



Relatividade científica¹ / Scientific relativity

Alfred Nort Whitehead

Apresentação e tradução por
Rafael Ferreira Martins²

Apresentação

Este trabalho consiste na apresentação da pioneira primeira tradução ao português do capítulo “Relatividade Científica” (*Scientific Relativity*) de Whitehead, incluindo seu apêndice. Este capítulo é oriundo da parte 1 “As Tradições da Ciência” (*The Traditions of Science*), que integra a obra “Um Inquérito Concernente aos Princípios do Conhecimento Natural” (*An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge*) – livro escrito pelo matemático, físico, metafísico e filósofo da ciência e da natureza Alfred North Whitehead (1861 a 1947) na segunda década do século XX e publicado pela Editora da Universidade de Cambridge em 1919 (atualmente em domínio público). A justificativa para esta tradução é dada pela relevância da obra original, que aborda de maneira ampla e profunda problemáticas importantes para a filosofia da ciência e da natureza, cujas conclusões podem ser aplicadas por operadores das ciências físicas e dos mais diversos ramos da filosofia. No capítulo aqui traduzido, especificamente, Whitehead expõe: seu conceito de conjuntos consencientes (basilar no desenvolvimento de sua filosofia da natureza), uma explanação sobre as relações cinemáticas a partir dos conjuntos consencientes com uma abordagem newtoniana (importante para o aprofundamento do conceito de consenciente), reflexões sobre o movimento no suposto éter material de Maxwell (com o interessante fato de estar escrevendo com grande proximidade à época do desenvolvimento e do desuso da teoria do éter) e uma explanação das fórmulas de Lorentz e Einstein para o movimento relativo. A fonte do texto original, utilizada para o

¹ WHITEHEAD, Alfred North. *An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge*. 1ª Edição. Londres: Cambridge University Press, 1919. Disponível em: <<https://archive.org/details/enquiryconce rnpr00whitrich/page/n1/mode/2up>>.

² Formado em Física (licenciatura) pela Universidade Paulista e formando em Filosofia (bacharelado) pela Universidade de Brasília. Membro do grupo de pesquisa ‘Pensamento Processual e Estudos Whiteheadianos na América Latina’ (UFRJ/CNPq) e integrante do projeto de pesquisa ‘Whitehead e a *Point-Free Geometry*’ (UnB). Agraciado com Menção Honrosa e indicado ao Prêmio Destaque de Iniciação Científica no XXV CIC UnB/DF. Premiado como articulista pela RECIMA21 por ser o autor do segundo artigo mais visualizado da revista científica no ano de 2021.

trabalho de tradução, foi a versão digitalizada e disponibilizada online, para livre uso, pela Biblioteca da Universidade da Califórnia.

Um Inquérito Concernente aos Princípios do Conhecimento Natural

Parte 1: As Tradições da Ciência

Capítulo III: Relatividade Científica

7. Conjuntos Consencientes

7.1 Um viajante em um vagão de trem olha para um ponto fixo do vagão. À beira da estrada de ferro, o chefe da estação de trem sabe que o viajante está, na verdade, observando uma trilha de pontos que vão de Londres a Manchester. O chefe da estação de trem nota sua estação como fixada na Terra. Um ser no sol concebe tal estação como exibindo uma trilha no espaço ao redor do sol, e o vagão de trem marcando mais uma trilha. Sendo assim, se o espaço não for nada além de relações entre corpos materiais, os pontos enquanto entidades simples desaparecem. Pois, um ponto, de acordo com um tipo de observação, é uma trilha de pontos, de acordo com outro tipo. Galileu e a Inquisição estão em erro somente na única afirmação na qual ambos concordaram, a saber, que a posição absoluta é um fato físico – o sol para Galileu e a Terra para a Inquisição.

7.2 Assim, cada corpo rígido define seu próprio espaço, com seus próprios pontos, suas próprias linhas e suas próprias superfícies. Dois corpos podem concordar em seus espaços; isto é, o que é um ponto para qualquer um pode ser um ponto para ambos. Além disso, se um terceiro corpo concordar com qualquer um, ele concordará com ambos. O conjunto completo de corpos, atuais ou hipotéticos, que concordam em sua formação-espacial, será denominado conjunto ‘consenciente’.

A relação de um corpo ‘dissenciente’ com o espaço de um conjunto consenciente é a da movimentação através dele. O corpo dissenciente irá, ele próprio, pertencer a algum outro conjunto consenciente. Cada corpo deste segundo conjunto terá um movimento no espaço do primeiro conjunto, que tem as mesmas características espaciais gerais que qualquer outro corpo do segundo conjunto consenciente. Ou seja (em linguagem técnica) ele irá, em qualquer instante, ser um movimento helicoidal com o mesmo eixo, mesmo ritmo e mesma intensidade – resumidamente, o mesmo movimento helicoidal para todos os corpos do segundo conjunto. Assim, falaremos do movimento de um conjunto consenciente no espaço de outro conjunto consenciente. Por exemplo, tal movimento pode ser translação sem rotação e a translação pode ser uniforme ou acelerada.

7.3 Agora, observadores em ambos os conjuntos consencientes concordam quanto ao que está acontecendo. De diferentes pontos de vista na natureza ambos vivenciam os mesmos eventos, que em sua completude são tudo o que há na natureza. O viajante e o

chefe da estação concordam quanto a existência de um certo evento – para o viajante é a passagem da estação pelo trem e para o chefe da estação é a passagem do trem pela estação. Os dois conjuntos de observadores apenas divergem ao definir os mesmos eventos em diferentes estruturas de espaço e (de acordo com a doutrina moderna) também de tempo.

Essa estrutura espaço-temporal não é uma convenção arbitrária. A classificação é meramente uma indicação das características que já existem lá. Por exemplo, a classificação botânica por estames, pistilos e pétalas se aplica a flores, mas não aos homens. Assim, o espaço do conjunto consenciente é um fato da natureza; o viajante com o conjunto apenas o descobre.

8. Relações Cinemáticas

8.1 A teoria do movimento relativo é a comparação do movimento de um conjunto consenciente β no espaço de um conjunto consenciente α com o movimento de α no espaço de β . Isso envolve uma comparação preliminar do espaço de α com o espaço de β . Tal comparação pode somente ser feita pela referência aos eventos que são fatos comuns a todos os observadores, mostrando assim o caráter fundamental dos eventos na formação do espaço e do tempo. O evento idealmente simples é um definitivamente restrito tanto na extensão espacial quanto na temporal, ou seja, o ponto instantâneo. Nós usaremos o termo ‘evento-partícula’ no sentido de ‘evento pontual instantâneo’. O significado exato da restrição ideal na extensão do evento-partícula será investigado na Parte III; aqui nós iremos assumir que o conceito tem uma significação determinada.

8.2 Um evento-partícula ocupa instantaneamente um certo ponto no espaço de α e um certo ponto no espaço de β . Portanto, instantaneamente, há uma certa correlação entre os pontos do espaço de α e os pontos do espaço de β . Também, se a partícula tiver o caráter de material em repouso em um ponto no espaço de α , essa partícula-material terá uma certa velocidade no espaço de β ; e se houver material em repouso em um ponto no espaço de β , tal partícula-material terá uma certa velocidade no espaço de α . A direção da velocidade no espaço- β , devida ao repouso no ponto- α correlato, é tida como sendo oposta à direção da velocidade no espaço- α , que é devida ao repouso no correlato ponto- β . Igualmente, com unidades congruentes de espaço e de tempo, as medidas das velocidades são numericamente iguais. As consequências desses fatos fundamentais serão investigadas na Parte III. A relação do espaço- α com o espaço- β , que é expressa pelas velocidades em pontos no espaço- α devido ao repouso nos pontos do espaço- β e pelas velocidades opostas no espaço- β devido ao repouso nos pontos do espaço- α , é chamada de ‘relação cinemática’ entre os dois conjuntos consencientes, ou entre dois espaços.

8.3 A forma mais simples desta relação cinemática entre um par de conjuntos consencientes ocorre quando o movimento de um dos conjuntos no espaço do outro é

uma translação uniforme sem aceleração e sem rotação. Essa relação cinemática será chamada de 'simples'. Se um grupo consenciente α tem uma relação cinemática simples com cada um dos dois conjuntos consencientes β e γ , então β e γ terão uma relação cinemática simples um com o outro. Em linguagem lógica técnica: uma relação cinemática simples é simétrica e transitiva.

Todo o grupo de conjuntos consencientes com relações cinemáticas simples com qualquer conjunto consenciente, incluindo o próprio conjunto, é chamado de grupo 'simples' de conjuntos consencientes.

A relação cinemática é chamada de 'translatoria' quando o movimento relativo não envolve rotação; ou seja, é uma translação, mas não necessariamente uniforme.

8.4 O fato de a teoria relacional do espaço implicar que cada conjunto consenciente tem seu próprio espaço com seus próprios pontos peculiares é ignorado na apresentação tradicional da ciência física. A razão é que a teoria absoluta do espaço não é realmente abandonada, e o movimento relativo, que é tudo o que pode ser observado, é tratado como o efeito diferencial de dois movimentos absolutos.

8.5 Na enunciação das Leis do Movimento de Newton, as velocidades e acelerações das partículas devem ser consideradas como referindo-se ao espaço de um determinado conjunto consenciente. Evidentemente, a aceleração de uma partícula é a mesma em todos os espaços de um grupo simples de conjuntos consencientes, pelo menos essa tem sido a suposição inquestionável até agora. Recentemente, essa suposição foi questionada e não foi assegurada na nova teoria da relatividade. Sua obviedade axiomática surge apenas da velada suposição do espaço absoluto. Na nova teoria, as próprias equações de Newton requerem algumas ligeiras modificações, as quais não precisam ser consideradas neste estágio da discussão.

Em ambas as formas, seja na forma tradicional ou na forma modificada, as equações de Newton destacam um e somente um grupo simples de conjuntos consencientes e exigem que os movimentos da matéria sejam referidos ao espaço de qualquer um desses conjuntos. Se o grupo apropriado for escolhido, a terceira lei (ação e reação) se sustenta. Mas se as leis se asseguram para um grupo simples, não podem ser consideradas para nenhum outro grupo. Pois as forças aparentes sobre as partículas não podem ser analisadas em tensões recíprocas no espaço de qualquer conjunto que não seja membro do grupo simples original.

Chamemos o grupo simples, para o qual são válidas as leis, de 'grupo newtoniano'.

8.6 Então, por exemplo, se um conjunto consenciente α tem uma relação cinemática translatória não-uniforme com os membros do grupo newtoniano, as partículas do universo material deverão, quando seus movimentos forem referenciados pelo espaço- α , aparentar sofrer atuação de forças paralelas a uma direção fixa, no mesmo sentido ao longo dessa direção, e proporcionais à massa da partícula atuada. Tal assemblagem de

forças não pode ser expressa como uma assemblagem de estresses recíprocos entre as partículas. Novamente, se um conjunto consenciente β tem uma relação cinemática não-translatória com os membros do grupo newtoniano, então, quando o movimento for referido ao espaço- β , forças 'centrífugas' e 'centrífugas compostas' fazem a sua aparição nas partículas; e essas forças não podem ser reduzidas a estresses.

8.7 As consequências físicas desse resultado são melhor visualizadas ao pegarmos um caso particular. A Terra está rotacionando e suas partes são mantidas conjuntas pelas suas atrações gravitacionais mútuas. O resultado é que a figura protuberana no equador; e, depois de admitir as deficiências de nosso conhecimento observacional, os resultados da teoria e do experimento estão em justo acordo.

A teoria dinâmica dessa investigação não depende da existência de qualquer outro corpo material além da Terra. Suponha que o resto do universo material seja aniquilado, ou pelo menos qualquer parte dele que seja visível à nossa vista. Por que não? Afinal, há um volume muito pequeno de matéria visível em comparação com a quantidade de espaço disponível para ela. Portanto, não há razão para supor algo muito essencial na existência de alguns planetas e alguns milhares de estrelas. Sobremos com a Terra girando. Mas girando em relação a quê? Pois, na teoria relacional, parecem ser as relações mútuas das partes da Terra que constituem o espaço. E, no entanto, a teoria dinâmica da protuberância não se refere a nenhum corpo além da terra e, portanto, não é afetada pela catástrofe da aniquilação. Afirma-se [na teoria relacional] que, afinal, as estrelas fixas são essenciais e que é a rotação em relação a elas que produz o bojo. Mas certamente essa atribuição da força centrífuga na superfície da Terra à influência de Sirius é o último refúgio de uma teoria em perigo. A questão é que as propriedades físicas, tamanho e distância de Sirius não parecem importar. A dedução mais natural (na teoria da relatividade newtoniana) é olhar o resultado como evidência de que a teoria de qualquer espaço vazio é uma impossibilidade essencial. Conformemente, o caráter absoluto da direção é evidência da existência do éter material. Este resultado apenas reforça uma conclusão que já foi alcançada por outros motivos. Deste modo, o espaço expressa as relações mútuas das partes do éter, bem como das partes da Terra.

9. Movimento através do éter

9.1 A existência do éter material deve discriminar entre os conjuntos consencientes do grupo newtoniano. Pois um desses conjuntos estará em repouso em relação ao éter e os conjuntos restantes se moverão através dele com velocidades definidas. Torna-se um problema descobrir fenômenos dependentes de tais velocidades.

Pode ser detectado algum fenômeno que seja inequivocamente devido a um quase absoluto movimento da Terra através do éter? Para este propósito, devemos deixar de lado os fenômenos que dependem das velocidades diferenciais de dois corpos da matéria, por exemplo a terra e um planeta ou uma estrela. Pois tais fenômenos são evidentemente

devidos principalmente à velocidade relativa dos dois corpos entre si, e as velocidades relativas ao éter surgem apenas como uma análise intermediária explanatória hipotética. Requeremos fenômenos relacionados apenas com a Terra, que são modificados pelo movimento da Terra através do éter, sem referência a qualquer outra matéria. Já concluímos que a protuberância da Terra no equador é um exemplo do tipo requerido, a menos que de fato assumamos (com Newton) o espaço absoluto.

9.2 Os efeitos causados à luz observada, devido aos movimentos relativos do corpo emissor [da luz] e do corpo receptor [observador], são vários e parcialmente dependentes da específica natureza das perturbações que assumimos constituírem a luz. Alguns desses efeitos foram observados, como, por exemplo, a aberração e o efeito no espectro devido ao movimento do corpo emissor na linha de visão. A aberração é a mudança aparente na direção do corpo luminoso devido ao movimento do corpo receptor. O movimento do corpo luminoso na linha de visão deve alterar o comprimento de onda da luz emitida devido às vibrações moleculares de determinada periodicidade. Em outras palavras, ele deve alterar a qualidade da luz devido a tais vibrações. Esses são os efeitos que já foram observados, mas eles são do tipo que nós colocamos de lado como irrelevantes para o nosso propósito, devido ao fato de que o efeito observado depende, em última instância, simplesmente do movimento relativo dos corpos emissores e receptores.

9.3 Existem efeitos nas franjas de interferência que devemos esperar que ocorram devido ao movimento da Terra. Em seis meses, a velocidade da Terra em sua órbita é revertida. De modo que tais efeitos nas franjas de interferência, como os produzidos pelo movimento da Terra, de um certo aparato puramente terrestre, podem ser comparados com os efeitos correspondentes produzidos no mesmo aparato após o lapso de seis meses e – conforme os experimentos têm sido realizados – as diferenças deveriam ser facilmente discerníveis. Nenhuma dessas diferenças foi observada. Os efeitos, que são assim buscados, não dependem de nenhuma teoria especial da natureza da perturbação luminosa no éter. Eles devem resultar do simples fato da perturbação da onda e da magnitude de sua velocidade em relação ao aparato.

Será observado que a dificuldade que surge da ausência desse efeito previsto não discrimina de forma alguma entre as teorias filosóficas do espaço absoluto ou do espaço relativo. O efeito deve surgir do movimento da Terra em relação ao éter, e existe esse movimento relativo seja qual for a alternativa adotada dentre as teorias espaciais.

9.4 Fenômenos eletromagnéticos também são implicados pela teoria do movimento relativo. As equações de Maxwell do campo eletromagnético mantêm, em relação a esses fenômenos, uma posição análoga àquela ocupada pelas equações do movimento de Newton, que explicam o movimento da matéria. Elas diferem das equações de Newton, muito essencialmente, em sua relação ao princípio da relatividade. As equações de Newton não destacam nenhum membro especial do grupo newtoniano para o qual elas

se aplicam especialmente. Elas são invariantes para as transformações espaço-temporais de um desses conjuntos para outro dentro do grupo newtoniano.

Mas as equações eletromagnéticas de Maxwell não são, portanto, invariantes para o [próprio] grupo newtoniano. A consequência é que elas devem ser interpretadas como referindo-se a um conjunto consenciente particular deste grupo. É natural presumir que essa suposição particular decorra do fato das equações se referirem às propriedades físicas de um éter estagnado; e que, por conseguinte, o conjunto consenciente pressuposto nas equações é o conjunto consenciente deste éter. O éter é identificado com o éter cujas perturbações de onda constituem a luz; e, além disso, há razões praticamente conclusivas para acreditar que a luz seja meramente distúrbios eletromagnéticos que são governados conforme as equações de Maxwell.

O movimento da Terra através do éter afeta outros fenômenos eletromagnéticos além daqueles que conhecemos como luz. Tais efeitos, como também no caso da luz, devem ser muito pequenos e difíceis para observar. Mas o efeito na capacitância de um condensador³ [causado] pela reversão semestral da velocidade da Terra deveria, sob condições apropriadas, ser observável. Isso é conhecido como experimento de Trouton. Novamente, como no análogo caso da luz, nenhum efeito do tipo foi observado.

9.5 A explicação dessas falhas para observar os efeitos expectados (a hipótese de Fitzgerald-Lorentz) foi dada: a matéria, conforme move-se através do éter, automaticamente reajusta seu formato, de maneira que seu comprimento na direção do movimento é alterado em uma proporção definida dependendo da sua velocidade. Os resultados nulos dos experimentos são, desta forma, completamente contabilizados, e o éter evade do mais óbvio método de testagem da sua existência. Se a matéria for, desta maneira, deformada pela sua passagem através do éter, alguns efeitos sobre as suas propriedades óticas, devido a deformação, devem ser antecipados⁴. Tais efeitos foram buscados, mas não observados. De acordo com a suposição de um éter material, os resultados negativos dos vários experimentos são explicados por uma hipótese *ad hoc*, a qual parece não estar relacionada a nenhum outro fenômeno na natureza.

9.6 Existe outro caminho no qual o movimento da matéria pode ser balanceado (por assim dizer) contra a velocidade da luz. Fizeau experimentou sobre a passagem de luz através de matéria translúcida em movimento, obtendo resultados que Fresnel levou em conta ao multiplicar o índice de refração do meio em movimento pelo coeficiente dependente de sua velocidade. Este é o famoso ‘coeficiente de arrasto’ de Fresnel. Ele se deu conta desse coeficiente ao assumir que, à medida que o meio material suga o éter conforme avança, ele o condensa em uma proporção dependente da velocidade. Deve ser

³ “condensador” era o termo mais utilizado, no começo do século XX, para designar o componente elétrico hoje conhecido como “capacitor”.

⁴ “antecipado”, nesse contexto físico, não significa o evento em questão ocorrer antes, mas, especificamente, o evento em questão ser previsto pela teoria.

expectado que qualquer teoria das relações da matéria com o éter, seja um éter material ou um éter de eventos, explique também esse coeficiente de arrasto.

10 Fórmulas para o Movimento Relativo

10.1 Ao transformar as equações de movimento do espaço de um membro do grupo newtoniano para o espaço de outro membro desse grupo, deve ser lembrado que os fatos que são comuns aos dois pontos de vista são os eventos, e que a análise idealmente simples exhibe eventos como dissecados em coleções de eventos-partícula. Portanto, se α e β forem os dois conjuntos consencientes, os pontos do espaço- α são distintos dos pontos do espaço- β , mas o mesmo evento-partícula e estará no ponto P_α no tempo T_α no espaço- α e estará no ponto P_β no tempo T_β no espaço- β .

Com a velada suposição do espaço absoluto, que é habitual no panorama tradicional, é tacitamente suposto que P_α e P_β são o mesmo ponto e que existe um tempo comum e uma medida de tempo comum, que é a mesma para todos os conjuntos consencientes. A primeira suposição é evidentemente muito mal fundamentada e não pode ser facilmente reconciliada com o credo científico nominal; a segunda suposição parece incorporar uma experiência profundamente enraizada. As fórmulas de transformação correspondentes, que conectam as medidas de espaço, velocidade e aceleração no sistema- α , para espaço e tempo, com as medidas correspondentes no sistema- β , certamente são aquelas sugeridas pelo senso comum e em seus resultados elas concordam muito proximamente com o resultado da observação cuidadosa. Essas fórmulas são as fórmulas ordinárias de tratados dinâmicos. Para tais transformações, as equações newtonianas são invariantes dentro do grupo newtoniano.

10.2 Porém, como temos visto, essa invariância, com essas fórmulas para transformação, não se estende sobre as equações de Maxwell para os campos eletromagnéticos. A conclusão é que – ainda assumindo estas fórmulas para a transformação – as equações de Maxwell se aplicam ao campo eletromagnético enquanto referido a um conjunto consenciente do grupo newtoniano. É natural supor que esse conjunto deva ser aquele em respeito ao qual o éter estagnado está em repouso. Ou seja, afirmando o mesmo fato ao inverso, o éter estagnado define esse conjunto consenciente. Não deve haver dificuldade acerca dessa conclusão, exceto pelo caráter especulativo do éter material e as falhas em detectar as evidências da movimentação da Terra através dele. Esse conjunto consenciente definido pelo éter deve, para todos os propósitos práticos, definir o espaço absoluto.

10.3 Existem, entretanto, outras fórmulas de transformação das medidas de espaço e tempo do conjunto α para as medidas de espaço e tempo do conjunto β , para as quais as equações de Maxwell são invariantes. Essas fórmulas foram descobertas, primeiramente, por Larmor, para regiões descarregadas do campo e, posteriormente, por

Lorentz, para o caso geral de regiões carregadas ou descarregadas. Larmor e Lorentz trataram suas descobertas pela perspectiva da matemática formal. Esse aspecto disso é importante. Ele nos permite, quando entendemos minuciosamente a sequência de eventos em um campo eletromagnético, deduzir inumeráveis outros campos eletromagnéticos que serão igualmente bem entendidos. Todos os matemáticos apreciarão o avanço no conhecimento que isso constitui.

Mas Lorentz também destacou que, se essas fórmulas para transformação puderem ser olhadas como as verdadeiras fórmulas para transformação de um conjunto para outro do grupo newtoniano, então, todos experimentos malsucedidos, na detecção do movimento da Terra pelo éter, poderiam ser explicados. A saber, os resultados desses experimentos são tais quais a teoria iria prever.

10.4 A razão geral para essa conclusão foi dada por Einstein em um teorema de mais alta importância. Ele provou que as fórmulas de Lorentz, da transformação de um conjunto consenciente para outro do grupo newtoniano – do conjunto α para o conjunto β – são as condições suficientes e necessárias que o movimento com uma velocidade particular c (a velocidade da luz *in vácuo*) em um dos conjuntos, α ou β , deve também aparecer como movimento com a mesma magnitude c no outro conjunto, β ou α . Os fenômenos de aberração serão preservados devido à relação entre as direções da velocidade que expressa os movimentos no espaço- α e espaço- β respectivamente. Esta preservação da magnitude de uma velocidade especial (embora direcionada) não pode surgir com as fórmulas tradicionais da relatividade. Isso praticamente significa que ondas ou outras influências avançando com a velocidade c , enquanto referida ao espaço de qualquer conjunto consenciente do grupo newtoniano, também irá avançar com a mesma velocidade c em referência ao espaço de qualquer outro conjunto desse.

10.5 À primeira vista, as duas formulações para a transformação, nomeadamente, as fórmulas tradicionais e as fórmulas lorentzianas, aparentam ser muito diferentes. Entretanto, notamos que, se α e β forem os dois conjuntos consencientes e se $V_{\alpha\beta}$ for a velocidade de β no espaço- α e de α no espaço- β , as diferenças entre as duas formulações dependem totalmente do quadrado da razão de $V_{\alpha\beta}$ por c , onde c é a velocidade da luz *in vácuo*, e são desprezíveis proporcionalmente à pequenez desse número. Para movimentos ordinários, mesmo movimentos planetários, essa razão é extremamente pequena e seu quadrado é ainda menor. Consequentemente, as diferenças entre as duas formulações não seriam perceptíveis em circunstâncias normais. Na verdade, o efeito da diferença só seria percebido naqueles experimentos (já discutidos) cujos resultados estiveram sendo de inteira concordância com as fórmulas lorentzianas.

A conclusão evoca, imediatamente, a sugestão de que as fórmulas lorentzianas são as verdadeiras fórmulas para a transformação das relações do espaço e tempo de um conjunto consenciente α para aquelas do conjunto consenciente β , ambos conjuntos pertencendo ao grupo newtoniano. Nós podemos supor que, devido a grosseria de percepção, a humanidade tem permanecido satisfeita com as fórmulas de Newton, que

são uma versão simplificada das verdadeiras relações lorentzianas. Essa é a conclusão que Einstein tem urgido.

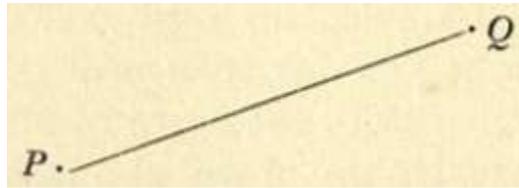


Figura 2

10.6 Essas fórmulas lorentzianas, da transformação, envolvem duas consequências que são paradoxais, se nós assumirmos, acobertadamente, o espaço absoluto e o tempo absoluto. Consideremos α e β sendo dois conjuntos consencientes do grupo newtoniano. Consideremos um evento-partícula P acontecendo no ponto P_α no espaço- α e no ponto P_β no espaço- β , e consideremos outro evento-partícula Q acontecendo nos pontos Q_α e Q_β nos dois espaços respectivamente. Então, conforme o panorama científico tradicional, P_α e P_β não são discriminados um do outro; e similarmente para Q_α e Q_β . Portanto, evidentemente, a distância $P_\alpha Q_\alpha$ é (nessa teoria) igual a $P_\beta Q_\beta$, pois, na verdade, eles são símbolos para a mesma distância. Mas, se mantivermos em mente a verdadeira distinção entre espaço- α e espaço- β , incluindo o fato de que os pontos nos dois espaços são radicalmente distintos, a igualdade das distâncias $P_\alpha Q_\alpha$ e $P_\beta Q_\beta$ não é tão óbvia. De acordo com a formulação lorentziana, tais distâncias, correspondentes nos dois espaços, não serão iguais no geral.

A segunda consequência da formulação lorentziana envolve um paradoxo ainda mais profundamente enraizado, que concerne às nossas noções de tempo. Se os dois eventos-partícula P e Q acontecem simultaneamente quando referidos aos pontos P_α e Q_α no espaço- α , eles irão, em geral, não acontecer simultaneamente quando referidos aos pontos P_β e Q_β no espaço- β . Esse resultado da formulação lorentziana contradiz a suposição de um tempo absoluto e faz o sistema-temporal depender do conjunto consenciente ao qual está adotado como padrão de referência. Por conseguinte, existe um tempo- α , bem como existe um espaço- α , e existe um tempo- β , assim como existe um espaço- β .

10.7 A explicação para as similaridades e diferenças entre espaços e tempos derivados de diferentes conjuntos consencientes do grupo newtoniano, e para o fato de sequer existir um grupo newtoniano, será deduzida nas partes II e III deste inquérito a partir da consideração das características gerais do nosso conhecimento perceptível da natureza, que é todo o nosso conhecimento sobre a natureza. Ao buscar tal explicação, um princípio pode ser estabelecido. Tempo e espaço estão entre os fatos físicos fundamentais concedidos pelo nosso conhecimento do mundo exterior. Não podemos nos contentar com qualquer teoria sobre eles que simplesmente pegue equações

matemáticas envolvendo quatro variáveis (x, y, z, t) e interprete (x, y, z) como coordenadas espaciais e t como uma medida do tempo, meramente pelo embasamento de que alguma lei física é assim expressa. Esta não é uma interpretação do que entendemos por espaço e tempo. O que entendemos são fatos físicos expressáveis em termos de percepções imediatas; e cabe a nós produzir as percepções desses fatos como significados de nossos termos.

Einstein tem interpretado a formulação lorentziana em termos do que iremos denominar de teoria da “mensagem”, discutida no próximo capítulo.

Apêndice ao Capítulo III

Considere α e β sendo dois conjuntos consencientes do grupo newtoniano. Considere $(O_\alpha X_\alpha Y_\alpha Z_\alpha)$ como o sistema ortogonal no espaço de α , e $(O_\beta' X_\beta' Y_\beta' Z_\beta')$ como o sistema ortogonal no espaço de β .

Primeiramente, considere a teoria da relatividade tradicional. Então, o sistema temporal é independente do conjunto consenciente de referência.

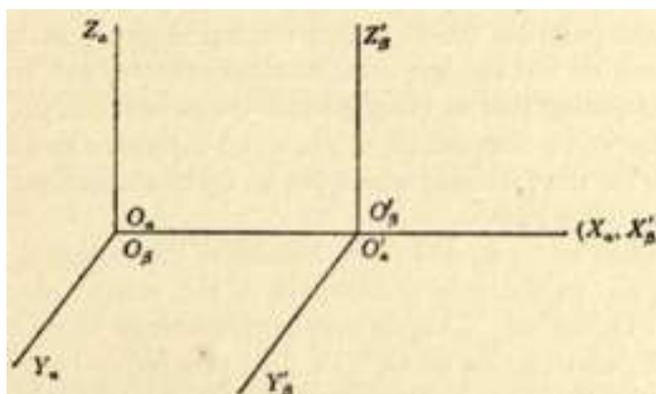


Figura 2

No tempo t considere o evento-partícula que instantaneamente acontece no ponto O_α no espaço de α como acontecendo em O_β no espaço de β , e considere o evento-partícula que acontece em O_β' no espaço de β como acontecendo em O_α' no espaço de α . Considerando o eixo $O_\alpha X_\alpha$ como estando no sentido do movimento de β no espaço- α , e o eixo $O_\beta' X_\beta'$ como estando no sentido reverso do movimento de α no espaço- β ⁵. Permita ainda que O_β' seja escolhido de modo que O_α' esteja sobre $O_\alpha X_\alpha$. Então os eventos-

⁵ Os dois empregos do termo “sentido” na sentença ocorreram como escolha de tradução para o original “*direction*”, cuja tradução literal seria “*direção*”, o que ocorreu devido ao fato de que no vocabulário matemático da língua inglesa o conceito de “*direction*” muitas vezes engloba o que na língua portuguesa é representado por dois termos distintos, o “sentido” e a “*direção*”, sendo que no contexto em questão trata-se do “sentido”.

partícula no instante t que acontecem em $O_\alpha X_\alpha$ são os eventos-partícula que acontecem no instante t em $O_\beta' X_\beta'$. Também escolhemos $O_\beta' Y_\beta'$ e $O_\beta' Z_\beta'$ de modo que os eventos-partícula que acontecem no tempo t em $O_\beta' Y_\beta'$ e $O_\beta' Z_\beta'$ respectivamente acontecem em linhas retas no espaço- α que é paralelo a $O_\alpha Y_\alpha$ e $O_\alpha Z_\alpha$. Sendo $V_{\alpha\beta}$ a velocidade de β no espaço- α e $V_{\beta\alpha}$ a velocidade de α no espaço- β . Então (com uma adequada origem de tempo)

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\alpha\beta} + V_{\beta\alpha} = 0 \\ O_\alpha O_\alpha' = O_\beta O_\beta' \\ x_\alpha = x_\beta + V_{\alpha\beta}t, \quad y_\alpha = y_\beta, \quad z_\alpha = z_\beta \end{array} \right\} \quad (1)$$

Essas são as fórmulas newtonianas para o movimento relativo.

Segundamente, considere a teoria da relatividade lorentziana (ou eletromagnética).

Os dois sistemas temporais, para referência de α e para referência de β , respectivamente, não são idênticos. Considere t_α como sendo a medida do lapso temporal no sistema- α , sendo t_β a medida do lapso temporal no sistema- β . A distinção entre os dois sistemas temporais é corporificada no fato de que, eventos-partícula que ocorrem simultaneamente no tempo t_α no espaço- α , não acontecem simultaneamente por todo o espaço- β . Portanto, supondo que um evento-partícula acontece em $(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha, t_\alpha)$ no espaço- α e tempo- α , e em $(x_\beta, y_\beta, z_\beta, t_\beta)$ espaço- β e tempo- β , nós buscamos pelas fórmulas que são para substituir as equações (1) da teoria newtoniana.

Como anteriormente, considere que $O_\alpha X_\alpha$ esteja disposto no sentido do movimento de β em α , e que $O_\beta' X_\beta'$ esteja no sentido reverso do movimento de α em β . Também, considere que O_α' esteja em $O_\alpha X_\alpha$, de forma que eventos-partícula que acontecem em $O_\alpha X_\alpha$ também acontecem em $O_\beta' X_\beta'$. Uma conexão entre os dois sistemas temporais é assegurada pela regra de que, eventos-partícula que acontecem simultaneamente em pontos do espaço- α em um plano perpendicular a $O_\alpha X_\alpha$, também acontecem simultaneamente em pontos do espaço- β em um plano perpendicular a $O_\beta' X_\beta'$. Conformemente, o quase paralelismo entre $O_\alpha Y_\alpha$ e $O_\beta' Y_\beta'$, e entre $O_\alpha Z_\alpha$ e $O_\beta' Z_\beta'$, é definido e assegurado da mesma forma que na relatividade newtoniana.

O mesmo significado acima será dado para $V_{\alpha\beta}$ e $V_{\beta\alpha}$; também, c é a velocidade fundamental, que é a velocidade da luz no vácuo. Então, nós definimos

$$\Omega_{\alpha\beta} = \Omega_{\beta\alpha} = \left(1 - \frac{V_{\alpha\beta}^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

As fórmulas para transformação são

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\alpha\beta} + V_{\beta\alpha} = 0 \\ t_\beta = \Omega_{\alpha\beta} \left(t_\alpha - \frac{V_{\alpha\beta} x_\alpha}{c^2} \right) \\ x_\beta = \Omega_{\alpha\beta} (x_\alpha - V_{\alpha\beta} t_\alpha) \\ y_\beta = y_\alpha, \quad z_\beta = z_\alpha \end{array} \right\} \quad (3)$$

Essas fórmulas são simétricas entre α e β , de forma que

$$\left\{ \begin{array}{l} t_\alpha = \Omega_{\beta\alpha} \left(t_\beta - \frac{V_{\beta\alpha} x_\beta}{c^2} \right) \\ x_\alpha = \Omega_{\beta\alpha} \left(x_\beta - V_{\beta\alpha} t_\beta \right) \end{array} \right\} \quad (4)$$

É evidente que quando $\frac{V_{\alpha\beta}}{c}$ é pequeno, $\Omega_{\alpha\beta} = \Omega_{\beta\alpha} = 1$, e quando x_α e x_β não são muito grandes, $t_\beta = t_\alpha$, $x_\beta = x_\alpha - V_{\alpha\beta} t_\alpha$.

Portanto, as fórmulas reduzem ao tipo newtoniano.

Considerando que $\dot{x}_\alpha, \dot{y}_\alpha, \dot{z}_\alpha$ representa $\frac{dx_\alpha}{dt_\alpha}$, etc., e que $\dot{x}_\beta, \dot{y}_\beta, \dot{z}_\beta$ representa $\frac{dx_\beta}{dt_\beta}$, etc.

Então, segue imediatamente das fórmulas precedentes que

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_\beta = \frac{(\dot{x}_\alpha - V_{\alpha\beta})}{\left(1 - \frac{V_{\alpha\beta} \dot{x}_\alpha}{c^2}\right)} \\ \dot{y}_\beta = \frac{\Omega_{\alpha\beta}^{-1} \dot{y}_\alpha}{\left(1 - \frac{V_{\alpha\beta} \dot{x}_\alpha}{c^2}\right)} \\ \dot{z}_\beta = \frac{\Omega_{\alpha\beta}^{-1} \dot{z}_\alpha}{\left(1 - \frac{V_{\alpha\beta} \dot{x}_\alpha}{c^2}\right)} \end{array} \right\} \quad (5)$$

Com a notação do Apêndice II ao Capítulo II, as fórmulas de transformação para as equações de Maxwell são

$$\left\{ \begin{array}{l} F_\beta = F_\alpha \\ G_\beta = \Omega_{\alpha\beta} \left(G_\alpha - \frac{V_{\alpha\beta}}{c} N_\alpha \right) \\ H_\beta = \Omega_{\alpha\beta} \left(H_\alpha - \frac{V_{\alpha\beta}}{c} M_\alpha \right) \end{array} \right\} \quad (6)$$

e

$$\left\{ \begin{array}{l} L_\beta = L_\alpha \\ M_\beta = \Omega_{\alpha\beta} \left(M_\alpha - \frac{V_{\alpha\beta}}{c} H_\alpha \right) \\ N_\beta = \Omega_{\alpha\beta} \left(N_\alpha - \frac{V_{\alpha\beta}}{c} G_\alpha \right) \end{array} \right\} \quad (7)$$

e

$$\rho_\beta = \Omega_{\alpha\beta} \rho_\alpha \left(1 - \frac{V_{\alpha\beta} u_\alpha}{c^2} \right) \quad (8)$$

onde $(u_\alpha, v_\alpha, w_\alpha)$ é a velocidade da carga em $(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha)$ no tempo t_α .

Também, segue imediatamente das fórmulas (5) que

$$\Omega_{\alpha\beta}^2 \left(\dot{x}_\beta^2 + \dot{y}_\beta^2 + \dot{z}_\beta^2 - c^2 \right) = \frac{(\dot{x}_\alpha^2 + \dot{y}_\alpha^2 + \dot{z}_\alpha^2 - c^2)}{\left(1 - \frac{V_{\alpha\beta} \dot{x}_\alpha}{c^2}\right)^2}.$$

Consequentemente $(\dot{x}_\beta^2 + \dot{y}_\beta^2 + \dot{z}_\beta^2 - c^2)$ e $(\dot{x}_\alpha^2 + \dot{y}_\alpha^2 + \dot{z}_\alpha^2 - c^2)$ desaparecem conjuntamente. Isso prova o teorema de Einstein sobre a invariância da velocidade c , no que concerne à suficiência das fórmulas lorentzianas para produzir este resultado.