



Élcio Abdalla

Tecnologia e ciência no centenário do *annus mirabilis* de Einstein

Élcio Abdalla fez carreira acadêmica na Universidade de São Paulo. Graduou-se em Física em 1975, doutorou-se em 1977, tornou-se professor livre-docente em 1982 e professor titular em 1987. No exterior, foi pesquisador visitante na Universidade de Hamburgo (1978-1979), no Instituto Niels Bohr (1982-1983), no Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN) (1993-1995), no Centro Internacional de Física Teórica de Trieste (1996-1997), onde foi pesquisador associado, e mais recentemente professor visitante na Universidade de Fudan, em Xangai (China). Foi agraciado com a Medalha Weisskopf do Centro de Física Teórica de Trieste, em 1992.

Publicou mais de uma centena de trabalhos e vários livros, entre eles, *Non-perturbative methods in 2-dimensional quantum field theory* (World Scientific, 1991) e *2-D gravity in non-critical strings: discrete and continuum approaches* (Springer-Verlag, 1994). Atualmente desenvolve pesquisas em cosmologia e gravitação, especialmente sobre as propriedades de buracos negros e teorias de cordas.

Exacta: Albert Einstein pode ser considerado um cientista prodígio, pois, aos 26 anos, já apresentava ao mundo um conjunto de estudos impressionante. O fato de autores de pouca idade influenciarem fortemente as ciências com produção científica inovadora é regra? É determinante o peso das contribuições de jovens cientistas para o avanço do conhecimento?

Élcio Abdalla: Na verdade, tem sido cada vez menos comum. Eu diria que, na época de Einstein, a imaginação prevalecia sobre a formação; já atualmente, a física tem evoluído no sentido de você precisar cada vez mais de formação e qualificação. A imaginação, que as pessoas com menos idade exibem, vai sendo temperada, à medida que a idade avança e passa-se a tomar decisões a partir da experiência adquirida. Claro, então, haverá uma tendência para pontos de vista um

pouco mais tradicionais e menos imaginativos, até porque se aprendeu mais, sedimentou-se mais os conhecimentos.

O que o jovem tem de bom é que ele é sempre arrojado. O que o Einstein fez, por exemplo, foi muito ousado para sua época. Na Teoria da Relatividade Restrita, ele utilizou, basicamente, fórmulas matemáticas conhecidas; inovadora foi a interpretação de que a transformação descrita nas equações significava que o tempo não era absoluto; isso, sim, foi um arrojo tremendo e era a expressão do novo, aquilo que, digamos, outros não teriam coragem de afirmar. E esse ímpeto, de fato, é mais comum nas pessoas mais jovens, que têm coragem de chegar e dizer “não, isso tudo está errado”, ou “nós vamos mudar tudo isso que está aí”, sem maiores preocupações.

E.: Pouco se sabe da influência da Física moderna – tida como a do “muito veloz” e do “muito pequeno” – em nosso cotidiano. O que podemos dizer dos avanços da física relativística e quântica e sua eventual aplicação no dia-a-dia das pessoas?

E.A.: Essa questão de que percebemos, em nosso cotidiano, uma física diferente da moderna não é verdadeira, é uma visão simplista demais. Na verdade, o conhecimento evolui, da visão mais simples para a mais complexa. Digamos que alguém pergunte: por que essa mesa é dura? Não sei explicar isso pela física clássica. Vou olhar com os olhos de hoje, os átomos e moléculas, ver como eles estão ligados etc. Há cerca de 2,5 mil anos, Aristóteles dizia que os corpos caíam porque tinham a tendência de ficar no centro do mundo. É uma explicação que, não importa quão imperfeita fosse, ele podia dar e ninguém tinha como contestá-lo porque, de fato, as coisas caíam e, olhando ao redor, percebia-se que tudo estava em volta da Terra. Atualmente, compreende-

se que não é bem assim, que existe a teoria da gravitação, que os corpos se atraem – isso é um conhecimento bem mais sofisticado, mas já é um conceito amplamente conhecido. Isso interfere no dia-a-dia? Interfere, tanto que, no calendário, nas medições de tempo, essa percepção muda a visão tradicional. Por outro lado, se você perguntar genericamente se a teoria de Newton é necessária para explicar por que um corpo cai, ou se simplesmente se pode dizer que o corpo está tendendo lá para baixo, não será possível estabelecer que diferença prática existe entre as duas teorias. Quando se começa a medir, a atribuir grandezas para as coisas, aí sim, é preciso lançar mão de uma sofisticação maior.

Retornando a Einstein, a teoria da relatividade introduz essa “alguma coisa a mais”: se você quiser mandar satélites artificiais para o espaço, será necessário dominar a teoria de Einstein, a física moderna, que inclui também a mecânica quântica. Para a física clássica, um pedaço de madeira é um pedaço de madeira; desse pressuposto – a existência de um pedaço de madeira –, é que posso então serrar, colar, fazer uma mesa etc. Mas se você fizer uma pergunta um pouco mais complexa, que diga alguma coisa sobre a estrutura dessa madeira, ou por que ela é dura ou mole, ou qual a capacidade de reter calor ou de forrar o ambiente, então é necessária a explicação que a física moderna pode fornecer. Dependendo de como se olha, a resposta é diferente e as aplicações também. Na verdade, não nos damos conta, mas uma simples máquina fotocopadora depende de descobertas, como as feitas por Einstein. Às vezes entramos em um local e lá existe um detector de movimento: ele também depende das descobertas da física moderna; o mesmo se dá com um interruptor de luz em nossa casa. Todas essas coisas que fazem parte do nosso dia-a-dia, e para as quais não damos muita importância, na verdade, dependem disso. Ao olharmos em volta, os materiais que temos hoje, vemos de

novo a mesa, mas ela não é mais de madeira, é feita de um material que depende de tecnologias muito novas para sua confecção. Ao entrarmos numa sala de aula e olharmos em volta, pensamos que tudo é velho, mas, na verdade, é tecnologia nova, nada mais é feito como o era há 50 anos; na própria concretagem da sala existem novos materiais, e também nos canos, nos fios; enfim, em todos os lugares. Na realidade, a maior parte é tecnologia da segunda metade do século XX, ou até mais recente. Isso sem falar em computadores, transistores, que dependem de elementos muito mais sofisticados e recentes, provindos da mecânica quântica.

E.: Pode-se afirmar que a teoria da relatividade, embora imaginada no âmbito da Física, tenha influenciado outros tipos de pensadores (filósofos, por exemplo) com um novo conceito: relativizar todas as coisas, inclusive o mundo das idéias – uma vez que tudo influencia ou é influenciado por algo, e que não há uma causa última e determinante dos acontecimentos?

E.A.: Há várias idéias aí envolvidas; em primeiro lugar, a filosofia mais moderna não foi influenciada apenas pela teoria da relatividade, mas a mecânica quântica também ajudou a mudar a visão clássica de mundo, que era basicamente determinista. Era muito rígida: estou aqui, agora; daqui a pouco, estarei lá porque conheço o que está aqui e agora – a posição, a velocidade –; então posso saber o que vai ser daqui a pouco. No tempo de Laplace se dizia: você me dá as coor-

denadas do mundo e suas velocidades e eu saberei prever o futuro.

No século XX, isso mudou em razão de todas as questões ligadas à relativização de conceitos. Na teoria da relatividade propriamente dita, foi eliminado o caráter absoluto de questões essenciais como o espaço e o tempo, definições que, na verdade, norteiam nosso conceito de existência. Elas são a base de toda a Física. No caso da mecânica quântica, aquilo que entendemos por realidade também é passível de relativização, porque não se trata de fenômenos ou conceitos “observáveis”: a realidade é um “não-é”; então, a relativização necessária que daí emana acabou sendo transposta para outras questões e áreas do conhecimento.

Há que se perceber que o século XX também foi um

período de questionamentos, de novas experiências sociais, exitosas ou não. Nesse período, tivemos comunismo, nazismo, fascismo, todos os “ismos” políticos que levaram à Segunda Guerra Mundial e depois à Guerra Fria. Mesmo essas guerras que temos hoje são, de fato, heranças do século XX.

Ainda no que se refere à influência da teoria da relatividade, vê-se que certas pessoas usam o termo “relativo” de modo impróprio, exagerado. Dizer que tudo é relativo não é verdade. Pela física da teoria da relatividade, qualquer observador é compatível com outro; existe uma unicidade de todos os observadores quando observam um mesmo fenômeno, de tal maneira que a física não é diferente. Já vi em livros de filosofia afirmações de que a física na Terra é diferente da física em Marte; mas não é, é a mesma física, com pontos de vista diferentes que podem ser compa-

“[...] a filosofia mais moderna não foi influenciada apenas pela teoria da relatividade, mas a mecânica quântica também ajudou a mudar a visão clássica de mundo [...]”

tíveis. Para tanto, temos de fazer as transformações adequadas, compatibilizar, corretamente um ponto de vista com outro. No entanto, eles se referem à mesma física; então, há questões nas quais realmente existem novidades no século XX, existe genericamente uma relativização, ao contrário daquele determinismo de outrora.

E.: Os laureados com o Prêmio Nobel em Física em 2004, David Jonathan Gross (1941), Hugh David Politzer (1949) e Frank Anthony Wilczek (1951), descobriram uma propriedade de interação forte que explica por que os *quarks* podem comportar-se como partículas livres somente para altos níveis de energia. A descoberta é a fundação para a teoria da cromodinâmica quântica (QCD).¹ Tal teoria está relacionada com a teoria da relatividade de Einstein?

E.A.: Na verdade, essas teorias são relativísticas. A teoria que eles consideraram é uma generalização da própria eletrodinâmica. A história é a seguinte: conheciam-se, separadamente, a eletricidade e o magnetismo desde a Antiguidade e estes se tornaram um único campo a partir das equações de Maxwell² do eletromagnetismo. A própria formulação do eletromagnetismo está na base do que viria a ser a teoria da relatividade, pois se percebeu que o eletromagnetismo e a mecânica não eram compatíveis. Há uma outra teoria, a da eletrodinâmica³ e, a partir dela, uma generalização para se chegar a uma teoria ainda mais sofisticada, que é a da cromodinâmica quântica, associada às chamadas interações fortes. Como não se conseguiu uma boa explicação para essas interações, nas décadas de 1950-60, foram formuladas várias teorias alternativas – que continuaram não funcionando – até que se descobriu que, para energias muito altas, os *quarks* – elementos de matéria da cromodinâmica, pedacinhos de prótons e nêutrons

– possuíam essa propriedade. Em situações de elevada concentração de energia, é como se praticamente não houvesse mais interação, e ficassem interagindo fracamente, quase livres. Os pesquisadores mencionados na pergunta foram os primeiros a estabelecer que a cromodinâmica quântica possuía uma diferença com a eletrodinâmica: para energias muito elevadas, as partículas tendem a tornar-se partículas livres; essa descoberta data de meados da década de 1970.

E.: Após medidas cuidadosas feitas por Perrin, em 1909, este suspeitou que uma equação proposta por Einstein, relacionando viscosidade efetiva e o volume ocupado por partículas em suspensão, apresentava um erro. Comunicado, Einstein escreveu a Hopf, um antigo aluno, para que este verificasse os cálculos. Hopf encontrou um erro no processo de diferenciação e Einstein, então, comunicou o resultado a Perrin e publicou uma correção de sua tese nos *Annalen*. Até que ponto admitir um erro é apreciado pelos pares na ciência?

E.A.: Isto é bastante comum; na verdade, existe uma compreensão no meio científico de que se você estuda muitas coisas, faz cálculos, centenas e centenas deles, há papéis e mais papéis em que você anota o que calcula e simplesmente o destino da maioria deles é o lixo; só uma pequena parte dessas anotações e cálculos, quando corretos – vamos dizer, corretos em princípio –, será utilizável em algum artigo ou ensaio. Mesmo entre esses, apenas pequenas quantidades vão efetivamente gerar artigos e, de fato, poucos desses artigos vão ser realmente corretos e uma quantidade ainda menor desses corretos vai ser importante; e só uma ínfima parte destes – se tanto – vai ser realmente revolucionária, fundamental; então, a questão de fazer ciência não é assim: a pessoa tem uma idéia,

coloca no papel e aquilo é ciência, ponto. É um caminho árduo e o próprio Einstein errou muito; isso não é falar mal dele – quem faz erra; quem faz tem de tentar fazer e quem tem de fazer erra dez vezes para acertar uma – pois o que importa é você chegar ao resultado correto. Einstein propôs coisas erradas na época, como, por exemplo, que o universo fosse estático; posteriormente, ele até tentou

modificar as equações do que chamou de “grande erro” de sua vida. Hoje, usa-se de outra forma aquela proposta, ou seja, Einstein tentou abordar o problema de uma maneira equivocada, mas a idéia trouxe frutos, e atualmente se fala da constante cosmológica que ele introduziu, mas numa abordagem diferente. A unificação das teorias é outro exemplo: a proposta de unificá-las é uma idéia correta, mas a

forma como ele propôs essa unificação, em suas várias tentativas, mostrou-se infrutífera e todos entenderam as razões do insucesso. No entanto, a idéia da unificação ficou e o que se vê hoje é cada vez mais cientistas se disporem à tarefa.

É claro, há o erro trivial, a pessoa fez uma conta e escreveu que $2 + 2 = 5$ e, obviamente, está errado. Não me refiro exatamente a isso, mas digo que pode haver erros nas equações, nas formulações; no entanto, se você estiver na direção certa e cometer um erro no meio do caminho, vem outro e acerta; isso não é demérito para ninguém. Quantas vezes já fiz tentativas e mais tentativas que deram errado? Todo mundo que faz diversas tentativas erra alguma vez, e isso ocorreu com Einstein. Há uns 20 anos, um ganhador do prêmio Nobel, um europeu, o físico Gerardus ‘t Hooft⁴ – ele não

havia sido laureado ainda – publicou um artigo, com um aluno, afirmando que certa formulação da teoria dos campos⁵ – a supersimetria – continha um erro; ele fez um cálculo alternativo e o colocou no artigo; aquilo deu um rebuliço, as pessoas tomavam partido e diziam: “não, isto está certo”, ou “não, isto está errado”, mas ele já era um cientista respeitado e a coisa

ficou nisso. Mais tarde, escreveu um outro artigo e, no resumo, escreveu em latim que errar é humano. Para quem quisesse entender, ele havia dito: “olhe, eu errei”; então isso acontece mesmo. Importante é, constatado o erro, corrigi-lo o mais rápido possível.

E.: A Teoria da Relatividade Geral foi demonstrada experimentalmente em 1919, em Sobral (CE) quando, durante um eclipse solar,

observou-se uma alteração na posição das estrelas. Vários desenhos didáticos mostram a luz com uma inclinação ao passar pelo Sol. Não é mais verdade que a luz sempre se propaga em linha reta?

E.A.: Na geometria euclidiana clássica, ela sempre segue em linha reta. Quando pensamos no espaço, imaginamos o de Euclides e as linhas retas dos gregos, mas, na Teoria da Relatividade Geral, essa linha é uma curva, uma “reta-curva”, digamos. Por quê? Porque é o menor caminho entre dois pontos de uma superfície, não necessariamente plana como a da geometria de Euclides. Essa curva-reta a gente chama de geodésica,⁶ que é o caminho mais curto possível. O mundo de fato não é plano, ele é curvo, e um caminho que se trace

“Einstein propôs coisas erradas na época, como, por exemplo, que o universo fosse estático; posteriormente, ele até tentou modificar as equações do que chamou de ‘grande erro’ de sua vida.”

nesse mundo conceitualmente é uma reta; essa linha reta, nesse novo conceito, é o que chamamos geodésica numa geometria mais complicada. Dito de outra forma, um caminho que é seguido e definido por equações matemáticas em um espaço comum euclidiano é chamado reta, mas isso não é assim em todos os espaços. Quem estiver sobre a superfície de uma esfera – ou da Terra, por exemplo – tem a impressão de estar sobre uma reta, e ela o é, relativamente a determinada geometria, e se conclui que é o menor caminho a percorrer.

E como se propaga o raio luminoso? Por que ele é uma reta? Porque eu tenho as interações dos campos eletromagnéticos, então ele vai, na verdade, “escolhendo” o caminho mais fácil de percorrer. De fato, essa idéia existe até classicamente. Se tomarmos uma das formulações que havia para a luz, aquela do caminho mais curto, então, pode-se afirmar que a luz vai pelo caminho mais curto, e se eu tiver aqui água e lá ar, uma interface no meio, ainda assim ela irá pelo caminho mais curto; no entanto existe o fenômeno da refração. Como ocorre? A luz vai para lá, de repente, ela se curva para o outro lado, e o que é isso? É o caminho mais curto! Então é como se fosse uma reta, mas é uma reta que quebra no meio, e por quê? Porque, fisicamente, aquela é a “reta” para a luz, o caminho mais curto; se ela for por outro caminho, terá mais trabalho. Se você olhar de fora e transpuser a questão para a maneira como ela é entendida do ponto de vista de outra geometria, aquilo resultará numa curva. Nesse processo, também a luz desvia, o que significa que ela segue uma geodésica e não o caminho descrito por uma reta euclidiana; no entanto, dentro dessa nova geometria, esse caminho é uma reta.

E.: Ao publicar, em 1905, artigos revolucionários – especialmente os que versavam sobre o efeito fotoelétrico, o movimento browniano e a relatividade –, Einstein não dispunha

de ferramentas, hoje essenciais, como internet, computadores pessoais, ou ainda microscópios eletrônicos. Ainda é possível fazer ciência apenas com a construção de idéias, de conceitos, prescindindo do instrumental técnico? Não haveria, por outro lado, uma supervalorização desses recursos técnicos, ou seja, não dependemos demais do aparato tecnológico, em detrimento do raciocínio, do pensamento livre, humanístico, filosófico ou utópico?

E.A.: Houve uma evolução muito grande desde 1905. Esses cem anos representaram um mundo de diferença. Quando Einstein publicou seus artigos, vivia-se, na verdade, os últimos ecos de uma época romântica da física, na qual era preciso mais imaginação e menos aparatos matemáticos do que hoje. Veja, ele utilizou a geometria riemanaiana,⁷ mas é muito menos do que se necessita em nossos dias. É preciso muito mais técnica, pois há certas questões de que a gente só pode tratar atualmente, com os meios modernos de que dispomos, e isso, à época, não era tão relevante.

Por exemplo, podemos ver na TV programas científicos que explicam, com soluções gráficas interessantes, como deve ser um buraco negro e sua estrutura, e é relativamente fácil entender. Hoje parece simples. Mas qual foi a primeira idéia sobre um buraco negro? A idéia foi de Laplace. Ele pensava assim: “deixe-me jogar um objeto para o alto, ele volta. Jogo com mais velocidade, e ele demora mais a voltar. Então, vai haver uma velocidade com a qual eu jogo e o objeto escapa da atração gravitacional, isso se chama de velocidade de escape”. Agora, digamos que eu tivesse um objeto tão compacto, de massa tão grande que sua velocidade de escape fosse igual à da luz; em 1916, o físico e astrônomo alemão Karl Schwarzschild sugeriu que um objeto muito denso poderia curvar o espaço-tempo à

ua volta de tal maneira que nada escapasse à sua atração, nem mesmo a luz. Tinha de ser um objeto extremamente compacto cujo raio passou a chamar-se raio de Schwarzschild. Na época, ele pôde calcular essa dimensão por meio da mecânica clássica (que acabou tendo resultado ligeiramente diferente quando calculado pela Teoria da Relatividade Geral).

suas idéias não foram bem aceitas no começo (nem por Einstein) e só nos anos 1960, finalmente, embasavam o conceito de buraco negro. Isso seria difícil de obter hoje? Não muito; um estudante bem treinado, um doutorando, se souber as equações da teoria da relatividade, será capaz de colocar na lousa o problema e... depois de algumas horas e várias páginas de caderno, chegar ao resultado. Não precisa de com-

putador, nem nada. A partir daí, passamos a estudar os buracos negros; e como vamos fazê-lo? Bem, as equações já foram feitas, qualquer modificação já foi vista, e técnicas simples utilizadas. Vamos estudar uma onda que passe perto de um buraco negro; isto é muito difícil de integrar numericamente, pois há números muito pequenos, que decrescem muito rápido. É necessário fazer uma conta com dezenas de casas decimais, algo simples em princípio. No entanto, temos de multiplicar números e resolver equações diferenciais, algumas com até 40 casas decimais; claro que é possível, dá para fazer, mas vamos levar três anos calculando e verificando para chegar a um resultado; para isso, seria melhor usar um computador. Podemos inferir que a ferramenta, bem utilizada, só favorece o trabalho de pesquisa.

E.: Em defesa da criatividade e da libertação do pensar pré-programado, Einstein declarava: "O conhecimento é limitado; a imaginação envolve o mundo. Ela é mais importante do que o conhecimento." (apud VIERECK, 1929). Enfim, sabemos como transmitir o conhecimento, mas é possível ensinar a ter imaginação?

“Quando Einstein publicou seus artigos, vivia-se, na verdade, os últimos ecos de uma época romântica da física, na qual era preciso mais imaginação e menos aparatos matemáticos do que hoje.”

E.A.: O conhecimento estabelecido até pode ser ensinado, mas aquilo que está além, que já está na fronteira, depende da imaginação, do querer buscar, de ir além do conhecimento formal. Observe-se que há uma dimensão do conhecimento que, para ser alcançada, não adianta a pessoa sentar e esperar que outro lhe transmita, porque isso não vai ocorrer; é algo que se deve buscar, entender o que é e

o que fazer com ele, por meios próprios, criativos; mas criatividade não se ensina, no máximo, desperta-se. Há que deflagrar um processo interior de busca que, aí, sim, envolve muito mais a imaginação, a criatividade, o que potencializa aquele conhecimento adquirido.

E.: Einstein via no fazer científico a necessidade de uma postura quase religiosa, pautada na fé. Dizia que a ciência só pode ser criada por aqueles que estão profundamente imbuídos de uma aspiração em relação à verdade e à compreensão. Entretanto, não atribuíam fé ao sobrenatural; defendia que um cientista-pesquisador dificilmente estaria inclinado a acreditar que eventos pudessem ser influenciados por um ser so-

brenatural (EINSTEIN, 1941). *Grosso modo, tanto os cientistas quanto os religiosos procuram entender, interpretar a natureza e o ser humano. Até que ponto cientistas e religiosos convergem?*

E.A.: Bem, para cada pessoa a quem for feita essa pergunta, a resposta será diferente; assim, as respostas, de fato, refletem muito mais o ponto de vista de cada um e não algo genérico. Há um questionamento embutido aí, muito semelhante àquele que é feito desde que o homem é homem, quando se olha para o céu e se indaga toda sorte de coisas. E assim se fez para chegar à teoria da gravitação universal – e eu gosto muito dessa teoria: basicamente olhar para o céu e tentar compreender o que ele nos diz. Há dois tipos de questões, as práticas e as teóricas. Entre as primeiras, por exemplo, “quando vão ser as colheitas?” Então, há que medir a duração dos dias, a posição da sombra da vara no chão para saber em que inclinação está o sol, se agora é solstício de verão ou de inverno, equinócio de primavera ou de outono e até as demarcações menores de tempo; então, daqui a tantos dias vai chegar a hora apropriada para a colheita. Essa é a preocupação prática da ciência. Existe também a preocupação teórica. O que é aquilo ali? De onde vêm essa luz e o calor? Será que é realmente o deus Apolo, conduzindo uma bola de fogo em sua carruagem? Quem vai responder a essa pergunta? São as religiões e a ciência, cada uma a seu modo; elas se superpõem? Algumas vezes, sim; outras não; agora, de fato, a esse respeito, há muitas questões por responder, no todo ou em parte: o começo de tudo (se houve), a formação do mundo, questões desse tipo, que estão abertas aos dois lados, porque ninguém ainda deu uma resposta definitiva. No entanto, não são questões fáceis de responder. Mesmo com as contribuições da ciência, com as teorias de Einstein estabelecendo uma ordem no

discurso da evolução, sugerindo que ela se deu de determinada maneira, que houve um *big bang*, a grande explosão inicial, ainda restam questionamentos (Que causou essa grande explosão? Quem fez essas leis da natureza?). É possível ir um pouco além, falar sobre uma gravitação quântica, que houve em decorrência de uma explosão natural; mas sempre existe a metaciência, na qual cabe questionamento sobre o tema a depender do ponto de vista de cada pessoa. Na perspectiva materialista, que parte da existência e identifica leis naturais que regem as coisas, não há necessidade de intervenção de qualquer ente externo ou superior. Em oposição, há aqueles com ponto de vista puramente religioso, e todos os tipos intermediários, de um extremo a outro. Claro que não se pode chegar a uma resposta única, mas, de fato, verifica-se uma superposição, o tipo de questionamento que se faz nesta direção, vamos dizer, mais teórica: o que começou? Como começou? De onde veio? É o mesmo questionamento dos dois lados! Para uns, é o livre-arbítrio; para outros, a alma, cada um tem a sua resposta. A ciência também experimenta seus limites e é bom ter o sentido das proporções para não cair no cientificismo. A mecânica quântica relata que, se eu estivesse no mundo quântico, uma folha de papel que está aqui poderia estar numa outra posição ao mesmo tempo, e eu não saberia exatamente em qual posição ela estaria, só podendo determinar a coisa em termos de probabilidade. Isso quer dizer que existem aspectos das leis que são meio “borrados”, nebulosos, imprecisos; a matemática descreve perfeitamente qualquer processo? É questão de acreditar que é possível descrever perfeitamente um processo e que se pode antever resultados. Na verdade, as pessoas antigamente acreditavam até mais, eram mais crédulas; o mundo era mais determinista e hoje é mais probabilístico. Agora, essa coisa de descrição perfeita é uma questão de credo, isso é metaciência.

E.: O cientista J. Robert Oppenheimer (1904-1967), líder do Projeto Manhattan, que desenvolveu a primeira bomba atômica, afirmou certa vez: “Eu me tornei o destruidor dos mundos.” O próprio Einstein tentou dissuadir o governo Roosevelt quando percebeu que estava aberto o caminho para o perigo nuclear. Qual a responsabilidade e o compromisso ético dos cientistas ao desenvolverem suas teorias e pesquisas, uma vez que estas podem estar vinculadas a interesses econômicos de primeira magnitude ou do complexo político-militar? A ciência se teria transformado numa arma em potencial?

E.A.: Isso também é uma questão extremamente complicada; na verdade, não existe uma ética estabelecida, até porque, no mundo moderno, a ética é cada vez mais fluida. Embora as pessoas a tenham, e eu saiba o que é ética, reconheço que o mundo atual não é pautado por ela, uma vez que ética diz respeito a uma questão muito mais humana. Se atentarmos para o cientista trabalhando para o governo dos Estados Unidos, ele certamente terá uma ética diferente da do cientista muçulmano, simplesmente por eles terem uma visão de mundo muito distinta; muitas dessas questões foram pensadas e repensadas, como a bomba atômica: ninguém sabia exatamente o que ela poderia causar, mas havia cientistas importantes dos dois lados do conflito. Na Alemanha, havia Heisenberg, o garoto prodígio da mecânica quântica, que concebeu coisas incríveis, em particular o princípio da incerteza. Embora estivesse trabalhando em um projeto de bomba na Alemanha, o grau de seu envolvimento nunca

ficou devidamente esclarecido. Sabe-se que ele era contra a construção da bomba; mas como alemão, num país em guerra, não queria “passar para o outro lado” e se fazer traidor de sua família, de seu país, o que é compreensível. É claro que isso é uma questão difícil para um ser humano naquela situação; realmente, eu não sei o que faria se estivesse, por exemplo, na pele de Heisenberg que, com seu conhecimento, sua cultura, via-se compelido a trabalhar para um governo nazista; tendo

sua família lá, seus filhos... tinha de tomar uma decisão: qual seria a melhor escolha? No começo da década de 1980, recém-formado como professor, fui a uma conferência na Europa a que alguns desses grandes nomes compareceram; estavam lá Dirac,⁸ bem velhinho, Wigner,⁹ também com bastante

idade, e havia uma outra pessoa, o professor Edward Teller, um cientista que havia trabalhado no Projeto Manhattan e, depois deste, participado do projeto da bomba de hidrogênio. Na época – acho que do governo Reagan –, ele era um ardoroso defensor das armas nucleares e da tese de que os Estados Unidos deviam ter um projeto armamentista e enfrentar, com armas, a ameaça comunista.¹⁰ Ele era húngaro...

E.: Poderíamos falar em um legado de Einstein à ciência e outro à sociedade? Seria possível e adequada tal separação?

E.A.: Ele foi responsável por grandes contribuições, mas devemos notar que dificilmente um pesquisador consegue dar um grande salto sozinho. Einstein foi um grande nome da Física, que pôde trabalhar com excelentes companheiros de pesquisa, tendo chegado a resultados revolucionários.

“A ciência também experimenta seus limites e é bom ter o sentido das proporções para não cair no cientificismo.”

rios. Do ponto de vista dos fundamentos da física, a relatividade e a mecânica quântica foram os dois grandes pilares, e ele contribuiu para ambas, inclusive para as correlatas Mecânica e Estatística. As contribuições de Einstein na relatividade foram diretas, em especial toda a reinterpretção da relatividade geral, uma obra praticamente só dele; na mecânica quântica, seus questionamentos levaram a uma melhoria da interpretação dos fenômenos. Houve outros aspectos técnicos e questionamentos em que ele teve grande participação, como, no modelo estatístico que veio a chamar-se Bose-Einstein, proposto pelo físico indiano Satyendra Nath Bose e aplicado por Einstein em suas teorias sobre a mecânica dos fótons; da mesma forma, as conclusões expressas em seu *paper* de 1905 sobre o movimento browniano, continuam até hoje válidas tecnicamente. Ele também deixou importante legado, ao escrever uma série extensa de trabalhos entre 1905 e 1916 – cerca de meia centena –, nos quais se encontram as mais variadas contribuições. Mas Einstein foi o “carro-chefe” e muita gente veio com ele; de fato, o mundo não foi mais o mesmo depois dessas teorias; tudo que temos à nossa volta é tecnologia nova que advém, principalmente, da mecânica quântica e da relatividade. Em termos de legado científico, sem dúvida, a invenção da física moderna é o principal. A partir dela, inaugurou-se um novo mundo, que guarda pouca semelhança com o do século XIX. Se observássemos a história como um filme dos vários séculos, não seria muito fácil dizer: este é o século XVI, este é o XVII, este é o XVIII, seria preciso ter um certo “olho” para detalhes característicos; mas entre o XIX e o XX é muito mais fácil, é questão de ver se existe carro ou não, se existe telefone nas casas ou não, se tem avião ou não, se há computador ou não, se tem satélite de comunicação e internet ou não – isso é imediato, ou seja, a revolução na Física desencadeou uma revolução na vida das pessoas, e este é o legado mais amplo

de Einstein: o mundo novo que se abriu a partir de seu trabalho e de seus pares.

E.: Em que medida a sociedade, governos e instituições devem influenciar o desenvolvimento científico? A ciência, afinal, é uma “prestadora de serviços” para a sociedade ou, digamos, está acima de influências políticas, econômicas e mesmo sociais? Em outros termos, qual é a ética que a preside?

E.A.: Há várias vertentes, uma delas é a do conhecimento; para que serve o conhecimento? Se tirarmos o conhecimento do homem, na verdade, acho que acabamos com ele. Existe, de fato, uma aplicação, até financeira, na ciência que tem como meta a tecnologia de futuro; esse futuro pode ser um mês, um ano, uma década, um século. Então há certas questões levantadas pela teoria da relatividade que estão sendo postas em prática apenas hoje. O exemplo que sempre dou é o GPS. Ele precisa de correções das Teorias da Relatividade Especial e Geral – senão não funciona – e demorou um século para ficar disponível. É claro que, como a nossa vida média não chega a isso, não se pode determinar que uma pessoa desenvolva, por exemplo, a teoria da relatividade visando a obter lucro depois. Essa aplicação tem que ser de toda a sociedade; então, se pensarmos em ciência, tendo a tecnologia como resultado final, de fato, os governos é que terão de pagar porque toda a sociedade é que sustenta e eventualmente se beneficia disso. Nenhuma sociedade sobreviveu sem o conhecimento, que, em conjunto com a religião, os mitos e as crenças, compõe um material inerente ao homem. Acredito que, sem isso, estaremos transformando um mundo, que é plural, num ambiente só financeiro; algumas pessoas até tentam, mas acredito que em nenhuma sociedade isso seja possível. Quando falamos da necessidade de conhecimento, não nos referimos apenas ao cien-

tista; o leigo também precisa conhecer e tem esse direito, pois paga impostos. Deve saber que, ao pagar Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), 10% é destinado para a universidade e para a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), o que está sendo feito com esse dinheiro, onde é investido e qual o retorno (em profissionais, em pesquisa).

E.: A evolução tecnológica existente é resultado da própria evolução da ciência. Muitas vezes, uma pesquisa científica não se desenvolve pela falta de recursos, sejam financeiros ou técnicos. No caso do Brasil, qual é o atual quadro de recursos disponíveis?

E.A.: Em nosso estado considero que a FAPESP tem, de fato, financiado aquilo que deveria financiar. Eu, por exemplo, não posso reclamar, pois aquilo de que preciso eu tenho. Todos os estudantes de mestrado e doutorado têm bolsa, há pós-doutores trabalhando aqui, fora o maquinário, que também está de acordo. Para os experimentais, é claro, é um pouco mais difícil porque as cifras são necessariamente mais elevadas. O desagradável, que ocorre até no meio científico, é a contaminação com problemas ligados a verbas e licitações, que envolvem corrupção em outras esferas do governo e respingam dentro do nosso meio.

No resto do Brasil, a situação não é tão tranquila. No Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) é mais complicado, situação comum em questões ligadas ao governo federal. No começo do ano, o responsável pela área nos relatou que havíamos perdido 50 milhões

de reais; bem, 50 milhões não são 50 reais... Para a FAPESP, por exemplo, orçamento anual é algo em torno de 500 milhões ou um pouco menos do que isso. Comparativamente, 50 milhões é muito dinheiro. Claro, dizer que o dinheiro está “perdido” é dizer que ele não virá para a área. Aí entram o Congresso e os interesses difusos, “o Palocci não liberou a verba,” o dinheiro que está “contingenciado” etc. Então, lidar com o governo federal é bem complicado, o pesquisador sofre bastante com o problema de verbas e alocação de recursos.

No Estado de São Paulo, eu diria que temos mais ou menos o que precisamos. Se perguntarem se estou satisfeito com o meu salário, vou dizer que mereço ganhar mais; enfim, precisamos ser realistas; afinal estamos em um país que não é de mi-

lionários. Posso dizer que não passo fome, tenho mais ou menos aquilo que quero, mas gostaria de ganhar mais. Aliás, todos nós. Apesar disso, não vou sair por aí com uma bandeira dizendo que não faço ciência porque não tenho dinheiro, pois isso é mentira. Se me perguntassem se poderíamos fazer algo melhor com um bilhão de dólares, diria que sim, pois dinheiro para pesquisa nunca é demais. Mas, essencialmente, temos o que precisamos e os pedidos estão sendo atendidos.

E.: Levando-se em consideração que cada vez mais estudos e pesquisas são direcionados conforme sua exposição na mídia, e esta, cada vez mais vinculada às “necessidades de mercado”, qual é o peso que a divulgação científica tem para o desenvolvimento da própria ciência? Corre-se o risco de mediatização da ciência para viabilizá-la social e academicamente?

“[...] a revolução na Física desencadeou uma revolução na vida das pessoas, e este é o legado mais amplo de Einstein [...]”

E.A.: Todos os aspectos são importantes, principalmente a divulgação do que é pesquisado. Publicar trabalhos científicos significa que a informação circula em nosso meio. É uma maneira de avaliar se o outro está certo ou não, se produziu algo importante. É um instrumento que, além de propiciar a troca de informações, permite verificar a sua veracidade pelos pares, no meio científico. Trata-se de uma ferramenta do mais alto nível, que possibilita expandir esse horizonte de troca entre cientistas de diferentes áreas. Esse intercâmbio é importante para que o cientista possa, por meio da leitura, familiarizar-se com o que está acontecendo e com o que está sendo discutido, sua relevância no mundo das idéias. E hoje é algo que circula no mundo todo.

No que se refere à questão da divulgação para a sociedade, principalmente dos temas não diretamente vinculados à física como, por exemplo, o debate sobre as células-tronco e a pesquisa com embriões, que suscitaram discussões no Congresso, por ocasião da votação da Lei da Biodiversidade, querendo ou não, a sociedade fez pressão para que o que estava sendo votado fosse mais discutido. Isso sensibilizou pesquisadores e especialistas, e o debate se ampliou, ganhando espaço na mídia. Sem tornar-se refém, sem se deixar pautar pela mídia, que é muito poderosa, a ciência deve aproveitar melhor os espaços e quebrar esse bloqueio de comunicação com a sociedade, tal como foi experimentado naquele episódio. Foi uma coisa interessante.

Se as teorias científicas, como as elaboradas por Einstein, deram à ciência prestígio e atenção incomparáveis, por que há cada vez menos cientistas, estudiosos e pesquisadores?

E.A.: Este é um fenômeno mais recente e entristecedor. O fato é que a ciência ganhou muito

com a Guerra Fria; a Física ganhou muito – há muita gente trabalhando em armas, na indústria bélica, em segurança e defesa. Então, houve uma demanda de cientistas para esses fins. Ocorreram duas guerras mundiais, quase em seqüência, depois guerras regionais, que volta e meia eclodem, a Guerra Fria... o tempo todo havia cientistas trabalhando, a ciência se desenvolveu, mas o cientista-pesquisador foi cada vez mais se tornando um profissional de mercado e ganhando cada vez menos. Atualmente, vivemos numa cultura hedonista, na qual o dinheiro vale muito. Eu, por exemplo, tenho um carro de 20 anos, as pessoas perguntam por que não troco esse carro. Bem, estou satisfeito com ele, mas vejo que há gente que não se satisfaz se não trocar de carro todo ano. Pode parecer um exagero meu, mas o fato é que não dá para trocar de carro todo ano sendo pesquisador, cientista. Hoje você ouve que alguém investe 1 milhão de dólares no mercado financeiro; ora, antigamente 1 milhão de dólares era uma quantia estratosférica; você queria ter o seu emprego definido, dedicar-se a uma pesquisa etc. e isso já era uma conquista e tanto; hoje, não. Você ouve o jovem dizer: quero ganhar não sei quantos mil dólares, euros etc. A vida do cientista é, em termos financeiros, um pouco mais modesta; não estou reclamando de passar fome, estou satisfeito com a situação; mas se você pensa que vai ficar rico trabalhando com ciência, como pesquisador, isso não vai acontecer.

Ninguém aqui está com saudade dos tempos da Guerra Fria (risos), mas nossa situação, hoje, é bem complexa. Quando aquele período se encerrou, houve uma debandada de profissionais para o mercado a fim de ganhar muito dinheiro em curto espaço de tempo; a pesquisa financiada pelo setor privado cresceu e impôs aos profissionais uma visão de mercado, que redefiniu o papel das pesquisas e estabeleceu a forma de remuneração e avaliação desses profissionais. Enfim, ficou mais complicado “viver da ciência”; a visão de mundo mudou.

Notas

- 1 (N. Ed.) Cromodinâmica quântica (QCD, do inglês *quantum chromodynamics*) é uma teoria física que descreve uma das forças fundamentais, a interação forte. Possui uma propriedade especial chamada liberdade assintótica e foi proposta primeiramente nos anos 1970 por David Politzer, Frank Wilczek e David Gross como uma teoria que descreve a estrutura dos prótons, nêutrons e partículas similares. Ela é uma teoria quântica de campos que descreve a interação dos *quarks* e dos glúons. De acordo com esta teoria, o caráter da interação forte é determinado por uma simetria especial entre as cargas da cor dos *quarks*. Embora as expansões perturbativas sejam importantes para o desenvolvimento da QCD, ela também prediz muitos efeitos não-perturbativos, tais como o confinamento, os condensados fermiônicos e os instantons. A cromodinâmica quântica é uma parte importante do modelo padrão da física de partículas. Seu nome vem da palavra grega *chromos* (cor). Este nome é relevante porque a carga dos *quarks* é geralmente referida como “cor”, embora não seja relacionada com a percepção visual da cor. Por seus trabalhos na cromodinâmica quântica, Gross, Wilczek e Politzer receberam o prêmio Nobel de Física em 2004.
- 2 (N. Ed.) James Clerk Maxwell (1831-1879), físico britânico que demonstrou que as forças elétricas e magnéticas são dois aspectos diferentes do mesmo fenômeno, o eletromagnetismo. Maxwell mostrou que os campos magnético e elétrico atravessam o espaço, sob a forma de ondas, à velocidade constante de 3×10^8 metros por segundo (m/s) – velocidade da luz. Segundo sua concepção, a luz é uma forma de radiação eletromagnética.
- 3 (N. Ed.) A eletrodinâmica quântica foi a evolução natural das teorias da antigamente chamada “segunda quantização”, isto é, quantização dos campos, ao ramo da eletrodinâmica. As teorias quânticas de campo são necessariamente relativísticas, já que, admitindo-se que haja partículas mensageiras na troca de energia e momento mediados pelo campo, essas mesmas partículas, a exemplo do fóton (que historicamente precedeu a descoberta das teorias de quantização do campo), devem deslocar-se a velocidades próximas ou igual à da luz no vácuo ($c = 299.792.458$ m/s). A eletrodinâmica quântica se desenvolveu a partir dos trabalhos de Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger e Richard Feynman, que receberam o prêmio Nobel em 1965.
- 4 (N. Ed.) O físico holandês Gerardus 't Hooft recebeu o Nobel de Física, em 1999, com seu compatriota Martinus J. G. Veltman, pela elucidação da estrutura quântica da Física de interações eletrofracas.
- 5 (N. Ed.) A teoria quântica de campos é a aplicação conjunta da mecânica quântica e da relatividade aos campos que fornece uma estrutura teórica usada na física de partículas e na física da matéria condensada. Em particular, a teoria quântica do campo eletromagnético, conhecida como eletrodinâmica quântica (tradicionalmente abreviada como QED, do inglês *quantum electrodynamics*), é a teoria provada experimentalmente com maior precisão na Física. Resumidamente, pode-se dizer que a teoria quântica dos campos (chamada anteriormente de segunda quantização) realiza a quantização dos campos, ao passo que a mecânica quântica apenas realiza a quantização da matéria. A teoria quântica dos campos considera tanto a matéria (hádrons e léptons) quanto os condutores de força (bósons mensageiros) como excitações de um campo fundamental de energia mínima não-nula (vácuo).
- 6 (N. Ed.) Ver nota sobre a geometria riemanniana.
- 7 (N. Ed.) Bernhard Riemann concebeu um novo conceito de geometria que permitiu a Einstein elaborar a Teoria da

Relatividade Geral. Em uma “geometria plana” (espaço euclidiano), essa curva é um segmento de reta, mas em “geometrias curvas” (geometria riemanniana), muito utilizadas, por exemplo, na Teoria da Relatividade Geral, a curva de menor distância entre dois pontos pode não ser uma reta. Para entender isso, tomemos como exemplo de geometria curva um globo. Se traçarmos uma linha ligando dois pontos distintos da superfície desse globo, perceberemos que essa linha não é reta, e sim uma curva. Uma geodésica é uma curva que une dois pontos de maneira que para pequenas variações da forma da curva o seu comprimento é estacionário. Do ponto de vista prático, na maioria dos casos, a geodésica é a curva de menor comprimento que une dois pontos.

- 8 (N. Ed.) Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), matemático britânico. Para seu doutorado em Cambridge, desenvolveu uma versão da mecânica quântica que combinava a “mecânica matricial”, de Heisenberg, com a “mecânica ondulatória”, de Schrödinger. Em 1928, criou a chamada equação de Dirac que descreve o comportamento relativístico do elétron, e lhe permitiu prever a existência da antipartícula deste, o pósitron, que foi observada experimentalmente em 1932. Com Schrödinger, recebeu o prêmio Nobel de Física, em 1933.
- 9 (N. Ed.) Eugene Paul Wigner (1902-1995), físico e matemático húngaro. Recebeu o prêmio Nobel de Física em 1963 por suas contribuições para a teoria do núcleo atômico e partículas elementares, particularmente pela descoberta e aplicações dos princípios fundamentais de simetria.
- 10 (N. Ed.) O que posteriormente ganhou materialidade no projeto “Guerra nas Estrelas” do governo Reagan.

Referências

EINSTEIN, A. Science, philosophy, and religion: a symposium. In: THE CONFERENCE ON SCIENCE, PHILOSOPHY AND RELIGION IN THEIR RELATION TO THE DEMOCRATIC WAY OF LIFE. *Memorable Albert Einstein Quotes*. New York: 1941. Disponível em: <<http://www.asl-associates.com/einsteinquotes.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2005.

STRAUMANN, N. On Einstein's doctoral thesis. 29 apr. 2005. In: COLLOQUIUM OF ETH AND THE UNIVERSITY OF ZÜRICH. 27 apr. (2005). *Arxiv.org*. Disponível em: <http://br.arxiv.org/PS_cache/physics/pdf/0504/0504201.pdf>. Acesso em: 5 maio 2005.

VIERECK, G. S. What life means to Einstein. *The Saturday Evening Post*, Indianapolis, 26 out. 1929. Disponível em: <<http://www.fys.ku.dk/~raben/einstein>>. Acesso em: 25 abr. 2005.

(Colaboraram para esta entrevista: Alexandre Rigotti da Silva, Darius Roos, Eduardo Santos e Júlio César Dutra).

Para referenciar este texto:

ABDALLA, E. Tecnologia e ciência no centenário do annus mirabilis de Einstein. *Entrevista. Exacta*, São Paulo, v. 3, p. 13-25, 2005.