

descolar. Isto exige uma pista de descolagem de factos respeitantes à história e ao estado presente da ciência, com os quais o investigador está relacionado. Tais factos não são relevantes para a sofisticada apreciação profissional do voo intelectual e das manobras lógicas subsequentemente demonstrados. Mas o filósofo da ciência que não conhece intimamente a história do problema científico com o qual está preocupado não está sequer no ar. A sua perícia analítica pode ser admirável, mas não nos leva a parte alguma.

Assim, a história da ciência e a filosofia da ciência não estão logicamente relacionadas: pretender que estão seria subestimar ou não compreender a falácia genética. Mas o risco de inferir que não há, por conseguinte, absolutamente nenhuma conexão entre as duas, é o risco de que os filósofos da ciência podem não saber sobre o que é que estão a falar, um veredicto que nenhum de nós pode aceitar em silêncio.

Gerald Holton

## OS TEMAS DO PENSAMENTO CIENTÍFICO (\*)

---

(\*) Publicado em *Scientific Imagination: Case Studies* (1978); agradece-se a amável autorização de Zahar Editores, S. A.

Quando um especialista da história das ciências, ou filosofia, sociologia ou psicologia das ciências estuda o resultado do trabalho científico — uma memória publicada, notas de laboratório, a transcrição de uma entrevista, uma troca de correspondência —, este estudo trata, no geral e no essencial, de um *acontecimento* <sup>(1)</sup>. Podemos distinguir pelo menos oito aspectos diferentes num tal acontecimento, correspondendo cada um a um tipo de problemática diferente para a investigação.

---

(1) Retomamos aqui uma exposição feita na altura das reuniões que marcaram o 25.º aniversário da History of Science Society (1974). Uma versão um tanto resumida foi publicada em *Science*, 188, Abril de 1975, pp. 328-334. Quando da reunião da History of Science Society, Robert K. Merton tinha sido convidado a fazer comentários à minha intervenção, que também foram publicados («Thematic Analysis in Science: Notes on Holdon's concept», *Science*, 188, Abril de 1975, pp. 335-338). Recomenda-se a sua leitura em complemento à presente exposição. Entre outras, Merton aborda a questão da análise temática enquanto perspectiva e instrumento para a historiografia das ciências e a dos paralelos entre a análise temática em história das ciências e em sociologia das ciências.

O primeiro aspecto é, claro, a apreensão do conteúdo científico deste acontecimento numa dada época, nos termos correntes desta época, assim como, separadamente, nos termos com que agora consideramos a questão. O que é que estava em jogo nas palavras do cientista considerado? De que é que ele se ocupava? Para isso tentamos estabelecer qual era o seu conhecimento (no quadro do saber científico público na época do acontecimento) dos factos, dados, leis, teorias, técnicas e corpos de doutrinas ditos científicos. Devemos também incluir aqui a maior parte das pesquisas históricas sobre o que se designa por concepções científicas do mundo, os casos exemplares e o programa de investigações. Mas o essencial das preocupações dos historiadores, como dos cientistas, é ainda o apuramento dos conceitos e proposições que se ligam ao acontecimento estudado e a sua tradução em termos empíricos e analíticos.

O segundo aspecto é a trajectória, no tempo, do estado do conhecimento científico comum (isto é, «público» mais do que «privado») até à época do acontecimento, ou mesmo para lá dela. Estabelecer esta trajectória significa traçar a Linha do Universo (\*) de uma ideia ou de um tema de pesquisa, linha em que o acontecimento (*E*) é um ponto. Quer consideremos o problema da queda dos corpos, de Kepler a Newton, ou o florescimento

---

(\*) «Linha do Universo» é, nos termos da teoria da relatividade, uma expressão que designa uma trajectória espaço-tempo. (*N. T.*)

da electrodinâmica quântica de Feynman até ao último número da *Physical Review Letters*, trata-se aqui de estudar os antecedentes, os desenvolvimentos paralelos, as continuidades e as descontinuidades, e assim sucessivamente. Esta restituição da evolução dos conceitos e do «contexto de justificação» representa para quem se ocupa da história das ciências, ou de ensino científico que se interessa pela dimensão histórica, a actividade mais coerente e mais fundamental.

O terceiro aspecto é o lado pessoal, mais efémero, da actividade em que *E* se vem inserir. Consideramos então o contexto de descoberta, procurando apreender o «instante de génese», sobre o qual podemos encontrar poucos documentos explícitos e que o próprio protagonista pode não ter necessariamente discernido, nem compreendido. Se exceptuarmos os trabalhos acerca de algumas figuras, como Kepler ou Einstein, este tipo de investigação suscitava até há pouco uma certa irritação entre os cientistas e os filósofos. As próprias instituições da ciência — o modo de publicação, as reuniões, a selecção e a formação dos jovens investigadores — são concebidas para restringir ao mínimo a tomada em consideração deste componente. O próprio sucesso da ciência, enquanto actividade susceptível de ser compartilhada, parece ligado a este desinteresse a que Einstein chamava «o combate pessoal». Além disso, a contradição entre a natureza frequentemente «ilógica» da descoberta propriamente dita e o carácter lógico dos conceitos físicos plenamente constituídos é sentida por alguns como

uma ameaça às próprias bases da ciência e da racionalidade.

A via alternativa não é fácil. Numa das suas entrevistas, Einstein instou com os historiadores das ciências para que se concentrassem na compreensão do que os cientistas procuram atingir, de «qual era o seu modo de pensar e de tratar os problemas que se põem». Mas indicou que isso exigia que se tivesse uma visão suficiente — uma espécie de sensibilidade cultivada — do conteúdo da ciência, assim como do processo de investigação científica, já que os factos concretos sobre a fase de criação seriam provavelmente poucos. E observou ainda que, tal como na física, a solução do problema historiográfico deve ser procurada por procedimentos indirectos, de que se poderá esperar, na melhor das hipóteses, não uma certeza mas uma forte «probabilidade» de estar, «de qualquer modo certo» (2).

O quarto componente da pesquisa histórica é o estabelecimento da trajectória temporal dessa actividade científica, em grande parte «privada» — as continuidades e as discontinuidades da evolução pessoal, a elaboração da ciência tal como é vivida pelos próprios cientistas, face às suas dificuldades. O acontecimento *E* no momento *t* aparece então como a intersecção de duas trajectórias, de duas Linhas do Universo, uma correspondente à «ciência

(2) Cf. G. Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press. 1973, pp. 276-278.

pública» ( $S_2$ ), a outra à «ciência privada» ( $S_1$ ), para usarmos uma terminologia cómoda, sem que seja preciso procurar mais do que o que lá colocámos (3).

Em quinto, temos — paralelamente à trajectória  $C_1$  e confundindo-se com ela como um dos seus limites — uma faixa que traça a evolução psicobiográfica do indivíduo cujo trabalho se está a estudar. Aqui se aborda o novo e sugestivo domínio da investigação das relações entre a obra científica de um indivíduo e os aspectos mais pessoais da sua existência.

Em sexto, e inevitavelmente, temos o estudo sociológico do meio, das condições ou das influências relativas às relações entre colegas, à dinâmica do trabalho de equipa, ao grau de profissionalização

(3) Os conceitos de «ciência privada» e de «ciência pública» (de «actividade científica privada» e «pública») foram objecto de uma apresentação circunstanciada em G. Holton, *ibid.*, pp. 17-24 e 387-395. Nas suas observações à minha exposição inicial, Robert K. Merton assinala, com razão, que termos semelhantes são utilizados noutros campos em acepções distintas. O que chamamos «actividade científica privada» neste contexto remete essencialmente para os aspectos do «instante de génese» da descoberta, que geralmente não se integra na «ciência pública» das revistas científicas e monografias (Merton, *ibid.* nota 1, p. 337). Como indica Merton, os sociólogos que estudam os tipos de identidade nos cientistas usam a expressão análoga «cientistas privados» (*private scientists*), que aplicam às pessoas, em geral empregadas nos laboratórios de investigação industrial, que «dão pouca importância à publicação» e não se inquietam com a caução, ou corroboração, da comunidade científica.

numa dada época e aos modos institucionais de financiamento, avaliação e homologação. Considera-se então o domínio dos estudos de política científica e o da sociologia das ciências, no sentido mais estrito.

Em sétimo, temos uma faixa semelhante, que acompanha as trajectórias de  $S_1$  e de  $S_2$  e se confunde com elas, que corresponde às mudanças culturais extracientíficas, exercendo influência sobre as ciências ou sendo influenciada por elas, que põe a questão das relações de retroacção no seio das entidades ciência-técnica-sociedade, ciência-ética e ciência-literatura.

Finalmente, há a análise lógica da obra em estudo. No que se refere à minha experiência pessoal, primeiro enquanto estudante de P. W. Bridgman e de Philipp Frank, depois como colegas, o interesse que atribuo e a importância que dou a uma análise, conduzida de um modo válido, da lógica da ciência, precedem de facto o trabalho de análise de um caso nos seus aspectos mais estritamente históricos.

Estes oito domínios de estudo não estão rigorosamente separados. Na verdade, cada um exige uma especialização própria, tendo-se por isso constituído de um modo distinto no plano operativo. Seria fácil referir os nomes dos que se distinguiram em cada um destes domínios e fazer o ponto das orientações mais promissoras; mas deve reconhecer-se, com maior ou menor agrado, que a análise de uma questão de história das ciências nas suas componentes separáveis, e em todas as suas ambiguidades

e conexões interdisciplinares, decorre afinal de uma estratégia reducionista, a que somos constringidos, ou condenados, pelos nossos limites de seres humanos.

#### *Para uma análise temática*

O método que consiste em tratar entidades complexas por análise ou por redução foi utilizado desde os começos da própria ciência — por exemplo, na passagem, no segundo dia do *Diálogo* de Galileu, em que Salviati e Simplicio discutem o movimento de um objecto que cai do mastro de um navio em movimento. Simplicio recusa a ideia, proposta por Salviati, de analisar este movimento em dois componentes, um vertical e o outro horizontal, um para a queda livre em direcção ao centro da Terra, o outro com uma velocidade constante na direcção do movimento inicial. Talvez se deva atribuir a resistência de Simplicio ao pressentimento de que é todo o método de análise e redução que se encontra mal fundamentado e que ele não é mais necessário do que qualquer outro tema metodológico ou, dito de outro modo, que não é nem verificável nem refutável; que a sua utilidade dependerá inteiramente do momento a partir do qual se considerem os seus resultados satisfatórios.

Sabemos hoje que Salviati exagerava muito. Na elucidação do movimento e das suas causas, a análise do deslocamento de um corpo na sua queda em dois componentes é apenas o primeiro passo

de um encadeamento analítico essencialmente infinito. Se quisermos conhecer mais detalhes deste deslocamento temos de considerar outras leis. A aplicação da força de Coriolis implica um desvio para leste. É preciso recorrer às leis da queda dos corpos em meios reais, para diversos valores do número de Reynolds, para calcular os efeitos do atrito e da turbulência. Quanto mais o nosso conhecimento pretende ser detalhado, mais a análise tem de ser complexa. Um tal processo teria conduzido a uma regressão ao infinito caso o nosso século não tivesse inventado uma navalha de Occam para impedir os efeitos secundários, abaixo de um certo limite. A física quântica fornece um modo de o fazer, com o princípio de incerteza e o valor finito da constante de Planck, em virtude dos quais qualquer interrogação mais ambiciosa não teria sentido.

Podemos tirar daqui outra lição. Os dois componentes que Salviati distinguiu, por plausíveis que fossem — e fosse qual fosse a utilidade que revelassem —, não estavam dotados de nenhuma necessidade demonstrável, de modo a prevalecerem sobre qualquer outro grupo de dois ou mais componentes imagináveis para o deslocamento. Se refiro isto, é porque estou disposto a aceitar que a minha própria lista de componentes não deve ser tomada para a exposição de uma qualquer, e sacrossanta, Via Óctupla (\*). Muito pelo contrário, um dos meus

(\*) «Via Óctupla» é uma expressão que se refere à teoria das partículas elementares de Gell-Mann, segundo a qual certas partículas são classificadas por famílias que são constituídas por oito membros. (N. T.)

motivos, ao elaborar a lista, foi mostrar que ela é incompleta num aspecto importante. Noutros termos, há um grupo de questões de enorme interesse (pelo menos para mim) cuja abordagem não poderia, sem artificios, fazer-se neste esquema óctuplo e que põe em evidência uma correspondência entre a actividade científica e os trabalhos mais literários, correspondência que poucos estudaram até hoje.

Qualquer lista destas questões deveria comportar as seguintes: o que há de invariante nas permanentes mutações da teoria e prática científicas, o que é que faz delas uma mesma e continuada empresa, apesar das transformações aparentemente fundamentais, quanto aos seus elementos e centros de interesse? Quais são os princípios cujo valor subsiste para a ciência, muito depois de as teorias em que se inserem terem sido abandonadas? Que fontes de energia garantem a vivacidade, durante décadas, de certas controvérsias científicas? Por que é que certos sábios arriscam tanto para salvaguardar um modelo de interpretação, ou um princípio «intocável», quando as próprias indicações experimentais os contradizem?

A que é que se deve que, no seu foro íntimo, os cientistas frequentemente não admitam a dicotomia entre o contexto de verificação e o de descoberta e publicamente o aceitem? Se é verdade, como pensava Einstein (4), que o processo de for-

(4) G. Holton, *The Scientific Imagination: Case Studies*, Cambridge, Univ. Press, Cambridge, 1978, cap. III, «Dionysians, Appolonians and the scientific imagination», pp. 84-110.

mulação de leis por dedução pura «ultrapassa de longe as capacidades do entendimento humano», o que é que orienta a passagem, o salto do abismo que separa a experiência dos princípios elementares? O que é que encobrem as opções manifestamente quase estéticas, de certos cientistas, por exemplo, quando rejeitam como meramente *ad hoc* uma hipótese que para outros cientistas aparece como uma doutrina necessária? Estarão os motivos dessas opções confinados à imaginação científica, ou não?

Para tratar destas questões, proponho um *nono* componente da análise de uma obra científica: trata-se da análise temática (expressão que se nos tornou familiar nos usos próximos da antropologia, da crítica de arte, da musicologia e de outros domínios). Em muitos (talvez a maioria) dos conceitos, métodos, hipóteses ou proposições científicas, passados ou actuais, encontram-se elementos com função de temas, constringendo ou estimulando o indivíduo, determinando por vezes uma orientação, uma norma, uma polarização no seio de uma comunidade científica. No quadro das exposições públicas que os cientistas fazem dos seus trabalhos, e das controvérsias que se lhes possam seguir, esses elementos não estão, em geral, explicitamente em causa. Os conceitos temáticos não se encontram, geralmente, nos índices dos manuais, nem aparecem como tais nas revistas ou nos debates da especialidade. Estas discussões clássicas abordam essencialmente o conteúdo empírico e o conteúdo analítico ou, dito de outro modo, os fenómenos reprodutíveis e as proposições da lógica e das matemá-

ticas. Sugeri, numa analogia aproximativa, que se considerassem estes dois elementos como constituindo eixos de coordenadas em *X* e em *Y* de um plano, no qual parece desenvolver-se o essencial da discussão, dado que se conhece a «validade» de conceitos ou de proposições pela sua análise nestes dois componentes, «validade» no sentido em que há regras aceites de verificação ou de refutação dos enunciados formulados nesta linguagem.

Por exemplo, tomando a célebre experiência da gota de óleo de R. A. Millikan (\*), o problema posto de saber se as cargas eléctricas dos pequenos objectos são ou não sempre observadas em múltiplos de uma certa constante fundamental (designada carga do electrão), poderia, em princípio, ter sido rapidamente resolvido, chegando-se a uma conclusão sobre a natureza e as condições das observações ao telescópio, ou ao ultramicroscópio, do movimento de uma partícula no campo visual e sobre se — e como — seria preciso modificar a equação da lei de Stokes para a queda dos corpos de pequena dimensão, por extrapolação de um factor de correcção. Se isso fosse tudo, o prolongado debate sobre a existência de um hipotético «subelectrão» não teria ocorrido. Mas em 1910, e nos anos que se lhe seguiram, a polémica entre Millikan e os seus adversários desenvolveu-se, no cruzamento, por assim dizer, de duas Linhas de Universo. A análise das motivações declaradas de cada um dos prota-

(\*) Com esta experiência, Millikan conseguiu determinar, em 1910, a carga fundamental do electrão. (N. T.)

gonistas do debate e das suas posições cada vez mais definidas faz aparecer, neste caso como em outros, a importância do papel de uma adesão precoce, inabalável, a diferentes temas.

É possível, de acordo com a nossa muito aproximativa analogia, representar os temas que aparecem na ciência como situados numa dimensão ortogonal ao plano  $x-y$ , onde se pode proceder a uma verificação ou refutação que seria assim, de certo modo, um eixo dos  $z$  que se afastam dele. Embora o plano  $x-y$  satisfaça, na maior parte dos casos, as necessidades do discurso propriamente científico, o espaço tridimensional  $xyz$  é preciso para uma análise mais completa — seja do ponto de vista do historiador, do filósofo ou do psicólogo — dos enunciados, processos e controvérsias científicas. (Não pretendo introduzir considerações temáticas, nem uma consciência dos temas, na prática científica. Na verdade, uma das grandes vantagens da actividade científica é que, no plano  $x-y$ , muitas questões — por exemplo, sobre a «realidade» do conhecimento científico — não podem ser postas. Só quando se decidir que as questões deste tipo estavam deslocadas num laboratório é que a ciência terá começado a desenvolver-se rapidamente.) Podem distinguir-se, com utilidade, três usos diferentes dos temas: o conceito temático, ou componente temático de um conceito (os exemplos que analisei são o uso dos conceitos de simetria e de contínuo); o tema metodológico (como a preferência pela expressão de possibilidade ou impossibilidade de leis científicas em termos de invariantes,

de extremos ou de impossibilidades); e a *proposição temática*, ou *hipótese temática* (exemplificada por enunciados globalizantes, como a hipótese de Newton quanto à imobilidade do centro do Universo ou os dois princípios da teoria da relatividade restrita).

A atitude que tomei ao procurar identificar e ordenar os elementos temáticos no discurso científico é, em certa medida, comparável à do antropólogo, ou do especialista em tradições populares, que escuta narrativas épicas procurando descobrir as estruturas e as regularidades temáticas subjacentes. Apesar das imperfeições da comparação, ela não se limita a relações superficiais. Assim, é muito mais viável explicar as características de um debate entre adversários tendo presentes certos temas susceptíveis de serem obstinadamente defendidos do que tendo em conta o seu conteúdo científico ou o seu enquadramento social. O apego de físicos como H. A. Lorentz, Henri Poincaré e Max Abraham à velha concepção electromagnética do mundo e o seu embaraço face à teoria da relatividade avançada por Einstein compreendem-se bem mais facilmente quando se considera o éter como a concretização de conceitos temáticos (os de absoluto e de pleno, por exemplo). É assim que, no necrológio de Abraham, Max von Lane e Max Born escreveram com penetração:

[Abraham] sentia uma repulsa quase visceral pelas abstracções de Einstein. Ele amava o seu éter absoluto, as suas especulações de

campo, o seu electrão rígido, como se ama pela primeira vez quando se é jovem, com um amor que nenhuma experiência posterior poderia apagar [...]. A sua oposição fundava-se em convicções físicas, às quais permaneceu ligado tanto tempo quanto pôde, simplesmente devido à sua conformidade com a sua sensibilidade [...]. Tal como ele próprio então indicou, Abraham não tinha nenhum argumento para opor às coerências lógicas; admitia-as e admirava-as como sendo a única conclusão possível do plano da relatividade generalizada. Mas era um plano que lhe repugnava profundamente, e esperava que a observação astronómica viesse a infirmá-lo e a restabelecer as honras do velho éter absoluto (3).

Um resultado da análise temática que parece estar relacionado com o carácter dialéctico da ciência como actividade pública, que tende para um consenso, é a frequente aproximação de dois temas de um modo antitético, como acontece quando um adepto do tema do atomismo se confronta com um adepto do tema do contínuo. Os pares antitéticos ( $\Theta$ ,  $\bar{\Theta}$ ) — como evolução e involução, invariância e variação, complexidade e simplicidade, reducionismo e holismo, hierarquia e unidade, eficácia das matemáticas (da geometria, por exemplo)

(3) M. Von Lane e M. Born, *Physikalische Zeitschrift*, 24 (1923), p. 52.

oposta à eficácia dos modelos mecanicistas enquanto instrumentos de interpretação — distinguem-se com relativa facilidade, sobretudo nos casos que suscitaram polémica ou marcaram um considerável progresso relativamente ao nível dos trabalhos comuns.

Impressionou-me o facto de ser tão pequeno o número de temas, pelo menos em física. Suspeito que a recensão do total dos singulares, dos pares e das eventuais triades, não ultrapassará uma centena. O aparecimento de um novo tema é algo de extraordinário. A complementaridade, em 1927, e a quiralidade, nos anos 1950, são duas das mais recentes contribuições nesta categoria, em física. A isto pode ligar-se a antiguidade dos temas e a sua persistência através de todas as evoluções ou «revoluções» científicas. Foi assim que, nos começos do século xx, a propósito da «realidade molecular», ressurgiu a velha antítese do pleno e do vazio — na verdade, encontramos-a nos especialistas contemporâneos de física teórica. Podemos mesmo afirmar que, num futuro próximo, os progressos realizados serão, com toda a probabilidade, e por mais fundamentais que possam parecer, elaborados em conformidade com os temas actualmente em curso.

É possível que seja esta resistência ao tempo de um pequeno número de temas, assim como a sua difusão, num dado momento, no seio da comunidade, que garantam à ciência, apesar dos seus desenvolvimentos e mutações, a identidade permanente que, numa certa medida, ela conserva. A adopção interdisciplinar dos mesmos temas em diversos domínios da ciência é, para nós, uma indicação tanto

do significado da empresa no seu conjunto como do carácter comum do imaginário que aqui intervém.

### *Um exemplo*

Para ilustrar algumas observações precedentes e mostrar que os casos contemporâneos são, tanto como os históricos, passíveis de uma tal análise, vou focar particularmente um caso retirado de um dos domínios mais activos da física actual, tal como se apresenta nos escritos de Steven Weinberg (6). A linha que traça a evolução do pensamento de Weinberg corta a trajectória de um feixe de desenvolvimento na electrodinâmica dos *quanta*, iniciada em 1934 com Enrico Fermi, e que depois se desenvolveu com os métodos elaborados separadamente, nos fins dos anos 1940, por R. F. Feynman, Julian Schwinger, Freeman J. Dyson e Sinitiro Tomonago. Outros pontos de vista desta trajectória correspondem a descobertas efectuadas por grupos de trabalho do C. E. R. M., no Argonne Laboratory e no National Accelerator Laboratory. Numa óptica temática, o «acontecimento» que vamos estudar é apenas o último de uma série que vem de longe, anterior às revoluções e vitórias exaltantes, que vem desde o primeiro sábio de que a história conservou

(6) Por exemplo: S. Weinberg, «Recent Progress in Unified Gauge Theorie of the Weak, Electromagnetic and Strong Interactions», *Reviews of Modern Physics*, 46 (1974), p. 255.

o nome, e isto porque se trata, no essencial, de estabelecer o princípio constitutivo fundamental da matéria.

Resumindo, Weinberg, os seus colaboradores e outros grupos trabalhavam há algum tempo no problema de encontrar uma base comum aos quatro tipos de interacção (de «forças») que se pensa que explicam todos os fenómenos físicos: a interacção gravitacional entre todas as partículas; a força electromagnética que explica os fenómenos onde intervêm partículas carregadas, como a interacção da luz com a matéria; a força nuclear «forte» que age entre os numerosos membros da família de partículas elementares, os chamados hadrões (7), e a «interacção fraca», postulada para descrever as interacções de alcance extremamente curto de certas partículas elementares (como a difusão de um neutrino por um neutrão e a desintegração radioactiva do neutrão num protão, um electrão e um antineutrino).

Em 1967, Weinberg (e, independentemente, Abdus Salam em Trieste) colocou a hipótese de a força electromagnética e a interacção fraca estarem essencialmente ligadas. Pensou-se que cada um dos quatro tipos de interacção resultaria de processos assimiláveis a uma emissão ou uma absorção de partículas

(7) A família dos hadrões compreende os mesões (p. ex.,  $\eta^+$ ,  $\eta^-$ ,  $\eta^0$ ) e os bariões (que vão do protão e do neutrão até aos hiperões  $\Omega$ ). Não fazem parte os fótões e a família dos leptões — neutrinos, electrões e múões —, de massas mais fracas do que os hadrões.

entre dois objectos em interacção, sendo a partícula emitida ou absorvida característica em cada uma das interacções. É assim que os fenómenos electromagnéticos se devem à troca de um fóton, partícula sem massa, e que se pensa que a interacção gravitacional se deve à troca de partículas chamadas gravitões. A interacção fraca tem por mediação uma partícula, baptizada de bosão vector intermédio (BVI), cuja massa, caso se confirme a sua existência, deverá ser considerável<sup>(8)</sup>. Weinberg propunha que se considerasse o fóton, sem massa, e o BVI, de grande massa, como parentes próximos — que os BVI pertencem, em geral, à família do fóton, mas obtêm a sua massa (o que faz a sua diferença) associando-se a grupos de simetria «gange» quebrada.

Na altura em que Weinberg propôs esta teoria, «não havia — diz ele — nenhuma indicação experimental susceptível de confirmar ou infirmar, nem nenhuma perspectiva de a obter em breve»<sup>(9)</sup>. Hoje continua a não ser possível produzir directamente os BVI (por exemplo, nos aceleradores), mas assinalaram-se índices indirectos da sua existência. Num estudo publicado com a assinatura de cinquenta e cinco investigadores, pertencentes a sete instituições e trabalhando em colaboração europeia no labora-

(8) Há dois tipos de BVI: o vector bosão intermediário carregado, chamado partícula W; e o vector bosão intermediário neutro, ou partícula Z.

(9) S. Weinberg, «Unified Theories of Elementary-Particle Interaction», *Scientific American*, 231, n.º 1 (1974), p. 56.

tório do C.E.R.N.<sup>(10)</sup>, assinalou-se a descoberta de dois acontecimentos correspondendo à difusão de um neutrino-mu por um electrão e de várias centenas de acontecimentos correspondendo à difusão de um neutrino-mu por um neutrão ou um protão. (Este segundo tipo de reacção foi igualmente bem evidenciado no decurso de experiências realizadas mais recentemente no Argonne National Laboratory e no National Accelerador Laboratory.) É um índice de que a reacção de «corrente neutra» — um certo género de interacção fraca que faz intervir o BVI neutro postulado por Weinberg — se poderia produzir<sup>(11)</sup>, apoiando indirectamente a teoria que considera estas partículas membros da mesma família do fóton.

Além disso, poder-se-ia tratar as interacções fortes com os mesmos métodos de cálculo utilizados

(10) F. J. Hasert *et al.*, *Physics Letters*, 46 B, n.º 121 (1973), p. 138.

(11) Isto é, a colisão do neutrino-mu com um protão numa câmara de bolhas produz um neutrino-mu emergente (cuja trajectória não é vista na câmara), um protão (igualmente invisível) e uma partícula  $\eta^+$  (cuja trajectória se vê). Não há neste caso nenhuma transferência clara de cargas, como aconteceu nos processos de correntes carregadas: p. ex., quando um neutrino entra em colisão com um protão, produzindo um  $\mu^-$ , um protão e uma partícula  $\eta^+$ , neste processo há troca de uma unidade de carga eléctrica. As fotografias indicam um novo género de interacção fraca, em que um BVI neutro podia ser uma mediação. (Experiências feitas posteriormente estabeleceram a existência de correntes neutras, em rigorosa conformidade com as previsões decorrentes dos trabalhos de Weinberg e Salam, assim como de Sheldon Glashow — o que valeu a estes três físicos a atribuição do Prémio Nobel da Física em 1979).

para as interacções fraca e electromagnética. É possível, pois, que as interacções fortes resultem da troca de partículas que pertencem à mesma família que o fóton e o BVI. «Se estas conjecturas forem confirmadas pelo trabalho teórico e experimental que se seguirá — diz Weinberg na conclusão do seu estudo —, teremos avançado consideravelmente no sentido de uma visão unitária da natureza.» (p. 59; ver nota 9.)

Vejamos agora o começo deste mesmo estudo, intitulado «Unified Theories of Elementary-Particle Interaction», dando especial atenção aos temas. Quais são pois as concepções temáticas, os temas metodológicos e as hipóteses temáticas inerentes a esta procura dos BVI e a esta pertença de família que lhes dá ares de fótons? Examinando a primeira página do artigo<sup>(12)</sup>, podemos fazer a lista dos temas mais manifestos. Diz a introdução:

Uma das mais persistentes esperanças da humanidade tem sido a de descobrir algumas leis gerais de forma simples que expliquem por que é que a natureza, em toda a sua complexidade e diversidade, é como é. No mo-

<sup>(12)</sup> Nem todos os temas aparecem explicitamente; seria, por isso, preciso proceder a uma segunda leitura considerando articulações mais importantes. Acrescentemos que o facto de este artigo de Weinberg ter sido publicado numa revista relativamente popular, e não numa publicação científica destinada aos arquivos, favorece o nosso objectivo; por uma razão  $x$ , é quando se dirigem a um público de leigos que os cientistas são mais susceptíveis de revelarem os seus pressupostos temáticos, normalmente implícitos.

mento actual o que mais se pode aproximar de uma visão unitária é uma descrição em termos de partículas elementares e das suas interacções recíprocas. Toda a matéria vulgar é composta precisamente por essas partículas elementares simultaneamente dotadas de massa e de uma (relativa) estabilidade: o electrão, o protão e o neutrão. A estas é preciso acrescentar as partículas de massa nula: o fóton, ou *quantum* de radiação electromagnética, o neutrino, que tem um papel essencial em certas formas de radioactividade, e o gravitão, ou fusutem de radiação gravitacional [...].

O que chama logo a nossa atenção é a constatação de que «uma das mais persistentes esperanças da humanidade tem sido a de descobrir algumas leis gerais de forma simples», que permitam alcançar uma teoria que será «unitária» (a primeira palavra do título). A unificação, ou síntese, garantia de uma compreensão acrescida por aumento de economia do pensamento, pertence a um conjunto de temas conexos, sendo a multiplicidade (a complexidade ou a diversidade) um dos aspectos que se lhe opõe, mas tendo por tema antitético essencial a decomposição, ou análise, que se opõe à síntese. Cada um dos membros desta constelação tem a sua utilidade e encontra as suas aplicações. No caso que nos ocupa é a unificação que, manifestamente, conta. «(...) Porque é que a natureza, em toda a sua complexidade e diversidade, é como é». Kepler, que

# Unified Theories of Elementary-Particle Interaction

*Physicists now invoke four distinct kinds of interaction, or force, to describe physical phenomena. According to a new theory, two, and perhaps three, of the forces are seen to have an underlying identity*

by Steven Weinberg

One of man's enduring hopes has been to find a few simple general laws that would explain why nature, with all its seeming complexity and variety, is the way it is. At the present moment the closest we can come to a unified view of nature is a description in terms of elementary particles and their mutual interactions. All ordinary matter is composed of just those elementary particles that happen to possess both mass and (relative) stability: the electron, the proton and the neutron. To these must be added the particles of zero mass: the photon, or quantum of electromagnetic radiation, the neutrino, which plays an essential role in certain kinds of radioactivity, and the graviton, or quantum of gravitational radiation. (The graviton interacts too weakly with matter for it to have been observed yet, but there is no serious reason to doubt its existence.) A few additional short-lived particles can be found in cosmic rays, and with particle accelerators we can create a vast number of even shorter-lived species [see top illustration on page 52].

Although the various particles differ widely in mass, charge, lifetime and in other ways, they all share two attributes that qualify them as being "elementary." First, as far as we know, any two particles of the same species are, except for their position and state of motion, absolutely identical, whether they occupy the same atom or lie at opposite ends of the universe. Second, there is not now any successful theory that explains the elementary particles in terms of more elementary constituents, in the sense that the atomic nucleus is understood to be composed of protons and neutrons and the atom is understood to be composed of a nucleus and electrons. It is true that

the elementary particles behave in some respects as if they were composed of still more elementary constituents, named quarks, but in spite of strenuous efforts it has been impossible to break particles into quarks.

For all the bewildering variety of the elementary particles their interactions with one another appear to be confined to four broad categories [see bottom illustration on page 52]. The most familiar are gravitation and electromagnetism, which, because of their long range, are experienced in the everyday world. Gravity holds our feet on the ground and the planets in their orbits. Electromagnetic interactions of electrons and atomic nuclei are responsible for all the familiar chemical and physical properties of ordinary solids, liquids and gases. Next, both in range and familiarity, are the "strong" interactions, which hold protons and neutrons together in the atomic nucleus. The strong forces are limited in range to about  $10^{-13}$  centimeter and so are quite insignificant in ordinary life, or even on the scale ( $10^{-8}$  centimeter) of the atom. Least familiar are the "weak" interactions. They are of such short range (less than  $10^{-12}$  centimeter) and are so weak that they do not seem to play a role in holding anything together. Rather, they are manifested only in certain kinds of collisions or decay processes that, for whatever reason, cannot be mediated by the strong, electromagnetic or gravitational interactions. The weak interactions are vital, however, irrelevant to human affairs. They provide the first step in the chain of thermonuclear reactions in the sun, a step in which two protons fuse to form a deuterium nucleus, a proton and a neutrino.

From this brief outline one can see

that a certain measure of unification has been achieved in making sense of the world. We are still faced, however, with the enormous problem of accounting for the baffling variety of elementary-particle types and interactions. Our prospects for further progress would be truly discouraging were it not for the guidance we receive from two great products of 20th-century physics: the development of quantum field theory and the recognition of the fundamental role of symmetry principles.

## The Necessity of Fields

Quantum field theory was born in the late 1920's through the union of special relativity and quantum mechanics. It is easy to see how relativity leads naturally to the field concept. If I suddenly give one particle a push, this cannot produce any instantaneous change in the forces (gravitational, electromagnetic, strong or weak) acting on a neighboring particle because according to relativity no signal can travel faster than the finite speed of light. In order to maintain the conservation of energy and momentum at every instant, we say that the pushed particle produces a field, which carries energy and momentum through surrounding space and eventually hands some of it over to the neighboring particle. When quantum mechanics is applied to the field, we find that the energy and momentum must come in discrete chunks, or quanta, which we identify with the elementary particles. Thus relativity and quantum mechanics lead us naturally to a mathematical formalism, quantum field theory, in which elementary-particle interactions are explained by the exchange of elementary particles themselves.

perguntava no seu prefácio ao *Mysterium Cosmographicum* qual a razão das distâncias a que os planetas se movem, do seu número e do seu movimento, por que é assim «e não de outro modo», teria estado de acordo com esta definição de uma das mais persistentes esperanças da humanidade. E o mesmo se passaria com a maioria dos sábios desde então. No entanto, na segunda frase aparece um pressuposto que nem todos os cientistas partilharão. Descobre-se um novo compromisso temático, o de uma construção da visão unitária da natureza, procurada a partir de «partículas elementares e da sua interacção recíproca». Há aqui um eco do «tudo é átomos e vazio», de Demócrito. Mas, como iremos ver em breve, nem todos os físicos contemporâneos subscreveriam tal ideia. Nem os biólogos, os psicólogos ou os especialistas das ciências sociais poderiam aceitar esta particular visão unitária da natureza em termos de partículas e das suas interacções. Fez-se uma opção, e uma opção que efectivamente garante uma espantosa unificação desta parte da natureza.

O que é que se deverá entender por «elementar» nesta passagem do texto de Weinberg? Um pouco adiante (na primeira coluna, em baixo), este termo é dado como significando que, no momento actual, não se conhece «nenhuma teoria bem sucedida capaz de explicar as partículas elementares em termos de componentes ainda mais elementares». Pode muito bem ser que um dia se descubram «componentes ainda mais elementares chamados *quarks*» (col. 2.<sup>a</sup>, em cima); mas até lá, enquanto «tentativas obsti-

Figura 1. Primeira página do artigo de Steven Weinberg, *Scientific American*, 231, n.º 1 (Julho de 1974). Reproduzido com autorização. Copyright © 1974 pela Scientific American, Inc. Todos os direitos reservados.

nadas» não tiverem alterado o facto de que é «impossível quebrar as partículas», elas permanecem elementares.

Esta qualidade de elementaridade marca a direcção de todo o encadeamento explicativo, que parte destas partículas, que se supõe serem elementares, para chegar às entidades antitéticas [como os núcleos (col. 1.<sup>a</sup>, em baixo), os átomos ou a matéria vulgar, todos «compostos» de matéria elementar]. A antiguidade de uma tal pesquisa, de Tales a Pront, a J. J. Thompson e até aos nossos dias, salta aos olhos. Estas partículas elementares são pois, actualmente, os verdadeiros «átomos» no sentido do grego *atomos*. Constituem um dos três aspectos de um tema, sendo o segundo o *composto* formado e explicado por estes átomos, ou *quanta* elementares, e o terceiro a noção de *contínuo*, divisível ao infinito (<sup>13</sup>).

---

(<sup>13</sup>) O átomo, como tema, não designa necessariamente um objecto natural, físico, como as entidades elementares discretas (discontínuas): a partícula gama, o neutrão ou o protão. Pode tratar-se de um elemento a partir do qual são construídas entidades de carácter bem mais formal. Deste modo, a seguir (Weinberg, *ob. cit.*, nota 9, p. 58), Weinberg indica que, se se verificar que as interacções fracas têm efectivamente uma força intrínseca comparável às das interacções electromagnéticas, elas «poderão fornecer correcções suplementares à simetria do spin isotópico». As entidades teóricas podem conceber-se — tal como os átomos ou os núcleos, cuja existência nos é hoje mais sensível, ou, se quisermos, os cristais — como uma soma, ou um agregado, composto de termos diferentes, um termo de núcleo e um certo número de termos de correcção, por exemplo.

A lista das partículas elementares compreende pois o electrão, o protão e o neutrão. «A estas é preciso acrescentar as partículas de massa nula: o fotão (...), o neutrino (...) e o gravitão (col. 1.<sup>a</sup>, a meio do quarto período). Trata-se, certamente, de um universo com propriedades discretas (discontínuas) particulares; a propriedade ondulatória inerente a estas partículas não é, claro, posta em questão, mas esse aspecto simplesmente não mereceu atenção nem destaque (<sup>14</sup>).

O número e a diversidade das partículas elementares são, diz Weinberg, «embaraçosos». Mas é possível permanecer lúcido e conseguir alguma inteligência das coisas dominando a diversidade «embaraçosa». A ordenação do caos por meio do conceito de hierarquia, ou de níveis de categorias — de número suficientemente pequeno para ser operatório: precisamente, quatro — vem em auxílio enquanto tema metodológico. Esta divisão em quatro categorias — a gravitação, a interacção electromagnética, as interacções fortes e as interacções fracas —

---

(<sup>14</sup>) No que se refere ao gravitão, Weinberg indica entre parêntesis que a sua «interacção com a matéria é demasiado fraca para até hoje ter sido observada, mas não há nenhuma razão para pôr seriamente em dúvida a sua existência». É uma posição esplêndida e audaciosa, oposta ao Simplicio dos diálogos de Galileu que, desde 1632, afirma contra uma asserção análoga: «Como é possível, sem fazerem experiências, nem mesmo uma, afirmar tão seguramente essa certeza?» (Galileo Galilei, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, trad. S. Drake, Berkeley, University of Chicago Press, 1953, p. 145).

não significa apenas a repartição, por compartimentos distintos, de espécies efectivamente diferentes. Há aqui uma autêntica hierarquia, que ordena as subsecções, fazendo aparecer a sequência de âmbitos das interacções, desde o infinito até uma distância de 10-14 cm.

Este simples relance permite ver já que, para Weinberg, «se conseguiu um certo grau de unificação no esforço de tornar o mundo inteligível» (col. 3.<sup>a</sup>, em cima). Com efeito é de facto uma das funções essenciais de um tema servir para tornar o mundo inteligível de um modo que os imperativos apenas da lógica não permitiriam. «Confrontamo-nos, no entanto, com o considerável problema de explicar o desconcertante número de tipos de partículas elementares e das interacções entre elas (col. 3.<sup>a</sup>, em cima). Do ponto de vista metodológico, há nesta teoria mais do que uma ressonância de um esquema mais antigo de quatro categorias, um esquema tão bem sucedido que conseguiu observar os fenómenos observáveis durante cerca de dois mil anos: os quatro elementos, com a sua própria hierarquia interna, do mais leve ao mais pesado, e as suas próprias regras de interacção. Mas, entre as suas múltiplas vantagens, esta nova unificação hierárquica leva a pensar que duas, ou talvez três, das quatro forças incluídas nas quatro categorias «relevam de uma identidade subjacente».

O modo de descobrir, sob as diferenças superficiais, esta identidade é recorrer a analogias de comportamento, reduzindo as entidades a um estado em que elas têm em comum mais do que a pertença

a uma ordem hierarquizada. A esta procura de qualquer coisa mais responde o recurso à concepção de família (assim: «a nossa esperança de descobrir uma identidade subjacente das interacções fracas e electromagnéticas conduz-nos naturalmente a supor a existência de uma simetria *gange* mais geral, que integraria o fotão e o bosão vector intermediário no seio de uma só e mesma família», p. 55, ver nota 9). O instrumento essencial de interpretação, abrindo a via da simplificação, é dado por esta conexão «familiar», que existe apesar das «aparências» de diferenças mais importantes, como a diferença entre a massa nula do fotão e a massa necessariamente considerável do bosão vector intermediário. De uma ponta a outra do artigo de Weinberg, e em muitos outros neste domínio, é esta uma das concepções que aparecem permanentemente, no seu esplendor de grupos, de famílias e de superfamílias («superfamílias de oito ou dez membros ou mais ainda») <sup>(15)</sup>. As relações familiares entre partículas elementares são bem mais profundas do que as das famílias *ad hoc* evidenciadas pela classificação periódica dos elementos quí-

---

<sup>(15)</sup> «Pensa-se que as famílias de partículas elementares decorrem de um princípio de simetria — que se designa por simetria de spin isotópico — análogo à simetria de rotação que engendra a família dos estados quânticos do átomo de hidrogénio. O reagrupamento destas famílias de partículas elementares em superfamílias (óctuplos, décuplos) foi sugerido, de forma independente, por Murray Gell-Mann e Juval Néeman no começo dos anos sessenta» (Weinberg, *ob. cit.*, nota 9, p. 55).

micos do século passado ou, digamos, pela obra de Lineu. Mas no plano metodológico a sua utilização como instrumento de interpretação não mostra nenhuma diferença qualitativa.

Aproveitemos o aparecimento desta bela palavra antropomórfica para voltarmos à primeira página do texto de Weinberg, onde há uma referência a «algumas outras partículas de vida breve» e onde se diz que «é possível criar um grande número de espécies de vida ainda mais breve» (col. 1.<sup>a</sup>). A física das partículas elementares é por vezes ironicamente chamada de zoologia. Na verdade, toda ela se encontra atravessada por temas que bem poderiam provir de uma região da imaginação que se teria formado antes de qualquer decisão consciente, por parte do futuro investigador se tornar cientista. O relatório técnico da análise de, por exemplo, uma câmara de bolhas será feita, em grande parte, em termos de narração de um ciclo vital. É uma história que fala de evolução e involução, de nascimento, de peripécias e de morte. As partículas entram, encontram outras, produzem uma primeira geração de partículas que a seguir se desintegram, dando origem a uma segunda geração e mesmo a uma terceira. Caracterizam-se pelas suas vidas relativamente breves ou relativamente longas, pela sua pertença a famílias ou a espécies (<sup>16</sup>).

(<sup>16</sup>) Encontrar-se-á um exame mais detalhado do papel da projecção ou da retrojecção antropomórfica em Holton, *ob. cit.*, nota 2, pp. 100-109.

Ouvindo estas crónicas dos físicos, ocorre-nos que esta terminologia pode, a princípio, não ter sido tomada a sério. Mas o tema do ciclo vital funciona como acontece com muitos outros temas que as ciências importaram do mundo das relações humanas. Intrigou-me sempre a obstinação com que os psicólogos da viragem do século procuravam garantias de seriedade, recorrendo a conceitos da física para descreverem as relações dos homens. Não tinham manifestamente consciência de estar a reimportar instrumentos conceptuais, quando eles próprios estavam muito mais próximos daquilo que procuravam. Isto faz-me pensar na história do edifício construído em Atenas para um banco, ao pé da Acrópole, e que parecia uma cópia, particularmente má, de um templo grego. Na verdade, parece que o arquitecto não se inspirou nos templos gregos, ali à mão, mas num centro mais na moda. O projecto havia-lhe sido sugerido por um banco de Berlim inspirado numa cópia em terceira mão de um templo grego ideal.

Ainda não acabámos a primeira página de Weinberg. Vários outros temas excelentes aparecem: a *isotropia* e a *homogeneidade* (deste modo, as partículas da mesma espécie são, tanto quanto sabemos hoje, «rigorosamente idênticas, quer se situem no mesmo átomo quer em pontos nas extremidades opostas do universo» (ver col. 1.<sup>a</sup>, § 2.<sup>o</sup>); a *simetria* (col. 3.<sup>a</sup>), e a *conservação* (da energia e da quantidade de movimento em cada instante — col. 3.<sup>a</sup>).

Nas páginas seguintes encontramos, igualmente, entre outros, os seguintes temas: a eficácia de uma

representação geométrica (como os gráficos de Feynman), a eficácia dos números inteiros como instrumentos de interpretação (que a mecânica quântica deve ao mais sagrado dos preceitos de Pitágoras), ainda a conservação (de carga), a infinitude e a finitude (de massa), considerações sobre o princípio de simetria<sup>(17)</sup> e, sobretudo, modelos (p. 57, ver a nota 9). O termo «modelo» é sem dúvida o vocábulo que os especialistas de física teórica mais frequentemente usam nos seus escritos.

Chegamos assim à última fase do artigo. Já a citámos mas podemos agora lê-la numa óptica um pouco renovada: «Se estas conjecturas forem confirmadas pelo trabalho teórico e experimental [traduzamos: pelo conteúdo analítico ou formal, assim como empírico; ou pelas representações dos eixos dos  $y$  e dos  $x$ ], teremos avançado consideravelmente no sentido de uma visão unitária da natureza» ou, dito de outro modo, da realização de uma das mais persistentes esperanças da humanidade, esperanças que encontram a sua expressão nos seus temas que, em parte, são novos e, em parte, antigos. No nosso caso, a esperança fundamenta-se no compromisso temático — o de Demócrito — de um ponto de vista corpuscular ou atomista, e não no seu contrário, o tema da prevalência do contínuo, como na obra do teórico que interpretava a matéria como as sin-

<sup>(17)</sup> Os princípios de simetria oferecem «informações sobre as leis da natureza ao nível mais profundo»: simetrias que são «quebradas» e simetrias chirais (Weinberg, *ob. cit.*, nota 9, pp. 55-56).

gularidades ou os turbilhões de um fluido ou de um campo, e que se recusava a admitir que a discontinuidade dos *quanta* pudesse, realmente, ser fundamental. A maior parte dos físicos contemporâneos liga-se, tematicamente, a Demócrito, mas Einstein, Erwin Schrödinger e outros, para quem o contínuo era o instrumento de interpretação fundamental, discordavam radicalmente; como afirmou um deles, se a discontinuidade fosse adoptada como o aspecto essencial dos processos atômicos, preferiria deixar de fazer física.

Entre estes temas contrários não há uma forma simples de se obter um consenso. Werner Heisenberg foi dos que se empenharam em convencer Einstein<sup>(18)</sup>. Diz ele: «Passei uma tarde excelente com Einstein, mas quando chegámos à interpretação da mecânica quântica não consegui convencê-lo, nem ele a mim. Ele dizia sempre: 'Está bem, concordo que qualquer experiência, cujos resultados sejam calculáveis por meio da mecânica quântica, se passará como indica, mas isso não significa que um tal esquema possa ser uma descrição última da Natureza'.» Heisenberg compreendia que não era possível vencer estes pressupostos básicos fazendo apelo ao tipo de argumentos que, noutras questões, conduzem tão bem ao consenso entre cientistas. Ele

<sup>(18)</sup> W. Heisenberg, «Development of Concepts in the History of Quantum Theory», conferência pronunciada na Universidade de Harvard em 13 de Maio de 1973 e reproduzida no *American Journal of Physics*, 43, n.º 5 (1975), p. 392.

acrescentava: «Duvido que as resistências de Einstein, de Plank, de Von Lane e de Schrödinger, no que se refere a admitirem que as descrições da mecânica quântica são fundamentais, devam ser reduzidas a simples preconceitos. O termo 'preconceito' é demasiado negativo neste contexto e não corresponde à situação.»

Como que para demonstrar a veracidade das observações, Heisenberg continua revelando que, contrariamente à maior parte dos sábios do seu tempo, lhe foi impossível acomodar-se à linha de força da teoria então em vigor, que fazia da noção de «partícula elementar» uma referência fundamental da explicação. Dado que as partículas elementares podem ser produzidas por colisão de outras partículas, *são estas*, pensava ele, que é preciso explicar ou, para o dizer de um modo paradoxal; qualquer partícula consiste em todas as outras partículas. A procura das «partículas realmente elementares» que serviriam de fundamento a uma teoria da matéria «remonta a esta doutrina filosófica de Demócrito», mas trata-se de um «erro» (ou, traduzindo-o nos nossos termos, da aceitação de um tema que ele repudiava).

O seu interesse dirigia-se noutra sentença: «O que é que deve substituir o conceito de partícula elementar? Penso que se deve substituir este conceito pelo conceito de uma simetria fundamental (...) E uma vez realizada esta mudança decisiva (...), não penso que tenhamos necessidade de qualquer outra intuição para compreender a partícula elementar — ou, melhor, não elementar». Heisenberg indica, por

outro lado, que, «para o físico atomista, a 'coisa-em-si', caso ele use o conceito, é afinal uma estrutura matemática». É uma opção temática que coloca Heisenberg na linha da grande tradição platónica: não é possível construir matéria a partir de matéria; pelo contrário, é preciso encontrar o fundamento nos princípios formais, matemáticos; com efeito, «as nossas partículas elementares são comparáveis aos corpos regulares do *Timeu* de Platão. São os modelos originais, a ideia de matéria»<sup>(19)</sup>.

Claro que quem tiver estudado o fluxo e o refluxo da importância dada a um tema perguntará se não será prematuro pensar que a antiga oposição entre as concepções de Demócrito e de Platão tenha sido agora definitivamente resolvida a favor de uma e à custa da outra. É que nós não tratamos de problemas susceptíveis de uma solução, mas da matéria-prima da imaginação científica (e não só científica).

### *Um segundo exemplo*

Depois de ter examinado a rica textura dos temas num texto particular, onde a imaginação tem o seu peso, publicado por um sábio actualmente de pri-

<sup>(19)</sup> W. Heisenberg, «Physics and Beyond», New York, Harper and Row, 1971, p. 241. Heisenberg desenvolveu estas ideias no ensaio «Tradição em Ciência» e nos comentários que lhe acrescentou, publicados em *The Nature of Scientific Discovery*, O. Gingerich (ed.), Washington Smithsonian Institution Press, 1975, pp. 219-236, 556-573. Voltaria ao assunto em «The Nature of Elementary Particles», *Physics Today*, 19 (Março de 1976), pp. 32-39.

meiro plano, podemos considerar esta questão de um outro ângulo — na ocorrência, seguindo um par tema-antitema particular ao longo da história da ciência moderna.

Vejamos um exemplo. Para todo o corpo de doutrina física fundado no tempo de Newton era preciso que uma evidência de caos ou de incerteza fosse fundada em um (e explicada por um) nível subjacente de ordem e de certeza, tal como o movimento observável, aparentemente irregular, dos planetas, descrito pela ciência grega, tinha sido compreendido como o complexo resultado da sobreposição de vários movimentos simples e regulares. Este tipo de explicação (sequências causais clássicas explicam o acidente ou a desordem observados) constitui um compromisso temático. Não existe aqui necessidade lógica ou experimental. Em meados do século XIX ele pareceu ameaçado pela introdução de figuras do tipo contrário, provenientes da teoria cinética. Verificou-se que um bom modo de compreender situações em que a ordem não era perturbada era o de as conceber como resultantes de um caos subjacente. Por exemplo, o facto de um balão cheio de gás sob pressão ser observado em repouso sobre a mesa será compreendido dizendo que um número imenso de partículas de gás, com velocidades e direcções diferentes, colidem permanentemente com a superfície interna do balão. Estas colisões em todas as direcções anulam-se, e o resultado é o objecto permanecer imóvel. Uma ordem simples ao nível do visível é assim explicada pelo caos ao nível do invisível.

Todavia, não foi por acaso que coube a Einstein, na sua memória de 1905 acerca do movimento browniano, inverter de novo a orientação da explicação; Einstein (que não acreditava que Deus jogasse os dados) restaura as prioridades epistemológicas que remontavam a Newton (que havia escrito que Deus é um «Deus de ordem»). O que Einstein conseguiu foi explicar o movimento desordenado e incessante das partículas de poeiras minúsculas mas visíveis ao microscópio. Os movimentos, aparentemente acidentais, deste mundo visível microscópico eram explicáveis, como Einstein descobriu, estabelecendo-se que as regras newtonianas simples, que governam o movimento de duas bolas de bilhar que colidem, explicam igualmente a acção das moléculas invisíveis, inframicroscópicas, que bombardeiam a partícula de poeira. Podia considerar-se que, apesar de tudo, havia uma ordem newtoniana no fundo das coisas.

Contudo, sem o desenvolvimento da física quântica tornou-se cada vez mais manifesto que a aparência da ordem newtoniana entre as partículas em colisão era, por sua vez, explicada, de modo mais satisfatório, considerando que uma tal ordem (correspondendo à escala de medida até então utilizada) não era senão a resultante aparente da soma de um grande número de acontecimentos atómicos, estando cada um sujeito às leis do acaso, do mesmo modo que anteriormente a imobilidade, sobre a mesa, do balão cheio havia sido considerada como resultante da neutralização e agitação internas. Com o seu princípio de incerteza, Heisenberg afirmava que

o tema explicativo fundamental não é afinal a sequência simples, causal, ponto por ponto característica, por exemplo, do deslocamento de um satélite na sua órbita em torno de um planeta central, mas a sequência probabilística de um gerador de números aleatórios ou de um jogo de acasos. Dá-se, de novo, uma inversão ontológica.

E de novo se procurou, e procura ainda, invertê-la mais uma vez. O próprio Einstein, e com ele um pequeno mas decidido grupo que o seguiu nesta via, nunca admitiria que a natureza física verificasse a hipótese que confirmaria o tema do probabilismo fundamental. Esperavam demonstrar que, sob o nível em que opera o princípio de incerteza, se encontra ainda um outro nível, onde mecanismos até hoje inacessíveis, ocultos, agem conformemente aos princípios clássicos, de modo a produzirem a aparência aleatória dos processos atômicos: o caos a partir da ordem, não o inverso.

### *Precauções*

Não venho, como João Baptista, pregar no deserto para anunciar a vinda do Salvador; e, de resto, preferiria evitar a sua sorte. Assim, concluirei indicando uma série de limites que se impõem, na minha perspectiva, à análise temática de uma obra científica:

1 — Se os temas podem exercer uma considerável atracção sobre o cientista, ou sobre a comunidade,

e podem constituir o aspecto mais interessante de um dado caso, há importantes sectores da história das ciências e trabalhos contemporâneos em que os temas não parecem intervir de um modo assinalável. No meu estudo da obra de Enrico Fermi e do seu grupo a óptica temática ajudou-me muito.

2 — Mesmo que isto não fosse assim, não queria fazer pensar que os temas são a realidade essencial de uma obra científica. Nesse caso o trabalho da história das ciências cairia no descritivismo, e as descobertas científicas parecer-se-iam com os contos dos velhos montanheses da Albânia, para quem as histórias se equivalem. No domínio científico acontece que se assiste a uma sucessão de aperfeiçoamentos, a fluxos e refluxos e, de vez em quando, ao abandono ou à introdução de um tema. Mas também se assiste, sem dúvida, e no conjunto, a uma progressiva evolução para uma compreensão mais completa, mais forte, dos fenómenos naturais.

3 — O estudo do papel dos temas no trabalho dos cientistas pode ter o mesmo interesse, quer o trabalho tenha conduzido a um «excesso» quer a um «fracasso»; não é a sua adesão a um conjunto de temas que determina se o cientista tem ou não razão; seja como for, é provavelmente inútil alguém procurar libertar-se dos seus temas com a ideia de «melhorar» as suas qualidades enquanto cientista. Mas, dito isto, o exame consciente das eventuais vantagens dos temas opostos aos escolhidos poderia ser bem salutar.

4 — Temos ainda coisas a aprender quanto à origem dos temas. Parece-me muito claro que uma abordagem que acentue as relações entre a psicologia cognitiva e a obra científica do indivíduo constituiria um bom ponto de partida.

Como atrás indiquei, penso que uma boa parte — diria o essencial — da imaginação temática do sábio se forma no período anterior à sua profissionalização. Alguns dos temas defendidos com maior convicção são defendidos já na própria infância<sup>(20)</sup>. Trata-se, sem dúvida, de um campo que merece ser estudado a fundo.

5 — Uma vez formado, o compromisso temático de um cientista caracteriza-se por uma notável longevidade. Mas ele pode alterar-se. Há o exemplo de Wilhelm Ostwald que, depois de ter repudiado o atomismo, reconsiderou as suas convicções; o de Planck, de Einstein e alguns outros. Além disso, o facto de adoptar um tema como o atomismo num domínio físico não impediu o mesmo indivíduo de defender o tema oposto num outro domínio. Um exemplo é-nos dado por Millikan, que defendia o «átomo» de electricidade no momento em que combatia com todas as forças a ideia de um *quantum* de luz. Poincaré era um conservador, partidário do seu éter, face à teoria da relatividade, mas seguia uma orientação completamente oposta no domínio da teoria quântica.

<sup>(20)</sup> Estudei o começo dos compromissos temáticos de Einstein a partir dos seus testemunhos sobre as suas primeiras recordações; ver Holton, *ob. cit.*, nota 2, ensaio 10.

6 — Se é o cientista, enquanto indivíduo, o principal depositário e detentor dos temas, estes encontram-se, com variações menores, em todos os membros de uma comunidade. Alguns temas têm uma carreira que é possível apreender em termos de ciclo vital; ou, dito de outro modo, a sua aceitação pode desenvolver-se, atrofiar-se, anular-se. Dispositivos de explicação como a correspondência entre o macrocosmos e o microcosmos, os princípios intrínsecos, as tendências teleológicas, a acção à distância, os mecanismos ocultos, os absolutos de espaço, de tempo e de simultaneidade, todos eles já, num ou noutro momento, se impuseram em física. Torna-se necessário um estudo pormenorizado dos mecanismos deste género de ascensão e queda.

7 — Há sempre o risco de se confundir a análise com o que ela não é: com os arquétipos junguianos, com a metafísica, com os paradigmas e as concepções do mundo (é possível que estas duas últimas noções comportem elementos temáticos; mas as diferenças não deixam de ser largamente predominantes. Assim, as oposições temáticas subsistem ao longo da «ciência normal» e os temas subsistem de uma ponta à outra das épocas de revolução. Num grau superior ao dos paradigmas ou das concepções do mundo, as opções temáticas parecem provir não apenas do meio social ou da «comunidade» do cientista, mas sobretudo do indivíduo). Ainda que a análise temática seja talvez limitada pela exigência de ter uma certa experiência em primeira mão do material científico, a recompensa de

um trabalho mais específico, sobre casos reais, parece-me bem mais evidente do que a que podemos tirar de certas modas contemporâneas como a das comparações entre escolas históricas ou a da invenção de hipotéticas «reconstruções racionais».

8 — Finalmente, há a exigência de uma consciência de si. A procura de respostas a que se entrega a história das ciências está tão impregnada por temas como a procura de uma teoria unitária das partículas elementares. Devemos pois estar prontos para ouvir as críticas dos que se colocam, não nos nossos próprios temas, mas nos seus antitemas; e devemos estar preparados para encontrar os limites nos quais se inscreve necessariamente o nosso trabalho — como Einstein, quando afirmava com a sua franqueza habitual: «A minha adesão ao contínuo não provém de um preconceito, antes decorre do facto de eu ter sido incapaz de elaborar uma concepção orgânica susceptível de a substituir» (21). A sua obra pessoal é, certamente, um testemunho do facto de que é possível tirar partido destes limites inerentes à investigação científica, em vez de os deplorar ou negligenciar.

---

(21) A. Einstein, em P. A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein Philosopher-Scientist*, New York, Harper and Row, 1959, vol. II, p. 686.

Karl Popper

## A DEMARCAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E METAFÍSICA (\*)

---

(\*) Publicado em *Realism and the Aim of Science* (1983). Por amável autorização do Autor. Tradução portuguesa de Publicações D. Quixote, a quem se agradece a autorização para uso da sua tradução.