

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 $E = h\nu$, 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 subseqüentes 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.