

# Bachelard

{ ESTUDOS }



## CAPÍTULO I

# Númeno e microfísica\*

No final do século XIX, ainda se acreditava no caráter empiricamente unificado do nosso conhecimento do real. Era uma conclusão com a qual até as filosofias mais antagônicas concordavam. De fato, a unidade da experiência aparece sob um duplo ponto de vista: para os empiristas, a experiência é uniforme em sua essência porque tudo vem da sensação; para os idealistas, a experiência é uniforme porque é impermeável à razão. Na aceitação como na recusa, o ser empírico forma um bloco absoluto. De toda forma, julgando afastar qualquer preocupação filosófica, a ciência do século XIX aparecia como um conhecimento homogêneo, como a ciência de nosso próprio mundo, no contato da experiência cotidiana, organizada por uma razão universal e estável, com a sanção final do interesse comum. O cientista era, no sentido de Conrad, “um de nós”. Vivia em nossa realidade, manipulava nossos objetos, aprendia com nosso fenômeno, encontrava a evidência na clareza de nossas intuições. Desenvolvia suas demonstrações seguindo nossa geometria e nossa mecânica. Não discutia os princípios da medida, deixava o matemático lidar com os axiomas. Contava coisas separadas, não postulava números que já não são os nossos números. Dele para

---

\* *Recherches philosophiques*, I, 1931-1932, p. 55-65.

nós, a aritmética era naturalmente a mesma. A ciência e a filosofia falavam a mesma linguagem.

É essa ciência para filósofos que ainda ensinamos a nossos filhos. É a ciência experimental dos decretos ministeriais: pese, meça, conte; desconfie do abstrato, da regra; dirija a mente dos jovens para o concreto, para o fato. Ver para compreender é o ideal dessa estranha pedagogia. Azar se, assim, o pensamento vai do fenômeno mal observado à experiência malfeita. Azar se a ligação epistemológica estabelecida dessa forma vai do pré-lógico da observação imediata à sua verificação sempre infalível pela experiência comum, em vez de ir do programa racional de pesquisa ao isolamento e à definição experimental do fato científico, sempre factício, delicado e oculto.

Mas eis que chega a Física contemporânea com mensagens de um mundo desconhecido. Mensagens redigidas em "hieróglifos", segundo a expressão de Walter Ritz. Ao tentar decifrá-las, percebe-se que os sinais desconhecidos se interpretam mal no plano de nossos hábitos psicológicos. Parecem sobretudo refratários à análise habitual que separa uma coisa de sua ação. No mundo desconhecido que é o do átomo, haveria então uma espécie de fusão entre o ato e o ser, entre a onda e o corpúsculo? Deve-se falar de aspectos complementares ou de realidades complementares? Não se trata de uma colaboração mais profunda do objeto com o movimento? De uma energia complexa na qual convergem o que é e o que se torna? Enfim, como esses fenômenos ambíguos nunca designam *nossas coisas*, é um problema de grande alcance filosófico indagar se eles designam *coisas*. Daí uma total reviravolta dos princípios realistas da sintaxe do infinitamente pequeno. Nessa sintaxe, o substantivo torna-se muito mal definido para reinar sobre a frase. Já não é portanto a *coisa* que nos poderá instruir como o proclamava a fé empírica. Não é isolando-o que se aumentará o conhecimento de um objeto ultramicroscópico. Isolado, um corpúsculo se torna um centro de irradiação para um fenômeno maior. Considerado em seu

papel físico, el  
análise do qu  
mundo a ser  
todos os asp  
da microfísi  
só há propi  
microscópi  
porânea d

Se o r  
dezas da  
organiza  
grau de  
comple  
isso, h  
Conv  
truçã  
que  
Con  
niza  
ela  
rea  
ob  
al  
c

papel físico, ele é, para o conhecimento empírico, mais um meio de análise do que um objeto. É um pretexto do pensamento, e não um mundo a ser explorado. É inútil prosseguir a análise até isolar sob todos os aspectos um objeto único, porque parece que no mundo da microfísica o único perde suas propriedades substanciais. Logo, só há propriedades substanciais acima – e não abaixo – dos objetos microscópicos. A substância do infinitamente pequeno é contemporânea da relação.

Se o real se desindividualiza fisicamente indo para essas profundezas da física infinitesimal, o cientista dará mais importância à organização racional de suas experiências à medida que aumentar o grau de precisão delas. Uma medida exata é sempre uma medida complexa: logo, é uma experiência organizada racionalmente. Por isso, há uma segunda reviravolta na epistemologia contemporânea. Convém assinalar sua importância filosófica. Parece-nos que a construção matemática das hipóteses atômicas vem contradizer a teoria que atribuía a essas hipóteses um papel secundário e provisório. Consideravam-se no século XIX as hipóteses científicas como organizações esquemáticas ou mesmo pedagógicas. Dizia-se sempre que elas eram simples meios de expressão. Achava-se que a ciência era real por seus *objetos*, hipotética pelas *ligações* estabelecidas entre os objetos. À mínima contradição, à mínima dificuldade experimental, abandonavam-se essas hipóteses de ligação que eram acusadas de convencionais, como se uma convenção científica tivesse outro jeito de ser objetiva além do caráter racional! O novo físico inverteu a perspectiva da hipótese pacientemente delineada por Vaihinger. Agora os objetos é que são representados por metáforas, e é sua organização que representa a realidade. Ou seja, o que agora é hipotético é *nosso* fenômeno; porque nossa apreensão imediata do real só funciona como um dado confuso, provisório, convencional, e essa apreensão fenomenológica precisa ser arrolada e classificada. A reflexão é que vai dar sentido ao fenômeno inicial, sugerindo uma

*sequência orgânica de pesquisas*, uma perspectiva racional de experiências. Não podemos confiar *a priori* na informação que o dado imediato pretende fornecer. Não é um juiz, nem mesmo uma testemunha; é um acusado, e acusado que mais cedo ou mais tarde será culpado de mentira. O conhecimento científico é sempre a reforma de uma ilusão. Por isso, só podemos ver na descrição, mesmo minuciosa, de um mundo imediato uma *fenomenologia de trabalho* no sentido em que se falava antigamente em *hipótese de trabalho*. Vejamos um exemplo: o arbitrário que comanda a primeira definição experimental do espectro de um elemento químico. Consideremos até uma série particular desse espectro: essa série é primeiro tomada como agrupamento provisório que um estudo *teórico* inteiramente racional deve analisar e *reagrupar*. Além de ser muito difícil para essa série manter sua individualidade, sua unidade fenomenal, seu caráter de coisa definida definitivamente, vamos ver essa série perturbada e segmentada por condições instrumentais ligeiramente modificadas. É evidente que o fenômeno primitivamente considerado só pode ser tomado como o instante particular de um método. Logo se modificará o método e, em consequência, o fenômeno para atingir uma sequência fecunda de experiências. Quando a série vai encontrar uma verdadeira individualidade? Quando ela for constituída matematicamente. É a fórmula matemática que lhe dará uma forma, é pelo vínculo matemático que se coordenarão em *uma* unidade os termos confusos no fenômeno imediato. Aliás, os vínculos matemáticos não seguem de modo algum as ligações que poderiam aparecer na ligação primeira. Eles seguem a trilha de uma coordenação numênica, são objeto de um pensamento coordenado antes de ser objeto de uma verificação experimental.

O problema filosófico da verificação das teorias então se modifica. A exigência empirista que reduz tudo à experiência, exigência ainda tão nítida no século XIX, perdeu a primazia. A força da descoberta passou quase integralmente para a teoria matemática. Ou-

trora, a filosofia geral da experiência em física ficaria bem expressada nesta frase de Valéry: “É preciso”, diz o poeta enlevado pela glória da visão, “reduzir o que se vê àquilo que se vê.” Diríamos agora, para traduzir a verdadeira tarefa da microfísica: é preciso reduzir o que não se vê àquilo que não se vê, passando pela experiência visível. Nossa intuição intelectual prevalece agora sobre a intuição sensível. Nosso domínio de verificação material só fornece uma prova supranumerária para quem não crê na racionalidade. Pouco a pouco, é a coerência racional que suplanta em força de convicção a coesão da experiência usual. *A microfísica deixa de ser uma hipótese entre duas experiências para ser uma experiência entre dois teoremas.* Ela começa por uma ideia e termina num problema.

No século XIX, quando se via a matemática como simples meio de expressão, as ligações matemáticas eram tidas como meras pistas, como a tinta vermelha de uma épura. Só a experiência de partida e a experiência de chegada eram consideradas como as duas projeções positivas do real. Mas, com o progresso da física matemática, o interesse se concentra no método de ligação; lê-se a épura como um método de pesquisa e não como uma tabela de resultados obtidos. Trata-se na realidade de confirmar ou até de criar relações. Por isso, variações experimentais que podem ter pouca importância prática são suscetíveis de revelar variabilidades muito esclarecedoras. Logo, será mais procurada a variável que a constante. Assim, fenômenos de ordem de grandeza tão pequena que passariam pragmaticamente despercebidos – perdidos na margem de imprecisão experimental – passam a ser provas suficientes. Uma fenomenologia normal, de certo modo homogênea, teria impedido peremptoriamente essa estranha composição do grande com o pequeno. Mas, por mínimas que sejam certas perturbações, seus valores funcionais estão em primeiro lugar e, por uma inversão da crença positiva, acredita-se que o fenômeno não demonstra nada, ou que demonstra mal, enquanto ele não for *sensibilizado matematicamente*, enquanto os rea-

tivos matemáticos não lhe tiverem revelado todos os aspectos. Mil sutilezas de origem matemática, embora aguardem uma justificação experimental, impõem-se aos físicos, não pela sedução de uma novidade desestruturada, mas sim por sua coordenação numênica. A física matemática reúne assim o espírito de refinamento e o espírito geométrico, ou melhor: ela dá ao refinamento o rigor e a certeza geométricos. Diante do resultado negativo de uma experiência sugerida matematicamente, a primeira impressão é de fracasso. É difícil aceitar o resultado. Aumenta-se a potência dos aparelhos, afastam-se as causas de perturbação. A Física já não é uma ciência de *fatos*; é uma técnica de *efeitos* (efeitos Zeeman, Stark etc.).

Aliás, por seu valor psicologicamente dinâmico e inventivo, o realismo matemático, tal como resulta de suas relações com a Física contemporânea, ultrapassa muito o sentido platônico em que se situava ainda o realismo de Hermite. Para ele, o ser matemático é, de certa forma, estático; seu estudo é essencialmente anatômico, leva a um complexo de relações que termina num plano homogêneo. Ao contrário, o real da Física matemática é enriquecido por um duplo dinamismo: ao estudar esse real, tem-se a oportunidade de descobrir fenômenos e teoremas. Aliás, é preciso conseguir *realizar* os teoremas assim descobertos. Para essa tarefa, já não se trata de, como se costumava repetir no século XIX, traduzir em linguagem matemática os fatos trazidos pela experiência. Trata-se, ao contrário, de expressar na linguagem da experiência comum uma realidade profunda que tem um sentido matemático antes de ter um significado fenomenal. Por exemplo, o átomo construído pelos matemáticos pode ser chamado *o átomo perfeito*. Mas ele não tem o mesmo papel epistemológico que tem o conceito de *gás perfeito*. De fato, o gás perfeito é uma abstração realizada que traduz a reunião de um número mínimo de variáveis fenomenológicas em grande escala; ele desempenha o papel de primeiro termo de uma série de aproximações; para utilizá-lo, é preciso complicá-lo. Ao contrário,

*o átomo perfeito* é mais complicado que o átomo considerado em sua reação energética no momento em que ele apresenta traço experimental de sua existência. Ao construir esse ser matemático, tenta-se não esquecer nenhuma variável, por menor que seja o jogo; tenta-se atribuir-lhe todo o possível, enfim, quer-se dar a série inteira sem preocupação com aproximações práticas. Para utilizá-lo, ele será simplificado. Nossa experiência em microfísica é sempre uma matemática mutilada. No infinitamente pequeno, as propriedades numéricas são mais numerosas que as propriedades fenomenais.

Assim, o mundo oculto de que nos fala o físico contemporâneo é de essência matemática. O físico faz suas experiências com base no caráter racional do mundo desconhecido. Talvez a fórmula que exprime bem a convicção do físico, quando ele passa da dúvida relativa ao seu domínio sobre a realidade, seja a seguinte: *cogitatur, ergo est*, compreendendo-se que o fato de ser pensado matematicamente é a marca de uma existência ao mesmo tempo orgânica e objetiva. E só porque ela é orgânica é que se crê em sua objetividade. Nada de gratuito e de subjetivo, por um lado, assim como nada de simples e de desestruturado, por outro, encontra lugar no ser da Física matemática.

Diante de tal êxito da pesquisa racional, como justificar que coloquemos sob o fenômeno um númeno em que nosso espírito se reconhece e se anima? Esse númeno não é um simples postulado metafísico nem um convencional sinal de junção. Pela reflexão, nele encontramos uma estrutura complexa; é a essa complexidade harmônica que ele deve sua objetividade discursiva, objetividade essa que pode expor-se, sujeitar-se à prova, confirmar sua universalidade. Poderíamos pois dizer que a Física matemática corresponde a uma numenologia bem diferente da fenomenografia na qual o empirismo científico pretende se isolar. Essa numenologia esclarece uma fenomenotécnica pela qual fenômenos novos são não apenas encontrados, mas inventados, integralmente construídos.



Nessa construção, as leis gerais que seriam encontradas no nível da fenomenografia habitual cederiam vez às leis racionais encontradas no nível da numenologia. Conviria então fundar uma *meta-microfísica* que não aceite sem prova o estado analítico em que se apresentam as categorias da metafísica tradicional. Antes de tudo, convém reter que o plano numênico do microcosmo é um plano essencialmente complexo. Nada mais perigoso que postular sua simplicidade, a independência dos seres, ou até sua unidade. Convém aí inscrever antes de tudo a *Relação*. No começo é a Relação, por isso a matemática reina sobre o real.

Pode alguém lembrar uma famosa experiência que, à primeira vista, parece colocar o microfísico diante do único e do simples: é a experiência de Millikan na qual a unidade de carga elétrica é isolada e se traduz a nossos olhos por uma ação que pode parecer direta. Ao observar ao microscópio o movimento de uma gota de óleo condensada sobre um elétron, determinam-se, pela ação de um campo elétrico e da gravidade, as duas características do elétron, sua massa e sua carga. Essa experiência delicada parece primeiro o triunfo do "coisismo" científico. Mas, examinado melhor o problema filosófico, percebe-se que o elétron livre é de fato o elétron sem propriedades atômicas. O que nos interessaria seriam sobretudo as propriedades do elétron ligado, do elétron posto em relação com o próton. A experiência de Millikan é portanto uma experiência ainda do nosso mundo porque é tirada da perspectiva matemática do mundo atômico. Ao deixar o átomo, o elétron livre deixou a matemática do átomo. A experiência de Millikan não nos autoriza a postular no átomo as leis aritméticas verificadas fora do átomo. É um ponto que Buhl apresenta de forma particularmente clara e nítida:

Manejar pequenas bolas de vidro é fazer, em escala vulgar, uma experiência da qual se podem tirar os primeiros conhecimentos aritméticos, depois outros mais complexos, depois a Álgebra e a Análise habitualmente utilizadas. Considerar átomos ou, mais ainda, os corpúsculos que deles podem ser extraídos e as manifestações energéticas que então se produzem é outra coisa. Isso cria sobretudo uma espécie de Álgebra não comutativa cujo espírito se busca com os símbolos de não comutatividade da Teoria dos Grupos. Como se vê, a experiência é ainda a base das construções algorítmicas, mas não precisa ser a experiência das bolinhas de vidro num domínio em que se trata de coisa bem diferente. É triste constatar que tal raciocínio, no entanto, para nós tão evidente, ainda está longe de ser aceito por muitos homens de ciência, que parecem acreditar que todo conhecimento pode ser atingido por meio de um pequeno número de postulados aceitos antigamente como definitivos.<sup>1</sup>

Citamos integralmente esse trecho que parece nos dar razão em parte e nos contradizer por outro lado porque esperamos que a contradição de nossa tese só seria grave se adotássemos, para a matemática, o ponto de vista axiomático intransigente. No fundo, a nosso ver, o *a priori* da matemática não passa de um *a priori* funcional, nada tem de absoluto. Logo, um matemático pode ser levado – tanto pela experiência quanto pela razão – a retomar suas construções sobre uma nova base axiomática, seguindo uma nova intuição numêmica; e é uma característica notável da Física matemática contemporânea a de ter levado o matemático de volta a seu ponto de partida para ampliar ou para explicitar seus postulados. Finalmente, é por meio de um mesmo movimento que o matemático mudará seus axiomas e o físico, suas definições experimentais.

Sem nos darmos conta, o *a priori* aparente das formas aritméticas para com a observação física tinha sido formado numa experiência comum e fácil. Logo, era relativo a essa experiência, não tinha para com essa experiência um valor absoluto, mas sim funcio-

1. G. Bachelard, *La Poétique de la rêverie*. Paris: PUF, 1999, p. 2.

nal. Mas agora, diante da colaboração da matemática e da experiência na microfísica, é preciso, nesse domínio, colocar o *a priori* matemático e a hipótese física no mesmo plano, é preciso uni-los de fato e fundi-los já que, funcionalmente, tanto um quanto a outra são suposições. Ou seja, uma boa hipótese em física é necessariamente de ordem matemática. Deve ser fecunda em ideias como em experiências; ela se verifica por *efeitos*. Assim, desde o princípio aritmético deve-se compreender que formar uma soma é compor um todo experimental. Dividir um número é quebrar uma coisa. No domínio infinitesimal, nada se enumera, tudo se aglomera. A adição só é uma justaposição pura e simples em certos casos em que falta ao real valor orgânico e matemático. O método de adição não é portanto indiferente aos objetos somados. Penetramos numa zona em que o concreto se impregna de matemática e em que a independência formal encontra uma limitação.

Mas o problema pode ser considerado sob outro aspecto e sugerir novas perguntas. Por que desejamos conhecer o número de elétrons de um átomo? Apenas esse número não nos oferece nenhum conhecimento positivo, já que nesse mundo *oculto* um simples caráter *descritivo* é evidentemente ilusório. Se contamos os elétrons, é para explicar indiretamente fenômenos que têm origem no domínio intra-atômico. É preciso, por exemplo, utilizar o número de elétrons para determinar o balanço energético do átomo. Mas o levantamento atômico não pode ser feito de acordo com regras da contabilidade comercial. Os elétrons têm valores que mudam com a sua localização. É-se levado a postular *operadores* um pouco menos simples e um pouco mais sintéticos que o sinal *mais* ou que o sinal *menos* da soma e da subtração usuais. Subtrair é ionizar. Do mesmo modo, não existe razão *a priori* para que a multiplicação seja sempre comutativa, pois as quantidades multiplicadas podem ter tal estrutura que exijam métodos de multiplicação em que a reciprocidade funcional não seja completa. A multiplicação só será então

comutativa entre certas variáveis, de certo modo mais independentes que outras; a multiplicação comutativa terá o aspecto de uma colaboração fraca, de uma colaboração abstrata. Já outras variáveis, mesmo sendo formalmente independentes (por exemplo, uma coordenada e o momento correspondente), apresentam-se a nós numa relação mais estreita que nos obriga a regras de comutação particular. Ao manejar os parâmetros atômicos, tem-se a impressão de que uma série de abstrações bem-feitas se coordena para formar uma imagem matemática do concreto.

Se quisermos caracterizar filosoficamente essa relação complexa da categoria de unidade com a categoria de totalidade, convirá talvez dizer que a metafísica atômica prevê uma interferência da noção de número com a noção de ordem. Uma soma de objetos concretos pode muito bem trazer vestígio das operações de soma pelas quais ela foi formada. A aritmética comum do átomo não é necessariamente uma simples repetição da aritmética cardinal resumida pela linguagem usual.

Como tal perturbação na identidade e na repetição do ser não influiria na causalidade dos objetos? Como teríamos o direito de postular a causalidade uniforme dos fenômenos tomados por unidades se não temos garantia nem da uniformidade das unidades em seu papel aritmético? Julgadas sob esse ângulo, as revolucionárias férias da causalidade, proclamadas por certos físicos, talvez parecessem mais orgânicas; elas se legalizariam, já que se generalizariam. A perturbação causal de nosso conhecimento do átomo também poderia expressar-se metafisicamente por uma nova interferência do ser e do provável. Ficariam explicados muitos erros quando se percebesse que se haviam adicionado probabilidades como se fossem coisas. A composição do provável é mais complexa: ela pode ser limitada por regras de exclusão. Nisso também é preciso compreender que o método estatístico não é necessariamente independente do elemento que ele organiza.

Assim, nos caminhos metafísicos onde o exploramos, vemos o númeno recusar uma análise que siga docilmente os princípios gerais de nossa experiência habitual. Porém, o númeno não está todo nessa recusa; a Física matemática, ao nos fazer sentir a coordenação necessária das noções numerais, autoriza-nos a falar de uma estrutura do númeno. O númeno é um centro de convergência das noções. Temos de construí-lo por um esforço matemático. A física do átomo dá-nos então a oportunidade de tentar algumas noções numéricas. Ao seguir as lições da Física matemática, deparamos, sem dúvida pela primeira vez, com uma metafísica que é positiva porque ela se experimenta. É a metatécnica de uma natureza artificial. A ciência atômica contemporânea é mais que uma descrição de fenômenos: é uma produção de fenômenos. A Física matemática é mais que um pensamento abstrato: é um pensamento naturado.