

# 1

## Introdução

### A filosofia e as ciências físicas

#### A relação entre ciência e filosofia

A demarcação das ciências naturais em relação à filosofia foi um processo longo e gradual no pensamento ocidental. Inicialmente, a investigação da natureza das coisas consistia em uma mistura entre o que hoje seria visto como filosofia (considerações sobre a natureza do ser e do nosso acesso cognitivo a ele) e o que hoje seria considerado como próprio das ciências particulares (acumulação de fatos da observação e formulação de hipóteses teóricas para explicá-los). Os fragmentos que restam das obras dos filósofos pré-socráticos trazem não só tentativas importantes e engenhosas para aplicar a razão a questões metafísicas e epistemológicas, mas também apresentam as primeiras teorias físicas, simples mas extraordinariamente imaginativas, sobre a natureza da matéria e seus aspectos mutáveis.

Na época da filosofia grega clássica, já podemos encontrar certa separação entre as duas disciplinas. Nas suas obras metafísicas, Aristóteles faz claramente algo que hoje seria feito por filósofos. Em muitas das suas obras de biologia, astronomia e física encontramos métodos de investigação que hoje são comuns na prática dos cientistas.

Na medida em que as ciências particulares, como a física, a química e a biologia, aumentaram em número, canalizaram cada vez mais recursos e desenvolveram metodologias individualizadas, elas conseguiram descrever e explicar aspectos fundamentais do mundo em que vivemos. Dado o sucesso dos pesquisadores das ciências específicas, muitos perguntam se ainda restará algo para os filósofos fazerem. Alguns filósofos pensam que existem áreas de investigação que são radicalmente diferentes das que pertencem às ciências particulares, como, por exemplo, a investigação sobre a natureza de Deus, sobre o “ser em si” ou sobre qualquer outra coisa do gênero. Outros filósofos tentaram de várias maneiras

encontrar uma área remanescente de investigação em filosofia que estivesse mais próxima dos desenvolvimentos mais recentes e mais sofisticados das ciências naturais.

Uma perspectiva mais antiga, que perdeu popularidade ao longo dos séculos mas nunca desapareceu, diz que existe um modo de conhecer o mundo que, em seus fundamentos, não precisa depender da investigação observacional ou experimental, própria do método das ciências particulares. Esta perspectiva foi influenciada parcialmente pela existência da lógica e da matemática puras, cujas verdades firmemente estabelecidas não parecem depender de qualquer base observacional ou experimental para que estejam garantidas. De Platão e Aristóteles a Leibniz e aos outros racionalistas, passando por Kant e pelos idealistas, e mesmo até o presente, tem persistido a esperança de que, se fôssemos suficientemente inteligentes e perspicazes, poderíamos estabelecer um corpo de proposições que descreveriam o mundo, sendo conhecidas com a mesma certeza com que dizemos conhecer as verdades da lógica e da matemática. Poderíamos acreditar nessas proposições independentemente de qualquer apoio indutivo obtido de fatos específicos observados. Se dispuséssemos de um corpo de conhecimento como esse, não teríamos atingido o objetivo procurado durante séculos pela disciplina tradicionalmente conhecida por “filosofia”?

Segundo uma perspectiva mais recente, o papel da filosofia não é o de funcionar como fundamento ou como extensão das ciências, mas como sua observadora crítica. As disciplinas científicas usam conceitos e métodos. Embora estejam implícitas em seu uso, as relações entre os diversos conceitos podem não ser explicitamente claras para nós. O papel da filosofia da ciência seria o de clarificar essas relações conceituais. Mais uma vez, as ciências particulares usam métodos para fazer generalizações, partindo de dados da observação em direção a hipóteses e teorias. Segundo tal perspectiva, a filosofia deve descrever os métodos usados pelas ciências e explorar as bases de justificação desses métodos. Isto é, compete à filosofia mostrar que os métodos são apropriados para encontrar a verdade na disciplina científica em questão.

Mas será que, a partir de qualquer uma destas perspectivas, podemos diferenciar a filosofia e a ciência de maneira simples e direta? Muitos especialistas sugerem que não. Nas ciências específicas, às vezes as teorias

não são adotadas apenas por sua consistência com os dados da observação, mas também por sua simplicidade, sua força explicativa ou por outras considerações que pareçam contribuir para a sua plausibilidade intrínseca. Quando constatamos isto, começamos a perder confiança na ideia de que existem dois domínios de proposições bastante diferentes, aquelas que são apoiadas apenas por dados empíricos e aquelas que são apoiadas apenas pela razão. Muitos especialistas em metodologia contemporâneos, como Quine, sustentam que as ciências naturais, a matemática e até a lógica pura formam um contínuo unificado de crenças sobre o mundo. Defendem que todas são indiretamente apoiadas por dados da observação, mas também contêm elementos “racionais” de apoio. Se isto for verdade, não será a própria filosofia, vista como o lugar das verdades da razão, uma parte do todo unificado? Isto é, não será também a filosofia apenas um componente do corpo das ciências especializadas?

Quando procuramos a descrição e a justificação apropriadas dos métodos da ciência, parece que estamos esperando que os resultados das ciências particulares entrem de novo em cena. Como poderíamos compreender a capacidade dos métodos da ciência para nos conduzir à verdade se não estivéssemos em condições de mostrar que esses métodos têm realmente a fiabilidade que lhes é atribuída? E como poderíamos fazer isso sem usar o nosso conhecimento sobre o mundo, que nos foi revelado pela melhor ciência de que dispomos? Como poderíamos, por exemplo, justificar a confiança da ciência na observação sensorial se nossa compreensão do processo perceptivo (uma compreensão baseada na física, na neurologia e na psicologia) não nos assegurasse que a percepção, tal como usada quando se testam as teorias científicas, é realmente um bom guia da verdade sobre a natureza do mundo?

A imprecisão da fronteira entre as ciências naturais e a filosofia torna-se manifesta quando se discutem as teorias mais gerais e fundamentais da física. Dado que elas têm a ousada ambição de descrever o mundo natural nos seus aspectos mais gerais e fundamentais, não surpreende que os tipos de raciocínio usados ao desenvolver estas teorias altamente abstratas pareçam por vezes estar mais próximos dos raciocínios filosóficos que dos métodos usados quando se conduzem investigações científicas de âmbito mais limitado, mais particular. Adiante, à medida que explorarmos os conceitos e os métodos usados pela física quando esta

lida com suas questões mais básicas, veremos repetidamente que não fica claro se estamos explorando questões de ciência natural ou questões de filosofia. Na investigação sobre a natureza do mundo, a distinção entre as duas disciplinas torna-se bastante obscura.

### **Física moderna e filosofia**

Será útil ter uma visão preliminar de algumas das maneiras como os resultados da física moderna afetaram questões filosóficas. Isso pode acontecer quando um estudo teórico em física alarga aquelas que se pensavam ser as fronteiras do seu domínio de investigação. Considere-se, por exemplo, a cosmologia atual. O Big Bang é o modelo mais amplamente aceito da estrutura do nosso Universo na escala do muito grande. Neste modelo, traça-se a evolução do Universo atual ao longo do tempo, em direção ao passado. As dimensões espaciais do Universo contraem-se nessa direção recuada do tempo. Aparentemente, podemos compreender grande parte da estrutura e da dinâmica atual do Universo se o concebemos como algo que se expandiu de maneira explosiva, há um tempo finito, a partir de uma singularidade que existiu no passado. Isto é, parece que em certo momento do passado (que decorreu, quando muito, há bilhões de anos) toda a matéria do Universo estava concentrada num “ponto” do espaço (ou melhor, o próprio espaço estava concentrado dessa forma).

Tal modelo do Universo suscita perplexidades que ultrapassam os nossos modos de procurar respostas quando discutimos problemas de causalidade em escala astronômica. Se podemos ligar o estado atual do Universo à singularidade inicial por meio de uma sequência retrospectiva de causas e efeitos, que poderemos fazer para continuar o processo científico de pergunta-resposta em busca da explicação causal da existência e da natureza desse estado inicial singular? Mas não é claro que *tipo* de resposta explicativa poderemos oferecer para uma questão como “por que o Big Bang ocorreu e por que ocorreu daquela maneira?” É como se já não tivéssemos espaço para respostas explicativas do tipo a que estamos habituados. A cadeia do raciocínio causal regressivo, que vai de um estado a outro estado anterior, que se postula como causa suficiente, parece parar no único Big Bang inicial.

Isto não quer dizer que não se possa imaginar qualquer coisa para explicar a ocorrência e a natureza do Big Bang, mas neste ponto os modos de pensamento científico habituais têm de ser complementados com modos de pensamento que o filósofo conhece bem. O que está em questão é a própria natureza da nossa exigência de explicação e o tipo de resposta a essa exigência que podemos esperar. Neste ponto, física e filosofia parecem fundir-se, ficando as questões específicas sobre a natureza do mundo inextricavelmente enredadas com questões mais metodológicas sobre quais tipos de explicações e descrições do mundo podemos esperar da ciência.

Certas mudanças em nossa imagem física do mundo exigem uma revisão radical da nossa concepção do mundo, o que dá origem a outra pressão para “filosofar” na física contemporânea. Quando tentamos acomodar os enigmáticos dados da observação que as novas revoluções científicas nos impuseram, depressa descobrimos que a viabilidade de muitos conceitos que mais valorizamos para lidar com o mundo depende da presença de certos aspectos estruturais da nossa imagem do mundo. Em alguns casos, nem percebemos a existência desses aspectos, até eles serem colocados em questão por teorias físicas novas e revolucionárias. No entanto, quando esses aspectos da nossa imagem teórica tornam-se duvidosos, os conceitos que deles dependem deixam de poder funcionar para nós como antes. Temos de rever os nossos conceitos. Mas tal revisão conceptual nos impõe uma investigação tipicamente filosófica sobre o significado dos conceitos que temos usado desde sempre e sobre as revisões de significado necessárias para acomodar a nova compreensão conceptual do mundo.

Considere-se, por exemplo, a revisão do nosso conceito de tempo, que a Teoria da Relatividade Restrita implica. Por razões que exploraremos mais tarde, a adoção desta teoria faz-nos dizer, sobre o tempo, muitas coisas que poderiam parecer manifestamente absurdas. Segundo esta teoria, dois acontecimentos que ocorrem ao mesmo tempo para um “observador” podem não ser simultâneos para outro observador que esteja em movimento em relação ao primeiro. A própria ordem temporal de alguns acontecimentos (daqueles que não são causalmente conectáveis entre si) pode apresentar-se invertida para observadores diferentes. No entanto, nosso conceito anterior de tempo presume, quase inconsciente-

mente, que o que é simultâneo para um observador é simultâneo para todos, e que se o acontecimento *a* ocorreu antes do acontecimento *b*, este é um fato “absoluto” para qualquer observador.

A natureza da nova teoria do espaço e do tempo, ao trazer consigo os seus conceitos revolucionários, impõe-nos uma reconsideração ponderada do nosso aparato conceptual e dos nossos pressupostos teóricos anteriores. Essa reconsideração leva-nos a tentar determinar cuidadosamente o que em nossa concepção anterior se fundamentava na experiência e o que nela se pressupunha sem garantia ou justificação. As viragens revolucionárias impõem-nos o dever de investigar com cuidado a maneira pela qual os conceitos dependem da estrutura teórica de que fazem parte e como podem as mudanças nessa estrutura exigir-nos legitimamente uma renovação conceptual. Como veremos quando passarmos da Teoria da Relatividade Restrita para a Teoria da Relatividade Geral, precisaremos de estruturas ainda mais inovadoras para o espaço e para o tempo. Torna-se possível apoiar a possibilidade, no mínimo, de mundos nos quais, por exemplo, um dado acontecimento está, em sentido perfeitamente coerente, no seu próprio passado e no seu próprio futuro. Este tipo de mudança é claramente uma revolução conceptual. A compreensão precisa de como tais revoluções conceptuais podem ter lugar, e do que acontece exatamente quando têm de fato lugar, é o tipo de problema apropriado à investigação filosófica. A filosofia integra-se agora à teorização da física.

Outro exemplo deste tipo de revolução científica conceptual que exige que a reflexão filosófica faça parte da ciência comum relaciona-se com o impacto da mecânica quântica em nossas noções tradicionais de causalidade. A ideia de que cada acontecimento pode ser explicativamente associado, por meio de leis, a alguma condição anterior do mundo estava pressuposta em muita da nossa ciência. Este pressuposto foi em muitos aspectos um princípio orientador na procura de explicações científicas cada vez mais abrangentes para os fenômenos da experiência. Se um acontecimento parecia não ter causa, isso só podia ser um reflexo da nossa ignorância, do fato de ainda não termos encontrado a causa cuja existência era assegurada pelo princípio geral de que “todos os acontecimentos têm causa”.

No entanto, como veremos, muitos especialistas têm sustentado que já não se pode ter tal princípio como verdadeiro no mundo descrito pela

mecânica quântica. Que tipo de teoria nos poderia dizer que no mundo existem acontecimentos sem causa, acontecimentos relativamente aos quais a procura de uma causa determinante subjacente será garantidamente infrutífera? A resposta não é simples. O fracasso da causalidade universal, que a mecânica quântica implica, integra uma revolução conceptual muito mais profunda que nos foi imposta por esta teoria. Na verdade, poucos especialistas que investigaram cuidadosamente estes problemas acreditam que qualquer imagem do mundo já construída fará justiça aos fatos que a mecânica quântica diz que encontraremos no mundo. Ideias básicas sobre o que constitui a “realidade objetiva”, por contraste com a experiência subjetiva que temos dela, tornam-se problemáticas à luz desta teoria assombrosa. Uma vez mais (e isso é tudo o que pretendemos destacar), a natureza revolucionária dos dados da experiência e das teorias construídas pela física moderna para os integrar impõe-nos o tipo de investigação crítica e cuidada sobre o papel desempenhado (às vezes apenas implícita e inconscientemente) por certos conceitos fundamentais nas nossas teorias anteriores. Além disso, essa mesma natureza revolucionária exige uma investigação filosófica cuidada do modo como a revisão das teorias acarreta uma revisão da estrutura conceptual. No contexto das revoluções conceptuais, os tipos de pensamento e de raciocínio comuns nos contextos filosóficos tornam-se parte integrante da ciência.

A filosofia também tem sido integrada na prática científica da física moderna por meio da intromissão, na teorização científica, de um tipo de crítica epistemológica que antes só aparecia na filosofia. A física mais antiga apoiava-se em pressupostos sobre os dados legítimos em que se devem basear as inferências que culminam nas teorias físicas e sobre as regras legítimas que nos permitiriam passar de dados observados para hipóteses generalizadas e teorias postuladas. Habitualmente, aos filósofos deixavam-se as perplexidades sobre os pressupostos implícitos da ciência, assim como a tarefa de elucidar sua natureza e examinar sua legitimidade. Na física mais recente, porém, os especialistas, como parte da sua prática científica, passaram a ter necessidade de explorar estes temas básicos sobre as razões que temos para aceitar e rejeitar hipóteses. Os trabalhos de Einstein na Teoria da Relatividade e de Bohr na mecânica quântica são particularmente reveladores dessa nova tendência epistemológica.

Em seu influente artigo sobre a Teoria da Relatividade Restrita, por exemplo, Einstein confronta várias dificuldades observacionais e teóricas, muito enigmáticas, da física existente. Sua abordagem desses problemas fundamenta-se numa discussão extraordinariamente original e brilhante da seguinte questão: “Como poderemos determinar, em relação a dois acontecimentos espacialmente separados, se estes ocorrem ou não ao mesmo tempo?” Esta exploração das bases empíricas e inferenciais dos nossos pressupostos teóricos legítimos conduz Einstein ao cerne da sua nova teoria — a relatividade da simultaneidade face ao estado de movimento do observador. Embora Einstein extraia dos seus postulados básicos algumas consequências observacionais surpreendentemente novas e fundamentalmente importantes, muitos dos seus resultados previstos estavam contidos na teoria anterior de Lorentz. Mas, mesmo em relação a estas consequências, a investigação de Einstein constitui um avanço fundamental. Do ponto de vista da sua nova perspectiva, as fórmulas antigas adquirem um significado totalmente diferente. É crucial notar que esta nova perspectiva baseia-se num exame crítico e filosófico das bases empíricas das nossas inferências teóricas. Surpreendentemente, como veremos, no próprio coração da outra teoria fundamental de Einstein sobre o espaço e o tempo (a Teoria da Relatividade Geral) reside um exame crítico e epistemológico muito parecido com o das teorias anteriores.

A mecânica quântica oferece-nos outro exemplo central de como a crítica epistemológica desempenha um papel crucial na física moderna. A questão da natureza do processo de medida, o processo pelo qual um sistema físico é explorado por um observador externo para determinar seu estado, torna-se fundamental para se compreender o significado das fórmulas fundamentais da mecânica quântica. Desde os primórdios desta teoria, as questões sobre o que é observável desempenharam um papel conceptual importante. Mais tarde, as tentativas para compreender consequências curiosas da teoria, como o chamado “princípio da incerteza”, exigiram, mais uma vez, um exame crítico sobre o que podia ser determinado em termos de observação. Em última análise, as tentativas de compreender o enquadramento conceptual fundamental da teoria levaram Niels Bohr a afirmar que a nova teoria física exigia uma revisão extraordinariamente radical das nossas ideias tradicionais sobre a relação entre o que sabemos sobre o mundo e o que nele acontece. A própria

noção de uma natureza objetiva do mundo, independente do conhecimento que temos dele, foi alvo de crítica no programa de Bohr. Mais uma vez, ideias que antes só eram comuns no contexto da filosofia tornaram-se parte da física. Na filosofia, a negação da objetividade e as afirmações a favor de várias doutrinas relativistas ou subjetivistas têm uma longa história.

A interação de filosofia e física não começou com tais teorias do século XX. Como veremos, os problemas filosóficos estavam entrelaçados com o desenvolvimento inicial da dinâmica (especialmente em Isaac Newton). No século XIX, os debates filosóficos desempenharam um papel crucial no desenvolvimento da nova teoria molecular e atômica da matéria. Outros debates de caráter filosófico foram importantes para estabelecer a base conceptual da teoria do eletromagnetismo, com sua invocação do “campo” como um componente fundamental do mundo físico. Mas a física moderna alargou suas investigações às próprias fronteiras do mundo. Ao fazê-lo, enfraqueceu os dispositivos conceptuais adequados para lidar com questões mais limitadas. Na sua tentativa de fazer justiça aos fenômenos enigmáticos e inesperados revelados pelas técnicas experimentais modernas, a física exige uma revisão radical de conceitos nunca antes questionados. As novas teorias tornam necessário um exame das bases empíricas e inferenciais que estão por trás dos seus pressupostos. Assim, a física teórica recente tornou-se um palco no qual os modos filosóficos de pensar são um componente essencial. É este entrelaçamento entre física e filosofia que iremos explorar.

### **Filosofia da física e filosofia em geral**

Acabamos de passar em revista algumas razões que tornam a filosofia importante para quem se interessa pela natureza das teorias físicas. Pode ser útil explicar também por que o estudo dos fundamentos das teorias físicas e dos seus aspectos filosóficos é útil para os filósofos que não estejam especialmente preocupados com a natureza da física. Gostaria de sugerir que os problemas investigados pelos filósofos da física e seus métodos também podem trazer alguma luz às questões filosóficas mais gerais.

Os filósofos da ciência estão interessados em questões como a natureza das teorias científicas, saber como estas explicam os fenômenos do

mundo, quais são as bases empíricas e inferenciais destas teorias e como esses dados empíricos podem ser vistos como algo que apoia ou desencoraja a crença numa hipótese. Podemos ganhar em perspicácia ao abordar estes problemas mais gerais no contexto de teorias específicas da física contemporânea. O vasto alcance das teorias e sua natureza explícita proporcionam um contexto no qual muitos problemas da filosofia da ciência geral, que de outro modo seriam bastante vagos, se tornam mais “fixos” quando centramos a atenção nessas teorias físicas específicas.

Como essas teorias apresentam um alto grau de formalização, o lugar que nelas ocupam conceitos cruciais encontra-se estabelecido de maneira simples e clara. Questões sobre o significado de conceitos cruciais, sobre a sua eliminabilidade ou irreduzibilidade, sobre as suas relações definicionais etc. ficam sujeitas a um exame rigoroso. É mais difícil conduzir esse exame quando lidamos com conceitos mais “vagos” de ciências menos formalizadas. Como também veremos, a relação entre a estrutura teórica e os fatos observacionais que permitem sua inferência é particularmente clara em muitos casos da física formal. Nas teorias sobre o espaço e o tempo, por exemplo, o próprio contexto da teorização científica pressupõe noções bastante definidas sobre o que pode contar como “fatos acessíveis a uma inspeção observacional direta”, que deverão fornecer toda a base empírica da teoria. Deste modo, questões como a de saber se a totalidade desses fatos permitirá a escolha de apenas um concorrente teórico viável, apoiando-o mais do que a todos os seus rivais, são tratadas de maneira esclarecedora, que não é possível no contexto geral da ciência. Neste último contexto, não existem uma noção clara dos limites da observabilidade nem uma delimitação clara da classe das alternativas teóricas possíveis a ter em consideração. No contexto das teorias fundamentais da física, se explorarmos problemas como o da eliminabilidade ou não eliminabilidade dos conceitos teóricos, ou o de saber até que ponto os fatos observacionais impõem limites às escolhas teóricas, teremos um modo de lidar com estes problemas metodológicos gerais: olhamos para casos específicos que dão uma clareza especial às questões filosóficas. As ideias adquiridas nesta área mais formalizável e delimitada podem beneficiar aqueles que se ocupam de problemas mais gerais.

Estas considerações podem de algum modo ser generalizadas. Os filósofos interessados nos problemas gerais de metafísica, epistemologia

e filosofia da linguagem descobrirão que abordar questões desses domínios, tal como estão exemplificadas em casos particulares e concretos da teoria física, lançará luz sobre as maneiras apropriadas de lidar com questões gerais. Não podemos progredir muito na compreensão das estruturas específicas das teorias físicas parciais sem usar os recursos fornecidos por aqueles que abordam os problemas mais gerais e fundamentais da filosofia. Além disso, não podemos progredir decisivamente nessas áreas mais gerais sem ver como os métodos e soluções gerais se comportam quando se aplicam a casos específicos. Também aqui, os casos específicos dos fundamentos filosóficos das teorias físicas fundamentais são bastante apropriados para testar pretensões filosóficas gerais.

Devemos dar um pouco de atenção a um último assunto relacionado com este. Na bibliografia sobre o tema, encontramos frequentemente afirmações muito ousadas, segundo as quais a física contemporânea resolveu, conclusiva e decisivamente, debates filosóficos muito antigos. Um exemplo frequente: “A mecânica quântica refuta a tese de que todos os acontecimentos têm uma causa.” Por vezes, surpreendentemente, ambos os lados de um debate filosófico afirmam que uma teoria resolve um problema a seu favor. Assim, tem-se defendido que a Teoria da Relatividade Geral resolve decisivamente o problema da natureza do espaço. Mas há quem defenda que ela refuta o substantivismo, enquanto outros sustentam que ela resolve o debate a favor dessa doutrina! Estas afirmações ousadas e injustificadas são enganadoras, pois os problemas são complexos e os argumentos são por vezes frustrantes nas suas sutileza e opacidade. Nestas circunstâncias, as pretensões a uma vitória decisiva de qualquer tipo devem ser encaradas, pelo menos, com algum ceticismo.

Temos de ter um cuidado especial em relação às conclusões filosóficas derivadas de resultados da física. Por analogia com o princípio GIGO das ciências da computação (*garbage in, garbage out* — “entra lixo, sai lixo”), chamaremos a este o princípio MIMO: *metaphysics in, metaphysics out* — “entra metafísica, sai metafísica”. Não há dúvida de que qualquer tese filosófica deve ser reconciliada com os melhores resultados disponíveis da ciência física, nem tampouco de que o progresso da ciência tem produzido um antídoto útil para muito dogmatismo filosófico, mas ao considerar o que a física nos diz sobre questões filosóficas devemos ter sempre o cuidado de perguntar se a própria teoria física

incorpora pressupostos filosóficos. Se descobirmos que esses pressupostos *foram* incorporados na própria teoria, devemos estar preparados para examinar cuidadosamente se essa maneira de apresentá-la é a única maneira de acomodar seus resultados científicos ou se pode haver outros pressupostos que nos levariam a conclusões filosóficas bastante diferentes, caso a teoria os incorporasse.

### **Objetivo e estrutura deste livro**

Para terminar, apresentarei algumas considerações sobre o objetivo e a estrutura deste livro. A investigação cuidada e sistemática de qualquer um dos grandes problemas da filosofia da física é uma tarefa demorada e difícil. Um domínio dos conteúdos das teorias fundamentais da física contemporânea requer um estudo prévio de um corpo de matemática vasto e difícil, já que as teorias se formulam frequentemente na linguagem poderosa e abstrata da matemática contemporânea. À formação matemática acresce ainda o estudo dos elementos específicos da física. Além disto, a investigação filosófica requer uma formação firme em muitos aspectos da filosofia analítica contemporânea: na metafísica, na epistemologia e na filosofia da linguagem.

Tentar fazer inteira justiça a qualquer um dos problemas centrais da filosofia da física numa obra introdutória deste tipo está, obviamente, fora de questão. O objetivo é, antes, proporcionar ao leitor um mapa das áreas de problemas centrais deste domínio. Este livro centra-se naquelas questões que, do meu ponto de vista, apresentam-se como as mais importantes da filosofia da física. Muitos outros tópicos interessantes quase não serão considerados, e alguns não serão mesmo abordados, com o objetivo de dirigir a atenção tanto quanto possível para as questões mais cruciais e centrais.

Relativamente aos tópicos abrangidos, ofereço um esboço ou sinopse dos aspectos fundamentais das teorias físicas que estão em interação mais profunda com a filosofia. Minha esperança é oferecer uma abordagem suficientemente concisa e clara dos problemas, de modo a orientar o leitor interessado pelos caminhos, por vezes labirínticos, dos debates centrais. Os capítulos 2, 3 e 4 terminam com um guia bibliográfico anotado. O leitor interessado em seguir com algum pormenor os temas es-

boçados no texto encontrará nessas seções de referências um guia para os materiais de formação básica em matemática, física e filosofia, assim como um guia para as discussões contemporâneas mais importantes sobre o problema em causa. Não se pretende que as seções de referências sejam um levantamento exaustivo da bibliografia sobre qualquer dos temas considerados (uma bibliografia por vezes muito extensa), mas um guia seletivo dos materiais mais úteis para conduzir o leitor adiante, de modo sistemático.

Nas seções de referências, tentei incluir materiais acessíveis a quem não tem uma vasta formação em matemática e em física teórica, mas não excluí aqueles cuja compreensão requer uma formação nessas áreas. O material que exige uma formação bastante modesta desse tipo (nível intermédio de uma licenciatura, digamos) está assinalado com (\*). O material que exige uma familiarização mais vasta com os métodos e conceitos técnicos está assinalado com (\*\*).

As três áreas principais que vamos explorar neste livro são a do espaço e do tempo, a das teorias probabilísticas e estatísticas do tipo “clássico” e a da mecânica quântica. Isto nos permitirá examinar muitas das atuais áreas mais enigmáticas e fundamentais da filosofia da física. Outra área principal só será considerada casualmente, embora seja responsável pela introdução de muitos problemas extremamente interessantes, que só em parte têm sido explorados. Trata-se da teoria geral da matéria e da sua constituição, tal como é descrita pela física contemporânea. Questões que surgem quando se postula o campo como um elemento básico do mundo, ou que emergem de problemas da teoria da constituição da matéria, ou dos microconstituintes da hierarquia que nos conduz das moléculas e dos átomos às partículas elementares (e talvez além), ou da teoria fundamental sobre as próprias partículas elementares, só serão tratadas de passagem quando lidarmos com as três áreas de problemas centrais acima indicadas.