéria e campo é, após o reconhecimento da equivalência entre massa e energia, algo artificial que não está claramente definido. Não poderíamos rejeitar o conceito de matéria e construir uma Física puramente de campo? O que impressiona os nossos sentidos é, na realidade, uma grande concentração de energia em um espaço relativamente pequeno. Poderíamos considerar a matéria como sendo as regiões do espaço em que o campo é extremamente forte. Dessa maneira poderia ser criada uma nova base filosófica. Sua meta final seria a explicação de todos os acontecimentos da natureza por leis estruturais sempre válidas em toda parte. Uma pedra que se lança é, sob esse ponto de vista, um campo em alteração, em que os

estados de maior campo caminham pelo espaço com a velocidade da pedra. Não haveria, em nossa nova Física, lugar para campo e matéria juntos, sendo o campo a única realidade. Esse novo ponto de vista é sugerido pelas grandes realizações da Física de campo, por nosso êxito em expressar as leis da eletricidade, do magnetismo e da gravitação, sob a forma de leis estruturais, e finalmente pela equivalência entre massa e energia. O nosso problema final seria modificar nossas leis de campo de tal maneira que elas não ruíssem para as regiões nas quais a energia esteja enormemente concentrada.

O quarto capítulo trata dos quanta, sendo que claramente a idéia do fóton é mais reforçada do que os outros conceitos e interpretações do mundo quântico. É a parte menos empolgante e mais frágil do livro. Talvez a longa disputa sobre a interpretação da mecânica quântica e as inúmeras tentativas de gerar alternativas a ela, feitas por Einstein, tenham contribuído para que essa parte não tenha o brilho e a clareza que caracterizavam a análise de suas idéias.

Cartas às crianças

Uma faceta interessante de Einstein, e que o distingue de muitos cientistas atuais, é a sua característica de responder de próprio punho a muitas cartas que lhe eram enviadas. Entre elas existe um número grande de cartas remetidas por crianças e jovens, que freqüentemente faziam as perguntas mais variadas. Essas cartas de Einstein constituem um outro lado de sua atividade de divulgação. Vamos citar apenas dois exemplos e remeter o leitor para referências que tratam disto particularmente.²² Em uma dessas cartas, explicou o funcionamento do telégrafo e do rádio com uma analogia curiosa: “O telégrafo com fio é uma espécie de gato muito, muito comprido. Você puxa o rabo dele em Nova York e ele mia em Los Angeles. Você entendeu? Uma rádio funciona exatamente do mesmo modo: você manda sinais aqui, eles os recebem lá longe. A única diferença é que, agora, não há um gato”.

Em outra ocasião, respondeu assim a uma criança de uma escola de Nova York que lhe escreveu perguntando se os cientistas rezavam e, se o faziam, o que pediam:

Tentei responder à sua pergunta da forma mais simples que pude. (...) A pesquisa científica é baseada na idéia de que tudo o que acontece é determinado por leis da natureza e, portanto, isso também se aplica aos atos das pessoas. Por essa razão, um cientista dificilmente tenderá a pensar que os acontecimentos possam ser influenciados por uma oração, ou seja, por um desejo expresso

²² MOREIRA, I. C. Criança pergunta... Einstein responde. *Ciência Hoje das Crianças* n. 80, 2-5, 1998; CALAPRICE, A. *Dear Professor Einstein*. Albert Einstein's letters to and from children. New York: Prometheus Books, 2002.

*a um ser sobrenatural. Entretanto, deve-se admitir que nosso conhecimento presente dessas leis é imperfeito e fragmentado, de modo que, na verdade, a crença na existência de leis básicas e universais da natureza também repousa sobre uma espécie de fé. Mesmo assim, essa fé tem sido amplamente justificada, até agora, pelo sucesso da pesquisa científica. (...) A atividade científica leva a um sentimento religioso de um tipo especial, que é, na verdade, bem diferente da religiosidade de alguém mais cândido.*²³

²³ CALAPRICE, A. *Dear Professor Einstein*. Op. cit.

A divulgação científica segundo Einstein

Em algumas ocasiões, Einstein fez considerações sobre a divulgação científica que merecem ser citadas. Elas contribuem para um melhor entendimento de seus propósitos e escolhas e de sua visão sobre essa atividade.

Em 1948, comentava com um editor sobre a qualidade dos livros de popularização da ciência:

*A maioria dos livros sobre ciência (que se dizem destinados ao leigo) procura mais impressionar o leitor [“espantoso!”, “como já progredimos!” etc.] do que explicar clara e lucidamente os objetivos e métodos elementares. Depois que um leigo inteligente tenta ler alguns desses livros, ele fica completamente desanimado. Sua conclusão é: sou idiota demais, é melhor eu desistir. Toda a descrição é feita, na maioria das vezes, de uma maneira sensacionalista que também repele um leigo sensato. Em uma palavra: Não são os leitores que estão errados, mas os autores e editores. Minha proposta é: nenhum livro “popular” de ciência deveria ser publicado antes que fosse comprovado que ele pode ser entendido e apreciado por um leitor inteligente e judicioso.*²⁴

²⁴ DUKAS, H. & HOFFMAN, B. *Einstein: o lado humano*. Brasília: Editora da UnB, 1979.

Em carta ao *Popular Science Monthly*, em 1952, respondendo a um leitor que indagara se Einstein “resolveria os segredos do universo”, criticou os exageros e sensacionalismos às vezes presentes na mídia e em livros de divulgação: “Não é culpa minha se os leigos têm a impressão exagerada da importância dos meus esforços. Isto se deve muito mais aos escritores de ciência popular e, em particular, aos correspondentes de jornal que apresentam tudo da forma mais sensacional possível”²⁵.

²⁵ DUKAS, H. & HOFFMAN, B. Op. cit.

Em sua visita Brasil, em maio de 1925, Einstein ressaltou, numa alocução radiofônica, a importância do novo meio para a difusão da ciência, mas enfatizou também a importância da divulgação científica ser exercida por pessoas com conhecimento de causa:

*Após minha visita a esta Rádio Sociedade, não posso deixar de mais uma vez admirar os esplêndidos resultados a que chegou a ciência aliada à técnica, permitindo aos que vivem isolados os melhores frutos da civilização. É verdade que o livro também poderia fazer e o tem feito; mas não com a simplicidade e segurança de uma exposição cuidada e ouvida de viva voz. O livro tem que ser escolhido pelo leitor, o que por vezes traz dificuldades. Na cultura levada pela radiotelefonía, desde que sejam pessoas capacitadas as que se encarreguem das divulgações, quem ouve recebe além de uma escolha judiciosa, opiniões pessoais e comentários que aplainam os caminhos e facilitam a compreensão: esta é a grande obra da Rádio Sociedade.*²⁶

²⁶ MASSARANI, L. M. & MOREIRA, I. C. *Op. cit.*

Finalizemos com algumas considerações de Einstein sobre o papel da ciência e do cientista. Para ele o pesquisador deve servir à ciência por ela mesma, sem se preocupar com os resultados práticos. Por outro lado, a ciência deve estar referenciada a seu papel social. Einstein atribui à comunidade científica uma tarefa educativa do grande público sobre temas de ciência e destaca, de forma forte e incisiva, que a ciência não tem o direito de existir por si mesma. Este texto apareceu como introdução a um artigo de divulgação publicado no *Berliner Tageblatt*, em 1924, no qual ele discutia a experiência de Compton:

²⁷ EINSTEIN, A. *Berliner Tageblatt*, 20 de abril de 1924.

*A comunidade dos pesquisadores é uma espécie de órgão do corpo da humanidade: alimentado por seu sangue, esse órgão secreta uma substância essencial à vida que deve ser fornecida a todas as partes do corpo, na falta da qual ele perecerá. Isso não quer dizer que cada ser humano deva ser atulhado de saberes eruditos e detalhados, como ocorre freqüentemente em nossas escolas nas quais [o ensino das ciências] vai até o desgosto. Não se trata também de o grande público decidir sobre questões estritamente científicas. Mas é necessário que cada homem que pensa tenha a possibilidade de participar com toda lucidez dos grandes problemas científicos de sua época e isso, mesmo se sua posição social não lhe permite consagrar uma parte importante de seu tempo e de sua energia à reflexão científica. É somente quando cumpre essa importante missão que a ciência adquire, do ponto de vista social, o direito de existir.*²⁷

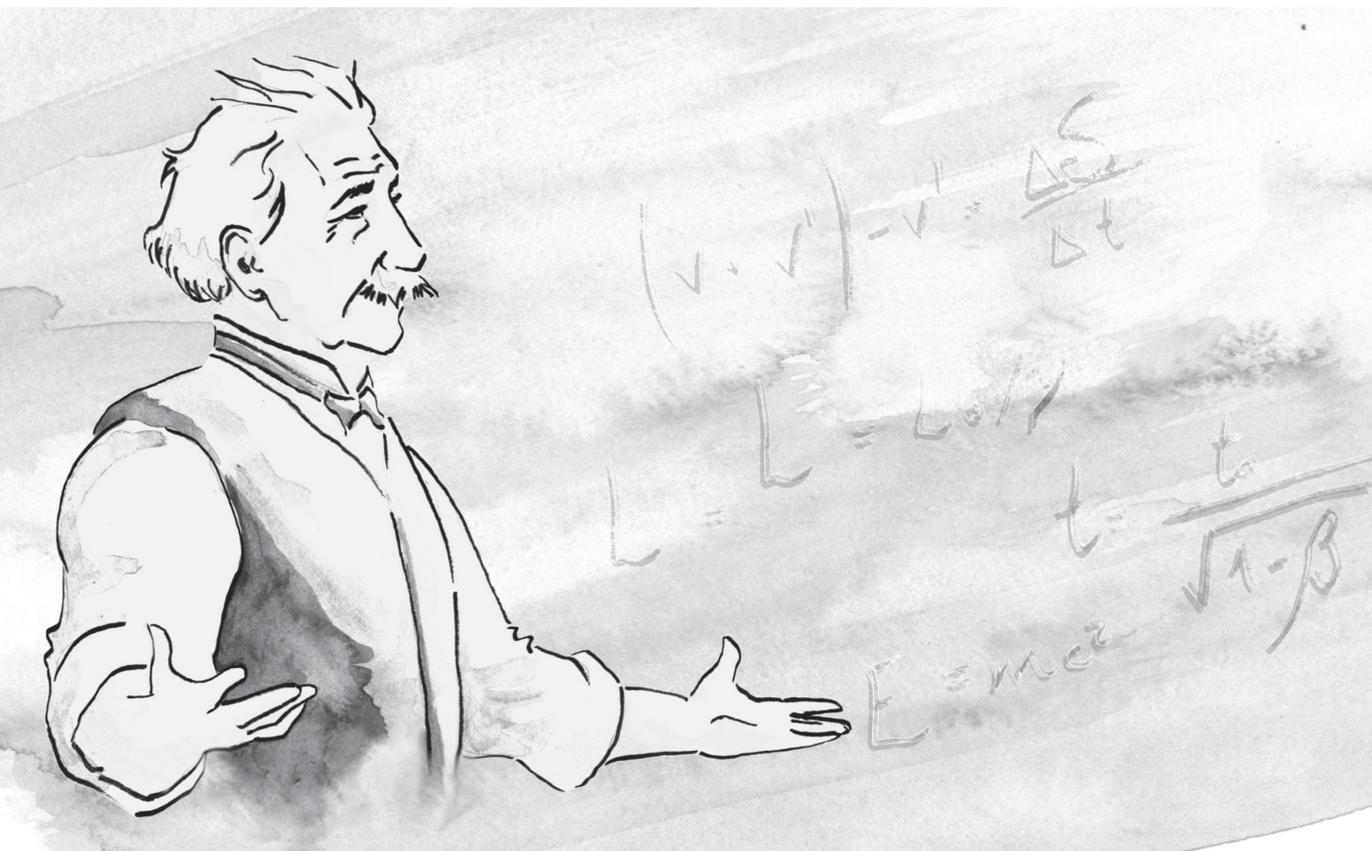
Ildeu de Castro Moreira é graduado e doutor em Física e professor do Instituto de Física e da Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ildeu@if.ufrj.br

Nelson Studart é graduado e doutor em Física e professor do Departamento de Física da Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.

studart@df.ufscar.br

EINSTEIN X BOHR, O FÓTON E O BRASIL



Ildeu de Castro Moreira

Em terras brasileiras ocorreu um dos episódios marcantes do primeiro embate científico entre dois dos físicos mais importantes do século XX:

Einstein e Bohr. Foi aqui, em 1925, que Einstein apresentou uma comunicação à Academia Brasileira de Ciências, na qual analisou sua hipótese dos quanta, para a constituição da luz, em contraposição à teoria proposta pouco tempo antes por Bohr, Kramers e Slater. A teoria desses autores contrariava as idéias de Einstein ao dispensar a idéia do quantum de luz e propor que a conservação da energia e a conservação do momento nos fenômenos atômicos tivessem um caráter apenas estatístico. A comunicação teve pouca repercussão na época, em razão de ter sido publicada em português na revista da Academia e pelo fato de verificações experimentais terem dado razão a Einstein pouco tempo depois. Esse trabalho integra uma das etapas da longa seqüência de discussões que se seguiram sobre a realidade dos fótons.

Introdução

Ilustração de abertura

Marcus de Moura

- ¹ Veja, por exemplo, Bibliography of the writings of Albert Einstein to May 1951, compilada por M. C. Shields, in SCHILPP, P. A. (org.). *Albert Einstein. Philosopher-Scientist*. Open Court Publishing, 1949; MEHRA, J. & RECHENBERG, H. *The historical development of Quantum Theory*. vol. 1, part 2. New York: Springer-Verlag, 1982; PAIS, A. *Subtle is the Lord... The science and the life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 1982; BALIBAR, F.; DARRIGOL, O. & JECH, B. (orgs.) *Albert Einstein. Oeuvres Choiesies*. Quanta. Paris: Éditions du Seuil/Éditions du CNRS, 1989; KLEIN, M. J. The first phase of the Bohr-Einstein dialogue, *Historical Studies in the Physical Sciences II*, 1970, 1-39; MEHRA, J. M & RECHENBERG, H. *The historical development of Quantum Theory*. v. 1, part 2. New York: Springer-Verlag, 1982.
- ² A designação de fóton para o quantum de luz só viria mais tarde, em 1926, proposta por G. Lewis.
- ³ Outros trabalhos que trataram deste tema: MOREIRA, I. C. & TOLMASQUIM, A. T. Um manuscrito de Einstein encontrado no Brasil. *Ciência Hoje*, v. 21, n. 124, 22-29, 1995; NUSSENZVEIG, H. M. A comunicação de Einstein à ABC. In: MOREIRA, I. C. & VIDEIRA, A. A. P. (orgs.). *Einstein e o Brasil*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1995. p. 47-60; PATY, M. *Einstein philosophe*. La physique comme pratique philosophique. Paris: Presses Universitaires de France, 1993;

A comunicação que Einstein apresentou à Academia Brasileira de Ciência (ABC), em 1925, e que não é citada nas principais livros e bibliografias sobre ele e sua obra¹, é, no entanto, interessante do ponto de vista histórico por ser o único artigo de Einstein publicado em uma revista científica no qual há uma comparação direta entre a idéia do fóton² e a teoria proposta por Bohr, Kramers e Slater (BKS) para a luz. De fato, esse trabalho pode ser visto como uma etapa a mais dentro de uma longa seqüência de discussões acirradas sobre a realidade dos fótons. Desde a proposição da idéia do quantum de luz, em 1905, Einstein foi praticamente o único físico a sustentá-la durante quase vinte anos. Entre os oponentes da idéia estava Niels Bohr. No período entre os anos 1923 e 1925, Einstein e Bohr terçaram armas pela primeira vez, de forma intensa, em torno de questões fundamentais na física – neste caso, a realidade dos quanta de luz e a validade estrita das leis de conservação da energia e do momento para processos elementares.

Enquanto Einstein estava em viagem à América do Sul, entre março e maio de 1925, experiências estavam sendo realizadas na Alemanha, por Geiger e Bothe; elas viriam refutar a suposição de Bohr e de seus colegas e fazer com que o conceito proposto por Einstein passasse a ser amplamente aceito. Experimentos na mesma direção vinham sendo feitos nos Estados Unidos por Compton e Simon. Nessa primeira fase do debate Einstein x Bohr, os resultados experimentais favoreceram as idéias de Einstein sobre a realidade dos quanta de luz. Contudo, novas etapas, e mais profundas, emergiriam nos anos seguintes. Einstein e Bohr viriam a protagonizar, a partir de 1926, o debate científico mais instigante do século XX. Em pauta, a interpretação da física quântica, as concepções físicas sobre causalidade, determinismo, probabilidade e não localização quântica, além do significado de uma descrição completa nas teorias físicas.

Neste artigo exploramos o texto e o contexto da comunicação sobre a realidade dos quanta de luz apresentada por Einstein no Brasil.³

Einstein na Academia Brasileira de Ciências

Em sua viagem à América do Sul, no primeiro semestre de 1925, Einstein visitou a Argentina, o Uruguai e o Brasil.⁴ Fez conferências científicas, visitou universidades e instituições de pesquisa, participou de recepções organizadas pela comunidade judaica e pela comunidade germânica,

MOREIRA, I. C. & TOLMASQUIM, A. T. Einstein in Brazil: the communication to the Brazilian Academy of Sciences on the constitution of light.. In: KRAGH, H.; VANPAEMEL, G. & MARRAGE, P. (orgs.). *History of Modern Physics*. Turnhout, Belgium: Brepols, 2002. p. 229-242.

⁴ Para maiores informações sobre essa viagem consultar: CAFFARELLI, R. Einstein e o Brasil. *Ciência e Cultura*, v. 31, n. 12, dez. 1979; MOREIRA, I. C. & VIDEIRA, A. A. P. (orgs.) *Einstein e o Brasil*. Op. cit. MOURÃO, R. R. F. *Explicando a Teoria da Relatividade e a visita de Einstein no Brasil*. Rio de Janeiro: Ediouro, 1997; TOLMASQUIM, A. T. *Einstein – O viajante da relatividade na América do Sul*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2004.

⁵ TOLMASQUIM, A. T. Op. cit.

realizou excursões turísticas, defendeu a paz e a conciliação mundial. Ao longo de sua viagem redigiu um diário telegráfico que foi recentemente publicado em português.⁵

A recepção a Einstein na ABC, no dia 7 de maio de 1925, foi o compromisso científico mais importante do cientista durante sua visita ao Rio de Janeiro. A instituição, criada em 1916 com o nome de Sociedade Brasileira de Ciências, reunia cientistas e professores com o objetivo de promover as atividades científicas no Brasil. A sessão de recepção a Einstein foi aberta por Juliano Moreira, presidente da entidade, que discorreu sobre a possível influência da relatividade em várias áreas da ciência. Einstein recebeu, em seguida, o diploma de Membro Correspondente da ABC. Francisco Lafayette, outro membro da Academia, fez um apanhado sobre os trabalhos científicos de Einstein, mencionando suas pesquisas sobre o movimento browniano, o efeito fotoelétrico e as teorias relativísticas. Em seguida, Mário Ramos estabeleceu o prêmio Albert Einstein, a ser concedido anualmente ao melhor trabalho apresentado à ABC. Por fim, Einstein fez uma comunicação científica sobre a situação da teoria da luz naquele momento, com destaque para a questão da realidade dos quanta de luz. Einstein se expressou em francês, mas o texto de sua comunicação havia sido redigido em alemão em folhas de papel timbrado do Hotel Glória onde ficara hospedado, tendo sido posteriormente traduzido por Roberto Marinho de Azevedo e publicado na nova revista da ABC. O manuscrito original foi entregue a Getúlio das Neves, do Clube de Engenharia, que presidia a comissão de recepção a Einstein. O texto foi mantido pelos familiares de Getúlio das Neves, após sua morte em 1928.

Em vez de fazer um discurso, Einstein – que criticaria a verbosidade brasileira em seu diário – preferiu apresentar à Academia uma questão científica candente naquele momento. Isso está registrado na ata da sessão:

O professor Einstein, agradecendo às homenagens que lhe são prestadas, ao invés de um discurso, diz ele, mostra o seu reconhecimento e o seu apreço à Academia fazendo uma rápida comunicação sobre os resultados que, na Alemanha, estão sendo obtidos nos estudos realizados sobre a natureza da luz, comparando a teoria ondulatória e a dos quanta.⁶

Não existe registro de perguntas feitas a Einstein referentes ao conteúdo de sua apresentação. O interesse maior despertado por suas palestras no Rio de Janeiro havia se centrado na teoria da relatividade.

⁶ PEREIRA, F. L. R. Recepção de Einstein. *Revista da Academia Brasileira de Ciências*, n. 1, p. 77-79, abril de 1926; ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. *Professor Albert Einstein: sua visita ao Brasil e homenagens recebidas durante sua estada no Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Typ. Jornal do Comércio, 1925.

Einstein deixou o Brasil para retornar à Europa no dia 12 de maio de 1925. Sua visita havia influenciado positivamente a pequena comunidade científica brasileira em sua luta pela afirmação da ciência “pura” no país e tivera repercussão ampla na mídia carioca. Em particular, catalisou um interessante debate entre defensores da relatividade e oponentes a ela, estes de estrato positivista mais radical, que teve palco nos salões da ABC e que também repercutiu na mídia da época.⁷

⁷ Ver, por exemplo: MOREIRA, I. C. & VIDEIRA, A. A. P. (orgs.) *Einstein e o Brasil*. *Op. cit.*

A realidade dos fótons e a resistência dos físicos

Em seu famoso trabalho de 1905, Einstein fez uma revolucionária generalização do conceito de quantum, que havia sido introduzido por Planck, em 1900, para explicar o comportamento da radiação do corpo negro. Einstein se refere assim à sua hipótese:

*De fato, penso que as observações sobre a radiação do corpo negro, a fotoluminescência, a produção de raios catódicos pela luz ultravioleta, e outras classes de fenômenos concernentes à produção e à transformação da luz, parecem como mais compreensíveis se admitirmos que a energia da luz está distribuída de maneira descontínua no espaço. Segundo a hipótese proposta aqui, quando da propagação de um raio luminoso emitido por uma fonte pontual, a energia não está distribuída de maneira contínua sobre espaços cada vez maiores, mas é constituída de um número finito de quanta de energia localizados em pontos do espaço, cada um se deslocando sem se dividir e podendo ser absorvido ou produzido apenas em bloco.*⁸

⁸ EINSTEIN, A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt, *Annalen der Physik* XVII, 132-148, 1905.

⁹ É interessante destacar que Millikan, em seu artigo (*Phys. Rev.*, 7, 18, 1916), buscou várias outras alternativas para se chegar à equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, justamente porque a idéia do fóton ainda não era aceita por ele. Confessaria mais tarde (*Rev. Mod. Phys.*, 21, 343, 1949): “passei dez anos da minha vida testando a equação de Einstein de 1905. Contrariando minhas expectativas, em 1915, fui compelido a validá-la sem ambigüidade, apesar de seu caráter não razoável, pois parecia violar tudo o que sabíamos sobre a interferência da luz.”

A idéia de uma estrutura granular da radiação luminosa estava em confronto direto com a teoria ondulatória da luz que vinha sendo consolidada e aceita hegemonicamente na física ao longo de um século. Por causa disso, ela sofreria uma grande resistência durante anos, incluindo aí físicos da estatura de Planck, Lorentz, Nernst e Bohr. Mesmo após a confirmação experimental da fórmula de Einstein para o efeito fotoelétrico – feita por Millikan⁹ em 1915 – e pela qual receberia o Prêmio Nobel, a oposição ao conceito dos quanta de luz ainda se manteve forte. Não foi à toa que Einstein, numa carta a seu amigo Conrad Habicht, em maio de 1905, considerara essa idéia como muito revolucionária; aliás, essa foi a única contribuição sua à qual atribuiu este adjetivo. Em 1918, reconhecia que estava quase solitariamente defendendo a idéia do quantum de luz.

Em 1917, Einstein supôs que, nos processos elementares de emissão ou absorção, somente são emitidos (ou absorvidos) feixes de radiação direcionados e postulou a conservação de energia e do momento – que ele propôs valer hn/c (h é a constante de Planck, n a frequência da radiação e c a velocidade da luz) para um quantum de luz.¹⁰ Fez também uma afirmação forte em oposição à teoria ondulatória da luz:

Se a molécula sofrer, sem excitação externa, uma perda de energia de magnitude hn pela emissão dessa energia na forma de radiação (radiação para fora), então esse processo é também direcional. Radiação para fora, na forma de ondas esféricas, não existe. Durante o processo elementar de perda radiativa, a molécula sofre um recuo de magnitude hn/c em uma direção que é determinada apenas por “chance” segundo o status atual da teoria.

Einstein reconhecia a fraqueza de sua teoria: “ela se situa, por um lado, no fato de que a teoria não nos possibilita chegar mais perto de uma conexão com a teoria ondulatória; por outro lado, ela deixa ao acaso a duração e a direção dos processos elementares.”

Boa parte dos físicos viu no experimento de Compton¹¹ de 1923 – quando ele descobriu que o comprimento de onda dos raios X aumentava quando eram espalhados por elétrons – e na explicação proposta por ele (um fóton se chocaria individualmente com um elétron livre e as leis de conservação se verificavam) uma evidência definitiva sobre a realidade dos fótons. Bohr, no entanto, ainda resistia fortemente à idéia e buscava outra forma de explicar os fenômenos de interação entre a radiação e a matéria. Ele esperava que se chegasse a uma generalização natural da teoria ondulatória clássica. Em seu relato ao Terceiro Congresso Solvay, escreveu que o conceito de quantum de luz “parece, por um lado, oferecer a única possibilidade de dar conta do efeito fotoelétrico, se nos limitamos à aplicabilidade irrestrita das idéias de conservação da energia e do momento. Por outro lado, ele aparentemente apresenta dificuldades insuperáveis do ponto de vista dos fenômenos de interferência ótica...”¹² Na sua conferência Nobel, de 1922, Bohr mantinha essa posição crítica.

Um trabalho de Slater, publicado na *Nature* no início de 1924, ofereceu oportunidade para a construção de uma teoria na direção do que Bohr propugnava. Slater desenvolveu a idéia de um “campo de radiação virtual” emitida por osciladores virtuais.¹³ Bohr e Kramers viram nisso a possibilidade de usar o campo para induzir uma probabilidade de

¹⁰ EINSTEIN, A. Zur Quantentheorie der Strahlung. *Physikalische Zeitschrift*, 18, 121-128, 1917.

¹¹ COMPTON, A. H. Wavelength measurements of scattered x-rays. *Phys. Rev.*, 21, 483-502, 1923.

¹² BOHR, N. L'application de la théorie des quanta aux problèmes atomiques. In: *Atomes et électrons*. Paris, 1923. p. 241-242.

¹³ SLATER, J.C. Radiation and atoms. *Nature*, 113, 307-308, 1924.

¹⁴ WAERDEN, B. L. van der. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications, 1968.

¹⁵ BOHR, N. ; KRAMERS, H. A. & SLATER, J. C. The quantum theory of radiation. *Philosophical Magazine*, 47, 785-802, 1924; Über die Quantentheorie der Strahlung. *Zeitschrift für Physik*, 24, 69-87, 1924.

¹⁶ EINSTEIN, A. Carta a Ehrenfest (31 de maio de 1924), citada em *Albert Einstein. Oeuvres Choisis*. Quanta. *Op. cit.*, p. 164.

¹⁷ BOTHE, W. & GEIGER, H. Ein Weg zur experimentellen Nachprüfung der Theorie von Bohr, Kramers und Slater. *Zeitschrift für Physik*, 26, 44, 1924 [recebida em 7 de junho de 1924, publicada em 5 de agosto de 1924].

¹⁸ BOTHE, W. & GEIGER, H. *Op. cit.*

transição e não para guiar os quanta corpusculares.¹⁴ Os três escreveram então um trabalho no qual dispensavam o conceito de quantum de luz: “Apesar do grande valor heurístico dessa hipótese mostrado pela confirmação das previsões de Einstein referentes ao efeito fotoelétrico, a teoria dos quanta de luz obviamente não pode ainda ser considerada como uma solução satisfatória do problema da propagação da luz.”¹⁵ Eles abandonaram qualquer tentativa de uma conexão causal entre transições em átomos distantes e a aplicação dos princípios de conservação da energia e do momento, que passavam a ter apenas um significado estatístico.

O preço a pagar era muito alto para Einstein. Ele reagiu imediatamente à teoria BKS se opondo frontalmente a ela. Em carta a Ehrenfest, observou que a idéia de abandonar a conservação da energia havia sido uma possibilidade tentada por ele antes, mas que não a considerava bem fundamentada.¹⁶ Para um jornal popular alemão, expôs oito pontos críticos sobre a teoria BKS e destacou novamente a necessidade de manter leis de conservação estritas para todos os processos elementares. Em uma carta a Magnus, de novembro de 1924, Einstein descreveu sua visão sobre a polêmica: “As tentativas de Bohr, Cramers [note-se que Einstein escrevia com ‘C’] e Slater partem da teoria ondulatória, enquanto que eu me inclino a considerar os quanta luminosos como elementos reais da estrutura da radiação. Mas jamais houve uma controvérsia propriamente dita, mesmo porque nenhuma das teorias conseguiu de maneira minimamente satisfatória representar globalmente o conjunto dos fenômenos que deve ser considerado. Por outro lado, há a esperança de que a via experimental possa decidir proximamente entre as duas possibilidades teóricas descritas anteriormente. É com grande interesse que os físicos aguardam o resultado das pesquisas experimentais feitas com esse propósito por Geiger e Bothe no Instituto Físico-Técnico de Berlim.” Nessa fase, Einstein não trocou correspondência direta com Bohr a respeito de suas divergências.¹⁷ Foi Pauli que, em outubro de 1924, escreveu a Bohr para informar sobre suas discussões com Einstein acerca do artigo BKS e sobre as críticas deste.

A possibilidade de construir um aparato experimental para testar as previsões da teoria BKS foi explorada, em junho de 1924, pelos físicos experimentais alemães Walther Bothe and Hans Geiger.¹⁸ A teoria BKS, se aplicada ao experimento de Compton, levaria à conclusão de que o espalhamento dos raios X, que leva a uma variação no

comprimento de onda, não estaria necessariamente correlacionado com o recuo de um elétron individual. Bothe e Geiger utilizaram em seu aparato um detector de coincidência com dois contadores de ponta: um para a detecção dos raios X (fótons) espalhados e outro para registrar os elétrons de recuo. Mais ou menos na mesma época, nos Estados Unidos, Compton e Simon iniciavam um experimento, usando uma câmara de Wilson, para medir o ângulo de espalhamento dos raios X e o ângulo de recuo do elétron.

No início de 1925 havia grande expectativa sobre a questão e muitos rumores sobre os resultados dos experimentos, por causa da disputa subjacente entre os dois grandes físicos. Os resultados preliminares de Bothe e Geiger começaram a se espalhar no início de 1925. Born, em uma carta a Bohr, escrita em 15 de janeiro de 1925, já anunciava: “Estive há pouco tempo em Berlim; ali só se fala da experiência de Geiger e Bothe [...] que, aparentemente, está em favor dos quanta de luz. Einstein triunfa...”.¹⁹ Em 5 de março, quando a situação permanecia ainda indefinida, Einstein deixou a Alemanha e iniciou sua viagem para a América do Sul.

A conferência de Einstein na Academia Brasileira de Ciências

A conferência de Einstein que resultou num artigo²⁰, constituiu-se em uma comunicação breve sobre as duas teorias em competição e sobre a possibilidade dos experimentos que vinham sendo realizados estabelecerem marcos definidores entre elas. Certamente ele não tinha a ilusão de que o problema geral do comportamento da luz estivesse resolvido a partir daí, mas via no experimento uma possibilidade real de se clarear um ponto ainda bastante controverso: a realidade dos quanta de luz.

Inicialmente Einstein, em seu estilo claro e direto, apresentou um apanhado da teoria ondulatória da luz e da nova teoria dos quanta de luz, discutindo vantagens e limitações de ambas. Deixa claro, no entanto, que até aquele momento não se conseguira uma descrição teórica que sintetizasse adequadamente o comportamento da luz:

Até há pouco tempo atrás, acreditava-se que com a teoria ondulatória da luz, na sua forma eletromagnética, tivéssemos adquirido um conhecimento definitivo sobre a natureza da radiação. No entanto, sabemos já, desde uns vinte e cinco anos atrás, que essa teoria não permite explicar as propriedades térmicas e energéticas da radiação, embora descreva com precisão as propriedades

¹⁹ BORN, M. Carta a N. Bohr (15 de janeiro de 1925), citada em *Albert Einstein. Oeuvres Choisies. Quanta. Op. cit.*, p. 169.

²⁰ EINSTEIN, A. Bemerkungen zu der gegenwärtigen Lage der Theorie des Lichtes. Tradução em português: Observações sobre a situação atual da teoria da luz. *Revista da Academia Brasileira de Ciências*, 1 (1926), 1-3, 1926 reimpresso em MOREIRA, I. C. & VIDEIRA, A. A. P. (orgs.) *Einstein e o Brasil. Op. cit.*, p. 61-64.

geométricas de luz (refração, difração, interferência etc). Uma nova concepção teórica, a teoria do quantum luminoso, semelhante à teoria da emissão de Newton, surgiu ao lado da teoria ondulatória da luz e adquiriu uma posição firme na ciência pelo seu poder explicativo (explicação da fórmula da radiação de Planck e dos fenômenos fotoquímicos, teoria atômica de Bohr). Não se conseguiu, até hoje, uma síntese lógica da teoria dos quanta e da teoria ondulatória, apesar de todos os esforços feitos pelos físicos. É, por essa razão, muito discutida a questão da realidade dos quanta de luz.

No parágrafo seguinte, Einstein comenta sobre a teoria de Bohr, Kramers e Slater, publicada pouco tempo antes:

Há pouco tempo, Bohr, juntamente com Cramers e Slater, tentou explicar teoricamente as propriedades energéticas da luz sem lançar mão da hipótese de que a radiação é constituída de quanta análogos a corpúsculos. Segundo a opinião desses pesquisadores, devemos continuar a imaginar a radiação como constituída de ondas que se propagam em todas as direções. Essas ondas, embora absorvidas pela matéria de modo contínuo, como quer a teoria ondulatória, produzem, de acordo com as leis da estatística, efeitos que são idênticos aos de átomos similares aos quanta. Tudo se passa como se a radiação fosse constituída de quanta, de energia $h\nu$ e de momento igual a $h\nu/c$. Com essa concepção, esses autores abandonaram a validade exata dos teoremas da conservação da energia e do momento linear, substituindo-os por uma relação que possui apenas um valor estatístico.

A seguir, Einstein comenta o experimento de Compton:

Com a finalidade de verificar experimentalmente esse modo de ver, os físicos berlinenses Geiger e Bothe tentaram uma experiência interessante sobre a qual desejaria chamar a atenção dos senhores. Alguns anos atrás, Compton tirou uma conseqüência de grande importância da teoria dos quanta de luz. Quando ocorre a difusão dos raios Roentgen duros pelos elétrons constitutivos do átomo, pode acontecer que o impulso do quantum incidente seja suficientemente forte para separar o elétron do átomo. A energia necessária para isso é retirada do quantum, durante a colisão, e se manifesta, de acordo com os princípios da teoria dos quanta, na diminuição da freqüência da radiação difundida, quando comparada com a freqüência da radiação incidente constituída pelos raios Roentgen. Esse fenômeno, verificado tanto qualitativa como quantitativamente por experimentos, é conhecido sob a denominação de efeito Compton.

Einstein discute, então, como as duas teorias explicariam o fenômeno do espalhamento dos raios X:

Para que se possa compreender o efeito Compton pela teoria de Bohr, Cramers e Slater, é necessário conceber a difusão da radiação como um processo contínuo em que tomam parte todos os átomos da substância que difunde aquela radiação, enquanto a emissão dos elétrons tem apenas o caráter de acontecimentos isolados que obedecem a leis estatísticas. Pela teoria dos quanta de luz, também a difusão da luz possui o caráter de acontecimentos isolados, devendo sempre existir, em uma determinada direção, um elétron emitido toda vez que é produzido um efeito secundário pela radiação que incide sobre a matéria. Por essa teoria, existe, assim, uma correlação estatística entre a radiação difundida, no sentido de Compton, e a emissão de elétrons, correlação esta que não deve existir na concepção teórica dos autores citados acima.

Einstein passa a uma descrição bastante sucinta do aparato de Bothe e Geiger:

Para verificar o que ocorre realmente, é necessário que se utilize um aparelho capaz de constatar um único processo elementar de absorção, e de, respectivamente, registrar a emissão de um único elétron. Esse dispositivo existe numa ponta eletrizada, na qual um único elétron por ela apreendido gera, pela formação secundária de íons, uma descarga momentânea susceptível de ser medida. Com duas dessas pontas convenientemente dispostas, Geiger e Bothe conseguem responder à importante questão da existência da correlação estatística dos fenômenos secundários mencionados acima.

Einstein finalizou sua apresentação expressando a esperança de que os experimentos que vinham sendo realizados trouxessem novas luzes ao problema: “Por ocasião de minha partida da Europa, as experiências não estavam ainda concluídas. No entanto, os resultados até agora obtidos parecem mostrar a existência daquela correlação. Se essa correlação for verificada de fato, tem-se um novo argumento de valor em favor da realidade dos quanta de luz.”

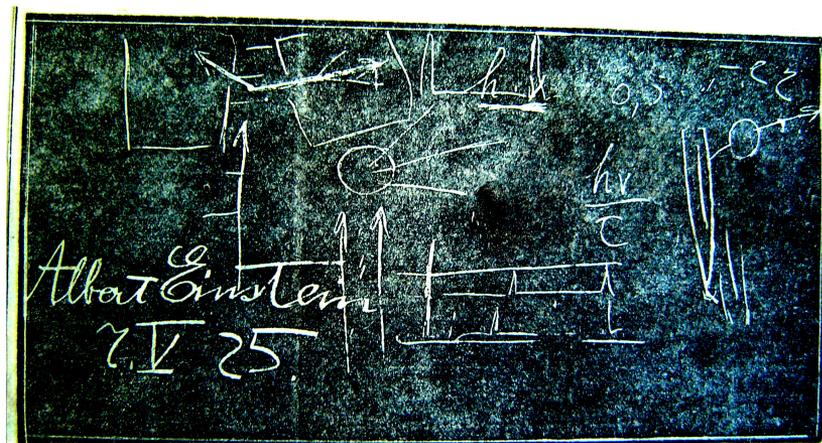
É interessante destacar que, em seu diário, Einstein registrou reflexões relativas ao comportamento da matéria e da radiação nos dias 12 e 18 de março, quando seu navio se dirigia para o Brasil. No dia 18, escreveu: “Idéia para esclarecimento da coerência da emissão de raios em diferentes direções”²¹. Isso mostra que a questão estava presente todo o tempo em suas reflexões ao longo da viagem. Em sua comunicação, ele não procedeu a críticas detalhadas da teoria

²¹ TOLMASQUIM, A. T. *Einstein – O viajante da relatividade na América do Sul. Op. cit.*

BKS, como já fizera em cartas e entrevistas a jornais. Limitou-se a expor o problema geral, a citar os dois pontos de vista e a relatar os experimentos que poderiam ter um papel decisivo sobre a questão, como de fato tiveram.

Recentemente, ao organizar uma exposição sobre Roquette-Pinto, localizamos uma foto do quadro-negro que Einstein utilizou durante sua comunicação na ABC. Publicada em jornal do Rio de Janeiro em 8 de maio de

1925, traz a seguinte legenda: “Quadro negro que será conservado na Academia de Ciências, no qual Einstein traçou, durante sua comunicação, alguns esquemas demonstrando os recentes estudos feitos na Alemanha sobre a constituição da luz.” Este quadro não foi até agora localizado, se é



que ainda existe. Apesar de confuso, o que nos dá também uma idéia sobre a forma não muito organizada pela qual Einstein utilizava o quadro-negro, podemos distinguir no quadro aspectos de sua exposição. Sem maiores cuidados interpretativos, e especulando livremente, passemos a considerar alguns detalhes dele. As duas fórmulas básicas para a energia e o momento do quantum de luz (hn , hn/c) estão claramente visíveis. No lado esquerdo, acima, vetores parecem indicar uma colisão com espalhamento e, no meio, três traços oblíquos, com um círculo em volta, poderiam constituir uma representação esquemática do espalhamento dos quanta de luz por elétrons, no experimento de Compton. O significado de alguns eixos coordenados no lado esquerdo do quadro nos escapa. Do lado direito, pode ser inferido um esquema simplificado do aparato de Geiger e Bothe. No meio, um pouco para baixo, podem ser observados também gráficos em que estão representados picos isolados; esses possivelmente corresponderiam ao registro da detecção correlacionada de elétrons individuais e de fótons de raios X espalhados, que seriam provenientes das leituras dos dois contadores de Geiger e Bothe.

Considerações finais

Os resultados definitivos sobre os experimentos de Bothe e Geiger foram publicados em meados de 1925. Um resultado preliminar do experimento de Bothe e Geiger foi enviado para publicação em 18 de abril de 1925 e divulgado na revista *Die Naturwissenschaften*, que saiu no dia 15 de maio.²² Os resultados definitivos foram recebidos pelo *Zeitschrift für Physik* em 25 de abril de 1925 e saíram publicados em 12 de junho de 1925.²³ No experimento, observou-se que aproximadamente um em cada 11 quanta de luz coincidia com um elétron de recuo. Isso mostrou que as chances de essas coincidências serem acidentais eram muito pequenas, contrariando a previsão de coincidências meramente ao acaso da teoria BKS. Os autores chegaram à conclusão de que os resultados de seu experimento eram incompatíveis com a interpretação de Bohr, Kramers e Slater para o efeito Compton e que “o conceito de *quanta* de luz possuía mais realidade do que essa teoria supunha.”

Naquele momento, os resultados iniciais do experimento de Compton e Simon já haviam sido apresentados no encontro da American Physical Society em Ann Arbor, em novembro de 1924.²⁴ O artigo completo apareceu no número de 3 de março de 1925 do *Physical Review*.²⁵ Curiosamente Einstein, possivelmente por desconhecimento ou talvez por não lhe atribuir um significado maior, não mencionou o experimento de Compton e Simon em sua comunicação à ABC.

A reação de Bohr a esses experimentos não tardou e foi expressa publicamente no “Postscript” que ele adicionou a seu artigo sobre colisões atômicas.²⁶ Aceitou a prova experimental da existência de uma correlação entre processos individuais, mas expressou o ponto de vista de que a questão das propriedades ondulatórias e corpusculares da luz era mais profunda. Ponderou ainda sobre eventuais limites, nos processos atômicos, da visão de espaço-tempo normalmente usada para descrever os fenômenos naturais. Einstein, embora tivesse recebido esses resultados experimentais como uma confirmação de suas expectativas quanto às leis de conservação e a uma estrita causalidade na descrição física da natureza, sabia também que o problema do fóton estava ainda longe de uma solução. Mesmo em 1951, em uma carta a seu amigo Besso, comentava: “Os 50 anos de meditação consciente não me levaram mais próximo da resposta à questão: o que são os *quanta* de luz? Naturalmente, hoje qualquer um pensa que sabe a resposta, mas está enganando a si mesmo.”²⁷

²² BOTHE, W. & GEIGER, H. Experimentalles zur Theorie von Bohr, Kramers und Slater. *Die Naturwissenschaften*, 13, 440-441, 1925.

²³ BOTHE, W. & GEIGER, H. Über das Wesen des Comptoneffekts; ein experimenteller Beitrag zur Theorie der Strahlung. *Zeitschrift für Physik*, 32, 639-663, 1925.

²⁴ COMPTON, A. H. & SIMON, A. W. Measurements of K-rays excited by hard X-rays. *Physical Review*, 25, 107, 1924.

²⁵ COMPTON, A. H. & SIMON, A. W. Directed quanta of scattered X-rays. *Physical Review*, 26, 289-299, 1925.

²⁶ BOHR, N. Über die Wirkung von Atomen bei Stößen. *Zeitschrift für Physik*, 34, 142-157, 1925.

²⁷ EINSTEIN, A. Carta a M. Besso (12 de dezembro de 1951) citada em KLEIN, M. J. *Op. cit.*, p. 39.

Agradeço a Nelson Studart pelos comentários úteis e pelo interesse permanente em discutir esses temas de história da física.

Ildeu de Castro Moreira é graduado e doutor em Física e professor do Instituto de Física e da Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ildeu@if.ufrj.br

“O RADIANTE CÉU DO BRASIL”

O eclipse de Sobral de 1919 e a
visita de Einstein ao Rio de Janeiro em 1925



Antonio Augusto Passos Videira

Em maio de 1925, Albert Einstein passou uma semana no Rio de Janeiro, a convite de cientistas e membros da comunidade judaica radicada na então capital federal. Apesar de ter proferido algumas palestras para a comunidade acadêmica, a visita de Einstein não pôde ser considerada como estritamente científica. Enquanto conhecia uma realidade humana e uma natureza diferentes das quais estava acostumado e mostrava para os seus anfitriões sua consideração pelo papel (marginal) que o Brasil desempenhou na controversa confirmação da teoria da relatividade geral, a sua presença ganhava importância em função de certas necessidades e interesses. Dentre as necessidades, surgia com mais intensidade aquela relativa ao apoio, a ser dado pelo governo federal, à causa da ciência pura. Em suma, para as lideranças científicas da época, a presença de Einstein em terras brasileiras justificava-se pelos ganhos políticos a serem obtidos para a consolidação de temas como pesquisa em ciência pura, realizada num ambiente universitário.

Preâmbulo¹

Ilustração de abertura

Luís Otávio Saturno Corrêa

¹ Este artigo é, em parte, uma síntese de outros trabalhos que escrevi, em colaboração com Jean Eisenstaedt, sobre o assunto. Quero registrar a importância dos comentários precisos e rigorosos feitos por Cássio Leite Vieira. Para maiores informações, consultar:

EINSENSTAEDT, Jean & VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. A prova cearense das teorias de Einstein ou como a cidade de Sobral entrou para a história da ciência. *Ciência Hoje*, v. 20, n. 115, novembro de 1995, p. 24-33. EINSENSTAEDT, Jean & VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. A Relatividade Geral Verificada: o eclipse de 29/05/1919. In: MOREIRA, Ildeu de Castro & VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. *Einstein e o Brasil*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1995, p. 77-99.

² É controversa a tese que defende que a relatividade geral foi definitivamente comprovada através do eclipse de Sobral. Um dos mais importantes especialistas no tema, Clifford Will, afirma que a comprovação definitiva só foi ocorrer na década de 1960.

Com a visita de Albert Einstein à cidade do Rio de Janeiro em maio de 1925, os cientistas brasileiros esperavam ganhar relevância política e social junto aos governantes do país e à população em geral. Em outras palavras, esperavam poder conquistar maior peso político. Receber um cientista estrangeiro da estatura de Einstein poderia significar – e era exatamente o que os cientistas brasileiros queriam que significasse – que eles eram reconhecidos como figuras importantes por aquele cientista genial e revolucionário. Se Einstein se havia disposto a conhecê-los – o que poderia e deveria ser transformado, pelos cientistas brasileiros, em uma demonstração de apreço –, como, então, não receber o mesmo tratamento por parte do Governo Federal e da sociedade?

Einstein, ao longo da semana que passou em solo brasileiro, mostrou-se gentil, paciente, interessado e curioso por praticamente tudo aquilo que viu e visitou, particularmente pelas instituições científicas então existentes. O programa cumprido por ele no Rio de Janeiro foi uma mistura de evento social, cultural, político e científico, ainda que este último aspecto tenha sido, ao menos oficialmente, o principal. Quanto a Einstein, o seu propósito era basicamente o de conhecer uma realidade muito distante da sua. Em suma, o que o movia ao querer conhecer o Brasil, era entrar em contato com um país tropical. Deve-se observar que o desejo de conhecer essa realidade tropical não era anterior à sua primeira passagem pelo Rio de Janeiro, a caminho de Buenos Aires. Einstein não tinha previsto parar no Brasil. Ele o fez, uma vez que a rota do seu navio incluía escalas no porto do Rio de Janeiro. Foram os cientistas brasileiros e membros da comunidade judaica radicada na então capital federal que tomaram a decisão de convidar Einstein a passar uns dias entre nós. Einstein foi convencido. Dentre as razões que o levaram, uma vez mais, “a subir no trapézio”, pode-se, talvez, mencionar a vontade de mostrar-se agradecido pela participação brasileira nas observações feitas em Sobral (Ceará) seis anos antes, por ocasião de um eclipse solar total que foi usado para “comprovar”² a sua teoria da relatividade geral.

A visita de Einstein foi cuidadosamente preparada para que ele pudesse encontrar-se com todos aqueles que queriam conhecê-lo e recebê-lo. Em primeiro lugar, os cientistas, em seguida, e nessa ordem, os membros da comunidade judaica, os políticos e, finalmente, os membros da comunidade germânica.

A imprensa teve um papel importante nessa tática dos cientistas brasileiros, pois foi uma aliada, contribuindo para dar grande visibilidade pública à visita de Einstein, cujos passos foram cobertos diariamente por quase todos os periódicos de então, com especial ênfase por parte de *O Jornal*, de Assis Chateaubriand.³ Não deve ser esquecido que Einstein já era uma personalidade mundial, isto é, a menção de seu nome poderia significar expressivo aumento nas vendas dos jornais. A idéia era não perder um único momento da visita científica mais importante já acontecida no Brasil. Até mesmo os opositores da teoria da relatividade ganharam espaço na imprensa, uma vez que as polêmicas que surgiram entre eles e os partidários das idéias einsteinianas se justificariam na medida em que constituiriam uma memória científico-cultural da passagem de Einstein entre nós; além, é claro, de servir aos interesses, nem sempre científicos, da imprensa.

Descrever a visita de Einstein ao Brasil permite que conheçamos o ambiente social, cultural e científico dos anos 1920 e percebamos de que modo os cientistas locais se organizavam em prol de mudanças nas suas práticas. Uma das principais bandeiras, então publicamente defendidas, dizia respeito à necessidade de o governo federal apoiar a ciência pura.⁴

Sobral, 1919

É fato que os cientistas locais não realizaram nenhuma observação que tenha contribuído para comprovar as teses de Einstein sobre a gravitação, o espaço-tempo e o comportamento da matéria nesse contexto. A participação brasileira no evento de Sobral esteve direcionada para o estudo do comportamento da coroa solar. Ainda assim, os astrônomos brasileiros deram a sua contribuição para que o eclipse solar, ocorrido no dia 29 de maio de 1919, entrasse para os anais da história da ciência. A contribuição que deram permitiu a escolha do local que serviria como base para as observações a serem conduzidas pelos astrônomos ingleses. Não era a primeira vez que a teoria da relatividade geral e o Brasil se encontravam. Sete anos antes, em outubro de 1912, ocorrera um outro eclipse solar total, o qual deveria ter sido observado no sul do estado de Minas Gerais por diferentes equipes de astrônomos, interessadas em verificar a explicação dada por Einstein para o desvio da trajetória dos raios luminosos quando estes sofrem a ação de corpos muito maciços. Nessa ocasião, os britânicos, ao lado dos alemães e argentinos, os principais interessados em

³ Praticamente todas as notícias, publicadas nos jornais cariocas e relativas à passagem de Einstein pelo Rio de Janeiro, foram reproduzidas em MOREIRA, Ildeu de Castro; MASSARANI, Luisa & VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (organizadores), *Einstein no Brasil: O Relato da Imprensa da Época*. Rio de Janeiro: Observatório Nacional (Ministério da Ciência e Tecnologia), Publicação Especial, 1995. 28 p.

⁴ Sobre o movimento em defesa da ciência pura, tomo a liberdade de recomendar o meu livro: *Henrique Morize e o ideal de ciência pura na República Velha*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2003.



Membros das expedições a Sobral com familiares: *Henrique Morize* (o 4º da esquerda para a direita, em pé); *Lélio Gama* (o 6º da esquerda para a direita, em pé); *Andrew C. Crommelin* (o 3º da direita para a esquerda, sentado); *Charles Davidson* (o 2º da direita para a esquerda, sentado).

comprovar as idéias do físico, na altura, suíço, enviaram uma equipe com a participação de Arthur S. Eddington, talvez o principal personagem na história da comprovação experimental da teoria da relatividade geral.

O eclipse de 1912 acabou sendo um fracasso, uma vez que choveu torrencialmente, o que impossibilitou o registro fotográfico do fenômeno. No entanto, Charles D. Perrine, um norte-americano que dirigia o Observatório de Córdoba (Argentina), escreveu, pouco depois, para Henrique Morize, então diretor do Observatório Nacional, sediado no Rio de Janeiro, alertando-o para um outro eclipse, o qual teria uma duração excepcional. Perrine solicitava a Morize que realizasse um estudo minucioso de modo a determinar qual seria a melhor região, em solo brasileiro, para a sua observação. Morize atendeu o pedido de Perrine e redigiu um relatório, que foi usado por cientistas de alguns países do mundo. Além da duração excepcional, outra característica importante do eclipse de 1919 era a de que o Sol estaria localizado na região das Hyades, um grupo de estrelas na constelação de Touro. Esse grupo de estrelas permitiria a obtenção de chapas fotográficas, agora sem a presença do Sol, para comparação. O relatório de Morize sugeria que a região de Sobral seria aquela que, no Brasil, reuniria as condições mais propícias. Sua sugestão foi acatada.

No dia 26 de abril chegavam a essa cidade os dois membros da equipe inglesa (Andrew Crommelin e Charles Davidson), que receberam excelente acolhida, sendo inclusive

hospedados na casa de um deputado da região e que ficava em frente à praça onde seriam realizadas as observações. A expedição brasileira, tendo à sua frente Morize, chegou no dia 9 de maio. De acordo com o relatório que Crommelin escreveu mais tarde, o dia 29 de maio amanheceu nublado. Contudo, horas depois, as nuvens se dissiparam, abrindo-se um buraco entre elas, onde o Sol permaneceu durante toda a duração do eclipse. As fotografias foram tiradas. De Sobral, Crommelin expediu um curto telegrama com os dizeres: “Esplêndido eclipse”. Também a equipe brasileira foi bem sucedida nas suas observações. Tempos depois, Morize publicou um relatório com os resultados obtidos nas páginas do órgão oficial da Sociedade Brasileira de Ciências, que era por ele presidida desde a sua fundação em 1916.

Feita a revelação das fotografias e procedida a análise de seu conteúdo, os cientistas ingleses, conduzidos por Eddington, concluíram que elas poderiam ser usadas em favor da comprovação da teoria de Einstein. Essa comprovação foi contestada, na época, por alguns cientistas, o que fez com que, por muitos anos, expedições astronômicas fossem organizadas para corroborar a opinião de Eddington amplamente favorável à relatividade geral. Essa conclusão foi oficialmente divulgada em 6 de novembro de 1919 ao mundo, numa sessão solene da Royal Astronomical Society. O ambiente na ocasião foi de profunda emoção, como foi relatado por Alfred N. Whitehead, que compareceu à sessão. No dia seguinte, o jornal inglês *The Times* anunciava em suas páginas que uma revolução havia acontecido na ciência. O nome de Albert Einstein tornava-se celebridade mundial.

Rio de Janeiro, 1925

Praticamente seis anos após ter-se tornado uma figura mundialmente conhecida, Einstein desembarcava no porto do Rio de Janeiro para uma viagem rápida, agitada e, como ele suspeitava, estafante. Ele vinha de uma estada de um mês na Argentina e de uma breve passagem pelo Uruguai. Nesses dois países, foi tratado como um ícone, papel que, na sua intimidade, detestava e que desempenhava por obrigação para com os seus ideais políticos, sociais e culturais. Por aquela altura, Einstein havia decidido contribuir para melhorar as condições de vida dos judeus. Coerente com essa decisão, ele aceitava convites para visitar lugares onde se encontravam judeus necessitados ou judeus ricos que pudessem doar quantias em dinheiro para a causa sionista.



Einstein em visita ao Observatório Nacional do Rio de Janeiro em 9 de maio de 1925.

No entanto, as visitas que Einstein realizava a outros países não tinham apenas o propósito de contribuir para a causa do povo judeu. Desde a sua juventude, havia esposado idéias liberais em política e em ciência. Em outras palavras, ele não se opunha a que o seu nome fosse associado a temas pelos quais lutava. Entre esses temas, estava o apoio que os governos e estados nacionais deveriam dar à ciência. Em 1925, a ciência brasileira ainda buscava conseguir as condições que lhe permitissem a concretização de seus anseios. Por exemplo, não existiam universidades, que eram vistas como o local apropriado para a pesquisa científica. Em suma, a comunidade científica lutava por uma institucionalização adequada aos seus fins. Desse modo, o convite feito a Einstein pela então pequena comunidade científica brasileira servia como uma garantia de que a sua visita não seria usada para fins que ele considerava inadequados.

O programa que Einstein cumpriu nos dias que passou no Rio de Janeiro incluiu palestras científicas, visitas a instituições científicas, reuniões breves com políticos, entre os quais o presidente Artur Bernardes, por quem foi recebido no Palácio do Catete, e solenidades públicas com membros das comunidades germânica e judaica. Também almoçou privadamente com algumas personalidades do mundo social e cultural. Algumas delas lhe pareceram interessantes, enquanto outras deram-lhe a impressão de vazias

e tolas. Em seu diário, Einstein teceu comentários sobre o que viu e experimentou nessa semana. Daquilo que escreveu, pode-se afirmar que o que mais o impressionou foi a natureza tropical. Por exemplo, ele relata com palavras admiradas as visitas que fez ao Jardim Botânico e ao Pão de Açúcar.⁵ A presença da floresta numa cidade grande o encantou. Já os homens e mulheres, em sua maioria, pareceram-lhe superficiais e desprovidos de uma índole forte, o que talvez pudesse ser justificado pelo clima tropical.⁶ Em parte, esse julgamento explica-se pelo fato de Einstein de testar todo e qualquer sinal de inautenticidade. Além disso, creio ser relevante observar que o pouco tempo em que esteve no Brasil e o fato de ter visitado uma única cidade não puderam propiciar que tivesse mais “dados” para justificar suas conclusões. A rapidez e a superficialidade de seus contatos não o impediram de se comportar como um turista comum, que formula conclusões em pouco tempo. De todo modo, parece que guardou boas recordações de sua breve passagem entre nós.

Conclusões

Na época da visita de Einstein, a comunidade científica brasileira já tinha travado conhecimento com as suas idéias sobre a relatividade. Alguns cientistas já haviam inclusive escrito trabalhos científicos sobre o assunto. Roberto Marinho de Azevedo, o tenente da Marinha Pena Boto e Manoel Amoroso Costa publicaram artigos e livro sobre essa teoria. Tal produção, que inegavelmente possui qualidade, aponta para uma certa inserção da ciência brasileira num contexto mais amplo. As contribuições que Morize e o Observatório Nacional deram para a organização das equipes estrangeiras que vieram em 1912 e 1919 também devem ser vistas como exemplos da consciência da importância que a comunidade científica atribuía à participação em certames internacionais. No que diz respeito ao Observatório Nacional, essa era uma antiga preocupação de seus dirigentes desde a segunda metade do século XIX. Desde Emmanuel Liais, diretor do antigo Imperial Observatório do Rio de Janeiro, até Morize, passando por Luiz Cruls, que dirigiu a instituição entre 1881 e 1908, era objetivo fazer com que a ciência pura desfrutasse de respeito e apoio. Por ciência pura, deve-se entender aqui a possibilidade de se fazer ciência de acordo com objetivos e critérios escolhidos pelos próprios cientistas e não tanto pelos governos.

⁵ No seu diário, Einstein registrou, em algumas ocasiões, o impacto que a natureza tropical exerceu sobre ele. Escolhi os seguintes trechos como exemplos: a) “Chegada ao Rio ao pôr-do-sol e tempo fabuloso. Ilhas graníticas de formas fantásticas estão a pouca distância. Umidade provoca reações misteriosas.” b) “Em seguida, com os cientistas ao “Pão de Açúcar”. Viagem vertiginosa sobre floresta selvagem em cabo de aço. Em cima, magnífico jogo de alternância de neblina e sol.” Sobre o passeio que fez pelas redondezas da cidade, o que lhe permitiu maior contato com a natureza do Rio de Janeiro, Einstein disse: “Excursão maravilhosa com a família de Kohn e comissão de carro a vários locais com vista panorâmica. Pôr-do-sol em trem de rodadentada a cabo no Corcovado.”

⁶ “Apanhado no porto por gente do hotel e esperado por cientistas e judeus no cais. Todos dão impressão tropical amolecida. O europeu necessita de maior estímulo metabólico do que o que esta eterna atmosfera quente-úmida oferece. De que valem a beleza natural e a riqueza? Eu penso que a vida de um escravo do trabalho europeu ainda seja mais rica, sobretudo menos utópica e nebulosa. Adaptação provavelmente só possível com renúncia da agilidade.” EINSTEIN, Albert. *Diário de Viagem – América do Sul* (Argentina, Uruguai, Brasil) – março, abril, maio de 1925. In: TOLMASQUIM, Alfredo Tiomno. *Einstein: O Viajante da Relatividade na América do Sul*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2003.

Einstein, talvez mais do que qualquer outro cientista, representava o papel de um cientista puro, que elaborava teorias tão somente movido pelo objetivo de conhecer um pouco melhor os segredos da natureza. Assim, recebê-lo e mostrar-lhe que os brasileiros reconheciam o valor de suas importantes e revolucionárias idéias, seria o mesmo que afirmar a maturidade da comunidade científica nacional. O que faltava à comunidade científica brasileira era autonomia, o que – talvez, paradoxalmente – somente poderia ser alcançado por meio de um maior e mais constante apoio, principalmente financeiro, do estado.

Analisado a partir do interior da comunidade científica brasileira, o convite feito a Einstein há oitenta anos pode ser compreendido como um gesto em defesa dos próprios interesses dessa comunidade emergente.

**Antonio Augusto Passos
Videira** é graduado em Filosofia, doutor em Epistemologia e História da Ciência e professor no Departamento de Filosofia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
guto@cbpf.br

A CORRESPONDÊNCIA EINSTEIN-BESSO



Henrique Fleming

O grande artigo de Einstein, de 1905, que apresenta ao mundo a teoria da relatividade, não contém referências e menciona apenas uma pessoa, num agradecimento: um certo M. Besso. Engenheiro suíço-italiano, Michele Besso foi, sem dúvida, o grande amigo de Einstein. Sua amizade, documentada em uma correspondência que varre várias décadas, sempre causou alguma perplexidade, já que Besso, mesmo sendo um homem admirável, não era, de forma alguma, do mesmo nível científico de Einstein. (Quem o era?) Besso, no entanto, completava Einstein, dedicando-se desinteressadamente a remover da vida do amigo os obstáculos que pudessem retardar suas grandes descobertas. E o fazia porque, embora não fosse capaz de acompanhá-lo em sua criação, compreendia-a perfeitamente. Seduzido pela beleza daquela extraordinária obra do espírito humano, não achava demais que a ela fossem dedicadas duas vidas, em lugar de uma só. Da glória, não fazia questão. Era um homem superior.

Ilustração de abertura

Thiago Krening

Einstein esteve no Brasil em 1925. Sua estada no Rio de Janeiro mereceu uma cobertura da imprensa daquelas reservadas às celebridades, e a crônica relata uma típica festa carioca, com todo o seu calor e exageros de costume. Um jornal carioca relata o seguinte episódio: ciceroneado por Austregésilo de Athayde, o ilustre visitante percorre o circuito turístico tradicional. No Corcovado, percebe que o seu guia, a todo o momento, escrevinha qualquer coisa em uma pequena caderneta. Pergunta-lhe do que se trata. Responde Austregésilo: “Cada vez que tenho uma idéia, anoto-a imediatamente. O senhor não faz o mesmo?”. Responde Einstein: “É que eu só tive uma única idéia!”

Três anos antes Einstein estivera em Paris. Após um jantar na casa de Émile Borel, o poeta Paul Valéry lhe pergunta: “Quando ocorre ao senhor uma idéia, como a registra? Numa caderneta, num pedaço de papel?” Responde Einstein: “Oh! Uma idéia, é tão raro!”

Coincidência? Pouco provável. Muito mais provável é que o cronista do jornal carioca tenha se preparado, lendo tudo o que podia sobre Einstein. E tudo o que acontecia a Einstein se tornava público, tal era a sua fama.

Michele Besso

Esta simples e reveladora anedota, envolvendo Einstein e Valéry, achei-a em um livro extraordinário, *Correspondance 1903-1955*, de Albert Einstein e Michele Besso¹, organizado por Pierre Speziali, que contém, em texto bilingüe alemão-francês, as cartas trocadas por Einstein e Besso ao longo de suas vidas. A primeira carta, de Einstein, é datada de janeiro de 1903; a última de Besso, é de 29 de janeiro de 1955. Este morreria em 15 de março de 1955. Einstein o seguiria logo depois, em 18 de abril de 1955. Há um único hiato, de 1904 a 1908, devido ao fato de que, nesta época, viviam ambos em Berna, sendo, até mesmo, colegas de trabalho, no Escritório de Patentes do governo suíço.

Mas, quem foi Michele Besso? O famosíssimo artigo de Einstein, *Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*, que introduz a teoria da relatividade, não possui referências. Uma única pessoa é citada, na frase final: “Em conclusão, desejo declarar que, no estudo do problema aqui tratado, tive a assistência leal de meu amigo e colega M. Besso, e que lhe sou devedor por muitas valiosas sugestões”.

Besso, um cidadão suíço de origem italiana (razão pela qual o seu nome deve ser pronunciado “Bêssô”, e não “Bessô”, como foi e talvez ainda seja moda no Brasil), era um engenheiro formado na mesma escola de Einstein, o

¹ EINSTEIN, A. & BESSO, M. *Correspondance 1903-1955*, Traduction, notes et introduction de Pierre Speziali. Paris: Hermann, 1972.

Politécnico de Zurique, mais conhecida atualmente como ETH (Eidgenössische Technische Hochschule), onde colou grau em 1895. Pouco depois, obteve um emprego na fábrica de máquinas elétricas Rieter, de Winterthur. Em 1896, no começo do outono, Besso, que faz regularmente a curta viagem a Zurique, freqüenta a casa de uma família de músicos, os Hüni, onde costuma tocar violino. É numa dessas noitadas que encontra, pela primeira vez, Albert Einstein. A partir daí nasce a grande amizade, alimentada, inicialmente, por gostos e interesses comuns, e tornada permanente pelas excepcionais qualidades intelectuais e morais dos dois protagonistas.

Besso é seis anos mais velho que Einstein e, ao contrário deste, não tem maiores preocupações financeiras: entre seus antepassados está o fundador da gigantesca companhia de seguros italiana, a *Assicurazioni Generali*, na qual várias gerações da família ocupam cargos proeminentes. Mas suas ambições são intelectuais, e jamais abraçará o negócio da família. Após o encontro com Einstein, seu destino está traçado: dedicar-se à ciência e à cultura e, em particular, ao estudo e à divulgação da teoria da relatividade, seja até mesmo, como irá acontecer, na função passiva de, cuidando dos afazeres profanos do amigo genial, fornecer-lhe vagares e paz de espírito para que possa exercer sua genialidade em condições próximas das ideais.

E a isto se dedica com grande empenho. Estuda e acompanha a obra de Einstein. Encontra-se documentada uma colaboração dos dois, em que Besso realiza cálculos cuidadosos do efeito previsto pela relatividade geral, a anomalia do perihélio de mercúrio, e é provável que muitas outras tenham acontecido. No entanto, ao que me conste, jamais publicaram um trabalho em co-autoria. Grande erudito, é um apaixonado por cursos, que assiste e anota cuidadosamente. Invariavelmente, torna-se amigo – e amizade, para ele, é coisa séria –, dos professores. Assim é que se torna íntimo de grandes homens como Georges de Rham, o grande nome da topologia diferencial, Ernest Stueckelberg, o gênio genebrino da física teórica, e do psicólogo Jean Piaget, entre outros. Hermann Weyl, o grande matemático alemão, o admira e o convida para ministrar seminários sobre a relatividade.

Durante os longos anos da guerra, Besso não conta as despesas para ajudar seus amigos (e também os amigos de seus amigos) a enfrentar as necessidades e os grandes perigos nos países ocupados. Organiza a fuga, para os Estados Unidos, de pessoas ameaçadas pelo furor do nazismo e, uma vez lá chegadas, oferece-se como intermediário para que possam manter-se em contato com seus familiares.

Trata-se, em suma, de um grande homem. Einstein o prestigia, dizendo dele que se trata do “melhor ressoador da Europa”, ou seja, daquele parceiro que, se desigual no detalhe do diálogo, não o é na criação das raras condições intelectuais em que brotam as idéias, de tal forma que, de duas tais cabeças, o que brota é muitíssimo mais do que a soma dos dois pensamentos.

Em sua última correspondência com o filho de Besso, este já falecido, cabe a Einstein responder a pergunta que lhe fora feita: “Se meu pai era tão dotado como o senhor tem a gentileza de me dizer, por que não deixou uma obra comensurável com essa grandeza?”. Sua resposta: “Por que lhe faltava uma coisa só, que eu e meus colegas temos à desmesura: a ambição.”

A primeira carta

Berna, quinta-feira [janeiro de 1903]

Caro Michele,

Muito obrigado por tua gentil carta. Pois então, sou agora um homem casado, e levo, com minha mulher, uma vida muito agradável. Ela se ocupa perfeitamente de tudo, cozinha bem e está sempre alegre. Aguardo com curiosidade os detalhes a propósito do teu trabalho, e a delicada lisonja que acrescentaste não me alegra menos. Segunda-feira enviei, enfim, o meu trabalho, depois de várias modificações e correções. Agora ele está de fato claro e simples, de modo que estou inteiramente satisfeito. Partindo do princípio da energia e da teoria atômica, chega-se às noções de temperatura e entropia, e, utilizando a hipótese de que as repartições dos estados de sistemas isolados não se transformam jamais em repartições menos prováveis, alcança-se o segundo princípio fundamental sob a forma mais geral, a saber, a impossibilidade de um perpetuum mobile do segundo tipo.

Semana passada Mileva teve gripe, e agora sou eu que a tenho. Hoje me foi impossível ir ao escritório; mas já estou melhorando, de modo que amanhã estarei sem dúvida de novo no meu posto.

A seguir Einstein pede a Besso que aconselhe sua irmã, Maja Einstein, a propósito de uma despesa que esta vinha fazendo em favor de um conhecido, e que não lhe parecia devida. Diz ele: *Tal romantismo é, certamente, encantador, mas revela uma falta terrível de realismo. Seria melhor que ela usasse o seu dinheiro na compra de toda sorte de pequenas e belas coisas que fazem prazer às jovens, porque não se é jovem senão uma vez.*

E, mais abaixo: *Tomei de novo a decisão de fazer parte do corpo dos livres-docentes, supondo-se que eu consiga*

passar no concurso. Por outro lado, não vou preparar meu doutorado, pois isso não me será útil, e toda esta comédia se tornou fatigante. No meu futuro próximo quero me ocupar das forças moleculares nos gases, e fazer, em seguida, pesquisas extensas sobre a teoria dos elétrons. No momento, estudo o livro de química orgânica de Richter, que eu tive o prazer de te mostrar.

E, no fim, em post-script: Desculpe a letra. Estou escrevendo na cama.

As “pesquisas extensas sobre a teoria dos elétrons” resultariam, é claro, na teoria da relatividade. Sob esse nome, “teoria dos elétrons”, cabia a maior parte dos grandes trabalhos de Lorentz, em particular o que obtinha as fórmulas das transformações de Lorentz. O estudo das forças moleculares levaria a alguns trabalhos preliminares e, em 1905, aos trabalhos sobre o movimento browniano e à determinação do tamanho de uma molécula. Apenas, aparentemente, os estudos de química orgânica não tiveram conclusão à altura. Tampouco o plano mais prático, de abandonar o doutorado, foi cumprido: o doutorado foi completado em abril de 1905.

Outras cartas: um extrato

Curiosamente, no começo da correspondência, Einstein escreve as cartas *leves*, com narrativas, pequenas filosofias de vida, projetos, enquanto Besso as escreve técnicas, cheias de fórmulas e tabelas, gráficos e bibliografias. Dir-se-iam invertidos os papéis. Mais tarde, separados por distâncias maiores e também as cartas mais esparsas, cabe naturalmente a Einstein contar as novidades. Afinal, para Besso, Einstein é a fonte delas. Mas este continua com seu estilo leve, mesmo falando de assuntos inevitavelmente técnicos. Estamos já na época da relatividade geral. Uma importante carta anuncia, ao mesmo tempo que revela, até pela sua brevidade, que Besso acompanhava, passo a passo, os progressos.

Berlin-Wilmersdorf, 10 de dezembro de 1915

Caro Michele

Muito obrigado por sua carta. Decidi ir, de qualquer forma, à Suíça, porque minha mulher me garantiu, em suas cartas, que o meu Alberto se alegra ao me ver. Eu o levarei ao Zugerberg. Naturalmente nós nos encontraremos, nessa ocasião. Enviei a você, hoje, os trabalhos. Os sonhos mais audaciosos se tornaram realidade. Covariância GERAL! Movimento do perihélio de Mercúrio, uma precisão esplêndida. [...]

Saudações cordiais [...] de parte do teu Albert, que está contente mas esgotado.

Uma, entre muitas cartas de semelhante teor, revela o quanto Besso, administrando os problemas extra-científicos de Einstein, contribuiu para que este prosseguisse sua carreira no melhor dos modos. É de 1918. Notemos que Einstein só se tornou uma grande celebridade em 1919, depois dos dados do eclipse de Sobral-Príncipe.

Berlin, 23 de junho de 1918

Caro Michele,

quando reconheço sua letra, alegro-me sempre de uma maneira muito particular, porque ninguém está tão próximo a mim, porque ninguém me conhece tanto, ninguém é tão bem intencionado quanto você.

[...]

Passemos ao contrato. Hesito em submeter a Mileva novas propostas de modificações ou suplementações, uma vez que ela está satisfeita. Ela saberá certamente fazer uso prudente do dinheiro, após a minha morte. [...] Os juros de um hipotético prêmio Nobel não ultrapassarão 8000 Fr.

O prêmio Nobel, que viria apenas em 1921, estava já, em contrato, doado a Mileva Maric, e Michele Besso era o testamenteiro, bem como o administrador do fundo!

Numa carta de dezembro de 1918, a guerra terminada, Einstein se permite um momento de otimismo romântico, que o tempo se encarregaria de refutar:

Alguma coisa de grande foi atingida, verdadeiramente. O culto do militarismo desapareceu.

e, mais abaixo, já falando de ciência:

Weyl me enviou, para a Academia, um trabalho cheio de finesse e engenhosidade, que não poderá, entretanto, ser impresso aqui [...] por falta de papel. Estou convencido de que a invariância de calibre de Weyl não existe na natureza, e lhe expus recentemente minhas dúvidas. Mas eu sei que aquele que esteve sob o encanto de uma idéia durante mais de seis meses, não pode mais ser libertado desse feitiço, em particular, nunca pelos outros.

Trata-se, naturalmente, da grande teoria de Hermann Weyl que tentava unificar a gravitação e o eletromagnetismo por meio da generalização da geometria, passando da geometria semi-riemanniana da relatividade geral para outra, de sua invenção, em que, pela primeira vez, o conceito de conexão era introduzido de maneira independente da métrica. Embora os espaços de Weyl não tenham encontrado aplicação, a idéia central, de simetria de calibre, achou terreno fértil para se desenvolver nas teorias quântica, sendo

hoje uma das idéias fundamentais da física. Quanto ao desaparecimento do culto do militarismo, logo se viu que renasceria e, intoxicado pela ideologia nazista, levaria à segunda parte da grande catástrofe do século XX. De fato, em 1924, Einstein escrevia:

Berlim, 5 de janeiro de 1924

Caro Michele,

[...]

A situação política não é nada reconfortante – os prussianos mudaram só de aparência, mas seus espíritos resistem.

Uma que nos toca: junho de 1925, Einstein retorna da viagem à América do Sul:

Caro Michele,

No dia 1º de junho, voltei da América do Sul. Foi uma grande agitação sem verdadeiro interesse, mas também algumas semanas de repouso durante a travessia.[...]

Para achar a Europa estimulante, é preciso visitar a América. Na realidade, as pessoas de lá são desprovidas de preconceitos, mas são, em compensação, em sua maioria, vazias e pouco interessantes, ainda mais que em nossa casa. Por toda a parte sou recebido com entusiasmo pelos judeus, porque sou para eles uma espécie de símbolo da colaboração entre judeus.

Não nos resta que beber deste cálice amargo...

Durante a guerra, quase como defesa, as cartas se adensam de símbolos matemáticos, que se misturam às análises céticas de Einstein e aos devaneios otimistas de Besso. Passada uma tragédia, Besso anuncia, em 1945, outra, de caráter pessoal:

Genebra, 25 de maio de 1945

Meu velho e muito caro amigo,

[..] Sabes que, em 22 de setembro, perdi a companheira de meio século (Ana Barbara Besso-Winteler, sua esposa), que conheci, por teu intermédio, em junho de 1897... Desde então, é o irreversível, o que não se pode contar nem medir, nem exprimir por palavras, que domina o meu espírito.

Mas a vida continuou e, em 1952, eis que discutem a mecânica quântica. Diz Einstein, em sua conhecida posição em relação à possibilidade de a mecânica quântica oferecer uma descrição completa da realidade:

Um estado real não é descrito pela teoria quântica atual; ela fornece apenas um conhecimento incompleto da noção de estado real.

Em 1954, os primeiros sinais de debilidade:

Genebra, 8 de dezembro de 1954

Caro Albert,

Um ano atrás precisaram me recolher, em três ocasiões, e, em nenhuma delas, eu compreendi o que estava se passando. Desde então, sei verdadeiramente que a idade se manifestou seriamente em mim...

E, quando se espera a resignação, o abandono:

Hoje estou preocupado com a estrutura do espaço quadri-dimensional na teoria da relatividade restrita.

A última carta

Princeton, 21 de março de 1955

Caro Vero e cara Sra. Bice,²

Foi verdadeiramente muito amável de vossa parte me dar, nesses dias tão penosos, tantos detalhes sobre a morte de Michele. Seu fim foi em harmonia com a imagem de sua vida inteira, e também com a imagem do círculo dos seus. O dom de conduzir uma vida harmoniosa é raramente acompanhado por uma inteligência tão aguda, sobretudo no grau que se encontrava nele. Mas o que eu admirava mais em Michele, enquanto homem, é o fato de ter sido capaz de viver tantos anos com uma mulher, não somente em paz, mas também em constante acordo, empresa na qual eu lamentavelmente falhei duas vezes.

Nossa amizade nasceu quando eu era estudante em Zurique; nós nos encontrávamos regularmente em soirées musicais. Ele, o mais velho e o sábio, estava lá para nos estimular. O círculo de seus interesse parecia verdadeiramente sem limites. Todavia, eram as preocupações crítico-filosóficas que pareciam importar-lhe mais.

Mais tarde, foi o escritório das patentes que nos reuniu. Nossas conversações ao voltar para casa tinham um encanto incomparável – era como se as contingências humanas deixassem de existir de todo. Por outro lado, tivemos mais dificuldades, em seguida, de nos entender por escrito. Sua pena não conseguia seguir seu espírito versátil, de modo que era, na maioria dos casos, impossível ao seu correspondente adivinhar o que ele omitira na escrita.

Eis que, de novo, ele me precede de pouco, deixando este estranho mundo. Isto nada significa. Para nós, físicos crentes, esta separação entre passado, presente e futuro não tem senão o valor de uma ilusão, por tenaz que seja.

Agradecendo-vos cordialmente, envio meus melhores pensamentos.

Vosso

Albert Einstein.

² Vero Besso é o filho de Michele Besso, Bice é a sua esposa.

ALBERT EINSTEIN
uma cronologia



Cássio Leite Vieira

“Não tenho nenhum talento em especial.
Sou apenas apaixonadamente curioso.”

Albert Einstein
Carta para Carl Seelig
11 de março de 1952

1879

Nasce Albert Einstein em Ülm, no estado de Württemberg, no sul da Alemanha, em 14 de março, às 11h30 da manhã, numa sexta-feira, no endereço Bahnhofstrasse B 135, casa de seus pais, Pauline (Koch) Einstein (n. 1858) e Hermann Einstein (n. 1847) – este um pequeno comerciante que nunca obteve muito sucesso em seus empreendimentos. Albert era o primeiro filho de Hermann e Pauline, que haviam se casado três anos antes, em Cannstatt. A casa onde Einstein nasceu foi destruída por bombardeios em 1944.

1880

A família Einstein muda-se de Ülm para Munique, para o endereço Aldsreiterstrasse 12, onde nos fundos o pai mantinha sua pequena empresa.

1881

Em 18 de novembro, em Munique, nasce Maria, única irmã de Einstein. Maja, como ficou conhecida, e Einstein seriam muito apegados ao longo de suas vidas.

1884

Einstein ganha de presente de seu pai uma bússola, instrumento que causou nele grande impressão. “Testemunhei um milagre...”, disse mais tarde. Começa sua instrução com professor particular.

1885

Inicia suas aulas de violino, que se estenderiam até os 13 anos.

1886

Entra para uma escola pública católica (*Volksschule*) para fazer o primeiro grau, sendo o único judeu da classe – a escola judaica de Munique havia fechado anos antes. Em agosto, Pauline descreve para a

irmã as notas do filho e comenta: “Foi novamente o melhor, o boletim é brilhante”. Passa a se interessar por religião judaica, depois de receber em casa instrução sobre o assunto.

1888

Ingressa no Luitpold Gymnasium, em Munique, cuja forma de ensinar criticaria mais tarde como baseada em ideologia militar – ironicamente, a escola, depois da Segunda Guerra Mundial, durante a qual foi destruída, ganharia o nome Albert Einstein Gymnasium. Inicia a preparação para o *bar mitzvah*, que nunca chegou a fazer.

1889

Começa seu interesse por física, matemática e filosofia, depois que Max Talmud (1869-1941) – mais tarde, Max Talmey –, estudante de medicina que freqüentava a casa dos Einsteins, apresenta a ele obras de divulgação científica, física e filosofia. Lê *Crítica da razão pura*, do filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804).

1890

Inicia uma fase de profunda religiosidade, que dura cerca de um ano, até que lhe oferecem o “livro sagrado da geometria” (*Tratado de geometria para uso em estabelecimentos do ensino superior*, de E. Heis e T. J. Eschweiler, Colônia, Du-Mont e Schauberg, 1867), que causou nele “uma impressão indescritível”, como revelou mais tarde.

1891

Toma contato com o cálculo diferencial e integral, assunto que passa a estudar sozinho pelos próximos quatro anos.

1894

Depois de mais um insucesso com os negócios dos pais, a família muda-se para a Itália, estabelecendo-se primeiramente em Milão e um ano depois em Pávia, retornando mais tarde para a primeira cidade. Einstein continua em Munique para terminar o segundo grau no Luitpold Gymnasium, morando em uma pensão. Porém, pouco depois, desiste dos estudos e, no final do ano, vai se encontrar com a família. Provavelmente, é desse ano seu primeiro ensaio sobre física, intitulado “Investigação sobre o estado do éter num campo magnético”, que foi enviado ao tio Cesar Koch, irmão de Pauline, que morava na Bélgica.

1895

Com dois anos a menos que a idade regular prevista, falha ao tentar ingressar, em outubro, na Escola Politécnica de Zurique (então Instituto Federal Politécnico). Porém, seus conhecimentos de matemática e ciências impressionam a banca examinadora. Ingressa na escola cantonal de Argóvia, para terminar o segundo grau, vivendo na casa da família de um de seus professores, Jost Winteler.

1896

Em 28 de janeiro, alegando não concordar com a mentalidade militar alemã, renuncia à cidadania do estado de Württemberg, sua região de nascimento. Forma-se com notas excelentes na escola cantonal, o que lhe dá o direito de ingressar na Escola Politécnica de Zurique, matriculando-se em 29 de outubro no curso de formação de professores secundários de matemática e física. Conhece sua futura mulher, Mileva Maric (n. 1875), única aluna da turma. Conhece o engenheiro Michele Besso (1873-1955), com quem manteria amizade até o final da vida.

1899

Entra com o pedido formal para obter a cidadania suíça em outubro.

1900

Com média 4,91 (de um máximo de 6) – a mais baixa dos quatro alunos que se formaram –, recebe o grau de professor de matemática da Politécnica de Zurique, mas não consegue uma vaga para se tornar assistente na escola. No final do ano, envia, ainda de Zurique, para publicação seu primeiro trabalho científico, “Deduções sobre o fenômeno da capilaridade”, para a revista *Annalen der Physik*.

1901

Livra-se do serviço militar – seu certificado de dispensa aponta como justificativa pé chato, varizes e sudorese nos pés, fatos mais tarde negados por seu médico particular. Em 21 de fevereiro, obtém a cidadania suíça. Seu primeiro trabalho é publicado. Em maio, torna-se professor substituto na Escola Técnica de Winterthur, onde permanece até 14 de outubro. Seis dias depois, começa a dar aulas como docente temporário em uma escola em Schaffhausen, cargo que mantém até janeiro do ano seguinte. Inicia o trabalho sobre as forças moleculares em gases, que seria enviado no final do ano para a Universidade de Zurique como sua tese de doutorado. Inscreve-se para uma vaga no Escritório Suíço de Patentes, em Berna.

1902

Nasce, provavelmente em janeiro, Lieserl, sua filha com Mileva Maric, com a qual se casaria formalmente pouco depois – desconhece-se até hoje o paradeiro da criança. Em fevereiro, muda-se para Berna, residindo no endereço Gerechtigkeitsgasse, 32, 1º andar. Sobrevive com uma mesada da família e o dinheiro de aulas particulares, que anuncia em jornal local. Retira sua

tese de doutorado da Universidade de Zurique. Começa a trabalhar no Escritório de Patentes como técnico de 3ª classe. Seu pai, Hermann, morre em 10 de outubro em Milão. Funda, com os amigos Conrad Habicht e Maurice Solovine, a Academia Olímpica, um grupo informal de discussão sobre filosofia e ciência.

1903

Em 6 de janeiro, casa-se com Mileva Maric em Berna, onde passam a morar no endereço Kramgasse 49 (hoje, um museu chamado Casa de Einstein). Em setembro, sua filha Lieserl é registrada, o que sugere que o casal tinha a idéia de colocar a criança para adoção, caso o fato o indispuesse com a burocracia de seu novo emprego. Mileva fica grávida de Hans Albert. Publica “Teoria dos fundamentos da termodinâmica”.

1904

Hans Albert nasce em 14 de maio em Berna. Einstein é efetivado no Escritório Suíço de Patentes. Inicia a discussão dos conceitos da teoria da relatividade restrita com seu amigo Besso.

1905

No que é conhecido hoje como “ano miraculoso” da ciência, produz seis trabalhos:

1) “O quantum e o efeito fotoelétrico” (*Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*), concluído em 17 de março, no qual apresenta o que considerou sua idéia mais revolucionária: a de que a luz é formada por partículas – mais tarde, essas partículas seriam denominadas fótons, pelo físico-químico americano Gilbert Lewis (1875-1946). Foi principalmente pelas implicações desse trabalho que Einstein ganharia o prêmio Nobel de 1921 – só recebido no ano seguinte. O

trabalho é dedicado a Marcel Grossmann (1878-1936), colega de graduação e mais tarde colaborador nos trabalhos que levaram à teoria da relatividade geral;

2) “Uma nova determinação das dimensões moleculares” (*Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen*), finalizado em 30 de abril. Esse se tornaria seu trabalho mais freqüentemente citado na literatura científica moderna, devido à grande aplicação de seus resultados em outras áreas. Foi também com ele que obteve, em 15 de janeiro do ano seguinte, o título de doutor pela Universidade de Zurique;

3) “O movimento browniano” (*Die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*), recebido para publicação em 11 de maio, é um desdobramento de sua tese de doutorado. O trabalho trata do movimento desordenado de partículas diminutas em suspensão em um líquido;

4) “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” (*Elektrodynamik bewegter Körper*), primeiro trabalho sobre a teoria da relatividade restrita, recebido para publicação em 30 de junho;

5) “A inércia de um corpo depende de sua energia?” (*Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*), recebido para publicação em 27 de setembro e seu segundo trabalho sobre a teoria da relatividade restrita. Nele, aparece uma variação aproximada da expressão $E = mc^2$, considerada a fórmula mais famosa da física e, talvez, da ciência – a fórmula, como é hoje conhecida, só seria apresentada dois anos mais tarde;

6) “Movimento browniano” (*Zur Theorie der Brownschen Bewegung*), segundo trabalho sobre o tema, recebido para publicação em 27 de dezembro.

1906

Recebe o título de doutor da Universidade de Zurique. Promovido a técnico de 2ª classe. Em novembro, finaliza seu artigo sobre calores específicos (*Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme*), considerado o primeiro trabalho na física sobre a teoria quântica do estado sólido.

1907

Procura um emprego complementar na escola cantonal de Zurique e candidata-se ao cargo de docente privado (*privatdozent*) na Universidade de Berna, mas é rejeitado para a posição por não ter a chamada habilitação (*habilitationsschrift*), um tipo de certificado de pós-doutorado. Publica resultados complementares aos seus trabalhos sobre teoria quântica e relatividade restrita, bem como um artigo de revisão, para a revista alemã *Jarhbuch der Radioaktivitat und Elektronik*, no qual aparecem suas primeiras idéias sobre a teoria da relatividade geral. Surge o que classificou mais tarde como a “idéia mais feliz de sua vida”, isto é, a equivalência entre a massa gravitacional e a massa inercial.

1908

Em fevereiro, torna-se *privatdozent* na Universidade de Berna, depois de obter sua habilitação, com o trabalho, nunca publicado, “Conseqüências para a constituição da radiação que decorrem da lei de distribuição da energia dos corpos negros”. Nesse cargo, receberia sua remuneração não da universidade, mas diretamente dos poucos alunos matriculados. Sua irmã, Maja, recebe o título de doutora em línguas latinas pela Universidade de Berna. Johann Jakob Laub torna-se seu primeiro assistente, com o qual publicaria trabalhos.

1909

Criado para Einstein, na Universidade de Zurique, o cargo de Professor Extraordinário de Física Teórica. A Universidade de Genebra lhe confere o título de *doutor honoris causa*. Participa de seu primeiro encontro científico, em Salzburgo, com a conferência “O desenvolvimento de nossas idéias sobre a natureza e composição da radiação”, na qual adianta o que na década de 1920 seria conhecido como dualidade partícula-onda. Pede demissão do Escritório de Patentes.

1910

Em 28 de julho, nasce Eduard (Tete), seu segundo filho. Completa trabalho sobre a opalescência crítica e a cor azul do céu, considerada sua última importante contribuição em física estatística clássica. Sua irmã casa-se com Paul Winteler, filho de seu professor da escola cantonal de Argóvia, na Suíça.

1911

Pede demissão da Universidade de Zurique, depois de aceitar a oferta, feita em abril, para se tornar diretor do Instituto de Física Teórica da Universidade Alemã de Praga (então, Tchecoslováquia), cidade para a qual se muda com a família. Surgem os primeiros esboços fundamentais da teoria da relatividade geral (principalmente, o de que a luz é desviada ao passar nas proximidades de um campo gravitacional intenso). Participa da primeira conferência Solvay, em Bruxelas (Bélgica), patrocinada pelo industrial belga Ernest Solvay, fazendo a palestra de encerramento, intitulada “O estado atual do problema dos calores específicos”.

1912

Inicia a troca de cartas amorosas com sua prima Elsa Löwenthal, período em que seu casamento começa a se desintegrar. Retorna

em agosto para a Suíça, para trabalhar na Escola Politécnica de Zurique, onde um cargo de assistente lhe havia sido negado em 1900, ano de sua graduação. É recomendado para esse novo posto pela física polonesa Marie Curie (1867-1934) e pelo matemático francês Henri Poincaré (1854-1912).

1913

Einstein é eleito para a Academia Prussiana de Ciências, quando também lhe é oferecido um posto na Universidade de Berlim, sem a obrigação docente. A oferta também inclui o cargo de diretor do Instituto de Física Kaiser Wilhelm, programado para ser criado nos próximos anos. Einstein e Grossmann publicam um esboço sobre a teoria da gravitação e a relatividade geral.

1914

Em 6 de abril, muda-se para Berlim para assumir o novo cargo, trazendo consigo a família, que pouco mais tarde retornaria para Zurique, devido à insatisfação de Mileva com a cidade, bem como com o relacionamento do marido com Elsa Löwenthal, que lá vivia. Em 26 de abril, escreve seu primeiro artigo para a imprensa, no jornal diário de Berlim *Die Vossische Zeitung*, tratando da relatividade. Em 2 de julho, faz sua primeira palestra na Academia Prussiana de Ciências.

1915

Assina o “Manifesto aos Europeus”, sua primeira manifestação política. Viaja à Holanda e faz palestra em Gotemburgo sobre a relatividade geral. Einstein e o físico holandês Johannes Wander de Hass (1878-1960) descobrem experimentalmente fenômeno que mais tarde ganharia

o nome de efeito Einstein-de Hass, ligado ao ferromagnetismo – é o único trabalho experimental de Einstein. Em novembro, finaliza sua teoria da relatividade geral, que substituiria a lei da gravitação universal proposta pelo físico e matemático inglês *sir* Isaac Newton (1642-1727). A teoria ratifica o já conhecido desvio de 43" (segundos de arco) sofrido pela órbita do planeta Mercúrio a cada século, além de chegar a um ângulo no valor de 1,73" para o quanto a luz seria desviada de sua trajetória original ao ser atraída pelo campo gravitacional do Sol – a teoria newtoniana previa para o fenômeno 0,83".

1916

No início do ano, publica na revista científica alemã *Annalen der Physik*, o artigo final sobre a relatividade geral, com o título “Fundamentos da teoria da relatividade geral”. Torna-se presidente da Sociedade Alemã de Física, sucedendo ao seu colega Max Planck (1858-1947).

1917

Publica *Über die Spezielle und die Allgemeine Relativitäts theorie*, livro de divulgação científica sobre a teoria da relatividade especial e geral (traduzido em 1999 para o português pela editora Contraponto, Rio de Janeiro). A obra seria seu livro mais popular. Fica doente, com problemas de úlcera e no fígado, sendo tratado por Elsa. Torna-se diretor do Instituto de Física Kaiser Wilhelm, que inicia as atividades. Estabelece o primeiro modelo cosmológico, com a introdução de uma constante em suas equações da relatividade geral – no início da década de 1930, Einstein reconhece que a constante foi seu “maior erro científico”.

1919

Em fevereiro, divorcia-se de Mileva Maric. O juiz determina que, caso Einstein ganhasse o prêmio Nobel, a quantia em dinheiro deveria ser entregue a Mileva, para cobrir as despesas com seus dois filhos. Einstein aceita e cumpre o acordo ao receber mais tarde o prêmio (cerca de US\$ 30 mil dólares). Em 29 de maio, ocorre a comprovação histórica da teoria da relatividade geral, com a observação do desvio dos raios de luz das estrelas ao passarem na proximidade do campo gravitacional solar durante eclipse na cidade de Sobral, no Ceará (Brasil). Casa-se, em junho, com sua prima Elsa, divorciada, que tem duas filhas, Ilse e Margot.

1920

Morre em fevereiro Pauline, sua mãe. Surgem as primeiras manifestações de anti-semitismo contra ele, que ameaça deixar a Alemanha, desistindo da idéia depois do apoio recebido de colegas físicos. Torna-se professor visitante em Leiden (Holanda) e encontra-se pela primeira vez com o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962). Torna-se membro do conselho da Liga Germânica para os Direitos Humanos. Faz palestras na Noruega.

1921

Viaja aos Estados Unidos na companhia de Chaim Weizmann (1874-1952) para arrecadar fundos para a construção da Universidade Hebraica de Jerusalém e para o Fundo Nacional Judaico. Em maio, faz palestras em Princeton, Boston e Chicago. É recebido pelo então presidente dos Estados Unidos, Warren Hargis.

1922

Em março e abril, vai à França. Segue para o Japão, sendo que no caminho visita

Shangai, Hong Kong, Cingapura e Colombo. Eleito para a Comitê Internacional para a Cooperação Intelectual das Ligas das Nações. Assume a presidência do conselho da Fundação Einstein e do Instituto Einstein, localizado em Potsdam (Alemanha) e mais conhecido como “A Torre de Einstein”. Ganha o Nobel de física de 1921 por suas contribuições à física teórica e principalmente pelo trabalho sobre o efeito fotoelétrico, de 1905 – na ausência de Einstein, em viagem ao Japão, o prêmio é recebido pelo embaixador alemão na Suécia. Publica *O Significado da Relatividade* (em português, Armênio Amado Editora, Coimbra, 1984), com base em palestras feitas na Universidade de Princeton (EUA).

1923

Na volta da viagem ao Japão, visita a Palestina – ganha o título de primeiro cidadão honorário de Telaviv – e a Espanha. Faz palestras em Leiden, como convidado da família real holandesa. Por discordar do rumo de suas ações, retira-se temporariamente do Comitê Internacional para a Cooperação Intelectual. Ajuda a fundar e torna-se membro da Sociedade de Amigos da Nova Rússia.

1924

O governo alega que Einstein, ao se tornar membro da Academia Prussiana, ganha automaticamente a cidadania prussiana, fato para o qual não há oposição de Einstein, que, porém, mantém a cidadania suíça. Publica, no jornal *Notícias Judaicas de Leipzig*, o artigo “Para o povo judeu polonês”. Reingressa no Comitê Internacional para a Cooperação Intelectual. Faz o que são consideradas suas últimas descobertas científicas importantes: com base na física estatística, revela nova relação entre ondas e matéria,

bem como descobre o fenômeno, mais tarde batizado condensado Bose-Einstein, no qual um aglomerado de átomos comporta-se como uma entidade única – em 1995, físicos do *Joint Institute of Laboratory Astrophysics*, em Bolder, no estado americano do Colorado, obtiveram um aglomerado desse tipo, ao congelar, por 15 segundos, cerca de 2 mil átomos do elemento químico rubídio a uma temperatura extremamente próxima ao zero absoluto (cerca de 273 graus celsius negativos).

1925

Viaja à Argentina, ao Uruguai e ao Brasil. Assina o manifesto pacifista contra a obrigação do serviço militar com o líder religioso hindu Mahatma Gandhi (1869-1948), entre outros intelectuais. Recebe a medalha Copley. Torna-se membro do conselho da Universidade Hebraica de Jerusalém, cargo que manteria até 1928.

1926

Recebe a medalha de ouro da Sociedade Astronômica Real. Torna-se membro honorário da Academia de Ciências da União Soviética.

1927

Participa da Semana de Pesquisa Soviética em Berlim e do 5º Congresso Solvay (Bélgica), no qual inicia com o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) o intenso debate, que se estenderia até o final da vida de Einstein, sobre os fundamentos da mecânica quântica. Helen Dukas torna-se sua secretária particular, cargo que manterá até a morte de Einstein.

1928

Adoece novamente, dessa vez com problemas no coração que o obrigariam a ficar meses em repouso. Não aceita a oferta

para ocupar na Universidade de Leiden a cadeira do físico holandês Hendrik Lorentz (1852-1928).

1929

Recebe em junho a medalha Planck da Sociedade Alemã de Física – o próprio físico alemão Max Planck (1858-1947) seria o primeiro a receber o prêmio. Torna-se cidadão honorário de Berlim. Visita a família real belga, com quem manterá laços de amizade ao longo da vida. Na comemoração de seu 50º aniversário, é publicada a pequena coleção *Notas ocasionais*, na qual Einstein escreve “Sobre a morte de Lenin”.

1930

Assina manifesto a favor do desarmamento mundial. Visita Cuba e os Estados Unidos, permanecendo meses no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), em Pasadena, e faz palestras na Universidade de Princeton. Publica, no jornal diário *New York Times*, o texto “Religião e Ciência”. Faz palestra na Escola de Trabalhadores Marxistas. Em agosto, fala pela rádio recém-inaugurada em Berlim, enfatizando a missão democrática e humanitária do então novo meio de comunicação.

1931

Visita Oxford (Inglaterra) e segue, no final do ano, para o Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), em Pasadena, para sua terceira estada nos Estados Unidos. É publicada a coleção de ensaios seus, com o título *Como vejo o mundo* (em português, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1981). Rejeita publicamente a constante cosmológica, que ele próprio introduziu em suas equações da relatividade geral para explicar um universo que se acreditava estático – classificou essa constante como o “maior erro científico de sua vida”; no

entanto, resultados recentes (1998), a partir de estudos de explosões estelares (supernovas), voltariam a corroborar o papel dessa constante para explicar a expansão acelerada do universo.

1932

Grava em disco o texto “Meu credo”, cujo dinheiro das vendas seria remetido para a Liga Alemã para a Justiça dos Homens. Em Berlim, faz palestra para angariar fundos para crianças alemãs necessitadas. Aceita um cargo no Instituto de Estudos Avançados, em Princeton (EUA). Em dezembro, retorna aos Estados Unidos, para nunca mais voltar à Alemanha. Renuncia de vez ao Comitê Internacional de Cooperação Intelectual.

1933

Os nazistas chegam ao poder. Renuncia à sua filiação à Academia Prussiana de Ciências, bem como à filiação à Academia de Ciências da Bavária. Sua nacionalidade honorária alemã é retirada pelo novo governo e suas propriedades confiscadas. Na volta dos Estados Unidos no fim de março, segue diretamente para Le-Coq-Sur, em Ostende, na costa belga, onde tem, durante sua estada de meses, a segurança pessoal reforçada, pois governantes e amigos temiam por um atentado contra sua pessoa. Mais tarde, juntar-se-iam a ele Helen Dukas, Ilse, Margot e Walther Meyer, seu assistente. Viaja a Oxford (Inglaterra) e à Suíça, onde faria a última visita ao seu filho mais novo, Eduard. De volta à Inglaterra, parte de Southampton, em 7 de outubro, e segue para os Estados Unidos (a bordo do navio *Westerland*), onde chega dez dias depois. Seu primeiro endereço em Princeton é na Library Place, 2. A partir de novembro, passa a trabalhar no Instituto de Estudos Avançados, da Universidade

de Princeton. Troca cartas com o psicanalista alemão Sigmund Freud (1856-1939), publicadas no livro *Por que guerra?*

1934

Seu artigo “O perigo da Europa - A esperança da Europa” aparece na revista *Amigos da Europa*. Faz concerto de violino em Nova York em apoio aos refugiados alemães da Segunda Guerra – a arrecadação foi de US\$ 6,5 mil. Ilse, filha do primeiro casamento de Elsa, morre em Paris. Margot, outra filha, e seu marido, Dimitri Marianoff, mudam-se para Princeton. Mais tarde, o casal se separaria.

1935

Compra em agosto a casa na Mercer Street 112, onde viveria até o final de sua vida com Margot e Helen Dukas, sua secretária. O dinheiro para a compra viera da venda de um manuscrito feito por ele sobre a teoria da relatividade. Recebe a medalha Franklin e faz breve viagem às Bermudas, para dali solicitar oficialmente residência nos Estados Unidos.

1936

Hans Albert, engenheiro hidráulico e filho mais velho de Einstein, recebe seu título de doutor pela Escola Politécnica de Zurique. Morrem Elsa, sua segunda esposa, e seu amigo Marcel Grossmann (1878-1936), com o qual havia publicado artigos sobre a teoria da relatividade geral.

1938

A revista semanal *Collier's* publica seu artigo “Por que eles odeiam os judeus?”. Com o físico polonês Leopold Infeld (1898-1968), publica o livro de divulgação científica *A Evolução da Física – de Newton até a teoria dos quanta* (em português, Edição Livros do Brasil, Lisboa, s. d.).

1939

Em 2 de agosto, assina carta, redigida pelo físico húngaro Leo Szilard (1898-1964), endereçada ao presidente Franklin Delano Roosevelt, relatando as implicações militares do uso da energia nuclear. Maja, sua irmã, passa a viver na casa da Mercer Street 112, até sua morte. Começa a Segunda Guerra Mundial.

1940

Com Margot e Helen Dukas, adota a cidadania americana, permanecendo mais uma vez com a suíça. A cerimônia acontece em Trenton, no estado de Nova Jersey.

1941

Faz concerto de violino em Princeton (EUA) para arrecadar fundos para crianças carentes.

1943

Torna-se consultor da Marinha americana na seção de explosivos e munição, recebendo pela assessoria 25 dólares por dia. “Entrei para a Marinha, mas não vou cortar o cabelo”, brinca Einstein.

1944

Reescreve à mão a teoria da relatividade, cópia que é leiloada por US\$ 6 milhões em Kansas City, no estado de Kansas (EUA), indo o dinheiro para o esforço de guerra americano – atualmente, o documento está depositado na Biblioteca do Congresso.

1945

As notícias sobre as bombas nucleares lançadas sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki causam profunda contrariedade em Einstein. Arrepente-se de ter assinado as cartas – total de três – endereçadas ao presidente Roosevelt e adverte a sociedade sobre os perigos de um destruição nuclear em proporções mundiais.

Faz a palestra “A guerra está ganha, mas a paz não”. Aposenta-se oficialmente do Instituto de Estudos Avançados, mas mantém uma sala no prédio até sua morte.

1946

Maja sofre um ataque cardíaco. Em maio, Einstein inicia sua presidência no Comitê de Emergência dos Cientistas Atômicos. Pede às Nações Unidas que formem um governo mundial, que, para ele, é o único modo de se manter a paz mundial permanente. Publica na revista científica *Annals of Mathematics* o artigo “Fundamentos da Generalização da Teoria da Gravidade”. Escreve “Notas autobiográficas”, para o volume VII da coleção *The Library of Living Philosophers*, cuja primeira edição é de 1949.

1947

Finaliza a segunda parte do artigo “Guerra atômica ou paz?” (a primeira é de 1945), publicado na coleção de ensaios *Escritos da Maturidade* (Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1994). Seu filho Hans Albert torna-se professor de engenharia hidráulica na Universidade da Califórnia, em Berkeley.

1948

Morre, em Zurique, Mileva, sua primeira mulher, com parte significativa do dinheiro do Nobel sob seu colchão. Detectado em Einstein um aneurisma abdominal da aorta. Publica na revista mensal da Unesco o artigo “Época de Paz?”.

1949

Publica seu artigo “Por que socialismo?”

1950

Declara seu amigo Otto Nathan executor de seu arquivo pessoal e sua secretária, Helen Dukas, administradora. Mais tarde,

cartas e manuscritos serão transferidos para a Universidade Hebraica de Jerusalém – seu violino vai para o neto Bernhard Caesar. Einstein publica sua teoria do campo generalizado como apêndice de seu livro *O significado da relatividade* (em português, Armênio Amado Editora, Coimbra, 1984). Publicados *Escritos sobre a maturidade*.

1951

Em 25 de junho, morre Maja, sua irmã, em Princeton.

1952

Depois da morte de Chaim Weizmann, que havia sido presidente do estado de Israel desde sua fundação em 1948, o cargo é oferecido a Einstein, que não o aceita. Uma expedição a Khartoum (Sudão) confirma novamente a curvatura dos raios de luz na proximidade de campos gravitacionais intensos.

1953

Surge a última versão da generalização da teoria da relatividade. Comemorado publicamente seu aniversário, para arrecadar fundos para a Faculdade de Medicina Albert Einstein – a celebração angariou US\$ 3,5 milhões.

1954

Em 14 de abril, sai na imprensa seu artigo em apoio ao físico americano Robert Oppenheimer (1904-1967), acusado pelo governo por seu passado político. Publica

seu último trabalho científico, “Uma nova forma da equação relativística geral de campo”, em co-autoria com Bruria Kaufman, na revista *Annals of Mathematics*. Encontra-se com Bohr pela última vez. Desenvolve anemia hemolítica.

1955

Em 15 de março, morre na Suíça seu amigo Michele Besso, vítima de trombose cerebral. Em 11 de abril, em carta ao matemático e filósofo inglês Bertrand Russell (1872-1970), concorda em assinar manifesto contra as armas nucleares – o chamado manifesto Einstein-Russel tornou-se o documento inicial do Movimento Pugwash, dedicado à paz mundial. Em 13 de abril, seu aneurisma se rompe. Dois dias depois, é internado no Hospital de Princeton. No dia seguinte, recebe a visita de seu filho Hans Albert. Em 17 de abril, pede a Helen Dukas, sua secretária, folhas de papel em branco e seus cálculos mais recentes para continuar trabalhando. Einstein morre em 18 de abril, a 1h15 da madrugada, devido ao agravamento do quadro causado pelo rompimento do aneurisma. A seu pedido, foi cremado, às 16h do mesmo dia, e suas cinzas espalhadas em local não revelado.

1965

Morre Eduard, em um hospital psiquiátrico em Burghölzli (Suíça).

1973

Morre Hans Albert, em Berkeley, Califórnia.

Extraída e adaptada de (em ordem alfabética por título):

- Albert Einstein – a photographic biography*. Kenji Fujimoto. New York: Schocken Books, 1989.
- Albert Einstein – correspondencia con Michele Besso*. Pierre Speziali (edición, prólogo y notas). Barcelona: Tusquets Editores, 1994 (colección Metatemas, nº 36).
- Albert Einstein – Escritos da Maturidade*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.
- Albert Einstein – Philosopher-Scientist*. Paul Arthur Schilpp (ed.). The Library of Living Philosophers, volume VII, Open Court, La Salle, 3ª edição, 1988.
- Concise Dictionary of Scientists*. David Millar et al.. Cambridge: W. R. Chambers, 1989.
- Einstein 1879-1979*, número especial de *Ciência e Cultura* (SBPC), H. Moysés Nussenzveig (org.), volume 31, nº 12, dezembro de 1979.
- Einstein – A ciência e a vida*. Danis Brian. São Paulo: Editora Ática, 1998.
- Einstein e o Brasil*. Ildeu de Castro Moreira e Antonio Augusto Passos Videira (orgs.). Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1995.
- Einstein – The Life and Times*. Ronald W. Clark. New York-Avenel: Wings Book, 1995.
- Einstein viveu aqui*. Abraham Pais. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.
- Q is for Quantum – Particle Physics from A to Z*. John Gribbin. London: Weidenfeld & Nicolson, 1998.
- Sutil é o Senhor ... – a ciência e a vida de Albert Einstein*. Abraham Pais. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
- The Collected Papers of Albert Einstein – The early years, 1879-1902. volume 1*. Anna Beck (tradução) e Peter Havas (consultor). Princeton: Princeton University Press, 1987.
- The Quotable Einstein*. Alice Calaprice (ed.). Princeton: Princeton University Press, 1996.

Cássio Leite Vieira é jornalista especializado em ciências exatas. É editor da área internacional da revista *Ciência Hoje*, da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência e publicada pelo Instituto Ciência Hoje. Entre outros livros, é autor de *Einstein – o reformulador do Universo*, da série Imortais da Ciência, coordenada por Marcelo Gleiser (Editora Odysseus, São Paulo, 2003).

cleitevieira@terra.com.br

Ilustração de abertura

Orlando Fonseca Jr.

Projeto Inovar

Prêmio FINEP de Inovação Tecnológica

Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia

Habitare, Prosab e Proninc

PAPPE

FINEP

Esta árvore tem muitos outros frutos.

Afinal, há 37 anos a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos vem se dedicando a ajudar projetos inovadores a florescerem no Brasil.

Prêmio FINEP

Há sete anos reconhecendo quem aposta em pesquisa e desenvolvimento no Brasil.

Projeto Inovar

Apóia o desenvolvimento da atividade de capital de risco e estimula o fortalecimento de empresas nascentes e emergentes de base tecnológica.

Fundos Setoriais

Atuando hoje em 15 áreas diversas, com recursos próprios e exclusivos, têm a FINEP como secretaria executiva.

Social

O Habitare, o Prosab e o Proninc são exemplos de C&T voltada para ações sociais, possibilitando soluções em habitação popular, saneamento e cooperativismo.

PAPPE

Unindo pesquisadores e empresas por intermédio das FAPs para concretizar projetos inovadores.

Conheça mais sobre a atuação da Agência Brasileira de Inovação no site www.finep.gov.br



Ministério da
Ciência e Tecnologia

