

PREFÁCIO

Este livro pretende dar uma idéia, a mais exata possível, da Teoria da Relatividade àqueles que, de um ponto de vista geral científico e filosófico, se interessam pela teoria mas não dominam o aparato matemático da física teórica. A leitura pressupõe que o leitor tenha formação equivalente à do ensino médio e — apesar da brevidade do livro — paciência e força de vontade. O autor não poupou esforços para apresentar as idéias principais de maneira particularmente clara e simples, respeitando, em geral, a seqüência e o contexto em que elas surgiram na realidade. No interesse da clareza, foi inevitável repetir-me muitas vezes, sem preocupação com a elegância da apresentação; pautei-me, escrupulosamente, pela norma do genial físico teórico Ludwig Boltzmann, que deixava as questões de elegância a cargo de alfaiates e sapateiros. Julgo não haver ocultado ao leitor as dificuldades inerentes ao assunto. Já os fundamentos físicos empíricos da teoria, conscientemente tratei-os com certa negligência, para evitar que o leitor menos familiarizado com a física fizesse como aquele caminhante que, de tantas árvores, não conseguiu enxergar a floresta. Que este pequeno livro possa proporcionar a muitos leitores algumas horas de estímulo intelectual!

Dezembro de 1916

Albert Einstein

NOTA PARA A 15ª EDIÇÃO

Nesta edição, acrescentei, como um quinto apêndice, uma apresentação de minhas convicções sobre o problema do espaço em geral e sobre as modificações graduais de nossas idéias a respeito dele, que resultaram da influência do ponto de vista relativístico. Quis mostrar que o espaço-tempo não é necessariamente algo a que possamos atribuir uma existência separada e independente dos objetos da realidade física. Objetos físicos não estão *no espaço*. Estes objetos são *espacialmente estendidos*. Assim, o conceito de “espaço vazio” perde seu significado.

Julho de 1952

Albert Einstein

A TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

1 O conteúdo físico das proposições geométricas

Em seus dias de escola, prezado leitor, certamente você entrou em contato com a soberba construção da geometria de Euclides, e talvez se lembre, mais com respeito que com prazer, desse imponente edifício cujas alturas mestres competridos levavam-no a percorrer durante horas e horas. Por força desse passado, certamente você haveria de dedicar um gesto de desprezo a qualquer um que ousasse declarar errada mesmo a mais insignificante proposição dessa ciência. Mas tal sentimento de orgulho e segurança talvez o abandonasse logo que alguém lhe fizesse esta pergunta: “O que você entende quando afirma que essas proposições são verdadeiras?” Detenhamo-nos um pouco nesta questão.

A geometria parte de certas noções fundamentais, como plano, ponto, reta, com as quais somos capazes de associar idéias mais ou menos claras, e de certas proposições simples (axiomas), que com base nessas idéias sentimo-nos inclinados a considerar como “verdadeiras”. Depois, com base em um método lógico cuja justificação nos sentimos compelidos a reconhecer, todas as demais proposições são referidas àqueles axiomas, isto é, são demonstradas. Uma proposição é correta ou “verdadeira” quando é derivada dos axiomas da maneira geralmente aceita. A questão da “verdade” das diversas proposições geométricas nos leva, portanto, de volta à questão da “verdade” dos axiomas. Ora, há muito se sabe que esta última pergunta não pode ser respondida pelos métodos da geometria e, mais do que isso, que em si ela não possui sentido nenhum. Não podemos nos interrogar se é verdade que por dois pontos passa *uma única* reta. Podemos apenas dizer que a geometria de Euclides trata de figuras, por ela

chamadas de “retas”, às quais atribui a propriedade de serem determinadas univocamente por dois de seus pontos. O conceito de “verdadeiro” não se aplica aos enunciados da geometria pura, porque com a palavra “verdadeiro” nós costumamos, em última análise, designar a correspondência com um objeto “real”; porém, a geometria não se ocupa com a relação entre seus conceitos e os objetos da experiência, mas apenas com os nexos lógicos desses conceitos entre si.

É fácil explicar o fato de, apesar de tudo, nos sentirmos impelidos a considerar as proposições da geometria como “verdadeiras”. Aos conceitos geométricos correspondem, de maneira mais ou menos exata, objetos na natureza, que sem dúvida são a única razão de aqueles conceitos haverem surgido. Visando a conferir ao seu edifício o máximo de coerência lógica possível, a geometria evita falar nesses termos; mas está profundamente enraizado em nosso pensamento o hábito, por exemplo, de reconhecermos um segmento quando vemos dois pontos marcados sobre um corpo praticamente rígido. Além disso, estamos acostumados a considerar três pontos como estando em linha reta quando, por uma escolha adequada do lugar de observação, podemos, fechando um olho, fazer com que suas posições aparentes coincidam.

Seguindo nossos hábitos de pensamento, se acrescentarmos às proposições da geometria euclidiana uma única proposição — a saber, que a dois pontos de um corpo praticamente rígido sempre corresponde a mesma distância (segmento de reta), quaisquer que sejam as mudanças de posição a que o corpo seja submetido —, então as proposições da geometria euclidiana passam a ser proposições sobre a possível posição relativa de corpos praticamente rígidos.¹ Completada desta maneira, a

¹ Com isso, a linha reta passa a ser considerada como um objeto natural. Três pontos A , B , C de um corpo rígido estão situados então sobre uma reta se, dados os pontos A e C , o ponto B é escolhido de tal forma que a soma das distâncias AB e BC seja a menor possível. Embora incompleta, esta indicação é suficiente neste contexto.

geometria deveria passar a ser tratada como um ramo da física. Agora poderíamos nos interrogar com razão a respeito da “verdade” das proposições geométricas interpretadas assim, pois podemos perguntar se aquelas proposições são válidas para aqueles objetos reais que associamos aos conceitos geométricos. De maneira não muito rigorosa, podemos dizer, portanto, que uma proposição geométrica será “verdadeira”, neste sentido, se ela puder ser construída com régua e compasso.

Evidentemente, a convicção da “verdade” das proposições geométricas, neste sentido, repousa apenas em experiências bastante imperfeitas. Por enquanto, haveremos de supor que as proposições geométricas são “verdadeiras”, para mais tarde, na última parte de nossas considerações (quando tratarmos da Teoria da Relatividade Geral), verificarmos que esta verdade tem seus limites, que então precisaremos quais são.

2 O sistema de coordenadas

Em virtude da interpretação física da distância, que acabamos de mencionar, também temos condições de estabelecer a distância entre dois pontos de um corpo rígido por meio de medidas. Para isso, temos necessidade de uma distância estabelecida de uma vez por todas (bastão ou régua S), que empregaremos como unidade de medida. Sendo então A e B dois pontos de um corpo rígido, a reta que os une pode ser construída segundo as leis da geometria; a seguir, pode-se aplicar o segmento S a partir de A tantas vezes quantas forem necessárias para se chegar a B . O número de vezes que é preciso repetir esta aplicação é a medida numérica do segmento AB . Sobre isto baseia-se toda medida de comprimento.²

² Supõe-se aqui que a medida é executada sem deixar resto, isto é, que o resultado é um número inteiro. Livramo-nos desta dificuldade empregando régua graduada, cuja introdução em princípio não envolve nenhum método novo.