Parte II - Implicações filosóficas da teoria quântica

“Construção do objeto” e objetividade na física quântica

Michel Paty

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

FREIRE JR, O., PESSOA JR, O., and BROMBERG, JL., orgs. *Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais* [online]. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. 456 p. ISBN 978-85-7879-060-8. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

Parte II

Implicações filosóficas da Teoria Quântica

“Construção do objeto” e objetividade na Física Quântica¹

Michel Paty

1 Introdução

Habitualmente, a Física Quântica dá ao público, aos filósofos, mas também aos próprios físicos, a impressão de ser totalmente construída pelo pensamento e, até mais, por dispositivos experimentais, do que de ser dada pela natureza; ou, pelo menos, aparenta tratar menos diretamente desta, como geralmente concebemos que fazem as outras teorias mais clássicas da Física. Na mecânica quântica, fala-se de “preparação de estados”, de “teoria da medição”, de intervenção irreduzível do observador sobre o objeto observado etc.; na física das partículas e dos campos quânticos, insiste-se sobre o lado “artificial” e a aparência de jogos de construção (Matemática) das partículas fundamentais, a partir de teorias de grupos de simetrias, de números quânticos ou do conceito de *gauge* (calibre). Tal como os *quarks*, com suas estranhas propriedades de cargas elétricas e bariônicas não-inteiras, seu “confinamento”, sua “liberdade assintótica”, seus “sabores” e suas “cores”... Atendo-nos às expressões inventadas pelos físicos por necessidade de causa, pareceria, à primeira vista, que tais elaborações teóricas corresponderiam antes a um jogo formal que à descrição dos fenômenos da natureza e das propriedades objetivas (das propriedades dos objetos), as quais se imporiam naturalmente. Mas, em verdade, estas construções não são gratuitas, a julgá-las pelas experiências efetuadas neste domínio, que revelam ou criam fenômenos que essas construções permitem analisar e caracterizar de maneira circunstanciada e precisa. A formulação dos conceitos mencionados resulta de tais análises e as experiências correspondem, de alguma forma, às respostas da natureza às questões que lhe são postas em tais termos.

1 Traduzido do original francês por Geovana Monteiro e revisado pelo autor.

Além disso, problemas de interpretação se mostram há muito tempo de tal modo que colocam a questão da relação entre o *formal*, subentendido *matemático* (“funções de estado”, definidas sobre os espaços matemáticos de Hilbert, grandezas “observáveis” como “operadores hermitianos não comutativos” operando sobre tais espaços etc.), e o *físico*, sob benefício de se entenderem acerca do que este último qualificativo significa exatamente: o empírico, o “dado aos sentidos”, o mensurável, o natural (*physis*), dado em uma relação; e qual relação? (para não dizer cruamente o *real*, relativo a certo domínio). Certamente, é sabido que os fenômenos são aproximados “indiretamente”, que eles são incompletamente dados pela observação ou pela medida, que são determinados apenas de maneira probabilística etc.

Mencionamos, entre outros problemas de interpretação, o da natureza da teoria e de seu objeto (este último sendo supostamente descrito por aquela); o problema das *propriedades* atribuíveis ou não a sistemas físicos, a eventualidade de completar a teoria por “variáveis ocultas” suscetíveis de restabelecer o determinismo clássico; a possibilidade de conceber ou de recusar a “não-localidade” (mais precisamente, a “não-separabilidade local”) para subsistemas correlatos; e, ainda, a reconciliação entre o domínio quântico e o domínio clássico, este último que corresponde a objetos e propriedades de objetos de concepção mais direta...

Contudo, todos os conceitos que caracterizam os fenômenos quânticos se organizam em uma teoria coerente e potente, a qual parece corresponder bem à “necessidade dos fenômenos”, de modo que estes não ficam tão distantes quanto parecia da objetividade. Como, então, se caracterizaria melhor o método de acesso ao conhecimento desse domínio da Física: *por construção* ou conforme a *objetividade*? Como estes dois métodos se conciliam no trabalho dos físicos e na operacionalização dos resultados obtidos? E como isto se dá no tocante às concepções epistemológicas correspondentes: *construtivismo* ou *objetivismo*? Qual é o lugar da teoria e da experiência, respectivamente, nestas duas perspectivas? E, finalmente, o que se pode dizer da natureza da teoria de tal domínio: ela é fundamentalmente *matemática* e aplicada ou propriamente *física*? (É necessário, então, por outro lado, precisar o que se compreende por este último termo, ou seja, a particularidade de *conceitos*, e de sistemas de *conceitos*, *físicos*).

Notamos ainda que, em Física, é possível distinguir dois tipos de proposições capazes de se situarem diferentemente uma do outra com relação ao “construtivismo”: aquelas referentes aos *modelos teóricos*, que se “se ajustam aos fenômenos” (ou seja, que tentam segui-los nos detalhes), e aquelas que exprimem antes de tudo *propriedades fundamentais*, ligadas a traços estruturais destes fenômenos através de sua representação e que são de alcance mais geral (propriedades reunidas, por exemplo, na formulação de princípios físicos, tais como princípios de simetria e de invariância). O resultado da elaboração teórica recebe, pelos dois modos de

pensamento (por modelos e teórico, propriamente dito), um estatuto de verdade diferente (parcial e pragmático para o primeiro, holista e universalizante, e até mais normativo, para o segundo). Podemos também questionar se o critério da *adequação* entre a representação teórica e o representado (o "objeto físico real") basta para esgotar a noção de *verdade*.

Tendo posto essas considerações preliminares – como tantos questionamentos –, chegamos ao ponto que se trata aqui de esclarecer, sobre "a objetividade e o construtivismo". Distingo aí, no que concerne ao domínio científico do qual pretendo falar (a Física, e mais particularmente, a Física Quântica), três aspectos que abordarei sucessivamente. O primeiro aspecto é este de saber *se os conceitos científicos* (para nós, os da Física, mais particularmente, os da Física Quântica) *correspondem a uma realidade objetiva* ou a *qualquer que seja* que se possa qualificar de *objetivo*. Este aspecto corresponde ao debate "tradicional" entre físicos e filósofos sobre a interpretação na Física Quântica; sendo o objeto deste debate precisamente qualificar esse "*qualquer que seja*": realidade física propriamente dita ou entidade mista "físico-observacional"? Tal aspecto conduz diretamente ao que podemos, de fato, encontrar na prática intelectual desse campo disciplinar quanto à forma e ao conteúdo dos conhecimentos e, em definitivo, quanto a sua significação.

O segundo aspecto corresponde aos processos pelos quais esta representação é obtida, que podemos reunir sob o qualificativo de "construção". Trata-se de uma construção não somente intelectual, mas também social – historiadores e filósofos falam neste sentido, há muitos anos, de "construtivismo". A questão posta sobre a "objetividade" de tal construção não coincide necessariamente com a questão precedente, a que se atinha às formas e conteúdos. Levando em consideração os processos, as práticas efetivas e os contextos, fazemos intervir outros esclarecimentos que mostram certo grau mínimo de contingência desses conteúdos de conhecimento elaborados e construídos. Esta contingência faz, para alguns, se esvaír a pertinência de uma referência trans-histórica ou trans-social para representações que supostamente dizem respeito à natureza: a esta altura, a ciência seria apenas o reflexo de sua própria atividade (essencialmente social) e não nos diria nada sobre o mundo. Os cientistas (e outros como eles, que sabem distinguir raciocínio e sofisma) dificilmente admitirão uma posição tão extrema, que não diferencia os diversos gêneros da atividade humana, sem consideração para as significações correspondentes. Seu bom senso – o mesmo que acompanha sua própria prática e inteligência de sua ciência – lhes faz recusar justificadamente este reducionismo antropsociológico que ignora os conteúdos de sentido.

Descartadas tais aberrações, resta, entretanto, que os elementos de contingência, derivados das circunstâncias sociohistóricas da produção dos conhecimentos, não podem ser ignorados ou subestimados. Considerá-los e refletir sobre eles constitui o terceiro aspecto da questão aqui posta. Este aspecto refere-se ao

próprio valor do conhecimento como esforços e conteúdos. Perguntar-nos-emos, particularmente, em que medida ainda podemos falar de “objetividade” para uma construção de representação de um “objeto natural” suposto e mesmo visado, mas cujos materiais e modalidades seriam contingentes por natureza. Seremos levados a examinar o sentido exato que podemos dar, para a Física (entre as ciências), a idéia de “construção de *objetividade*”; e em que medida ela corresponde a uma “construção de *objetos*” que não seja factícia e ilusória.

2 Os conceitos científicos (físicos, quânticos) correspondem a uma objetividade?

Os conceitos da Física e, de um modo geral, os conceitos científicos, correspondem a algo de *objetivo*? Quero dizer (... mas é para dizer?) a uma *realidade objetiva*? E, secundariamente, de que maneira se vinculam nesta correspondência: certamente, de maneira *abstrata*, é o que todos admitem. Mas, em seguida, essa espécie de vinculação admitida por todos torna-se (ou não?) “*direta*”, “*concreta*”, “*intuitiva*”... É isto que está em discussão.

Consideremos primeiramente a modalidade “*abstrata*” da correspondência. Einstein via na Teoria da Relatividade geral a marca de um grau de abstração mais elevado de conceitos e teorias que anteriormente. Para ele, havia ali uma distância que iria crescente entre a representação teórica e os dados empíricos. Tal distanciamento (consequência lógica após a crítica da indução, de Hume até Mach ou Poincaré) obrigava a efetuar um ato de criação². Todavia, esses elementos inicialmente abstratos eram, em seguida, objetos de apropriação pelo pensamento e por isso tornavam-se, de certa forma, concretos. É o que Paul Langevin (1934), que via ali uma constante na história das ciências, exprimia, a sua maneira, dizendo: “O concreto é o abstrato tornado familiar pelo uso”. Ocorreria o mesmo com a Física Quântica? Voltaremos a esta questão.

Consideremos, em seguida, a modalidade “*direta*” da correspondência. Eu a compreendo no sentido de um *ajustamento da descrição teórica* que adere ao máximo *ao que ela descreve*. Mas não poderia ser o contrário? No primeiro caso, é o “*dado*”, de origem empírica (mas não somente), que governa o movimento de elaboração de uma descrição teórica. Tal fora, efetivamente, um dos momentos da constituição da Teoria Quântica, quando os fenômenos da Física atômica e da radiação revelaram características que escapavam à teoria (clássica) disponível. Tais características foram o objeto de uma organização teórica sistemática com a formulação (por volta de 1926) das mecânicas ondulatória e quântica, como

2 Sobre esta reflexão de Einstein afirmada por várias vezes, ver Paty (1993a, cap. 9).

quadro conceitual e teórico e seus prolongamentos na dinâmica, com a teoria da difusão e a teoria quântica dos campos. O sucesso destas formulações teóricas devia-se à sua coerência e à confirmação de suas primeiras previsões pela experiência. Era, então, a *descrição teórica* que aderiria o mais próximo das características não-clássicas dos fenômenos que ela se propunha descrever.

Mas, em seguida, vem o momento (constantemente renovado) de testar a teoria assim constituída e é então o segundo caso que é efetivo, o da proposição inversa àquela que acabamos de ilustrar, se *isto que é descrito* (o “objeto” da descrição) se mostra bem ajustado e como que moldado à sua *descrição* pela teoria. Devemos então considerar que o objeto, tal como é descrito, é de fato dado em uma representação teórica prévia às experiências pelas quais esforçamo-nos em descrever. Os fenômenos inicialmente desconhecidos e não previstos anteriormente, e mesmo impensáveis segundo os cânones dos conhecimentos precedentes, resultam, pela lógica da forma, do *arranjo teórico*. Este último teria revelado, estruturando conceitualmente os traços específicos indicados (pondo em forma as relações de conceitos como as relações entre as grandezas correspondentes, de expressão matemática), que sua coerência em profundidade implicava os fenômenos assim previstos e doravante constatados.

Dito dessa forma, esse parece ser um aspecto geral das teorias físicas e não somente da Teoria Quântica. Mas a Teoria Quântica o ilustra em grau bem maior que qualquer outra teoria física conhecida, pois é possível dizer, a propósito dela, deixando de lado as diferenças, tomando as palavras ao pé da letra, que *o que é descrito (em uma ordem caracterizada de fenômenos) adere ao máximo à sua descrição pela teoria*. Por exemplo, que as *partículas quânticas* “interferem consigo mesmas” - segundo a expressão de Dirac (1930) -, que elas são indiscerníveis de qualquer outra partícula idêntica a elas e que obedecem (por esta mesma razão) à “estatística quântica”, que elas são não-separáveis localmente, que seu comportamento é governado pelo “princípio de superposição linear” de suas funções de estado etc., sendo todas estas características constatadas, mas que não poderiam ter sido concebidas e pensadas sem a teoria que as comporta e a elas obriga.

O ajustamento do objeto pela teoria parece, pois, ser o caso na Física Quântica mais ainda que em qualquer outra *descrição teórica de “objetos”* pela Física: porém, ocorre também que tais “objetos”, se existem, se mostram na Física Quântica sob *modalidades* bastante surpreendentes para o senso comum e até mesmo para os cientistas habituados a outros comportamentos. Eventualmente, pode-se ainda dizer: estes “objetos” têm “*propriedades*” surpreendentes. Em verdade, não tão surpreendentes, uma vez que podemos deduzi-las racionalmente pela teoria: cabe a nós, portanto, admiti-las, explicitando sua significação, estendendo a linha de seu caráter inteligível do qual a teoria precisamente nos assegura, ao preço, como veremos, de transformações da nossa “intuição comum”. Contudo, com o início da

frase precedente pretendíamos insistir sobre a expressão “*estes ‘objetos’ têm ‘propriedades’*”, embora fossem estas à primeira vista surpreendentes. Vejamos: toda a questão epistemológica fundamental sobre a mecânica quântica remete à questão sobre a natureza de um *objeto* e de suas *propriedades*. Há, pois, uma relação estreita, e, neste sentido, “direta”, ilustrada pela previsibilidade, entre a descrição e o que ela descreve, isto é, seu “objeto”, no sentido lógico e não ontológico do termo. Tal sentido de “direto” elimina a significação vaga frequentemente ligada a este adjetivo, em termos de imagens ou de analogias de forma: mas a evolução das ideias científicas já havia permitido denunciar o caráter ilusório das aparências primeiras.

Após os esclarecimentos sobre a modalidade “direta” (ou não) da descrição teórica, deveremos em seguida nos perguntar se é possível (ou não) qualificá-la como “concreta”, após o momento da abstração. Eu a compreendo no sentido da correspondência aos *efeitos tangíveis*, ocasionados ou produzidos pelos “objetos” (esta palavra ainda sendo aqui tomada no sentido relativamente neutro de “objetos da representação”). A resposta não parece ser duvidosa se pensarmos em todas as realizações obtidas, com acúmulo de conhecimentos, em todos os domínios da Física onde a Teoria Quântica constitui o quadro do pensamento conceitual. E, em primeiro lugar, a realização fenomenal da previsão teórica é bem a marca do “concreto”. Concreto é o mundo dos fenômenos e, particularmente, a produção de fenômenos.

Enfim, será essa teoria *intuitiva* ou, ao menos, é possível concebê-la e praticá-la como tal? Entendo por *intuitiva* que *dispomos*, por ela, de uma *penetração intelectual sintética* do conteúdo de significação (no sentido da Física, isto é, da concepção dos fenômenos físicos ou dos “sistemas físicos” que os engendram) *deste “conceito-objeto”* ou que *adquirimos*, progressivamente, aquela penetração. A resposta, ainda aqui, encontra-se na realidade efetiva do trabalho dos físicos, ou seja, em sua prática de *pensar os fenômenos* deste campo disciplinar: um pensamento que se torna efetivo em termos de fenômenos, um pensamento que se comprova nos fenômenos através da experiência (a síntese sendo aqui o pensamento do fenômeno, o qual reúne e resume as proposições teóricas). A resposta à questão sobre o caráter “intuitivo” da teoria é, pois, positiva, tal como para as duas outras. Voltaremos a este ponto.

Essas questões referem-se ao conhecido “debate quântico” (ao menos, do qual todos já ouviram falar, embora sem sempre ter dele uma ideia muito clara e precisa). Entretanto, as respostas positivas que mencionei não prejudgam, até então, da resposta à questão sobre a “*realidade física objetiva*” que corresponderia aos *conceitos*: concordaremos sobre a “objetividade” e discutiremos ainda eventualmente sobre a “realidade”.

Tanto em sua prática, quanto em suas convicções epistemológicas sobre a Física, os físicos do domínio quântico não têm *nenhuma dúvida sobre a objetividade* do conhecimento que produzem e é assim, por força da reprodutibilidade

das experiências, pelos controles múltiplos dos resultados, pela ampliação dos efeitos (por exemplo: uma vez descobertas, as “partículas quânticas”, inicialmente raras, são doravante produzidas em feixes de alta intensidade – milhões e até bilhões de indivíduos – dos quais é possível controlar os parâmetros a vontade: feixes de neutrinos, “usinas” de bósons intermediários...).

A prática dos físicos admite, pois, uma *objetividade* sem que esta seja, até então, necessariamente associada a um *objeto* no sentido estrito. Mas o que isto quer dizer? Uma *objetividade sem objeto no sentido habitual da noção de objeto*, isto é, de uma entidade possuidora de propriedades; ou ainda, mais precisamente, porque se trata de uma questão física, uma objetividade sem objetos físicos, tais como os descrevem e os concebem as teorias mais clássicas... Podemos, então, *seja* concluir que não há mais *objetos*, embora reste a *objetividade* (mas poderemos então perguntar a que reportar tal objetividade: e a resposta dada comumente será, por exemplo, aos procedimentos de observação ou de produção dos fenômenos); *seja* declarar que tal *objetividade* corresponde ainda a “*objetos*”, mas segundo uma outra caracterização teórica dos objetos que escaparia à mecânica quântica e necessitaria de reformá-la ou completá-la. Essas duas respostas transcrevem as duas posições antagônicas e principais do debate sobre a interpretação da Física quântica, tal como era tradicionalmente apresentado há duas ou três décadas atrás. A questão filosófica fundamental em jogo nesse debate, direcionado em torno das posições respectivas de Niels Bohr e de Albert Einstein, era a do estatuto da *realidade física*, ou seja, da pertinência ou não, para a nova ciência que era a Física Quântica, da categoria de pensamento “realidade física”, geralmente considerada como dependendo da “ontologia” (e recusada junto à “metafísica”). (Esta situação de fato pôde ser por vezes mascarada sob as considerações relativas à causalidade e ao determinismo, postas preferencialmente à frente por outros protagonistas. Wolfgang Pauli foi um dos primeiros comentadores a sublinhar com força que o que verdadeiramente estava em jogo no debate entre Einstein e Bohr era, sim, o realismo)³.

A *primeira resposta*, no que concerne aos *procedimentos de observação*, sob os quais se evanesceria a noção de realidade física, isto é, a noção de *sistema físico real existindo independentemente* de suas condições de observação (e até mesmo, *concebível independentemente* destas condições⁴), corresponde à posição

3 Ver sua intervenção na discussão entre Einstein e Max Born, publicada com a correspondência entre estes últimos (EINSTEIN; BORN, 1969); ver Paty ([no prelo]).

4 A escolha desses termos corresponde à formulação por Einstein de sua exigência realista: todas as nuances (raramente percebidas) do *realismo crítico* se atêm à distinção entre *existir* e *conceber* (legitimamente) a *existência*: o que podemos dizer não escapa ao espaço do pensamento, mas se refere, entretanto, a alguma coisa que é exterior a ele, o *mundo físico*, a *matéria*, caracterizando-a de uma maneira precisa, conceitual (PATY, 1988).

conhecida como sendo a da Escola de Copenhague (que abriga de fato certa diversidade de posições) e cuja forma atenuada recente é o “antirrealismo”⁵. A *segunda*, mantendo a definição habitual do *objeto físico real*, considera que a mecânica quântica é uma teoria *incompleta* e esta resposta compreende diversas direções para conceber uma teoria como completa: uma, em termos de *restauração do determinismo* pelo acréscimo de *variáveis ocultas suplementares* de tipo clássico, com Louis de Broglie, o “primeiro” David Bohm, Jean-Pierre Vigier, Franco Selleri...⁶; uma outra, mantém a noção de estado físico real para objetos físicos individuais, localizados, mas considerando uma refundação teórica sobre conceitos outros que os conceitos “mecânico-quânticos”, os quais poderiam ser obtidos por uma via indireta, a mecânica quântica sendo reencontrada no limite clássico: tal era a perspectiva reivindicada por Einstein.⁷

Ainda que as posições presentes no debate sobre a interpretação da Física Quântica tenham sido frequentemente reduzidas às duas direções indicadas, é possível conceber uma terceira eventualidade, que de fato já existe, qual seja, admitir sem restrição a teoria quântica enquanto teoria física do domínio considerado, aprofundando meta-teoricamente (de fato, epistemologicamente) as categorias de pensamento que a subte, notadamente as próprias noções de *objeto físico* e de *propriedade física*, admitindo que elas seguem tendo um sentido – e, ainda, que elas são necessárias para pensar fisicamente –, mas sob a condição de se dar uma *nova definição, alargada*, de tais noções gerais, desenvolvendo as lições da novidade dos conceitos e da teoria quântica a este respeito.

Essa *terceira* posição (ou melhor, esse terceiro grupo de posições) não corresponde sempre a uma terceira resposta única para a questão acerca do *objeto e suas propriedades*, pois ela compreende em suas variantes, tanto uma direção filosoficamente *cética* ou indecisa, quanto uma direção francamente *realista* (realista crítica). Ela recebeu menos comentários porque é mais recente (ainda que seus elementos tenham sido sugeridos anteriormente⁸) e porque aceita a mecânica quântica como teoria completa, criticando ou rejeitando suas interpretações filosóficas dominantes, observacionais e não-realistas; e ainda, talvez, porque ela é suspeitada (ao menos como direção realista) de ingenuidade, como se iam *tomando* por garantidas, isto é, por *físicas* entidades que até então só eram concebidas como *matemáticas*, deixando assim na sombra o que faz a diferença

5 Bohr (1958), Rosenfeld (1979). Sobre o antirrealismo, ver Fine (1986), van Frassen (1991).

6 Bohm (1952, 1980), De Broglie (1953), Vigier (1983), Selleri (2007).

7 Einstein (1948, 1949), Paty (1993a, 1993b, 1995, 2001a, 2001b).

8 Por exemplo: Dirac (1926a, 1926b), Langevin (1934).

entre uma grandeza física e uma grandeza matemática ou se abstendo de justificar o que poderia identificá-las, se é isto que seus defensores pretendem.⁹

Demoremo-nos um instante, antes de retomar certas questões epistemológicas encontradas, notadamente a última (acerca da relação das entidades de expressão matemática com os fenômenos físicos), pois ela me parece corresponder ao problema epistemológico fundamental. E voltemos o olhar, durante esta pausa, para o problema posto no início: objetividade ou construtivismo?

No mínimo, um resultado já está claramente alcançado, aquele concernente ao primeiro termo: qualquer que seja a direção de sua própria interpretação epistemológica, os físicos afirmam (e realizam) a *objetividade* no conhecimento de seu domínio. Este é um resultado que podemos, com efeito, generalizar: não há, aos olhos dos físicos, Física sem objetividade e satisfazer a objetividade é precisamente o objetivo de todo o seu trabalho. A dificuldade e as divergências de pontos de vista recaem sobre a possibilidade de qualificar esta objetividade em termos de *objetos* (caracterizados por suas *propriedades*).

Resta analisar o segundo termo: senão o construtivismo, ao menos a *construção*...

3 Que relação há entre o debate sobre a interpretação da Física Quântica e a disputa objetividade-construtivismo?

Se há uma relação entre o debate epistemológico sobre a mecânica e a Física Quântica e a controvérsia atualmente diagnosticada nos debates sobre o conhecimento científico, sobretudo aqueles suscitados pelos estudos acerca da "construção social" das ciências¹⁰, o mínimo que se pode dizer é que tal relação não é nem absolutamente evidente, nem necessariamente pertinente. Parece mesmo que os dois tipos de debate são bastante estranhos um ao outro. O que não impede (sob inclinação devida ao pensamento dominante e pretensamente hegemônico) de forçar essa aproximação, atualmente, vendo, no segundo, a

9 Organizarei nessa categoria, malgrado as nuances por vezes bastante consideráveis, as concepções que vão de "realismo velado" para uma "objetividade fraca" (d'Espagnat) à um realismo de princípio solicitando uma reinterpretação, porém sem solução evidente em vista (Bell), e a um "realismo quântico" (os outros, ainda com variantes): Bell (1981), Bunge (1973), d'Espagnat (1994), Lévy-Leblond (1977), Cini e Lévy-Leblond [1990], Omnès (1994), Paty (1988, 1999, 2000a, 2003).

10 Ver Hacking (1999).

forma “pós-moderna”¹¹ do primeiro. Mas isto não aconteceria sem deformação de argumentos e distorções de raciocínios. Temos já, em todo caso, um primeiro elemento que impede a identificação entre as duas formas de debate: no debate quântico e na prática dos físicos, a constatação da *objetividade* é unânime.

Por outro lado, a maior parte dos físicos não se intimida em qualificar de *construções* as elaborações conceituais e teóricas, como as da Física Quântica, mas no sentido de *construções intelectuais*. Para eles, trata-se de uma *necessidade de princípio*: é necessário construir representações abstratas deste domínio da natureza que escapa aos sentidos, com o custo de dever, em seguida, torná-las concretas, fazendo com que elas correspondam estreitamente às características dos fenômenos físicos (tal foi, já nos primórdios, o sentido das primeiras aproximações do domínio quântico com a ajuda das probabilidades concebidas como instrumento matemático)¹².

Se considerarmos as realizações adquiridas ou empreendidas, esse caráter de construção é totalmente evidente para as teorias de grupos de simetrias tal como estas são atualmente utilizadas na física fundamental (por exemplo, as simetrias unitárias das partículas elementares ou os campos quânticos de interações de calibre unificado ou em processo de unificação); porém, a conclusão seria análoga se remontássemos aos primórdios da elaboração da Física Quântica (por exemplo, a construção de operadores para exprimir as variáveis dinâmicas, impulsão, energia, momento angular etc., a partir de geradores infinitesimais, de tipo clássico). Dir-se-á, porém, que *estas são construções matemáticas e não físicas*, e o foi dito, justamente, atenuando por isto mesmo o alcance da dimensão construtiva deste trabalho do pensamento. O que nos remete à evocação das concepções da Escola de Copenhague sobre este tema, para a qual essas construções matemáticas são puramente *instrumentais* e auxiliares para a Física que, por sua vez, seria *dada na experiência*. E também, acrescenta, pensada *na e pela* experiência (e não somente pensada *em relação à* experiência).

A Escola de Copenhague, representando a interpretação dominante (sobretudo na bela época da aparição da mecânica quântica e de suas primeiras consolidações), deixava à *Matemática as grandezas matemáticas*, abstratas e “formais”, tais como os vetores ou funções de estado, definidos em espaços de Hilbert, e seu princípio de superposição, e as variáveis dinâmicas, expressas por operadores não-comutativos agindo sobre tais funções (e denominadas, neste contexto observacionalista, “observáveis”). E dava à Física o que concernia à observação, ou seja, o que resultava da medida que, por sua vez, efetuava-se necessariamente com o auxílio de aparelhagens cujos resultados eram, no final

11 Por mais que esta expressão tão em moda tenha um sentido...

12 Ver Paty (2002).

das contas, lidos (atingindo os sentidos) por intermédio dos processos da Física clássica. Essa escola concebia como *grandezas físicas* somente aquelas que poderiam ser postas em correspondência direta com os *resultados da medida*, o que significa grandezas de tipo clássico (os aparelhos de medida sendo de tipo clássico, por definição). Estava, pois, subentendido que as grandezas deveriam ser expressas, nesta perspectiva, como *funções de valores numéricos*. A especificidade dos fenômenos quânticos obrigava, assim, segundo esta concepção e guardando a referência às grandezas clássicas (as únicas das quais é possível falar, para Niels Bohr), a suprimir daquelas grandezas sua significação física direta pela *descrição* dos fenômenos ou dos "sistemas" *quânticos*. Não se poderia alcançar ou descrever "objetos quânticos", mas apenas *efeitos de medida* sobre aqueles sistemas, restituídos pelas grandezas clássicas, únicas a atingirem os dados da *percepção*. Porém, podemos perguntar, este não é um efeito de ilusão? As próprias grandezas clássicas não correspondiam, quando foram formuladas na elaboração da Física clássica, a uma evidência dos dados dos sentidos; elas resultaram de construções intelectuais que estavam longe de parecer evidentes ou diretamente correspondentes às experiências dos sentidos.

Na concepção da Escola de Copenhague, as grandezas "matemáticas" do formalismo teórico não poderiam, pois, ser concebidas como "diretamente" físicas: elas só se reportariam aos fenômenos e às grandezas físicas por meio das *regras de interpretação* (tais como a interpretação probabilística da função de onda ou do vetor de estado, a das grandezas observadas como valores próprios dos operadores, o enunciado do princípio de superposição, a redução efetiva, na operação de medida, do vetor de estado a apenas um dos componentes da superposição linear que ele constitui, etc.). Entre essas regras, algumas correspondem às definições da significação física de grandezas por sua colocação em relação aos conteúdos físicos e são neutras filosoficamente: elas pertencem à Teoria Quântica no seu sentido estrito e são comumente aceitas com a mecânica quântica, independentemente de qualquer outra interpretação. Outras regras, ao contrário, exprimem uma convicção filosófica sobre o conhecimento, como, por exemplo, o observacionalismo ou a complementaridade, segundo Bohr, e a afirmação correlata da necessidade de se recorrer sempre aos conceitos clássicos, inclusive no domínio quântico, onde eles são afetados por limitações de validade, compensadas pela consideração de conceitos ou grandezas complementares; ou, ainda, a concepção do vetor de estado como sendo o *catálogo de conhecimentos* de um sistema e não a *representação teórica de seu estado físico*.

Todavia, essa posição filosófica, associada ao segundo gênero ("filosófico") de regras, aparece limitada por um tipo de *naturalismo* que lhe faz considerar, de maneira privilegiada, a *percepção* como tendo um papel direto no acesso ao conhecimento. Uma concepção do conhecimento como elaboração intelectual, no sentido explícito de *construção pelo entendimento*, permite, ao contrário,

conceber uma relação mais *abstrata* e feita de maneira *indireta*, no momento da construção (estes dois adjetivos, *abstrata* e *indireta*, têm, contudo, um sentido relativo, como acabamos de ver), mas que consegue integrar em um esquema teórico-conceitual de conhecimento os elementos de origem empírica dados na percepção. Elementos de origem empírica são, certamente, indispensáveis a qualquer conhecimento físico, porém, eles são sempre retomados no conhecimento, segundo o entendimento, que é aquele da compreensão, para serem transformados em conceitos e grandezas suscetíveis de se relacionarem a outros e de serem inteligíveis¹³. Nenhuma limitação em sua forma é imposta, *a priori*, em tal concepção, aos elementos de conhecimento salvo de serem relacionais como o são de maneira privilegiada as grandezas matemáticas.

Paradoxalmente, uma vez que o conhecimento dos fenômenos atômicos e infra-atômicos pareciam inicialmente necessitar de *processos construtivos*, distanciados dos dados empíricos imediatos (porque o mundo dos átomos e das radiações, dos quanta, escapa à percepção dos sentidos), certa prudência, de inspiração empirista, teria acompanhado e marcado a acumulação de seus sucessos no plano teórico. Como se a exigência de objetividade e de racionalidade para o conhecimento do domínio quântico houvesse tido, como contrapartida, a desconfiança (para não dizer rejeição) no tocante às *construções intelectuais* abstratas, efetuadas segundo as formas matemáticas. Estas últimas sendo, neste caso, adotadas como um simples “formalismo”, sem dúvida poderoso, mas, no final das contas, auxiliar. Ao invés disso, uma *teoria física*, tal como era geralmente concebida até então, da Física clássica à relatividade geral, constituía a instância mesma da inteligibilidade do domínio fenomenal considerado. Esta ideia não teria verdadeiramente mais nenhuma pertinência para o domínio quântico? É sobre isto que nos propomos discutir agora, interrogando-nos sobre o gênero de *construção* que é a Teoria Quântica.

4 Em que sentido é possível falar de construção?

Os conceitos e as teorias são construções intelectuais na modalidade do pensamento simbólico, característico da presença e do lugar do homem na natureza, meio de sua compreensão da natureza e de sua comunicação com seus semelhantes. É razoável à primeira vista, pois, considerar que tais construções não são apenas de pensamentos individuais, mas que elas têm uma dimensão social. Há algum tempo, a ideia de “construção social” das ciências tornou-se

13 Um exemplo que trata deste conhecimento em dois níveis, um perceptivo, o outro intelectual, é a diferença entre o espaço representativo e o espaço geométrico, descrita por Poincaré (1902, cap. 4).

um dos cavalos-de-batalha de uma nova socioantropologia das ciências que se ocupa do comportamento social dos cientistas em grupo, de suas redes, de suas estratégias de poder, visíveis notadamente nos modelos de fundamentação da *big-science*. Entretanto, esse interesse exclusivo, que pretende se estender a todo o conjunto da história das ciências, desenvolve-se infelizmente à custa do abandono e do esquecimento dos aspectos propriamente intelectuais do movimento do conhecimento. Falam-nos, por exemplo, da “construção social dos quarks”¹⁴ (partículas quânticas fundamentais das teorias dinâmicas atuais da matéria, na teoria quântica dos campos) e até mesmo de “construção social” da racionalidade ou da verdade.¹⁵ Estas novas doutrinas se interessam muito pouco pelo trabalho racional efetivo dos físicos e pela perspectiva de objetividade que os guia e que eles reivindicam. Para o construtivismo social radical, os conceitos e as teorias dos físicos são artefatos construídos socialmente que só devem sua aceitação ao consenso dos atores e manipuladores das redes, muito mais ocupados com jogos de poder do que com a preocupação em saber como o mundo é feito; este seria um objetivo ilusório, uma aura ideológica secretada por seu meio sociocultural, para justificar sua atividade a seus próprios olhos e aos olhos do restante da sociedade; os pesquisadores que se imaginam trabalhar na (e para) a objetividade, são apenas, de fato, agentes produtores de construções sociais que dão a ilusão da objetividade¹⁶... O objetivo e os motivos que eles invocam de preferência, a saber, a solução de problemas pela descrição ou representação ou, pior ainda, a explicação do mundo fenomenal ou do mundo real, recobririam atividades de natureza menos nobres e muito mais prosaicas.

Felizmente, outras perspectivas mais equilibradas e respeitosas da dimensão intelectual do pensamento humano são possíveis. Considerar a produção das ciências do ponto de vista da *construção social* apresenta seguramente um interesse quanto às condições efetivas da produção dos conhecimentos nas sociedades e quanto a sua relação com outras atividades humanas, como elas inscritas na história. Porém, isto não impede de também prestar atenção às lições da epistemologia, ponto de vista que se interessa pelos conteúdos de conhecimento, o único a permitir entrar na inteligibilidade de tais conteúdos. Tomá-los conjuntamente, porque a realidade efetiva da produção dos conhecimentos na sociedade e na história o exige, é precisamente a posição do grande (e saudoso) sociólogo Pierre Bourdieu, que descreve, por sua parte, a tarefa da sociologia das ciências como sendo a de elucidar as “condições sociais ou sócio-epistêmicas de possibilidade dos conhecimentos científicos”. Ela não se substitui de forma alguma

14 Pickering (1984).

15 Shapin (1994).

16 Cofira, p. ex., Latour (1989). Para as críticas a estes pontos de vista, ver Gingras (1995), Shinn (2000), Bourdieu (2001) e Paty (2001b).

à perspectiva da epistemologia: as duas se esclarecem de fato mutuamente para compreender o conhecimento como o resultado de uma atividade do homem, ser eminentemente social.

Do ponto de vista da *epistemologia da construção racional* objetiva, os conceitos científicos devem sua legitimidade a um processo de caracterização racional, capaz de ser retraçado ou reencontrado pela análise tanto dos contextos sociohistóricos e culturais, quanto dos elementos cognitivos relacionados a sua inteligibilidade, assim como as representações conceituais e teóricas de tais fenômenos ou entidades físicas, a significação das experiências em relação a estes esquemas teóricos e à possibilidade de pensá-los e criá-los tecnicamente. Numerosos exemplos, tomados na história ou também contemporâneos, poderiam ser examinados nessa perspectiva: da elaboração da mecânica quântica à descoberta das correntes neutras, à evidenciação dos quarks ou dos bósons intermediários (em breve, talvez, dos bósons de Brout, Englert e Higgs)¹⁷.

Andrew Pickering acreditou ter decifrado (em sua obra mencionada) a “construção social dos quarks” e reduzido assim a *produção* dos quarks à fabricação de um “consenso” ao cabo de “negociações”¹⁸. Em suma, ele poderia dizer isto mesmo nesta altura da construção dos quanta, subtraindo o “confinamento” e os últimos aspectos da *big science*. Os quanta e suas “partículas” (quânticas) idênticas indiscerníveis (tão pouco familiares, tão pouco pensáveis inicialmente) não são menos construídos que os quarks.

Tomemos por um instante os *quarks*. Sigamos as elaborações racionais que os constituíram em relação aos dados empíricos sobre as propriedades das partículas elementares (hadrônicas). Distinguímos, particularmente, nestas elaborações, tais que possamos segui-las em seu desenvolvimento¹⁹, dois tempos ou duas faces de sua colocação em evidência (ou de sua produção conceitual e efetiva). É, com efeito, em primeiro lugar, uma elaboração matemática, que implica a teoria dos grupos de simetria para as grandezas quânticas representantes das “propriedades” das partículas (operadores dos diversos “sabores”, isospin, estranheza etc.): deste ponto de vista, as partículas, remetidas a seus números quânticos, são constituídas de quarks “matemáticos”. Vêm, em seguida, num segundo tempo, os resultados das experiências de difusão penetrante de partículas (léptons, fótons) sobre outras (prótons, nêutrons) que põem em evidência centros duros de difusão nestes últimos, cujas propriedades em termos quânticos se confirmam como as dos quarks precedentes (“matemáticos”). Daí a identificação dos dois, os quarks

17 Paty (2003, cap. 7, p. 116, 218).

18 Pickering (1984).

19 Paty (1988, cap. 9); Paty (2003, cap.7).

"matemáticos" (de início puramente formais) e os quarks "físicos", inicialmente apenas empíricos. Deve-se também mencionar um terceiro passo da construção, no qual intervêm as teorias de simetria de calibre dos campos de interação que incorporam os quarks, em razão de suas propriedades²⁰, a título de "objetos-fonte" dos campos (quânticos) de interação: é a construção da "cromodinâmica quântica"²¹.

Seguir os traços dos processos dessas elaborações, dessas *construções* teóricas, tal como foram propostas, aprofundadas e testadas, impede de reduzi-las a puras práticas sociais, instrumentais, de decisão. Tais práticas, certamente, se deixam constatar que são a marca da dimensão social desses processos de elaboração ou de construção, ou seja, do contexto social no qual elas foram produzidas, do meio onde se alimentou socialmente e culturalmente a atividade dos pesquisadores científicos que as formularam em seu pensamento (na atividade de seu pensamento). Evidentemente, as ideias não nascem diretamente de um "meio social", mas de indivíduos e de pensamentos singulares viventes neste meio. As "negociações" e persuasões que levam à aceitação mais ou menos rápida de tal enunciado de conhecimento, longe de abolir a exigência da inteligibilidade segundo a racionalidade, que corresponde aos pensamentos singulares, devem tê-la em conta, ao contrário, fazendo dessa exigência sua regra: esta assume a tarefa de uma condição de credibilidade, à qual as falsas construções não resistirão muito tempo. Bourdieu (2001) fala justamente a esse respeito de "condição sócio-transcendental".

Estas ideias foram constituídas intelectualmente em vista de um sentido e o que lhe dá este sentido, e que guia o pensamento de seus inventores, é uma cadeia de considerações racionais, ordenadas pelo pensamento racional, segundo as modalidades deste (quais sejam, as modalidades conceituais, teóricas e ligadas aos dados da experiência), que pertencem a um *campo disciplinar* dado, constituindo-o intelectualmente. Tais elaborações são formadas por *processos de pensamento* que recaem sobre o *pensamento simbólico* e, ao mesmo tempo, o *concreto de pensamento*, esta última expressão designando *conteúdos físicos*, referindo-se a objetos ou a fenômenos efetivamente atestados (e por isto mesmo

20 Notadamente sua "liberdade assintótica" a mínimas distâncias, que torna possível a aproximação em termos de campos quantificados mesmo para a interação forte, pois ela pode, desde então, ser tratada em série de perturbação da constante de acoplagem (esta, sendo pequena em mínimas distâncias, pode ser associada a uma série convergente).

21 Teoria dinâmica do campo quântico da "cor" (a "cor" é um número quântico caracterizando os quarks), considerado como o campo fundamental das interações nucleares fortes. A terminologia, fantasiosa e por vezes gratuita, intervém talvez, tomada superficialmente, contra a consideração do caráter objetivo e "real" destas entidades; por outro lado, ela torna diretamente manifesto que se trata de construções.

controláveis) que não seguem as conveniências da moda, ou das circunstâncias orçamentárias, e não dependem do relaxamento e das reconfigurações das “redes”. Os “objetos de pensamento” assim constituídos são *estáveis* através das transformações sociais, assim como através dos discursos retóricos ou outros pronunciamentos sobre eles.

O campo disciplinar, concebido também como campo social, legitimamente, como o “campo científico” de Pierre Bourdieu (1976, 2001), não pode apagar ou negar a asseidade deste “concreto-de-pensamento”: por outro lado, neste último caso, como acabamos de afirmar, longe de negá-lo ou ignorá-lo, ele o leva em conta no estudo das modalidades de sua inscrição social, contribuindo assim para esclarecer as circunstâncias de sua formação ou de seu funcionamento. O estudo dos comportamentos sociais, concebido desta maneira (também racional e científica), não se propõe a reduzir aos últimos a racionalidade específica que opera na construção intelectual estudada; ao contrário, ele a leva em consideração e ao mesmo tempo a re-situa nas condições concretas, históricas e sociais, de sua elaboração ou de seu emprego e caracteriza as linhas de força que a acompanham nesta ordem. Concebida desta maneira, a aproximação sociológica da atividade científica pode então, legitimamente, se apresentar como o estudo das *condições sociais de possibilidade* de tal conhecimento científico²², ou de tal tipo de racionalidade, e longe de concorrer ou de recusar a aproximação filosófica e epistemológica dos objetos intelectuais do campo, ela a completa ao fornecer esta dimensão, esclarecedora ao seu nível.

Contudo, é provável que os aspectos contingentes, ligados a uma cultura particular do grupo de especialistas do domínio, desenvolveram um papel não-neutro nesta elaboração, tanto para a Física Quântica quanto para os quarks, ou os neutrinos, ou as correntes neutras etc., conseguindo que uma interpretação (ou uma via de pesquisa) e não outra seja predominante durante certo tempo. Seria seguramente interessante estudar tais efeitos, combinando aqui a análise epistemológica e a investigação sociológica.²³

22 Esta expressão de Bourdieu, já evocada acima, faz ver, por sua referência implícita a Kant, que ela não nega a preocupação com o racional, mas a completa pela contextualização.

23 Este seria um gênero de investigação na direção dos estudos de Peter Galison (1987, 1997); Ver a análise proposta em Darrigol (1998) e as de Terry Shinn sobre a “pesquisa-tecnologia”. (SHINN, 1993, 1999, 2000; JOERGES; SHINN, 2001)

5 Prática do pensamento dos conceitos e inteligibilidade: um aspecto “sociocognitivo” da interpretação da mecânica quântica

O longo domínio da interpretação observacionalista da mecânica quântica, por exemplo, está inegavelmente ligado à pressão de uma “escola” (a de Bohr, a Escola dita de Copenhague), estrategicamente influente por razões que podemos aqui descrever. Ela obteve a adesão quase geral da “comunidade” dos físicos quânticos, mas com alguns “dissidentes”, o mais irredutível entre eles sendo Einstein, que recusava transigir sobre a questão da *realidade física* como sendo, a seus olhos, o próprio objeto da teoria física. (Einstein invocava a ideia de uma “realidade física” de uma forma que ultrapassava o simples posicionamento “metafísico” ou “ontológico”, relacionando-a a critérios cognitivos próprios às determinações da Física: segundo ele, a Física descreve os “elementos da realidade física” individualizados, existindo independentemente de sua observação²⁴).

Os físicos quânticos desenvolveram, assim, em torno de Niels Bohr, uma “ortodoxia” que teve, com efeito, suas vantagens: ela lhes permitiu não se deixar distrair pelas insatisfações, quanto aos fundamentos, e a continuar seguindo adiante nas construções da física atômica e subatômica (nuclear e subnuclear). Mas essa ortodoxia não foi finalmente mantida a favor e contra tudo; as ideias se esclareceram com o tempo e com a experiência adquirida, dissociando, particularmente, as considerações ligadas à *interpretação filosófica* e aos *enunciados puramente físicos*. Estes últimos, para além de toda obediência “ortodoxa”, continuam participando da bagagem de todo físico quântico e constituem “invariantes”, enquanto que as posições gerais como o *observacionalismo* e a *complementaridade*, no sentido filosófico (bohriano), foram bem desfeitas no decorrer das décadas: restam hoje sobretudo os resíduos fossilizados no vocabulário (“incerteza”, “indeterminação”, “observáveis”...) que, doravante, não são mais do que os vestígios testemunhais de circunstâncias contingentes (de natureza sociocultural) das elaborações iniciais.

Mas aqui houve um efeito interessante, o qual nos permite estimar que, malgrado as distorções indicadas de origem social e cultural, malgrado os efeitos de “construção social”, o pensamento científico é *movido por um encadeamento* bem mais determinante que permite ultrapassá-los e cuja força permanece relacionada ao jogo da atividade racional e da natureza (compreendida como *physis*, o mundo externo ao pensamento e à sociedade), havendo entre os dois *o exercício de uma prática do pensamento físico, teórico e experimental*, pelos físicos dos laboratórios de pesquisa. Ocorre que, no fim das contas, tendo ido adiante, estes físicos vieram, por assim dizer, naturalmente a pensar os sistemas físicos os quais

24 Paty (200?).

eles tratam como “objetos” (isto é, como entidades físicas que possuem propriedades), enquanto que tal “simplificação” lhes tinha sido inicialmente impedida.

Se a partir de então eles puderam agir dessa forma não foi porque transgrediram o impedimento nas boas razões que existiam (de não reduzir o quântico ao clássico), mas porque contornaram o impedimento: eles mantiveram a exigência de pensar os sistemas quânticos diferentemente dos objetos clássicos anteriores, uma vez que não deixaram de aplicar o modelo de aproximação teórico-quântico, que não é outro senão o da *Teoria Quântica*, com suas *grandezas* (ditas *matemáticas* (vetores de estado, operadores...) trazidas de fato (sem que isto seja explicitamente dito) à posição de *conceitos físicos*, e seu “*formalismo*” próprios. Este último aparenta não ser outra coisa em seu pensamento efetivo que a própria forma da *teoria* (no sentido de *teoria física* para um campo de fenômenos). Eles, os físicos, integraram este modo de aproximação (teórico-quântica) ao que concebiam de fato, na prática de seu trabalho, como sendo “objetos físicos” e “propriedades” de tais objetos, estes últimos ganhando seu sentido a partir da própria teoria²⁵. Eles têm este modo tão bem integrado que conceberam e realizaram suas experiências em função dele. Eles materializaram (ou concretizaram), por assim dizer, nos próprios dispositivos experimentais, *os conceitos e a teoria quântica*, fazendo-os tomar corpo ao realizar o que Bachelard chamava uma “fenomenotécnica”²⁶.

Façamos, quanto a isso, duas observações. A primeira, que a integração em questão se fez por assimilação e interiorização. A segunda, que é possível, agindo de tal forma, afinar nossa concepção de “objetos” e de “propriedades” (por extensão de sentidos, de tipo categorial). De fato, a ideia de *assimilar* guarda uma ligação com a ideia de *remodelar categorias* (tais como as categorias de grandeza física, objeto e propriedade física)²⁷.

Notemos, além disso, acidentalmente, que se poderia estudar sob esse ângulo, em uma investigação ao mesmo tempo epistemológica e sociológica, a atividade efetiva dos pesquisadores em física atômica, nuclear ou das partículas elementares, tanto dos teóricos “fenomenólogos” (próximos da experiência), quanto dos experimentadores que trabalham sobre a análise dos dados, ou concebendo e realizando as aparelhagens, os aceleradores, os feixes de partículas quânticas e os detectores. E entre tais físicos, em particular, aqueles (físicos atômicos e ópticos quânticos) que se dedicam a “fabricar” e a estudar fisicamente os fenômenos mais

25 Paty (1999).

26 Bachelard (1934, p. 5, 13) falava da “realização do racional na experiência física”. Ver também Bachelard (1949).

27 Ver, a propósito das “grandezas físicas” em geral, Paty (2001a) e sobre a assimilação no sentido indicado: Paty (2005b).

simples e mais "fundamentais" do ponto de vista das bases conceituais e teóricas da Física Quântica, isto é, os fenômenos "não clássicos"; a saber, a interferência de uma partícula quântica consigo mesma, a condensação de Bose-Einstein, a descoerência etc., dos quais lembraremos um pouco mais à frente.

No entanto, as pesquisas existentes de história das ciências ou de socioepistemologia sobre os domínios ligados à Física Quântica não têm evidenciado, segundo tenho conhecimento, essa perspectiva; e seus autores não estão interessados até aqui no problema preciso que podemos designar: *as implicações epistemológicas da prática científica e social da Física Quântica*. Este seria, entretanto, um ponto muito original de encontro e de confrontação entre as questões fundamentais da epistemologia (aqui, a epistemologia da mecânica quântica) e o estudo sociohistórico do trabalho dos físicos que operam nesses domínios. Fato é que este encontro de domínios não teve ainda lugar, pois os epistemólogos do debate quântico permanecem relegados às aproximações puramente filosóficas, ou pretensamente filosóficas, ao passo que os sociólogos e socioepistemólogos se interessam mais por outros problemas de "construção" da física contemporânea do que por aqueles relativos à própria mecânica quântica. Gostaria de ressaltar, todavia, os recentes estudos originais de Olival Freire e de seus alunos acerca da institucionalização da dimensão epistemológica da Física no campo disciplinar da Física Quântica, que homologou a legitimidade do debate sobre os fundamentos e a interpretação.²⁸

Ao menos teve lugar a experiência, feita regularmente pelos físicos em seu trabalho de pesquisa, de que os conceitos teóricos da mecânica quântica constituem de fato o *quadro de pensamento* por meio do qual eles atingem os sistemas e problemas físicos (quânticos) estudados. Praticando o exercício do pensamento físico neste quadro, este transforma-se em uma segunda natureza, ou ainda, este quadro de pensamento é transformado em propriamente "intuitivo"; e ele perdia, por isto mesmo, toda necessidade de ser interpretado da maneira antiga ("ortodoxa"), que relacionava o quântico ao clássico, ora sem reduzi-lo, mas tomando o modelo clássico de pensar e de observar como referência indispensável.

Dito de outra forma, *tais físicos inventaram*, ou codificaram, assim, *uma outra maneira de pensar esses sistemas quânticos como objetos*, tornando-lhes *concretos, diretos, intuitivos*, em um sentido outro que aquele relativo aos objetos das concepções anteriores; tendo sido tal sentido insuflado em seu pensamento (racional) em física por sua prática da Física Quântica (prática teórica ou experimental, por vezes as duas juntas). Eles *conceberam de outra forma o que é um objeto físico*, e o fazem funcionar

28 Freire (1999, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007). Devemos mencionar igualmente os esforços e as realizações referentes à mecânica quântica de base, as quais têm em conta as lições do debate sobre a interpretação: Bohm (1951), Diu, Cohen-Tannoudji e Laloë (1973); Lévy-Leblond e Balibar (1984) etc.

praticamente, em seu pensamento, sem necessariamente ter dele uma consciência explícita. Frequentemente, apesar de contrariar assim por meio de seu “pensamento prático” às regras de interpretação ortodoxa, eles repetem certos elementos do *credo*. Em outros termos, sua epistemologia expressa não é sempre conforme à prática de seu pensamento conceitual e teórico do domínio quântico (e ainda, que me perdoem por ousar tal julgamento, ela permanece bem aquém deste).

Na necessidade encontrada de *formular os objetos correspondendo à objetividade* que eles perseguem, esses físicos não somente exploraram esse domínio com proveito, revelando novas propriedades, ainda objetivas, da matéria física, como fabricaram em laboratório tais objetos, impensáveis sem a teoria quântica. E, em particular, esses “objetos” que são os mais simples de descrever no quadro da teoria quântica, nisso que correspondem exatamente às características ditas “matemáticas” (transpostas em “representação de sistemas e propriedades físicas”) das entidades teóricas da mecânica quântica, tais como o vetor de estado para representar e descrever o próprio estado físico (esta “função de onda sem onda” do início da teoria) e os operadores não comutativos (matrizes, diferenciação, etc.) para representar e descrever as propriedades de tais sistemas e de seus estados.

Tais objetos desse tipo de simplicidade são os *sistemas quânticos individuais* que engendram por si mesmos os fenômenos especificamente quânticos, precedentemente concebidos apenas de maneira estatística (difração e interferência consigo mesmo de elétrons, de fótons, de nêutrons, de átomos, produzidos individualmente, interações de átomos individuais com seu próprio campo eletromagnético etc.); ou os *sistemas quânticos idênticos indiscerníveis*, simétricos ou antissimétricos pela permutação de dois deles, dando a condensação de Bose-Einstein em um caso, o princípio de exclusão de Pauli no outro, com consequências físicas consideráveis (constatadas) nos dois. Tais fenômenos que não teriam sido pensáveis sem a Teoria Quântica e suas grandezas, fazem-nos como que “tocar com o dedo” o vetor de estado (ou a função de onda) pelo sistema quântico “simples” correspondente, o qual engendra diretamente tais efeitos.

De algum modo, há um *encerramento do que é físico* (os estados de sistemas quânticos) pela *descrição teórica* com suas grandezas próprias, que são a expressão de seus conceitos. Estes conceitos, intelectualmente construídos, podem ser vistos, em sua própria expressão matemática, como *novas modalidades de descrição ou de qualificação da “realidade física”*, no sentido em que as grandezas que transcrevem ou expressam os conceitos fornecem, por suas relações, a descrição exata das propriedades destes sistemas. Podemos ver neles uma *extensão de sentido da noção de grandeza física*, para além do puramente numérico e do diretamente mensurável, uma vez que a concepção de Bohr impedia por princípio tal visão (porque para ele só havia conceito físico que fosse clássico)²⁹.

29 Ver Paty (1999, 2000b, 2001a, 2002, 2003).

Supondo que este seja efetivamente o caso, não se trataria mais que de uma regra do jogo que muda, alguns vão dizer. Isso nos leva de volta ao “construído social” e a sua retórica fechada! Mas isto seria uma visão muito limitada das coisas e suprimiria toda a espessura, do ponto de vista cognitivo, da atividade prática deste pensamento que interiorizou a mudança (sempre com o recurso à experiência como pedra de toque do possível para o real): ao passo que também essa atividade prática tornou concreto esse pensamento, pela produção de efeitos físicos, materiais e, desta forma, imediatamente inteligíveis. Pois, parece bem necessário, para identificar e receber a *novidade* (em uma descoberta) e para assimilá-la, que a racionalidade, a operar no trabalho do pensamento, se alargasse para dar-lhe um lugar e incluí-la, para *integrá-la*, enquanto que esta novidade que assim se apresenta era anteriormente impossível de conceber, nos quadros anteriores muito estreitos do pensamento.

Esses alargamentos da racionalidade teriam, provavelmente, sido impossíveis fora da existência de uma “comunidade”, de um grupo social de indivíduos intercambiando pensamentos (pela educação, pesquisa, comunicação, transmissão etc.). Mas, nesses *alargamentos do racional* (das formas de racionalidade), o que penetra o racional para transformá-lo não é o social, no caso aqui considerado da Física; é antes alguma *coisa do mundo exterior, pela ocasião do dado empírico* que necessitava ser entendido, compreendido, ou seja, ser integrado racionalmente. O que se operou aqui, de um ponto de vista fundamental, foi que *o racional se nutriu do empírico para se transformar em alguma coisa que permanece ainda fundamentalmente racional*, um racional mais largo, como um organismo que cresce e se complexifica, preservando a constituição de seu meio interno, as tendências de sua estruturação própria. (PATY, 2005b)

Resta que, nessa assimilação-transformação de alguma coisa empiricamente dada em algo racional diretamente inteligível, que resulta (ou deveria resultar) em uma mudança da interpretação, correspondendo a um outro pensamento do conteúdo físico da teoria, a prática dos físicos (como atividade individual e social) assume, seguramente, um papel considerável, o qual seria interessante analisar mais adiante³⁰. Mas de forma alguma se trata de uma redução do conteúdo do pensamento científico ao do “construído socialmente”.

A fraqueza congênita da explicação dos conhecimentos científicos pela “construção social” está em querer ignorar a especificidade do racional, a capacidade de autoconsistência e de alargamento do pensamento racional, a presença e a resistência do mundo exterior (o “real”, a “natureza”) e a objetividade dos diferentes campos científicos. Em outras palavras, o social não é um dissolvente da objetividade e da racionalidade, mas ele é o meio-ambiente no

30 Paty (2010).

seio do qual *certa objetividade é produzida por construção, a partir da experiência do mundo, segundo os modos do racional*. Relativamente a isto, todo discurso de exterioridade e de pura retórica é vão e só constrói, na melhor das hipóteses, sofismas.

Referências

BACHELARD, Gaston. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin, 1938.

_____. *Le nouvel esprit scientifique*. 9. ed. Paris: Alcan, 1934. Também publicado em Paris: Presses Universitaires de France, 1966.

_____. *Le rationalisme appliqué*. Paris: Press Universitaires de France, 1949.

BELL, John S. *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

BEN-DOV, Yoav. *Versions de la mécanique quantique sans réduction de la fonction d'onde*, Tese de doutorado (Doctor) - Université de France, Paris, 1988.

BOHM, David. *Quantum Theory*. Englewood Cliffs, USA: Prentice Hall, 1951.

_____. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of « hidden variable s». *Physical Review*, v. 85, p. 166-179, 1952. Retomado em Bohm [1980].

_____. *Wholeness and the implicate order*. London: Routledge and Kegan Paul, 1980.

BOHR, Niels. *Atomic physics and human knowledge*. New York: Wiley, 1958. Trad. fr. por Edmond Bauer e Roland Omnès, *Physique atomique et connaissance humaine*, Paris, Gauthier-Villars; nova ed. estabelecida por Catherine Chevalley, Paris: Gallimard, 1991.

BOURDIEU, Pierre. *Science de la science et réflexivité*, Paris : Raison d'Agir, 2001.

_____. *La science du champ scientifique et la réflexivité*. Paris, 2001. Curso do Collège de France, Cátedra de sociologia, jan./abr. 2001. Anotações tomadas no curso por M.P.

BUCHWALD, J. (Ed.). *Scientific Practice: theories and stories of doing physics*. Chicago: Chicago University Press, Chicago, 1995.

BUNGE, Mario. *Philosophy of physics*. Dordrecht: Reidel, 1973. Trad. fr., *Philosophie de la physique*. Paris: Seuil, 1975.

CINI, Marcello; LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc (Ed.). *Quantum theory without reduction*. London: Adam Hilger, 1990.

DARRIGOL, Olivier. *From c-Numbers to q-Numbers. The classical Analogy in the History of Quantum Theory*. Berkeley: University of California Press, 1992.

_____. Toward a new topology of scientific practice. *Historical Studies in the Philosophical Sciences*, v. 28, n. 2, p. 337-351, 1998.

DE BROGLIE, Louis. *La physique quantique restera-t-elle indéterministe?* Paris: Gauthier-Villars, 1953a.

DIRAC, Paul A. M. *The principles of quantum mechanics*. Oxford: Clarendon, 1930. Trad. fr. por Alexandre Proca e Jean Ullmo, *Les principes de la mécanique quantique*. Paris: Presses Universitaires de France, 1931.

_____. On quantum algebra. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, v. 23, p. 412-418, 1926b.

_____. Quantum mechanics and a preliminary investigation of the hydrogen atom, *Proceedings of the Royal society of London*, A 110, p. 561-579, 1926a. Repr. parcial em Waerden [1967], p. 417-427.

DIU, Bernard; COHEN-TANNOUDJI, Claude; LALOE, Franck. *Mécanique quantique*. Paris: Hermann, 1973. 2 v.

EINSTEIN, Albert. *Oeuvres choisies*. Trad. fr. pelo grupo de trad. do ENS Fontenay-St-Cloud et al. Edição sob a dir. de Françoise Balibar. Paris: Seuil/CNRS, 1989-1993. 6 v.

_____. Quantenmechanik und Wirklichkeit. *Dialectica*, v. 2, p. 35-39, 1948. Trad. fr., Mécanique quantique et réalité, in Einstein, A. *Oeuvres choisies*, p. 244-249.

_____. Reply to criticism. Remarks concerning the essays brought together in this cooperative volume. *Schilpp*, p. 663-693, 1949.

EINSTEIN, Albert; BORN, Max. *Briefwechsel 1916-1955*. München: Nymphenburger Verlagshandlung GmbH, 1969. Trad. fr. por Pierre Leccia, *Correspondance 1916-1955, commentée par Max Born*. Paris: Seuil, 1972.

D'ESPAGNAT, Bernard. *Le réel voilé. Analyse des concepts quantiques*. Paris: Fayard, 1994.

FINE, Arthur. *The shaky game. einstein realism and the quantum theory*. Chicago: The University of Chicago, 1986.

FRASSEN, Baas van. *Quantum Mechanics, an empiricist view*. Oxford: Oxford University Press, 1991.

FREIRE, Olival. *David Bohm e a Controversia dos Quanta*. Campinas, SP: Unicamp, 1999. (Coleção CLE, n, 27).

_____. The historical roots of “foundations of quantum physics” as a field of research (1950-1970). *Foundations of Physics*, v. 34, p. 1741-1760, 2004.

_____. Orthodoxy and heterodoxy in the research on the foundation of quantum physics: E.P. Wigner's case. In: SANTOS, Boaventura de Souza (Ed.). *Cognitive justice in a global world. prudent knowledges for a decent life*. Lanham: LexingtonBooks, Rowman & Littlefield, 2007. p. 203-209.

_____. Philosophy enters the optics laboratory: Bell's theorem and its first experimental tests (1965-1982). *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, v. 37, p. 577-616, 2006.

_____. Science and Exile: David Bohm, the cold war, and a new interpretation of Quantum Mechanics, *Historical Studies in the Physical Sciences*, v. 36, p. 1-34, 2005.

_____. A story without an ending: The quantum physics controversy 1950-1970. *Science & Education*, v. 12, p. 573-58, 2003.

GALISON, Peter. *How experiment end*. Chicago: Chicago University Press, 1987.

_____. *Image and Logic: a material culture of microphysics*. Chicago: Chicago University Press, 1997.

GINGRAS, Yves. Un air de radicalisme. Sur quelques tendances récentes en sociologie de la science et de la technologie. *Actes de la recherche en sciences sociales*, n. 108, 3-17, jun. 1995.

_____. Constructing a Tokamak. *Social Studies of Science*, v. 23, n. 1, p. 5-36, 1993.

_____. Mathématisation et exclusion: Socio-analyse de la formation des cités savants. In: WUNENBURGER, Jean-Jacques (Ed.). *Bachelard et l'épistémologie française*. Paris: PUF, 2001. (Débats philosophiques).

HACKING, Ian. *The social construction of what?* Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1999.

JAMMER, Max. *The philosophy of quantum mechanics: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. New York: Wiley and sons, 1974.

JOERGES, Bernward; SHINN, Terry (Ed.). *Instrumentation between science, state and industry*. Dordrecht: Kluwer, 2001.

LANGEVIN, Paul. *La notion de corpuscules et d'atomes*. Paris: Hermann, 1934.

LATOUR, Bruno. *La science en action*. Paris: La Découverte, 1989.

LEITE LOPES, José; PATY, Michel (Ed.). *Quantum Mechanics, a Half Century Later*, Dordrecht: Reidel, 1977.

LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc. Towards a proper quantum theory. In: LEITE LOPES, José; PATY, Michel (Ed.). *Quantum Mechanics, a Half Century Later*, Dordrecht: Reidel, 1977. p. 172-205.

LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc; BALIBAR, Françoise. *Quantique: rudiments*. Paris: CNRS-Interéditions, 1984.

MEHRA, Jagdish; RECHENBERG, Helmut. *The Historical Development of Quantum Theory*. New York: Verlag; Berlin: Springer, 1992.

OMNÈS, Roland. *The Interpretation of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press, 1994.

PATY, Michel. Are quantum systems physical objects with physical properties?, *European Journal of Physics*, v. 20, p. 373-388, nov. 1999.

_____. The concept of quantum state: new views on old phenomena. In: ASHTEKAR, Abhay et al (Ed.). *Revisiting the Foundations of Relativistic Physics: Festschrift in Honor of John Stachel*. Dordrecht: Boston Studies in the Philosophy and History of Science: Kluwer Academic, 2003. p. 451-478.

_____. *La connaissance scientifique comme pensée symbolique*. [in Bachta, A. (éd.), *Michel Paty, philosophe et historien des sciences*, Paris : Hermann, 2010

_____. Des fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées. *Philosophia Scientiæ*, Paris: Univ. Nancy 2, v. 9, n. 2, p. 109-130, 2005b.

_____. *Einstein philosophe*. Paris: Universitaires de France, 1993a.

_____. *Einstein, les quanta et le réel (critique et construction théorique)*. No prelo.

_____. Intelligibilité et historicité (Science, rationalité, histoire). In: SALDAÑA, Juan José (Ed.). *Science and cultural diversity: filling a Gap in the History of Science*. México, 2001c. p. 59-95. (Cadernos de Quipu 5)

_____. Interprétations et significations en physique quantique, *Revue Internationale de Philosophie*, n. 212, p. 17-60, 2000a.

_____. *La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine*. Paris: Archives contemporaines, 1988.

_____. The nature of Einstein's objections to the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. *Foundations of Physics*, v. 25, n. 1, p. 183-204, jan. 1995.

_____. Paty, Michel. La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique, in Espinoza, Miguel (éd.), *De la science à la philosophie. Hommage à Jean Largeault*, Paris : L'Harmattan, 2001, p. 247-286. Trad. Inglesa: The idea of quantity at the origin of the legitimacy of mathematization in phy-

sics. In: GOULD, Carol (Ed.). *Constructivism and Practice: Towards a Historical Epistemology*. Lanham: Rowman & Littlefield, 2003. p. 109-135.

_____. La physique quantique ou l'entraînement de la forme mathématique sur la pensée physique. In: MATAIX, Carmen; RIVADULLA, Andrés (Ed.). *Física cuantica y realidad: quantum physics and reality*. Madrid: Complutense, 2002. p. 97-134.

_____. The problem of the physical interpretation of theoretical quantities and the intelligibility of the quantum world. In: DEBRU, Claude; PATY, Michel (Ed.). Changes in interpretation and conceptual contents. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels. In: SALDAÑA, Juan José (Ed.). *Science and Cultural Diversity. In: International Congress of History of Science*, 20., 2001, Mexico. *Proceedings...*, Mexico: Universidad Autónoma de México & Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, 2005a. v. 37, p. 2774-2793. CD-Rom.

_____. The quantum and the classical domains as provisional parallel co-existents. *Synthese*, Dordrecht; Boston: Kluwer, v. 125, n.1-2, p. 179-200, out.-nov. 2000b. Editores: Steven French; Décio Krause e Francisco Doria, In honour of Newton da Costa, on the occasion of his seventieth birthday.

_____. Sur les variables cachées de la mécanique quantique: Albert Einstein, David Bohm et Louis de Broglie. *La Pensée*, n. 292, p. 93-116, mar./abr. 1993b.

_____. Uma visão "antropológica" do conhecimento científico (resenha de «Bruno Latour. *Ciência em Ação. Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo: Unesp, 2000). *Ciência Hoje*, São Paulo, v. 28, n. 168, p. 68-69, jan./fev. 2001b.

PICKERING, Andrew. *Constructing quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Edinburgh: Edinburgh University, 1984.

POINCARÉ, Henri. *La science et l'hypothèse*. Paris: Flammarion, 1902.

ROSENFELD, Léon. *Selected papers*. Edited by Robert S. Cohen and John Stachel. Dordrecht: Reidel, 1979.

SHAPIN, Steven. *A social history of truth: civility and science in seventeenth century England*. Chicago: University of Chicago Press, 1994.

SCHILPP, Paul-Arthur [1949]. *Albert Einstein: philosopher-scientist*, The library of living philosophers, Open Court, Lassalle (Ill.), 1949. Reedição 1970 :

SELLERI, Franco. *Quantum paradoxes and physical reality*. Berlin: Springer, 2007.

SHINN, Terry. The Bellevue grand électroaimant, 1900-1940. Birth of a research-technology community. *Historical Studies in the Physical Sciences*, v. 24, n. 1, p. 157-187, 1993.

_____. Change or mutation? Reflections on the foundations of contemporary science. *Social Science Information*, v. 38, n. 1, p. 149-176, mar. 1999.

_____. Formes de division du travail scientifique et convergences intellectuelles. La recherche technico-instrumentale. *Revue Française de Sociologie*, v. 41, n. 3, p. 447-473, 2000.

VIGIER, Jean-Pierre. Le Débat Bohr-Einstein. In: BITSAKIS, Eftichios (Ed.). *The Concept of Physical Reality*. Athens: Zacharopoulos, 1983. p. 51-109.

WARDEN, B. L. van der (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam: North Holland, 1967.

WHEELER, John A.; ZUREK, Wojciech H. (Ed.). *Quantum theory of measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1983.