

SIGNIFICAÇÃO FILOSÓFICA DA NOVA TEORIA DA CIÊNCIA

«A adaptação do nosso pensamento e da nossa linguagem às experiências da física atômica acompanha-se incontestavelmente de grandes dificuldades. Para esta adaptação foram muito úteis, na teoria da relatividade, as discussões filosóficas anteriores acerca do espaço e do tempo. Analogamente se pode tirar proveito, na física atômica, das discussões fundamentais da teoria do conhecimento sobre as dificuldades inerentes a uma cisão do mundo em sujeito e objecto. Muitas abstracções características da moderna física teórica foram tratadas já na filosofia dos séculos passados. Enquanto estas abstracções foram desprezadas outrora, como jogos de pensamento, pelos homens de ciência atentos apenas às realidades, a apurada arte experimental da física moderna força-nos hoje a discuti-las a fundo.»

HEISENBERG

Esta última lição do Curso de Extensão Universitária sobre Energia Atômica tem de se inserir forçosamente no quadro problemático das duas primeiras. As «Considerações sobre a Descrição e Interpretação dos Fenómenos Atômicos», tema tratado pelo Prof. Vasconcelos e Castro, e «A Física Fundamental e a Estrutura Atômica da Matéria», tema do Prof. António Gião, expuseram algumas dificuldades de interesse filosófico. Circunscrever-nos-emos a esses temas, à situação problemática de natureza filosófica da nova física. Aliás, relativamente ao ponto de vista em que pretendemos colocar-nos, «Significação Filosófica da Nova Teoria da Ciência», nenhuma outra perspectiva nos poderia melhor convir. Tentaremos, a partir da crítica dos fundamentos da ciência, da estrutura teórica constitutiva do saber referente à microfísica, esboçar uma visão epistemológica comparativa da organização da física clássica e da constituição da nova física. Seria ingenuidade tentar resolver as dificuldades emergentes das duas primeiras lições;

procuraremos compreendê-las e fazer compreender a sua origem. As fecundas contradições da nova física, inevitáveis na teorização de domínios do saber que ainda não possuem conceptualização adequada, tem notável alcance especulativo. A física actual constitui uma «novidade» no domínio da teorização, para não nos referirmos já ao nível operacional da investigação, sem qualquer semelhança com algum outro já incorporado na ciência. Como deve ser entendido o conceito de real em microfísica, cuja fenomenologia des-realiza o material e o identifica a soluções de equações diferenciais? Destruído todo o suporte sensível, a física nuclear assemelha-se a uma metafísica idealista na criação de entidades mentais que, depois, transforma em reais. Mas poderemos concluir que a nova realidade daí provinda é pensamento em concretização? Não queremos tomar posição e não pretendemos proferir uma lição de metafísica acerca do real e do ideal, do idealismo da realidade ou da realidade do idealismo. Vamos simplesmente analisar as dificuldades expressas pelos físicos principais responsáveis pela teorização da microfísica. São eles Broglie, Heisenberg e Schrödinger.

Nos seus trabalhos não encontramos apenas física e matemática, mas também filosofia que a cada momento é chamada à interpretação das suas concepções. Broglie inspira-se em Descartes e Bergson, Heisenberg nos pré-socráticos, Platão e Kant, em Schrödinger certo pendor para a filosofia existencial de Heidegger se torna patente. Uma primeira questão surge: que significa esta preocupação filosófica? Um outro físico deu ironicamente esta resposta: a física tornou-se muito difícil para os físicos. Não queremos dizer o mesmo, porque também com os filósofos isso aconteceu. Mas julgamos que tal afirmação se pode admitir por ter sido necessário criar novas relações de matematização e de formalização lógica indispensáveis para a formulação de uma teoria coerente. E a nova lógica exigiu uma nova teoria do conhecimento que a tornasse utilizável na investigação e na aplicação conceptual. Física e filosofia aparecem-nos hoje associadas, reatando um íntimo convívio longamente interrompido. São estas novas relações que nos propomos investigar; são as perplexidades provenientes deste renovado convívio que desejaríamos esclarecer. Se aludimos a alguns aspectos já expostos nas duas primeiras lições, fazemo-lo a partir do nível epistemológico e não do físico e com a intenção de classificar e esclarecer as soluções apresentadas e suas eventuais relações com a filosofia.



A concepção do átomo passou por quatro fases que resumem a história da física: postulado compositivo da matéria, ficção interpretativa dos fenómenos, operador racional na elaboração da experiência e, finalmente, factor ontogenético

constitutivo da realidade. Julgado outrora simples, imutável, insecável e indestrutível, e apenas adjuvante metodológico da explicação, é hoje, como sabemos, considerado ingrediente complexo da própria realidade e gerador de energia, quando se perturba o equilíbrio entre as cargas eléctricas de sentido contrário do núcleo e dos respectivos electrões. A tentativa de explicação dos processos de manifestação e irradiação da energia tem oscilado ao longo da história segundo dois esquemas que os físicos utilizaram com relativo sucesso na elaboração da mecânica interpretativa dos fenómenos: a onda e o corpúsculo. Foi precisamente há um século que Maxwell elaborou a teoria electromagnética da luz, início da revolução que vai alterar os esquemas da mecânica newtoniana e forçar ao abandono da explicação dos fenómenos físicos por «figura e movimento», como pretendia Descartes, e também à substituição dos esquemas geométricos por vectores e equações diferenciais, permitindo à física decidido progresso na abstracção e libertação de esquemas provindos da intuição sensível. A Maxwell e aos seus discípulos, Hertz e Lorentz, devemos a confirmação da teoria electromagnética da luz pela descoberta das ondas chamadas hertzianas e a explicação do fenómeno pela inclusão do corpúsculo de electricidade, ou electrão, devida a Lorentz. Aos trabalhos destes três físicos, Maxwell, Hertz e Lorentz, devemos o fim de um período e o início de outro na história da física; também neste período despontam já sérias dificuldades na compreensão teórica dos citados fenómenos, que vamos encontrar na microfísica quanto à continuidade e à descontinuidade da matéria ou da energia, na formulação posterior da mecânica ondulatória, da mecânica quântica e da associação de ambas, da onda e do corpúsculo, na tentativa de dupla solução devida a Broglie, ou de complementaridade, como pretende Bohr.

Tanto um como outro tipo de explicação tem permitido parcial interpretação e descrição dos fenómenos luminosos, eléctricos e electromagnéticos, mas, apesar da parcial adequação interpretativa das teorias, tornaram-se elas notoriamente insuficientes perante certos aspectos da interferência e difracção da luz, individualização do electrão, etc. Com o abandono da noção de tempo absoluto e da concepção do éter, como consequência da teoria da relatividade restrita de Einstein, entramos propriamente na nova fase da física, que se inicia em 1905. As dificuldades indicadas e outras provenientes das concepções de Planck sobre a emissão descontínua da energia, ou teoria dos «quanta», obrigaram a física à renovação dos seus esquemas teóricos de compreensão e à formulação de pontos de vista metodológicos com profundo significado filosófico. Do molar ao molecular, do molecular ao atómico, do atómico ao nuclear, a sucessão da pesquisa destes níveis de grandeza e complexidade permitiu ao físico e ao matemático traçar uma epopeia impressionante. A física de hoje inclui no seu projecto realizações e obriga a formas de pensamento que a física clássica nunca admitiu e mesmo excluiu por não-científicas. Já se chamou à física actual uma nova alquimia. A partir do

momento em que a noção de átomo passou de explicativa a constitutiva da realidade, quando entrou na história com dignidade ontológica, e o físico se resolveu a perscrutar na sua íntima constituição a vida intra-atômica, teve de despojar-se da armadura de princípios, regras e formas de pensamento que, durante séculos, estruturaram com aspecto definitivo a sua ciência. As surpresas sucedem-se: o átomo, noção simples, transforma-se em realidade complexa, donde resulta o paradoxo que o que é considerado simples pelo pensamento pode revelar-se altamente complexo. O conhecimento e a realidade nem sempre se encontram. O segundo momento de estranheza provém da dificuldade de objectivação do mundo intra-atômico.

Seria elucidativo e curioso relatarmos a aventura da imaginação ao pretender sondar e esclarecer o que julga existir no interior do átomo, como se chega finalmente à imagem do sistema solar, e como se organizam novas técnicas de estrutura matemática para penetrar no segredo do infinitamente pequeno. A terminologia utilizada na física clássica é comprometedor e as dificuldades de objectivação racional encontram obstáculos epistemológicos sérios e graves; além da impossibilidade de discernir partículas e de as localizar num novo espaço não proveniente da intuição sensível, da inviabilidade de mensuração, que tinha servido como critério óptimo à macrofísica, e agora não é possível utilizar; quando indirectamente se consegue, não pode ser repetida por outro observador, nem mesmo por aquele que antes conseguiu fazê-la. A verificação por repetição, outro critério óptimo da física clássica, perdeu o seu valor inexoravelmente. Não tomando em conta as dificuldades de mensuração de partículas cuja ordem de grandeza oscila entre 10^{-13} e 10^{-18} , outras surgiram resultantes da transposição dos esquemas de compreensão utilizados no macrofísico e que obrigaram à refundição total dos processos de conceptualização. A noção de espaço, a noção de tempo, como formas *a priori* da sensibilidade segundo o esquema de Kant, não têm aplicação nem validade possível em microfísica. A relação causal e a possibilidade de determinação rigorosa da posição de uma partícula, a medição simultânea da posição e da quantidade de movimento, trouxeram ao físico problemas que ele tinha excluído da sua ciência por não físicos, com o fim de garantir a positividade realista isenta de figurações hipotéticas que perturbavam a experimentação. A constituição do novo domínio da ciência preparou a derrocada das firmes convicções teóricas de que os físicos se orgulhavam, reduzindo a física clássica, nas suas intenções de universalidade, à aplicação de princípios de validade mais restrita. Nem todos, porém, devemos confessá-lo, consideram o que se está passando como refutação da física clássica; mas todos eles, sem excepção, foram obrigados a meditar uma problemática que não pertencia à física clássica. É este precisamente o aspecto mais importante para a teoria do conhecimento e para a epistemologia, ou crítica dos fundamentos da ciência, a que vamos dedicar alguma atenção.



Tentemos perscrutar nas próprias obras dos físicos o sentido de algumas questões relativas à crítica epistemológica e suas consequências filosóficas. São valiosas essas obras, de leitura apaixonante e de meditação fecunda, como as de Broglie, Heisenberg, Schrödinger, e ainda as obras de comentário crítico e filosófico de Meyerson, Metz, Destouches, M.^{me} Destouches-Février, Reichenbach, Bachelard, Bouligand e Blanché. Começemos pela questão debatida em numerosos ensaios, livros e congressos: o determinismo e o indeterminismo. Como é sabido, podemos relativamente a esta questão classificar os físicos em três grupos: os que afirmam que o mundo intra-atômico não é susceptível de interpretação rigorosa a partir das exigências deterministas e causais da física clássica, cujo representante mais categorizado é Heisenberg, seguido pelos físicos da escola de Copenhaga; os que, reconhecendo embora a dificuldade da rigorosa determinação das partículas e seu movimento, não abdicam do determinismo essencial e consideram a concepção probabilista dos primeiros já um princípio de determinação, cujo mais conhecido representante é Schrödinger, que defende as ideias de Einstein; e, em terceiro lugar, Broglie, que assume uma atitude de compromisso extraordinariamente fecunda, reencontrada recentemente pelo físico americano David Bohm e por Vigier, que o levou à célebre reconversão às suas primeiras concepções da mecânica ondulatória e ao abandono das teorias probabilísticas e indeterministas que, durante vinte e cinco anos, defendera operosamente. A descrição desta conversão assume alto sentido de seriedade e o admirável documento em que o comunica valeria a pena ser comentado se para tanto tivéssemos tempo. Àqueles que o criticaram por ter abandonado o que com tanto ardor defendera, respondeu ele: «Só o homem estúpido não muda nunca.» Louis de Broglie, o genial criador da mecânica ondulatória, pretende a síntese da teoria da relatividade de Einstein e da teoria dos «quanta» de Planck, síntese da continuidade e da descontinuidade representada respectivamente pela onda e pelo corpúsculo. Os três grupos de físicos a que aludimos ainda se subdividem quanto a outros aspectos da interpretação da nova física: à relação causal, à individuação, existência e objectividade dos corpúsculos e ainda a outras questões problemáticas no estado actual da nova ciência.

Por agora tratemos do problema do determinismo e do indeterminismo da nova física. Para bem compreender esta questão, deveríamos traçar o esquema dos sucessivos níveis epistemológicos que, até ao século XIX, permitiram a constituição da física como ciência. Basta-nos lembrar rapidamente que ao realismo ingénuo e sensorial se foi substituindo por abstracção um esquema geométrico de figuração imaginativa, que permitiu a delimitação de campos susceptíveis de determinação garantida por invariantes funcionais que sucessivamente excluem o

cousismo, o substancialismo e as chamadas qualidades segundas, isto é, as qualidades testemunhadas pelos sentidos. Neste admirável esforço de clarificação do obscuro empirismo conseguiram-se estabelecer, a partir de Galileu, as normas da experimentação e da legalidade causal, operou-se a formalização de tipo funcional e reconstruiu-se o mundo factual da física liberto da interferência da subjectividade e da relatividade da observação. Ao substancialismo atributivo sucedeu o relacionismo implicativo que a matemática admiravelmente desenvolveu dando à ciência a possibilidade de previsão de acontecimentos, de tal modo que a razão de regulativa passou a constitutiva dos fenómenos da natureza. Desta capacidade da razão humana citemos um facto conhecido de todos: não era preciso descobrir um planeta para determinar a sua posição, a partir do cálculo encontrava-se o objecto. Tudo isto fortificava a crença na regularidade dos fenómenos da natureza. Conhecer seria delimitar e reconstruir o objecto de conhecimento de tal modo que este, teoricamente liberto de influências perturbadoras de outras zonas de fenomenalidade, seguiria os ditames prescritivos da razão que antecipadamente propunha a lei do comportamento do objecto na sua «relativa» independência. Segundo a física clássica, o fenómeno físico estruturado convenientemente seguia exemplarmente um modo tal de comportamento a verificar em qualquer tempo e em qualquer lugar pela concretização de nexos de correlação rigorosamente previsíveis e determináveis.

Notemos desde já que os objectos da microfísica não se distinguem dos da física clássica apenas pela ordem da grandeza: não são reduções homotéticas destes, não diferem apenas dimensionalmente mas estruturalmente e, no dizer de um físico, deveriam chamar-se meta-objectos. Também em outras zonas do mundo real não é possível a verificação de tipos de regularidade, e é por esse motivo que se distinguem os saberes e as ciências se separam não só quanto ao objecto, mas também quanto aos métodos do seu conhecimento. Quer dizer: até nos domínios das ciências clássicas a causalidade tem limites, a repetição experimental tem barreiras, a indução amplificante encontra lacunas. Quando é possível, requere-se o estabelecimento de regularidades verificáveis que possibilitem a previsão, e a esta possibilidade de determinação chamou-se «determinismo». Trata-se de um postulado, de um princípio não-científico, que se admitiu em ciência como regra pragmática para evitar a preguiça do investigador e o desencorajamento perante a irregularidade aparente de alguns fenómenos. O problema do determinismo, originado no século XVIII e consagrado no século XIX, foi transposto estranhamente para a física actual após a descoberta do *quantum* descontínuo de energia formulado por Planck. Dissemos já que a microfísica não se subordina ao esquema teórico que exige a determinação rigorosa do fenómeno como constante, repetível em função de invariantes espaço-temporais, e previsível causalmente. A concepção probabilística de Heisenberg considera impossível tal desígnio em função de

quatro relações de incerteza que referem o seguinte: *a)* Quanto mais precisa é a medida da posição, mais ela modifica de maneira imprevisível a quantidade de movimento e, portanto, a velocidade do corpúsculo; *b)* Quanto mais rigorosa é a medida da quantidade de movimento, mais imprecisa se torna a posição do corpúsculo; *c)* Do que se conclui que é impossível medir com precisão, simultaneamente, a posição e a quantidade de movimento dum corpúsculo e que não é possível «determinar experimentalmente» as condições iniciais no sentido da mecânica clássica. A quarta relação de Heisenberg refere-se ao célebre produto das medidas da posição e da quantidade de movimento, que é sempre maior do que h , a constante de Planck.

Convém chamar a atenção para o seguinte: Heisenberg refere-se à impossibilidade de «determinação simultânea» e fundamenta rigorosamente as relações de incerteza nas medições; não alude a «indeterminismo» mas a indeterminação e a incerteza. Já afirmámos que o determinismo é um postulado de conveniência metodológica, restrito e limitado a sistemas de causalidade bem definida. Não nos parece que, a partir disto, o físico, enquanto físico, possa afirmar qualquer espécie de «determinismo universal» para além das regiões que ele mesmo delimita e determina. A única atitude compatível com os critérios válidos da ciência e a autoridade do físico permite apenas enunciar que a nova física é susceptível de determinação total do campo de manifestações intra-atômicas, ou que tal determinação não é possível, ou só parcialmente possível, ou que, no momento actual da evolução da nova ciência, não tem sentido nem uma nem outra afirmação. Se assim não for, trata-se de profetismo e não de ciência. É certo que os físicos, quando se referem a este problema, e a ele muitas vezes se referem, falam de determinismo essencial, isto é, ontológico, e outros de determinismo metódico, o que é já revelador de ambiguidade e de perplexidade. «Determinacionismo ou indeterminacionismo», que é o que o físico pretende afirmar, nada tem que ver com o «determinismo e o indeterminismo». Se investigássemos a origem da ideia confusa, ou melhor pseudo-ideia, que se designa por «determinismo», poderíamos concluir que é daquelas que pertencem a uma certa metafísica sem fundamento que os homens de ciência com toda a razão criticam, refutam e abjuram. Foi um homem de ciência que a formulou, mas em forma hipotética, condicional e requerente de pressupostos utópicos. Num ensaio sobre o cálculo das probabilidades, publicado em 1814, diz Laplace: «Uma inteligência que, num dado momento, conhecesse todas as forças que animam a natureza e a situação respectiva dos seres que a compõem, e fosse além disso bastante vasta para submeter estes dados à análise, poderia abarcar na mesma fórmula o movimento dos maiores corpos do universo e o do mais ligeiro átomo; nada seria incerto para essa inteligência e o futuro como o passado estariam presentes a seus olhos.» Como é possível transpor tal critério para a microfísica, se já é absurdo, evidentemente, quando aplicado à macrofísica?



A história da ciência indica-nos que os novos domínios do saber começam por se estruturar cientificamente aplicando os processos de determinação já verificados com êxito anteriormente: assim se passa do estudo do movimento dos sólidos para o estudo dos líquidos, de que resulta a hidrodinâmica; para o estudo dos gases, que dá origem à teoria cinética, e o mesmo inevitavelmente teria de acontecer com o estudo do mundo atômico, com o estudo da poeira atômica, fenómenos colectivos do campo no estado pulverulento, como lhes chamou Bachelard. É de admitir que algumas ou muitas das dificuldades surjam como consequência da transposição inevitável de métodos e formas de pensamento provenientes de sectores anteriormente elaborados teoricamente. Em cada novo domínio da ciência se encontram, no início, incrustações conceptuais ou resíduos de contaminação, que não lhe pertencem. No estudo da intimidade do átomo teria de acontecer o mesmo, embora a sua grandeza escalar não tenha qualquer analogia com o que antes se investigara. A passagem do macrofísico para o microfísico exige um grande esforço de desaprendizagem para se atingir e compreender o que, «novo», não tem qualquer relação de semelhança com o já aprendido. A física moderna é obra da matemática, mas de uma matemática que também é nova, pois não se limita à generalização relacional da aritmética clássica, mas ela própria se reorganiza logicamente para atingir o que transcende a experiência no sentido tradicional. Não se forma por abstracção a partir do concreto, mas concretiza-se a partir do abstracto. A física clássica passa a ser um caso particular da nova física quando se atribui o valor zero a certos parâmetros. O mesmo aconteceu com a invenção das geometrias não-euclidianas, que não invalidam a geometria de Euclides, apenas circunscrevem a sua validade ao espaço plano. A recorrência às formas explicativas anteriormente válidas perturba o novo esquematismo e dificulta a descrição e interpretação da nova fenomenologia. Os componentes do átomo, névoa de entidades, são fenómenos de campo que exigem para a sua compreensão a admissão de ondas de comprimento e amplitude bem determinadas.

Antes de prosseguirmos falando de ondas e corpúsculos, como se umas e outros fossem «realmente» existentes, vejamos o que pensam os físicos a este respeito. O problema parece-nos de muito interesse. Trata-se de manifestações reais em forma de onda e em forma de corpúsculo ou de simples esquemas interpretativos? Para Broglie, a onda ψ suporta a onda v e só uma delas seria real e a outra fictícia. Os corpúsculos seriam apenas probabilidades de interferência destas duas ondas. Schrödinger não admite, porém, os corpúsculos. E para outros a onda só pode admitir-se a partir do corpúsculo como seu centro. Embora não haja, por enquanto, acordo na interpretação e descrição do que se passa no interior do átomo, algo é por todos admitido: a «substância» ondular ou não, corpuscular ou não, é

energia e esta energia transforma-se. Há bons motivos para admitir, afirma Heisenberg, que as partículas correspondem a estruturas matemáticas fundamentais, como os diferentes estados da energia do átomo de hidrogénio são a solução das equações diferenciais de Schrödinger. Para a nova física, no princípio não está a coisa material, nem o objecto, mas a forma, a relação, a simetria matemática, como pretendia Platão. Enquanto a física newtoniana se pretendia isenta de hipóteses e se limitava à verificação dos factos em função de regularidades, a nova teoria da física não é dedutiva a partir dos factos nem descritiva da experiência, mas criadora de experiência racional que encontra os «objectos» assim racionalmente estruturados. É a total inversão do processo de elaboração da ciência que tradicionalmente se admitia. No mundo intra-atômico não se trata de descoberta mas de invenção de objectividade. A noção de fenómeno foi alterada, não é algo que pré-existe à observação porque esta cria o que vai encontrar. Com mais rigor, em microfísica é o pré-fenómeno que o investigador encontra ou, como dirá Heisenberg seguindo Kant, uma espécie de «nómeno em realização». Destituído de qualidades sensíveis, sem possibilidade de suporte esquemático provindo da intuição, sem permanência temporal ou estabilidade de nexos repetíveis, tudo surge ao nível do «efeito».

Neste nível efectual em que a partícula é indiscernível não se sabe se é a mesma ou outra que continua o segmento da trajectória, ou se a partícula não é apenas o nódulo resultante da interferência de ondas idênticas às provenientes da decomposição da luz, que por isso se chamam monocromáticas. Não é possível, seguindo o esquema clássico, discriminar o antes e o depois, o antecedente e o consequente, isto é, a relação causal. A causa não se patenteia e esta situação é expressa pelos físicos quando se referem ao «efeito» fotoeléctrico, ao «efeito» Compton, ao «efeito» Raman. No domínio da microfísica não há causalidade, mas sim «efectualidade». Broglie, ao descrever-nos as suas intenções de síntese da relatividade e dos quanta, diz-nos que o grande «drama» da microfísica contemporânea foi a descoberta da dualidade das ondas e dos corpúsculos, originada no estudo das propriedades da luz, transposta para o estudo da matéria e cuja identificação deu origem ao seu livro *Luz e Matéria*, publicado em 1937. Neste livro afirma que, para os electrões e os outros corpúsculos, para os fotões e as ondas luminosas, existe uma dualidade onda-corpúsculo que vai ser a base da mecânica ondulatória. Se é difícil atribuir sentido físico ao corpúsculo, este só poderia ser atribuído não à onda mas à fase da onda que, por esse motivo, se passou a chamar onda de fase. Tais ideias, que sucintamente referimos, levaram os físicos a atitudes diversas e, mais uma vez, podemos distingui-los relativamente a três posições teóricas: Schrödinger nega a dualidade, contesta a existência dos corpúsculos atribuindo significação física apenas às ondas que, na sua propagação, poderiam dar lugar a meras aparências de corpúsculo, mas que seriam só aparências sem qualquer possível singularidade; Broglie, até 1928,

emprestava significação física à onda-corpúsculo e considerava o corpúsculo como uma espécie de singularidade no centro do fenómeno ondulatório; Bohr considera a onda e o corpúsculo «fases» complementares de significação real. Estas posições complicam-se ainda se tomarmos em conta as novas concepções de Broglie: a fase da onda permitiria definir a frequência, e o comprimento das ondas associadas ao corpúsculo possuiria sentido físico.

Desta maneira, a amplitude constante da onda seria a representação das posições estatísticas do corpúsculo na própria onda; o comprimento e a amplitude dariam origem a outra interpretação: a significação física pertenceria ao comprimento e à frequência, à amplitude constante pertenceria a probabilidade do corpúsculo. Assim teríamos de admitir que a resolução das equações da mecânica ondulatória encontraria dois valores: v e ψ . Deste modo, a onda v , com a sua singularidade móvel, constituía o corpúsculo e o fenómeno ondulatório que o rodeia; a onda ψ não teria qualquer significação física. A dualidade onda-corpúsculo transforma-se na dualidade: onda v -onda ψ . De facto, temos de admitir a afirmação de Broglie: o drama da microfísica é patente. Para alguns físicos, o corpúsculo não tem significação física; para outros, a onda pode também ser fictícia, a onda ψ , pode ter significação física e ainda é possível na onda atribuir ao seu comprimento e frequência significação física e à sua amplitude probabilidade de corpúsculo. Perante esta dramática *contradictio in objecto*, que podemos concluir? Onde está a contradição? No átomo ou no pensamento do átomo? Decerto no pensamento, nas imagens interpretativas e na lógica que as traduz. Veremos por que razão.



Depois de termos tomado conhecimento de algumas perplexidades confessadas pelos físicos, que acabámos sucintamente de relatar, tentemos, a partir do nível epistemológico em que nos situamos, compreender o significado filosófico dessas perplexidades na teorização da microfísica como ciência. A construção da física clássica utilizou uma geometria, uma aritmética, uma análise funcional, uma metrologia, uma mecânica e uma lógica. Uma ciência é um sistema plural coerente de que outras participam possibilitando essa coerência. A nova física exigiu uma nova matemática, uma nova geometria para utilização de hiper-espacos, uma nova metrologia não arquimediana, uma mecânica não newtoniana, uma aritmética não pitagórica, mas, apesar destes intentos de renovação das formas de pensamento utilizadas na ordenação da física clássica, a maior parte dos especialistas da nova física mantêm formas de descrição e expressão provenientes da lógica clássica ou aristotélica. Já observámos que o chamado problema do determinismo é uma «incrustação» aberrante, quer na física clássica, quer na nova

física, e algumas das dificuldades que focámos resultam da incompatibilidade entre sistemas de referência lógica de que o físico ainda não conseguiu libertar-se. Na microfísica não se encontra a realidade, estatuída em sentido tradicional, mas sim a «realização». O pendor realista do físico, além de substancial, é topológico e pretende utilizar as categorias de explicação do complexo a partir do simples. No mundo microfísico, essas formas de explicação não têm apelo. Novas formas lógicas de implicação são necessárias provindas da teoria dos grupos. Espaço, tempo, causa, efeito, medida, acção, real, objecto e relação, isto é, as categorias aristotélicas do juízo, pressupõem precisamente o que no átomo nos é negado. Apesar desta total alteração dos conceitos fundamentais, raramente a nova lógica é utilizada pelos físicos nucleares. Neste aspecto, diz Heisenberg, continua a deitar-se vinho novo em odres velhos. A lógica aristotélica é moldada a partir do sólido, do estável, dos atributos discerníveis e idênticos a si próprios. É uma lógica atributiva e não implicativa, dimensionalmente circunscrita ao macrofísico.

Nenhum dos atributos citados encontra o físico na intimidade do átomo: nem substância, nem forma, nem mudança referenciável, nem estabilidade localizável, nem permanência no instante. As partículas que gravitam em torno do núcleo não são idênticas a si próprias. Os processos técnicos da lógica indutiva e da lógica dedutiva são inutilizáveis; só a lógica do grupo permite admitir a implicação recíproca de uma com as outras partículas sem ficar sabendo, aliás, se a observação regista uma ou qualquer das outras. Uma metamatemática se formou, uma metageometria se inventou como exigência de compreensão da nova física, que, segundo Bachelard, se deveria chamar «metafísica» se esta designação lhe fosse ainda adaptável. Newton, Euclides e Aristóteles são solidários na construção da física clássica. A substituição de Newton e de Euclides requer a substituição de Aristóteles. Uma nova lógica se tornou, portanto, necessária para evitar a dificuldade proveniente da falta de correspondência das novas concepções da matemática com os modos interpretativos da indução e da dedução. Seria injusto afirmar que os físicos não reconheceram já essa dificuldade. A nova matemática é lógica e Gosset afirmou que a lógica é a física do objecto em geral, de qualquer objecto não especificamente determinado. Daniel Lacombe, na estruturação formal e axiomática das matemáticas, continua esta mesma via a partir do célebre teorema de Gödel. A formalização da nova lógica exige princípios diferentes dos aristotélicos, e estes, como aconteceu à física newtoniana e à geometria euclidiana, passam a ter restrita validade. Os princípios da identidade, da contradição e do terceiro excluído são válidos sectorialmente e não universalmente. Deve-se a Carnap a tentativa de elaboração de uma sintaxe lógica apropriada à ciência, a Gödel um sistema aritmético ω -consistente não saturado, de predicados diádicos, e também a Bouligand, Destouches e M.^{me} Destouches-Février, contribuições valiosas para a organização lógica da interpretação, descrição e expressão

da microfísica. Não nos é possível, nem mesmo resumidamente, expor o conteúdo dessas tentativas, mas, citando-as, julgamos que a exigência de uma nova lógica é o problema fundamental para a plena compreensão do que os matemáticos chamam «física fundamental apriorística».

Para justificar a exigência de uma outra lógica que evite as contradições da microfísica, notemos o seguinte: o princípio da identidade, cuja formulação aplicada nos diz que «o que é, é», pressupõe e requer o que na linguagem de Parmênides se chama estabilidade essencial, que nenhum dos componentes do átomo possui, como já sabemos; isto, como é evidente, impossibilita a descrição ordenada por uma sintaxe topológica. Situação semelhante verifica-se com o princípio da contradição, pois, se o real é mais complexo do que o pensamento, este não consegue apreendê-lo com esquemas de exclusividade não-contraditória. Quando Bohr, superando o princípio da contradição e a univocidade proposta pela lógica monovalente, sugeriu o princípio da complementaridade, alguns físicos opuseram-se-lhe, como Broglie, defendendo a «dupla solução» que respeita o valor da lógica tradicional salvo pela disjuntiva. O princípio do terceiro excluído está no mesmo caso: em microfísica temos de lhe preferir o *tertio datur*. O comportamento dos prótons, dos electrões, dos neutrões, dos mesões μ , dos mesões π , dos mesões κ , dos hiperões e dos antiprótons, com ou sem *spin*, só pode compreender-se na lógica implicativa que as equações diferenciais requerem. Citemos um exemplo para tornar mais claro o que acabámos de indicar: designando por x qualquer das citadas partículas, a proposição « x está agora ali», enunciado simples de conteúdo bem definido, não poderá ter em microfísica qualquer plausibilidade ou possível sentido. O *agora*, t_1 , não pode ser determinado, por desconhecermos o estado inicial t_0 ; o *ali* não pode ser transposto espacialmente, por falta de localização precisa; o *está* não pode indicar posição estável determinada, e o x , porque lhe falta a possibilidade de individuação suficiente, não é discriminável. Desta forma « x está agora ali» é equivalente a « x não está agora ali», o que seria absurdo na lógica dual monovalente. Todas estas contradições resultam da substancialização da energia e da lógica realista que espacializa o que é relação. O conceito de realidade em microfísica é de outra ordem, como já Leibniz propôs: real é o que age, *quod non agit non existit*.



O átomo e as partículas que o compõem são reais mas não materiais, afirmam-se agindo. As dificuldades lógicas a que já fizemos referência reconhecem-nas os físicos e já citámos alguns trabalhos tendentes a propiciar uma visão coerente não-newtoniana, não-euclidiana e não-aristotélica da energia. Já obser-

vámos que os matemáticos e os lógicos têm contribuído para a formulação de uma técnica lógica apropriada. Vamos ainda referir-nos, para completarmos o quadro, a outra tentativa não lógica, mas dialéctica, do físico Rosenfeld, que, com Max Born, em Copenhaga, se esforça pelo esclarecimento do célebre princípio da complementaridade. Diz ele: «Estamos habituados... a considerar as contradições lógicas como algo que deve ser evitado, impedido pela violência, isto é, suprimindo um dos termos da contradição, de maneira a mantermos um sistema coerente, embora parcial. Mas, quando definimos um conceito criamos uma contradição ou possibilidade de contradição: o conceito formulado contradiz o que não abrange. A contradição é permanente e só dialectalmente resolúvel.» Os fenómenos de campo não permitem a determinação da posição mas da composição, não são explicáveis analiticamente mas sinteticamente complicáveis pela teoria dos grupos. O infinitamente pequeno não é redução homotética do infinitamente grande. O princípio geral da lógica *de omni et nullo*, o que é verdade do todo é verdade da parte, quando se altera a escala dimensional e se aplica à microfísica tem flagrante desmentido. Em conclusão: a física clássica estruturou-se em função de um tipo causal explicativo exigente da regularidade fenoménica que permitia a constância repetitiva da verificação. A determinação correlativa da causa e do efeito levou à pressuposição do determinismo ou do predeterminismo como postulado da exigência de objectividade dos fenómenos de que o físico seria neutral espectador ou puro registador. A experimentação, quando recorria a artifícios de ordem mental, atribuía-lhes sentido de simples conjectura ou de hipótese regulativa para confirmar o que *a priori* se previa. Simples ficções para auxiliar o «como se» impediam a intromissão do subjectivismo e confirmavam a objectividade pela subordinação à lei universal.

A este positivismo sucedeu a atitude convencionalista de Poincaré, tentando libertar a física de exigências de verdade absoluta e de extrapolações metafísicas. A verdade seria relativa à eficiência da explicação. A adequação de novos perfis epistemológicos às diferentes regiões da realidade mostra, porém, que a causalidade tem limites, que o determinismo tem sentido de determinação sectorial precisa na construção da física e que a matemática, segundo afirmava a escola de Viena, é puramente tautológica, sem conteúdo de verdade mas apenas agente de formalização; a noção de realidade passa a ser, com Bridgman, o que a técnica operacional mostra que é. Mas com a microfísica a noção de fenómeno altera-se, perde as características de objectividade independentes do observador; interpretada como «nómeno em realização», a matemática é o instrumento que, abandonado o realismo sensorial, parte de si, da função ideal, para encontrar o que vai passar a valer como real, isto é, como agente de desocultação do que no fenómeno não se mostra. Neste trânsito do realismo para o idealismo, o novo *a priori* não é forma de intuição sensível, mas ingrediente constituinte da experiência, que agora

depende da subjectividade do observador. A ciência é medial entre o homem e a natureza; à ciência não é a natureza que interessa, mas a «realidade física» construída pelo homem e que como instrumento desvenda o que a natureza esconde. O mistério do acordo entre o processo natural e a matemática reside na identificação entre o não-natural da natureza, que é a física, e o pensamento matemático desocultante. No fundo, acordo do pensamento que procura e do pensamento encontrado. A linguagem corrente não é clarificadora na descrição dos fenómenos da microfísica, porque a sintaxe estruturada pela lógica aristotélica é disso impeditiva. A linguagem reflecte as sucessivas interpenetrações de sentido que vai acumulando ao confundir níveis de expressão propositiva. Assim acontece que as proposições de teor descritivo, interpretativo, regulativo, constitutivo e operacional são reduzidas ao mesmo nível, amalgamam-se e exigem a criação de novas linguagens, entre as quais a lógica simbólica e a matemática são as mais perfeitas.

A linguagem da microfísica pertence ao nível do constitutivo e do operacional. O nível descritivo, porque lhe falta a apreensão intuitiva sensível, não pode ser utilizado sem absurdo e o mesmo acontece com o nível regulativo, porque lhe falta a constância repetitiva, fundamento da determinação rigorosa. Relativamente a esta situação, a escola de Copenhaga parte do seguinte paradoxo: nenhuma experiência microfísica pode ser descrita e interpretada nos termos ou pelos termos da física clássica. A experiência em física clássica é objectivamente analítica, em física moderna é subjectivamente sintética, e a compreensão do real microfísico, não-material, condiciona e propicia a génese da razão que se lhe aplica. O significado filosófico deste conjunto de perplexidades que viemos apontando pode assim resumir-se: a microfísica é o domínio constitutivo do real, as funções cognitivas que se lhe aplicam não podem ser provenientes do empírico. O nível adequado para a apreensão e compreensão da pré-fenomenologia intra-atômica, ou da física fundamental apriorística, seria permitido por uma teoria do conhecimento do saber transcendental, isto é, liberto do conhecimento vulgar e do conhecimento científico tradicional. A teoria do conhecimento adequada ao nível de investigação do intra-atômico não encontrou a nova física já elaborada, como aconteceu com os espaços abstractos que os matemáticos não pensavam que pudessem ser utilizados em física. A este propósito, Broglie surpreende-se com o facto de a «ferramenta» matemática ser forjada antes da previsão do seu emprego possível. Segundo afirma, assim aconteceu com a teoria da curvatura de Riemann, com as matrizes de Hermite, com os grupos de Galois. O estudo da consciência transcendental não se iniciou depois do estabelecimento da microfísica como ciência: é esta a preocupação da fenomenologia de Husserl no estudo genético das categorias do espaço, tempo, coisa, objecto, e sua correlação com a consciência constitutiva pré-fenomenal, pré-empírica ou transcendental, consciência originária e constituinte da possível experiência real.



Um as palavras mais para terminar: a nova física, como vimos, exige a elaboração de uma nova teoria da ciência. Esta nova teoria, como também fizemos ressaltar, inclui o que nos áureos tempos da construção da física clássica tinha sido excluído por anticientífico. A noção de lei tem carácter probabilístico em correlação com as incertezas na determinação dos fenómenos. O determinismo e o indeterminismo são incrustações de dessorada metafísica e postulados de crença sem sentido que originam falsos problemas. Se a primeira metade do século XX nos trouxe as extraordinárias revelações da microfísica e as primeiras promessas de aplicação da energia nuclear, a segunda metade do século, como diz Schrödinger, parece prometer tão grandes ou ainda mais extraordinárias revelações no domínio da microbiologia. Connosco desaba o mundo da ciência clássica, connosco se inicia o mundo da nova ciência. A filosofia está comprometida nesta evolução; a ciência, como nunca em qualquer outro período, tomou consciência da fecundidade de tal compromisso. Filosofia e ciência integram-se na unidade que perderam e agora reencontraram. Se é notável o que se passa no nosso tempo, quer no domínio teórico, quer no domínio prático, se as diferentes formas de energia nos surpreendem e motivam funda admiração, não esqueçamos que elas são consequência de outra forma de energia mais admirável ainda. Essa energia, origem de todas as outras, não está na natureza, possui-a o homem. É a energia do seu pensamento, da sua imaginação, da sua vontade. Em suma: é o espírito humano criador e inventivo, inquieto e insatisfeito, destruidor do passado, que se lançou na aventura de criar o novo mundo futuro.