



.....
Ildeu de Castro Moreira

Instituto de Física,
Universidade Federal do Rio de Janeiro

.....

Introdução

Berna (Suíça), meados de maio de 1905. Após uma noite de reflexões intensas, um empregado de 3ª classe do escritório de patentes, que mal completara 26 anos, agradece a seu amigo Michele Besso (1873-1955): “Obrigado! Resolvi completamente o problema. Uma análise do conceito de tempo é a solução.” No dia anterior, Albert Einstein (1879-1955) tinha discutido com Besso cada detalhe de uma questão que o

perseguia há tempos. Seis semanas depois, enviaria um manuscrito para a prestigiosa revista *Annalen der Physik*, estabelecendo a relatividade especial e unificando duas áreas da Física: a mecânica e a eletrodinâmica. Em setembro, como consequência da nova teoria, deduziu a expressão $E = mc^2$. Com essa fórmula – talvez, a mais famosa da Ciência –, fundiu as leis da conservação da massa e da energia. Meses antes, em março, havia proposto uma hipótese radical, que levaria quase duas décadas para ser aceita: a luz exibe um comportamento corpuscular, ou seja, granular.

É impressionante que um único cientista, em poucos meses, tenha dado contribuições tão importantes para a Ciência e que alteraram profundamente nossas concepções sobre o espaço e o tempo, bem como sobre a estrutura da radiação. Outra revolução, mais silenciosa e que se estendeu por séculos, receberia um impulso essencial de Einstein no mesmo ano: a teoria atômica da

matéria. Em abril, com sua tese de doutoramento sobre as dimensões moleculares e, em maio, com sua análise do movimento browniano, ele possibilitou a confirmação experimental definitiva da existência de átomos e moléculas. Não é à toa que 1905 foi designado o *annus mirabilis* – em latim, ano miraculoso, admirável – de Einstein. Entre março e setem-

bro, produziu cinco trabalhos extraordinários que mudariam a face da Ciência moderna e que o tornariam o cientista mais famoso do século passado.

Uma das mais importantes e intrigantes cartas da história da Ciência, de Einstein para seu amigo Conrad Habicht (1876-1958), em maio de 1905, registrou esse momento:

Eu lhe prometi quatro trabalhos. O primeiro trata da radiação e das propriedades energéticas da luz e é muito revolucionário como você verá. O segundo é uma determinação dos tamanhos reais dos átomos a partir da difusão e da viscosidade de soluções diluídas de substâncias neutras. O terceiro prova que, baseado na hipótese da teoria molecular do calor, corpos da ordem de 1/1000 mm, suspensos em líquidos, devem executar um movimento aleatório observável, que é produzido pelo movimento térmico; de fato, os fisiologistas observaram movimentos de pequenos corpos em suspensão, inanimados, os quais chamam de ‘movimento browniano’. O quarto artigo, neste momento apenas um rascunho grosseiro, é uma eletrodinâmica de corpos em movimento,

$E = mc^2$.
Com essa fórmula – talvez, a mais famosa da Ciência – Einstein fundiu as leis da conservação da massa e da energia

Há 100 anos, um jovem físico, trabalhando como técnico de 3ª classe em um escritório de patentes em Berna (Suíça), publicou cinco trabalhos. Todos de excelente qualidade. Dois deles mostrariam, com base em teorias simples e elegantes, como poderia ser demonstrada experimentalmente a realidade física de átomos e moléculas, assunto ainda controverso no início do século passado.

Os três artigos restantes alteraram profundamente a face da física moderna. No primeiro a ser concluído naquele ano, o jovem rebelde e contestador propôs o que mais tarde ele classificaria como a idéia mais revolucionária de sua vida: a luz, sob certos aspectos, apresenta uma natureza granular. Em julho e setembro, concluiu os dois últimos artigos de 1905 e aos quais seu nome estaria associado para sempre. Eles, em conjunto, dariam origem à teoria da relatividade, que destruiria o caráter absoluto atribuído, durante séculos, ao tempo e ao espaço. Seu nome: Albert Einstein.



Einstein em seu primeiro emprego como perito de patentes.

que utiliza uma modificação da teoria do espaço e do tempo.

Vamos fazer uma incursão por esses trabalhos, que, escritos em estilo conciso e direto, são jóias preciosas da cultura universal. Sempre que possível, nos apoiaremos nas palavras de Einstein. Comentaremos também características de seu autor e aspectos do contexto da Ciência, da tecnologia e da cultura de sua época que podem contribuir para um melhor entendimento de sua façanha.

Uma idéia revolucionária

A disputa sobre a constituição da luz – se onda ou partícula – tem uma história que remonta ao século 17, com os ingleses Isaac Newton (1643-1727) e Robert Hooke (1635-1703) e o holandês Christiaan Huygens (1629-1695). Newton defendia uma teoria corpuscular para a luz, ao contrário de seus dois contemporâneos. Ao longo do século 18, o modelo newtoniano predominou, embora tendo críticos importantes. No século seguinte – com o inglês Thomas Young (1773-1829) e o francês Augustin Fresnel (1788-1827) e com as experiências de dois outros franceses, Armand Fizeau (1819-1896) e Leon Foucault (1819-1868) –, a teoria

ondulatória ganharia força e se consolidaria com a teoria eletromagnética da luz proposta pelo escocês James Clerk Maxwell (1831-1879).

A luz passa, então, a ser vista como uma onda eletromagnética que se propaga no éter, o meio material que, acreditava-se, lhe dava suporte. Mas, no início do século passado, um problema começou a obscurecer o céu da teoria ondulatória para a radiação luminosa: como explicar a intensidade da radiação emitida por um material aquecido, a uma dada temperatura, em função da frequência dessa mesma radiação? A teoria ondulatória usual não conseguia descrever corretamente o fenômeno – que ganhou o nome

‘radiação do corpo negro’, porque o experimento passou a ser feito usando-se um recipiente metálico fechado, aquecido, e observando-se a radiação emitida por uma pequena abertura nele feita. O físico alemão Max Planck (1858-1947), em uma tentativa desesperada de encontrar uma solução, fez a hipótese, em 1900, de que a troca de energia

entre a radiação luminosa e a matéria só pode ocorrer através de quantidades com um certo valor mínimo – o quantum de energia – e não de forma contínua, como exigido pela teoria ondulatória. Insatisfeito com sua própria proposta e considerando-a um artifício provisório, Planck tentaria inúmeras vezes encontrar outra maneira de chegar à expressão experimentalmente correta a que chegara e que preservasse o caráter contínuo da radiação.

Einstein, com seu trabalho de março de 1905, ‘Um ponto de vista heurístico sobre a produção e a transformação da luz’, vai muito além de Planck. Com grande ousadia e originalidade, introduz uma hipótese física revolucionária: a própria radiação tem uma estrutura discreta (ou atomística). Seu propósito era, além de buscar uma

unificação na descrição física da natureza, explicar fenômenos novos, como o efeito fotoelétrico, que não podiam ser entendidos com base na física clássica: “Penso que as observações sobre a radiação do corpo negro, a fotoluminescência, a produção de raios catódicos [elétrons] pela luz ultravioleta, e outras classes de fenômenos concernentes à produção e à transformação da luz, parecem mais compreensíveis se admitirmos que a energia da luz está distribuída de maneira descontínua no espaço. Segundo a hipótese proposta aqui, na propagação de um raio luminoso, emitido por uma fonte pontual, a energia não está distribuída de maneira contínua sobre

Segundo a hipótese proposta aqui, na 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.
Einstein, 1905

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.” Esta última frase é, talvez, a mais revolucionária na Física do século passado. Nascia o conceito de fóton – nome dado

ao quantum de luz após 1926 – e, com ele, a era da física quântica moderna.

A partir desse conceito, Einstein deduziu uma expressão matemática para descrever o efeito fotoelétrico, no qual elétrons são arrancados de pla-



O escritório de patentes de Berna no tempo em que Einstein trabalhava lá.



Membros Fundadores da Academia Olímpica: a partir da esquerda Conrad Habicht, Maurice Solovine e Einstein.

cas metálicas pela incidência de radiação. Mas anos se passariam antes que a expressão de Einstein fosse confirmada por experimentos realizados pelo físico norte-americano Robert Millikan (1868-1953). Este diria mais tarde: “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 descoberta da lei do efeito fotoelétrico daria a Einstein o prêmio Nobel de Física de 1921.

No entanto, se a fórmula proposta por Einstein foi confirmada, a idéia dos quanta de luz enfrentava a oposição da imensa maioria dos físicos, entre os quais Planck, Millikan e o dinamarquês Niels Bohr (1885-1962). Foi somente após a descoberta do chamado efeito Compton – descoberto, em 1923, pelo físico norte-americano Artur Compton (1892-1962) e no qual, como se fosse uma partícula, a luz (ou melhor, um fóton) tem a direção de sua trajetória desviada ao colidir com um elétron – e com as experiências dos alemães Hans Geiger (1882-1945) e Walther Bothe (1891-1957), em 1925, que o conceito viria a ser aceito amplamente pelos físicos.

Em 1909, Einstein, em um de seus momentos mais visionários, havia proposto uma fusão das características ondulatórias e corpusculares da radiação. Sete anos depois, desenvolveu a idéia da emissão e da absorção estimuladas da luz – que daria as bases teóricas para o desenvolvimento do *laser* na década de 1950. Mas o problema de um entendimento com-

pleto do comportamento da luz se estende até os dias de hoje.

A dança dos átomos

O movimento irregular de uma partícula muito pequena mergulhada em um fluido – fenômeno denominado movimento browniano – é ocasionado por choques com as moléculas do fluido, que estão agitadas em razão de sua energia térmica (calor). Essa foi a principal inferência feita por Einstein em seu segundo trabalho de 1905: ‘Movimento de partículas em suspensão em um fluido em repouso como conseqüência da teoria cinética molecular do calor’. Einstein previu a variação (média) na posição da partícula ocasionada por essas colisões, variação essa que pode ser medida pela observação em um microscópio. Deduziu também uma maneira de se calcular o número de Avogadro (cerca de 6×10^{23}), ou seja, o número de átomos (ou moléculas) existentes em uma quantidade pré-fixada – o chamado átomo-grama (ou moléculagrama) – de um elemento químico ou substância.

Einstein terminou o trabalho oferecendo aos oponentes da teoria atômica um experimento que poderia testar a sua previsão: “Se [ela] não estiver correta, isso significaria um argumento de peso contra o conceito cinético-molecular de calor. Esperemos que logo venha um pesquisador para elucidar esta questão importante para a teoria do calor.” Esse desafio encontrou ressonância no físico francês Jean Perrin (1870-1942). Após cuidadosos experimentos que confirmaram as previsões de Einstein, Perrin concluiu em 1913: “A teoria atômica triunfou. Numerosos ainda há pouco, seus adversários enfim conquistados renunciaram, um após o outro, às desconfianças que por longo tempo foram legítimas e, sem dúvida, úteis. Será em torno de outras idéias que prosseguirá agora o conflito dos ins-

tintos de prudência e audácia, cujo equilíbrio é necessário para o lento progresso da Ciência humana.”

A tese de doutorado de Einstein, pela Universidade de Zurique (Suíça), ‘Uma nova determinação das dimensões moleculares’, girava em torno do mesmo tema: a existência e o comportamento dos átomos e das moléculas. Ele combinou resultados da hidrodinâmica clássica com os da teoria da difusão para criar um novo método de determinação das dimensões moleculares e do número de Avogadro. Para isso, teve que trabalhar com uma teoria molecular para os líquidos, tarefa bem mais difícil que para os gases. Os átomos e as moléculas não podiam ser observados diretamente pelos microscópicos então existentes. Einstein inventou uma maneira indireta de fazê-lo: uma teoria simples e elegante que, a partir da medida de quantidades macroscópicas, como a viscosidade de um líquido e o coeficiente de difusão de uma substância nele imersa, permitia determinar as dimensões das moléculas dissolvidas. Usou os dados disponíveis para o açúcar dissolvido na água e, com isso, pode fazer uma boa estimativa das dimensões das moléculas. O trabalho, assim como a interpretação estatística do movimento browniano, foi aceito rapidamente e deu início à teoria das flutuações, que encontrou depois enorme gama de aplicações científicas, indo da economia à matemática.

Em 1909, Einstein, em um de seus momentos mais visionários, havia proposto uma fusão das características ondulatórias e corpusculares da radiação. Sete anos depois, desenvolveu a idéia da emissão e da absorção estimuladas da luz – que daria as bases teóricas para o desenvolvimento do *laser* na década de 1950

pretação estatística do movimento browniano, foi aceito rapidamente e deu início à teoria das flutuações, que encontrou depois enorme gama de aplicações científicas, indo da economia à matemática.

A tese foi concluída em 30 de abril de 1905, mas teve uma história longa e tortuosa. Em 1901, Einstein havia já submetido uma dissertação à Universidade de Zurique – esse original não sobreviveu –, mas retirou-a no início de 1902, possivelmente por sugestão de seu supervisor Alfred Kleiner (1849-1916). Em janeiro de 1903, abandonou seus planos de tese dizendo: “Essa comédia toda já me aborreceu.” Em 1905, no entanto, retomou

à idéia do doutorado. As razões eram claras: isso podia ajudá-lo na ascensão no escritório de patentes e abriria a chance de uma carreira acadêmica. Segundo sua irmã, Maja (1881-1951), ele tentou inicialmente que o trabalho sobre a relatividade constituísse a dissertação, o que teria sido rejeitado. Voltou-se, então, para uma questão ao feitiço dos físicos de Zurique, uma investigação mais solidamente escorada em experimentos. E teve êxito. Einstein veria também, posteriormente, falharem várias tentativas de conseguir um certificado para lecionar nas universidades, o que só conseguiria em 1908. Outro detalhe curioso, difundido em algumas de suas biografias, é que Kleiner aprovou a tese de 1905, mas reclamou que ela estava muito curta – 17 páginas apenas. Einstein acrescentou uma única frase, e ela foi aceita sem comentários, o que divertiu particularmente seu autor.

Novas concepções sobre espaço e tempo

Enviado em 30 de junho de 1905, o artigo ‘Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento’ abordava o conflito aparente entre a teoria eletromagnética e o princípio da relatividade – pelo qual as leis da Física devem ter a mesma forma para todos os observadores inerciais, ou seja, não acelerados –, originado da mecânica clássica. O eletromagnetismo oferecia uma descrição unificada dos fenômenos elétricos, magnéticos e ópticos e



Einstein e seu melhor amigo Michele Besso, a quem agradece no artigo da Relatividade pela colaboração e valiosas sugestões.

tinha já décadas de sucesso. Por outro lado, a mecânica clássica contava com mais de 200 anos de êxito quase absoluto em seu domínio descritivo. No entanto, as equações de Maxwell do eletromagnetismo não são compatíveis com o princípio da relatividade, que está na base da mecânica clássica. Como conciliá-los? Hipóteses *ad hoc* – ou seja, forjadas a partir do fenômeno que querem explicar e sem maiores fundamentações teóricas – haviam sido formuladas, especialmente pelo físico holandês Hendrik Lorentz (1853-1928), mas não ofereciam uma solução teórica aceitável aos olhos de Einstein. Sua proposta será radical e aparentemente inconsistente: estender o princípio da relatividade para toda a Física e introduzir a hipótese adicional da independência da velocidade da luz em relação ao movimento da fonte que a emite.

O início do artigo de Einstein deixa claro seu propósito de unificar as duas teorias:

Como é bem conhecido, a eletrodinâmica de Maxwell – tal como usualmente aceita no momento – quando aplicada a corpos em movimento, produz assimetrias que não parecem ser inerentes aos fenômenos. (...) Exemplos desse tipo, juntamente com as tentativas infrutíferas de detectar qualquer movimento da Terra em relação ao “meio luminoso”, sugerem que os fenômenos da eletrodinâmica, assim como os da mecânica, não possuem propriedades correspondentes à idéia de repouso absoluto. Sugere-se, além disso, (...) que as leis da eletrodinâmica e da óptica sejam válidas para todos os sistemas de referência para os quais as equações da mecânica são válidas. Elevaremos essa conjectura (o conteúdo da qual será daqui para frente chamado de “Princípio da Relatividade”) ao status de um postulado, e também introduziremos outro postulado, que é apenas aparentemente irreconciliável



Físicos influentes na época: Da esquerda para a direita, Walther Nernst, Einstein, Max Planck, Robert Millikan e Max von Laue.

com o primeiro, a saber, que a luz sempre se propaga no espaço vazio com uma velocidade definida c , que é independente do estado de movimento do corpo emissor. Esses dois postulados são suficientes para se construir uma teoria simples e consistente (...). A introdução de um “éter luminífero” provar-se-á supérflua ...

Note-se a coragem do jovem físico ao eliminar, com uma frase curta, a noção de éter de suas considerações, conceito que era um paradigma secular da Física como meio transmissor da luz e aceito como ‘realidade’ por praticamente todos os cientistas de sua época. O resultado, decorrente de suas premissas, de que a luz tem a mesma velocidade para todos os observadores, quaisquer que sejam seus movimentos, estava em conflito com o senso comum e com a mecânica de Newton, que previa velocidades diferentes quando medidas por observadores que se movem um em relação ao outro. Isso forçou Einstein a uma revisão dos fundamentos cinemáticos da Física: rediscutiu os conceitos de tempo e de espaço e a maneira como são mensurados. Sua nova definição para se medir o tempo e sincronizar os relógios, por meio de sinais luminosos, levou ao abandono da noção de tempo absoluto: dois eventos que são simultâneos para um observador (com um relógio) em repouso não são simultâneos para um observador em movimento. Da nova formulação decorrem alguns resultados físicos importantes:



A coordenação de relógios nas torres de Berna poderia ter contribuído para a definição de simultaneidade proposta por Einstein.

i) o tempo flui em taxas diferentes para observadores em movimento relativo entre si; tanto os intervalos de tempo quanto os comprimentos medidos variam com o observador, dando origem, respectivamente, ao que se convencionou chamar dilatação temporal e contração espacial;

ii) a nova lei de somas das velocidades – que não obedece mais à soma direta das velocidades $v = v_1 + v_2$, como ocorria na mecânica newtoniana – permite resolver a aparente inconsistência entre seus dois princípios já mencionados;

iii) ocorre variação da massa do objeto com a velocidade.

Essa reformulação dos conceitos fundamentais de tempo e espaço, tomados como dados *a priori* por séculos, constitui-se certamente em uma das revoluções mais importantes da Ciência, embora seu próprio autor não pensasse assim: ele a via como um aperfeiçoamento da física clássica.

Em setembro de 1905, em um artigo de apenas três páginas, com um título interrogativo, 'A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?', Einstein deduziu uma fórmula, relacionando a energia (inércia) de um corpo com sua massa, que indica que quantidades muito pequenas de massa podem ser convertidas em

quantidades enormes de energia e vice-versa. A massa e a energia são de fato equivalentes. Concluiu o artigo de maneira cuidadosa, mas premonitória: "A massa de um corpo é uma medida de seu conteúdo de energia; se a energia muda de E , a massa varia no mesmo sentido de E/c^2 ... Não é impossível que, com corpos cujo conteúdo de energia é variável em um alto grau (por exemplo, com sais de rádio), a teoria possa ser colocada à prova com sucesso. Se a teoria corresponder aos fatos, a radiação carrega inércia entre os corpos emissores e os corpos absorvedores." Escreveu na época para um amigo: "O argumento é divertido e sedutor; mas, por tudo que sei, o Senhor poderia estar zombando comigo..." Não era zombaria. Na década de 1930, experimentos vieram confirmar as expectativas ali colocadas. E, em 1945, a bomba atômica – que Einstein, por muito tempo, duvidou que pudesse ser construída e cujo uso condenou fortemente – mostraria, de forma trágica, o acerto e o poder de suas idéias.

Note-se que o físico e matemático francês Henri Poincaré (1854-1912), independentemente de Einstein, desenvolveu trabalhos importantes sobre a relatividade e deduziu muitas das expressões matemáticas contidas na teoria. No entanto, por razões variadas, que têm sido muito discutidas pelos historiadores – entre as quais, sua visão filosófica mais convencionalista e menos realista que a de Einstein e a manutenção da noção de éter – não atribuiu uma realidade física significativa às expressões a que chegara, ao contrário de Einstein.

Em 1907, o matemático russo Hermann Minkowski (1864-1909), que havia sido professor de Einstein na Escola Politécnica de Zurique (Suíça), teve a importante idéia de considerar o espaço e o tempo conjuntamente, constituindo um contínuo quadridimensional no qual o tempo,

como quarta dimensão, funde-se com as outras três espaciais. Concepção similar fora já expressa por Poincaré. Na apresentação de suas idéias, Minkowski diria em 1908: "As visões de espaço e tempo que desejo apresentar a vocês cresceram do solo da física experimental e daí nasce o seu vigor. Elas são radicais. Daqui para frente, o espaço por si mesmo, e o tempo por si mesmo, estão destinados a se tornarem meras sombras, e somente uma espécie de união dos dois preservará uma realidade independente."

O contexto e a fonte da criatividade

Um motivo de intensa discussão e controvérsia entre os estudiosos da

Poincaré também desenvolveu trabalhos importantes sobre a relatividade e deduziu muitas das expressões matemáticas contidas na teoria. No entanto, ele não atribuiu uma realidade física significativa às expressões a que chegara, ao contrário de Einstein

obra de Einstein é a fonte de sua criatividade e os caminhos que o conduziram a suas teorias. Ele não tinha o costume de guardar seus manuscritos, nem se preocupou muito em reconstruir a linha de suas reflexões. Mas muitas reconstruções

históricas, mais ou menos plausíveis, têm sido feitas, levando em conta suas



Trajectoria aleatória de uma pequena partícula imersa em um líquido. Figura original do livro *Átomos* de Perrin que comprovou experimentalmente a teoria de Einstein.

características particulares, a situação da Física em sua época e o contexto em que estava inserido.

Segundo ele mesmo, o que o distinguia era uma insaciável curiosidade: “Eu não sou nem especialmente inteligente, nem especialmente dotado. Sou apenas curioso, muito curioso.” Esse aspecto, aliado a uma grande capacidade de autodidatismo, iniciara-se já na infância. Exibia também uma capacidade muito grande de concentração e de se dedicar intensamente a um mesmo problema por anos a fio. Até 1905, Einstein de certa forma corria por fora, às margens da Ciência institucionalizada. Era dotado de notável autoconfiança e alta dose de rebeldia: “Sou um herético”, repetia com frequência. A pouca reverência com as autoridades, inclusive universitárias, e a postura crítica permanente quanto às verdades adquiridas foram sempre um traço marcante de sua personalidade e podem ter contribuído para sua dificuldade em conseguir um cargo em universidades depois de formado, em 1900. Note-se que Einstein conviveu na Suíça, como estudante universitário, em um ambiente no qual abundavam socialistas, anarquistas e intelectuais contestadores e inovadores.

Outro aspecto marcante em Einstein é sua visão de Ciência. Tinha profunda crença na racionalidade do mundo: o real pode ser descrito por leis científicas, e o comportamento da natureza ser entendido a partir de alguns princípios gerais e esteticamente belos. A Física deveria ser formulada a partir de princípios abrangentes e ‘simples’, e as teorias devem naturalmente resistir ao crivo experimental. Os artigos de 1905 ini-

Do ponto de vista filosófico, os avanços fundamentais que Einstein realizou em 1905 dependeram de modo crucial de sua forte adesão a uma crença na realidade das entidades físicas no nível atômico, preconizada por Maxwell e Boltzmann

ciam-se quase todos com uma insatisfação de Einstein com alguma assimetria ou incompatibilidade entre domínios da Física e a necessidade de superá-las a qualquer custo. Toda sua obra gira em torno de buscar descrições unificadoras da Física. Isso ocorreu, como vimos, no caso da rela-

tividade. Também, ao propor a hipótese do quantum de luz, não foi movido por nenhum experimento particular. Partiu da constatação de uma profunda diferença formal entre a descrição da matéria e a dos campos eletromagnéticos. Enquanto a teoria da matéria pressupõe um número finito de átomos – ou seja, partículas distribuídas de forma descontínua no espaço –, a teoria eletromagnética faz uso de ondas, que são descritas por funções matemáticas contínuas.

No contexto formativo, o envolvimento da família de Einstein em negócios ligados à tecnologia elétrica – uma das fronteiras tecnológicas da época – deve tê-lo influenciado significativamente. Seu pai – que queria vê-lo formado em engenharia elétrica – e seu tio produziam equipamentos de precisão para medidas elétricas e dinamos. Por outro lado, como estudante universitário, Einstein passava longas horas no laboratório: “Trabalhei a maior parte do tempo no laboratório de Física, fascinado com o contato direto com a experiência.” Já sua atividade no escritório de patentes – de junho de 1902 a outubro de 1909 – foi “uma verdadeira benção para mim. Isso me

forçou a um pensamento multilateral e também forneceu um importante estímulo para a reflexão em Física”. Ao longo de sua vida, o interesse pelas máquinas permaneceu aceso: tirou algumas patentes de invenções feitas sozinho ou com colegas – uma delas, a de um refrigerador, desenvolvido juntamente com o físico húngaro Leo Szilard (1898-1964). Seu trabalho na análise das patentes pode ter também contribuído para seu estilo direto e pouco usual de escrever artigos científicos no qual,

Sou um herético, repetia Einstein com frequência. A pouca reverência com as autoridades, inclusive universitárias, e a postura crítica permanente quanto às verdades adquiridas foram sempre um traço marcante de sua personalidade e podem ter contribuído para sua dificuldade em conseguir um cargo em universidades depois de formado

à colocação clara do cerne do problema, se segue o elenco de premissas, o desenvolvimento dos modelos – ou das teorias – e as conseqüências experimentais deles decorrentes.

Einstein era um mestre na arte, que teve também expoentes em Galileu e Maxwell, de construir experimentos mentais – produzidos apenas na imaginação e que estão além de nossa capacidade de realizá-los diretamente no laboratório – para refletir sobre os princípios básicos da Física. Já em 1895, com 16 anos, começou a refletir sobre a questão do éter e a propagação da luz. Concebeu de

início um experimento mental que o acompanharia por dez anos: o que ocorre se acompanharmos uma onda luminosa com a mesma velocidade dela? Ela ficaria ‘congelada’, em uma estranha forma de onda não movente? Para Einstein, esse experimento mental juvenil foi o primeiro passo para a teoria da relatividade especial. Em 1902, com dois amigos Habicht e Maurice Solovine (1875-1958), criou um ‘clube’ informal, a Academia Olímpia. Leram e discutiram longamente vários autores clássicos, incluindo obras de físicos e filósofos. Nessa última categoria, entre os que mais o influenciaram, estavam Poincaré e o físico austríaco Ernst Mach (1838-1916), com textos que tratavam da crítica aos fundamentos da mecânica clássica, bem como o estatístico inglês Karl Pearson (1857-1936) e o filósofo escocês David Hume (1711-1776), com críticas sobre o procedimento da indução em ciência, além de Maxwell e do físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906). Do ponto de vista filosófico, os avanços fundamentais que Einstein realizou em 1905 dependeram de modo crucial de sua forte adesão a uma crença na realidade das entidades físicas no nível atômico, preconizada por Maxwell e Boltzmann.

O contexto no qual Einstein se in-



Einstein em Princeton, na sua residência em Mercer Street.

sere é também essencial para que se entenda sua obra e o impacto dela decorrente. Viveu em uma época de profunda transição na Ciência: a Física passava por uma crise, e os conceitos e as teorias construídos nos séculos anteriores se defrontavam com novos domínios da experiência. Entre os anos 1895 e 1904, muitas descobertas importantes foram feitas – como os raios X, a radioatividade, as ondas de rádio e o elétron – bem como novas técnicas experimentais foram desenvolvidas, permitindo perscrutar o interior da matéria. É interessante destacar que Einstein construiu sua teoria da relatividade abstrata em um contexto de um mundo material rodeado de máquinas elétricas e de mecanismos transmissores de sinais elétricos e de ondas eletromagnéticas. Patentes e invenções de novos equipamentos eletromecânicos e propostas para a sincronização de relógios – um importante proble-

ma da época – foram o seu cotidiano por anos. Até em sua caminhada diária para o trabalho, passava pelas grandes torres com relógios que determinavam a coordenação do tempo em Berna. Note-se que Poincaré

também abordou a questão da sincronização dos relógios sob vários ângulos. Além de refletir filosoficamente sobre a medida do tempo, ao presidir o Bureau de Longitude ele ajudou a desenvolver métodos para cobrir o mundo com um tempo sincronizado, pela utilização de transmissões telegráficas.

Tudo isso mostra que algumas das visões predominantes sobre Einstein são parciais e incorretas. A visão empirista ingênua atribui a origem de seus trabalhos à tentativa direta de explicar experimentos – como o de Michelson-Morley, no caso da relatividade – que a física clássica tinha dificuldade em tratar. Já uma visão antipositivista vê em seus trabalhos apenas o pensamento abstrato, distante dos experimentos e do entorno material e tecnológico que o circundava. Esta última visão contribui para um dos mitos persistentes sobre Einstein: o de um pensador completamente desligado das coisas terrenas. Visões ambas parciais e que distorcem a complexidade do processo criativo na Ciência.

Einstein viveu, refletiu e produziu em uma arena onde convergiam: i) a física, na tradição dos grandes mestres e que se defrontava com novos resultados experimentais intrigantes; ii) a filosofia, com a crítica à natureza do conhecimento e às noções clássicas sobre o tempo e o espaço; iii) a tecnologia, com os aparelhos elétricos, os relógios e as novas radiações que enchem o final do século 19. Essa interseção tripla de fatores foi certamente um ponto importante na construção de suas teorias.

A sagrada curiosidade

Einstein nasceu em Ulm (sul da Alemanha), em 14 de março, e mor-

reu em Princeton (Estados Unidos), em 18 de abril, aos 76 anos de idade. Viveu profundamente também as contradições políticas e sociais de seu tempo. Lutador incansável pela paz, socialista ‘emocional’ e crítico do socialismo real, opôs-se ao nazismo, ao macartismo – perseguição a supostos simpatizantes de regimes de esquerda nos Estados Unidos –, à guerra e à corrida armamentista. Pagou alto preço pessoal por isso. Quanto ao mito de gênio que o cerca, traduzido na figura de um velho cientista excêntrico e isolado, com cabelos brancos e desgrenhados, ele mesmo deu a receita: “É curioso ver como a gente aparece aos olhos dos outros. Foi meu destino que minhas realizações fossem supra-avaliadas além de todos os limites, por razões incompreensíveis. A humanidade necessita de alguns poucos ídolos românticos como *spots* de luz no campo da existência humana. Eu me tornei um tal *spot* de luz.”

Ao rememorarmos o *annus mirabilis* de Einstein, vale encerrar lembrando o que para ele era o cerne da atitude científica diante do mundo: “A coisa importante é não parar de questionar. A curiosidade tem suas próprias razões para existir. (...) Nunca perca a sagrada curiosidade.”

Artigo originalmente publicado na *Ciência Hoje* v. 36, n. 212, p. 34-41 (2005).

Sugestões para leitura

- J. Stachel, (org.) *O ano miraculoso de Einstein – Cinco artigos que mudaram a face da Física* (Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, 2001).
- A. Pais, *Sutil é o Senhor... A Ciência e a Vida de Albert Einstein* (Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1995).
- A. Fölsing, *Albert Einstein* (Penguin Books, Harmondsworth, 1997).
- A. Einstein, *A teoria da relatividade especial e geral*. (Contraponto Editora, Rio de Janeiro, 2000).
- D. Brian, *Einstein: A Ciência da Vida* (Ática, São Paulo, 1998).

É curioso ver como a gente aparece aos olhos dos outros. Foi meu destino que minhas realizações fossem supra-avaliadas além de todos os limites, por razões incompreensíveis
Einstein