

Quem criou a teoria da relatividade?¹

[O trabalho de Einstein sobre a relatividade], provavelmente, excede em audácia tudo que foi conseguido até hoje em ciência especulativa e mesmo em epistemologia; a Geometria de Euclides, comparativamente, é brincadeira de criança.

(**Max Planck**, em 1910, recomendando Einstein para a Universidade Karl-Ferdinand, de Praga)

Nem Lorentz nem Larmor propuseram uma teoria relativista.
(**José Carlos Santos**, “Minkowski, Geometria e Relatividade”)

Existe atualmente uma corrente minoritária de pensamento, defendida por alguns estudiosos do assunto, segundo a qual a relatividade especial fora desenvolvida em fins do século XIX e início do século XX por diversos cientistas, sendo que Einstein teria aduzido apenas uma versão pessoal e *menor* (sic) da teoria.²

Até mesmo Max Born teria, já em 1956, feito comentário similar: “A Teoria da Relatividade restrita não foi, afinal, uma descoberta de um só homem. A contribuição de Einstein foi a pedra angular de um arco que Lorentz, Poincaré e outros construíram e que viria a suportar a estrutura erigida por Minkowski.”³

Deixo claro desde já que meu entendimento é o de que tal ponto de vista é histórica e cientificamente incorreto⁴ (senão intencionalmente pernicioso) se considerarmos os conceitos estritamente relativísticos. Pretendo demonstrar que Einstein construiu praticamente sozinho não apenas a relatividade especial, mas também a relatividade geral, a qual também essa mesma corrente persiste em atribuir a outros cientistas da época. Certamente que na relatividade geral contou Einstein com o auxílio do matemático Marcel Grossman, como veremos, sendo porém que a finalização da teoria coube apenas ao grande físico judeu-alemão.

A relatividade especial

Os atuais defensores do ponto de vista acima referido fundamentam-se no fato de que algumas das idéias decorrentes dos dois artigos de Einstein já vinham sendo investigadas por vários cientistas antes de 1905.

Isto é, sem dúvida, um **fato**, e para começar vou levar o leitor ao ano de 1754 — portanto bem antes de 1905 — quando o matemático Jean D’Alembert escreve que o tempo seria uma quarta dimensão, lembrando que também em 1895 o escritor H. G. Wells afirmou que “todo corpo real deve ter extensão em quatro direções: comprimento, largura, espessura e duração”, conceito que tomou forma definitivamente com H. Minkowski em 1908!

Seguem-se alguns resultados de particular interesse:⁵

— J. J. Thomson, em suas pesquisas no ano de 1881 acerca da inércia de uma carga elétrica, a partir da teoria de Maxwell, obteve resultados que se aproximam da célebre equação de Einstein, $E = mc^2$. É dessa época o conceito de massa eletromagnética, “uma forma de energia que surge especificamente no caso de uma partícula carregada acoplada ao seu próprio campo eletromagnético”;⁶

— Os físicos J. J. Thomson e George Searle (1896) concluíram ser impossível acelerar uma carga pontual a uma velocidade igual ou superior à da luz, pois em velocidades próximas de c a energia eletromagnética da carga crescería mais rapidamente do que o quadrado da velo-

¹ O presente artigo é baseado em um apêndice do meu livro A Teoria da Relatividade, de Einstein, disponível em PDF no meu site.

² Como exemplo, v. Martins, Roberto A. [2015].

³ Max Born, Physics and Relativity. In A. Mercer and M. Kervaire (eds.): Jubilee of Relativity Theory, pp. 244–260. Birkhäuser, 1956.

⁴ “(...) essas interpretações (...) podem ser reunidas pelo fato de serem consideradas hoje anti-históricas, ou seja, de serem uma violência à História”, cf. Villani, A. [1981]. É curioso observar como esses mesmos que pretendem, em nome de um “rigor histórico”, diminuir a importância do trabalho de Einstein, se esquecem de referir, p. ex., a recomendação de Planck, que figura no início deste apêndice.

⁵ Para detalhes mais técnicos das referências que se seguem, ver Martins, Roberto A. [2015] e Pais, A. [1982].

⁶ Conf. Pais, A. [1982, cap. 7, 7c].

cidade da partícula, o que pode ser interpretado “supondo-se que a massa eletromagnética aumenta com a velocidade”. Tal resultado seria uma antecipação do aumento de massa previsto pela relatividade, que no entanto não se restringe à “massa eletromagnética”;

— Philip Lenard em 1898 e 1900, medindo a massa de partículas beta com velocidades muito altas (até $0,3c$), observou um aumento de massa do elétron com o aumento de velocidade;

— Em 1900 Joseph Larmor publicou o ensaio *Aether and Matter*, no qual buscava estabelecer as transformações de tempo e espaço que mantêm invariantes as equações de Maxwell. Nesse ensaio apresentou uma primeira versão das transformações de Lorentz, às quais também chegara de forma independente, demonstrando ainda que se obtém a contração de FitzGerald-Lorentz através delas;

— Walter Kaufmann, em decorrência de suas investigações experimentais (pioneiras) acerca da relação energia-velocidade do elétron, publicou em 1901 um artigo intitulado “A deflexibilidade magnética e elétrica dos raios de Beckerel e a massa aparente do elétron”. A partir desses experimentos, concluiu em 1902 que a massa do elétron variava. Já existia então uma teoria eletromagnética (como vimos acima) que explicava esse efeito. Vimos, no entanto, na segunda parte, que os resultados de Kaufmann contrariavam tanto as previsões de Lorentz quanto as de Einstein;

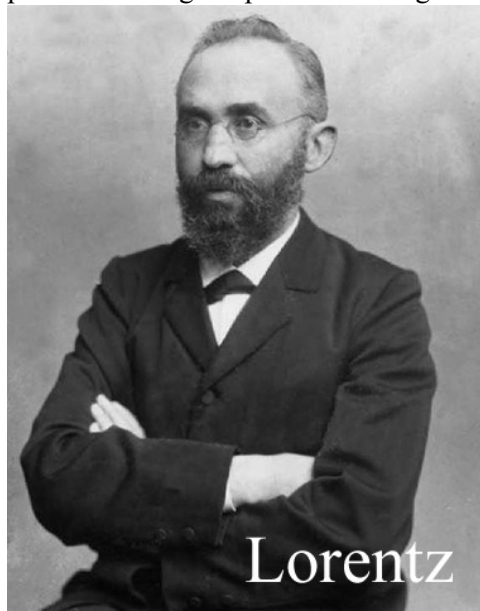
— F. Hasenöhrl afirma em 1904 que a massa de um corpo depende de sua energia cinética e de sua temperatura, e aduz ainda que a energia é proporcional à massa, $E \propto m$, sem acrescentar c^2 como constante de proporcionalidade, como fez Einstein no ano seguinte.

Sobre dois nomes, porém, devemos nos deter e examinar com mais detalhes suas contribuições: o físico irlandês **Hendrick Antoon Lorentz** e o matemático francês **Henri Poincaré**.

Em 1904 Lorentz publica uma versão de sua Teoria do Elétron em que o modelo teórico desenvolvido é apresentado em sua forma completa. Lorentz formulou sua teoria em 1892 a partir do eletromagnetismo de Maxwell, baseando-se nos seguintes postulados:⁷

1) Todas as ações eletromagnéticas acontecem num meio imóvel denominado éter;

2) A eletricidade possui estrutura corpuscular, os “elétrons” (entendidos como qualquer partícula carregada positiva ou negativamente), constituintes dos corpos e exercendo a função de vínculos entre a matéria e o éter;⁸



3) O campo eletromagnético origina-se nos “elétrons”, atuando somente neles, e obedece às equações de Maxwell escritas em relação a um sistema de referência em repouso em relação ao éter;

4) [Segue-se uma descrição técnica da] força que o campo eletromagnético exerce sobre a unidade de volume da matéria eletricamente carregada.

Através destes postulados Lorentz esclareceu um fenômeno não explicado pela teoria de Maxwell: a dispersão da luz ao atravessar, p. ex., gotículas de água (como no arco-íris), além de fazer previsões corretas sobre fenômenos eletromagnéticos — mais tarde confirmadas experimentalmente — e explicar propriedades da matéria.

Nas publicações posteriores (entre as quais a de 1895, da qual Einstein tomou conhecimento), Lorentz vai pouco a pouco desenvolvendo e ampliando a teoria, até a versão completa de 1904.⁹

Algumas decorrências da relatividade restrita aparecem na Teoria do Elétron, pois com ela Lorentz explica também o resultado nulo da experiência de Michelson & Morley (também explicado, mas não matematicamente, alguns anos antes e de forma independente por FitzGerald): seria uma consequência da contração dos braços do interferômetro no sentido de seu movimento, mas, como já foi dito, tal explicação se baseava na noção de uma contração real dos componentes físicos da matéria (enquanto na teoria da relatividade o fenômeno é uma decorrência natural dos dois postulados apresentados por Einstein e da descrição matemática do movimento relativo entre sistemas inerciais diversos).¹⁰

⁷ Conf. José Maria F. Bassalo em seu *site* Seara da Ciência.

⁸ Essa descrição nos permite concluir o quanto era ainda fragmentária a noção de átomo àquela altura.

⁹ Constam novas publicações da Teoria do Elétron em 1905 e 1909.

¹⁰ Não foi, porém, a contração dos braços do interferômetro que levou o referido experimento a mostrar um resultado

A Teoria do Elétron era soberba e, segundo especialistas, complexa. Seguindo um critério de rigor histórico, não se pode omitir que ela fazia as mesmas previsões que a relatividade especial de Einstein,¹¹ valendo-se contudo da noção da existência de um éter jamais verificado, e aqui podemos finalizar com as palavras do próprio Lorentz: “Senti a necessidade de uma teoria mais geral, que tentei desenvolver mais tarde [i. é, em 1904], e que o senhor, e em menor extensão Poincaré, formulou”.¹² Einstein reconhecia a grande contribuição de Lorentz: no ano de 1920, em resposta à pergunta de um jornalista do New York Times que o entrevistou em sua residência em Berlim, e indagou sobre as origens da relatividade, respondeu: “Descobriu-se que [a invariância de Galileu] não se adaptaria aos movimentos rápidos em eletrodinâmica, o que levou a que o professor holandês Lorentz e eu próprio, desenvolvêssemos a teoria da relatividade restrita”.¹³ E, em 1928: “O enorme significado de sua obra consistiu no fato de ter lançado as bases da teoria dos átomos e das teorias da relatividade restrita e geral. A teoria restrita foi uma exposição mais pormenorizada dos conceitos que podem ser encontrados nos trabalhos de investigação de Lorentz de 1895”.¹⁴

Já Henri Poincaré esteve tão perto de descobrir a relatividade especial, que a ele J. Bernstein se refere nos seguintes termos: “(...) Quando se lê, por exemplo, uma conferência como ‘Princípios de Física Matemática’, pronunciada por Poincaré no Congresso Internacional de Artes e Ciências promovido na cidade de St. Louis em 1904 — um ano antes do trabalho de Einstein —, tende-se a perguntar continuamente e com espanto por que Poincaré **não** criou a relatividade especial. Faz ele, antes de tudo, lúcida apresentação do princípio da relatividade: *‘O princípio da relatividade é aquele segundo o qual as leis que regem os fenômenos físicos devem ser as mesmas, esteja o observador em repouso ou se deslocando em movimento uniforme de translação; nesses termos, não dispomos e não podemos dispor de quaisquer meios para distinguir entre estarmos ou não estarmos nos deslocando segundo esse movimento’.*”

Em 1898 havia publicado um artigo no qual afirmava que “*não temos intuição direta da igualdade entre dois intervalos de tempo*”. As pessoas que pensam possuir essa intuição são vítimas de uma ilusão”, e conclui: “A simultaneidade de dois eventos, ou a ordem da sua sucessão, bem como a igualdade entre dois intervalos de tempo, têm de ser definidas de modo que as exposições das leis naturais sejam tão simples quanto possível. Em outras palavras, todas as regras e definições resultam de um oportunismo inconsciente”.



Poincaré

Em 1900, no discurso inaugural do Congresso de Paris, questionou: “Existe realmente o éter?” e, em 1904, no Congresso Internacional de Artes e Ciências em St. Louis voltou aos tópicos do discurso de 1900: “Que é o éter, como estão dispostas as respectivas moléculas, atraem-se ou repelem-se mutuamente?”, e critica a noção de uma velocidade absoluta: “Se conseguíssemos medir alguma coisa, teríamos sempre a liberdade de dizer que não era a velocidade absoluta, e, se não fosse a velocidade em relação ao éter, poderia ser sempre em relação a um novo fluido desconhecido com que encheríamos o espaço”; refere dois observadores em movimento relativo uniforme que desejam acertar os respectivos relógios por meio de sinais luminosos: “Relógios acertados dessa forma não apresentarão o tempo verdadeiro, em vez disso mostrarão o que podemos chamar de tempo local. (...) [Os fenômenos observados por um observador estão atrasados em relação ao outro, mas estão todos atrasados de igual modo, e] como exigido

nulo: a verdade é que não é de qualquer forma possível medir a velocidade da Terra “em relação a um éter” pelos meios utilizados.

¹¹ “A versão da teoria dos estados correspondentes (...), do ponto de vista dos resultados experimentais, pode ser considerada praticamente equivalente à teoria da relatividade”; “(...) Mas apesar dessas diferenças conceituais, do ponto de vista das medidas e dos efeitos observáveis a teoria dos estados correspondentes é equivalente à relatividade especial de Einstein”, cf. Villani, A. [1981].

¹² Rascunho de uma carta a Einstein, jan/2015 (conf. Pais, A. [1982]).

¹³ New York Times, 3 de dezembro de 1920 (conf. Pais, A. [1982]).

¹⁴ Discurso de Einstein em homenagem à memória de Lorentz na Universidade de Leyden, pouco depois de seu falecimento (id. ib.).

pelo princípio da relatividade, o observador não poderá saber se está em repouso ou em movimento absoluto”.

Contudo, mantendo-se ainda ligado aos velhos princípios, conclui que “infelizmente [esse raciocínio] não é suficiente e *são necessárias hipóteses complementares*; temos de supor que os corpos em movimento sofrem uma contração uniforme na direção do respectivo movimento”. Nessa conferência Poincaré teria discutido as Transformações de Lorentz sem mencionar (ou perceber!?) que as mesmas implicavam em uma contração dos corpos na direção de seu movimento! Pode-se concluir daí que não seria Poincaré a formular a relatividade especial;¹⁵ em outras palavras, Poincaré parecia tão confuso quanto os demais pensadores envolvidos direta ou indiretamente na questão, e terminou assim seu discurso: “Talvez devamos construir toda uma nova mecânica, da qual, até agora, só pudemos ter rápida visão, e em que, aumentando a inércia na medida em que a velocidade aumenta, a velocidade da luz se colocaria como limite intransponível”, mas acrescentou: “apresso-me a dizer que ainda não chegamos lá, e que nada ainda prova que [os velhos princípios] não vão emergir vitoriosos e intactos desta batalha”.

Em 1905, falando da gravitação na parte final de um artigo datado de 5 de junho, o qual tem por base a teoria do elétron de Lorentz, Poincaré declara que as leis de Newton teriam de ser modificadas e prevê a existência de ondas gravitacionais que se deslocariam à velocidade da luz, antecipando a previsão da relatividade geral em dez anos!

Em 1909 Poincaré realizou uma série de conferências em Göttingen, sendo que na última, “*La Mécanique Nouvelle*”, abordou questões que se relacionavam à relatividade. Sua nova mecânica baseia-se em três hipóteses já familiares ao leitor: a primeira, que os corpos não podem atingir uma velocidade superior à da luz; a segunda, que as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. No entanto, a exemplo de sua conferência em St. Louis, 1904, “necessitamos admitir uma terceira hipótese, muito mais surpreendente, muito mais difícil de aceitar, oposta ao que estamos habituados. Um corpo em movimento de translação deforma-se na direção em que se desloca”.

Abraham Pais¹⁶ destaca que, mesmo em 1909, Poincaré não sabia que a contração dos comprimentos era uma consequência dos postulados de Einstein, não compreendendo um dos aspectos mais básicos da relatividade especial!

Quem, enfim, criou a relatividade especial?

Entusiasta do nazismo e conseqüentemente anti-semita, o físico Philip Lenard,¹⁷ em 1920, pretendeu que a Teoria da Relatividade havia na verdade sido criada por dois físicos alemães já falecidos: Johann Georg Von Soldner e Friedrich Hasenöhrl.

Soldner, no ano de 1801, havia sugerido que a gravidade talvez fizesse a luz se curvar,¹⁸ com cálculos baseados na teoria de Newton que indicavam uma deflexão de 0,875”; e Hasenöhrl, ao desenvolver pesquisas sobre o comportamento da luz numa cavidade, em data anterior ao segundo artigo de Einstein nos *Annalen der Physik* (1905), concluiu que a energia dessa radiação talvez se relacionasse a uma massa por meio da equação $E=mc^2$ (diferentemente de Larmor, aduzindo a constante de proporcionalidade correta). Jeremy Bernstein¹⁹ ressalta que “Hasenöhrl estava morto, [...] convenientemente indisponível para tecer comentários. Talvez Lenard tivesse um argumento melhor se tivesse escolhido Lorentz, já que as transformações que Einstein derivou a partir da teoria especial da relatividade foram escritas pela primeira vez por aquele. Mas Lorentz, que só morreria em 1928, ainda estava muito vivo e era um dos maiores admiradores do trabalho de Einstein — sentimento que era recíproco”.

Penso que aqueles que, motivados ou não por anti-semitismo, pretendem diminuir a importância da obra de Albert Einstein, creditando-a principalmente a Lorentz e Poincaré, não encontram respaldo na História, mesmo envidando todos os esforços para distorcê-la a favor de suas pretensões.

Nós, contudo, defendemos a opinião, de resto aceita pela maioria dos físicos e historiadores da ciência, de que foi Albert Einstein e nenhum outro quem formulou a relatividade especial.

Havia, sem dúvida, como vimos no início deste primeiro apêndice, um conjunto de idéias

¹⁵ Textualmente conforme Pais, A. [1982].

¹⁶ Id. ib.

¹⁷ De execrável memória, apesar de ganhador do Nobel de Física em 1905 por seu trabalho sobre raios catódicos. Outros nomes de destaque na Física envolveram-se vergonhosamente em ataques contra Einstein, conforme se pode constatar em Neffe, J. [2012].

¹⁸ Will, C [1986].

¹⁹ Bernstein, J. [© 1996].

relativísticas que vinham sendo debatidas e investigadas experimentalmente desde muito antes de 1905, idéias contudo dispersas como um jogo de quebra-cabeças do qual as peças estivessem uma na mão de cada jogador, mas que não se reuniam num sistema único e internamente coerente, sendo possível que nem se suspeitava pertencerem ao “mesmo jogo”! Tomemos como exemplo as investigações feitas por Kaufmann que o levaram a concluir em 1902 que a massa do elétron variava. Em nenhum momento este cientista estendeu tal resultado à massa de outras partículas, tampouco o relacionou a observações feitas por outros pesquisadores ou aos princípios da relatividade e da constância da velocidade da luz! No entanto, a partir da formulação de Einstein os resultados elencados no início deste capítulo surgem — contrariando o senso comum — de forma natural, abrangente e puramente matemática!

Sem sombra de dúvida Einstein já tivera contato com algumas dessas idéias. Sabe-se, por exemplo, que ele estudou a obra *La Science et l'Hypothèse*,²⁰ de Henri Poincaré, publicada em 1902, na qual o autor expõe com precisão o já conhecido princípio da relatividade; chegou de forma independente às Transformações de Lorentz, e certamente conhecia o resultado do experimento de Michelson & Morley,²¹ o qual, contudo, não teria — segundo ele — sido essencial para a formulação de sua teoria.²² Conforme Shankland:²³ “Eu perguntei ao professor Einstein quanto tempo ele havia trabalhado na Teoria Especial da Relatividade, antes de 1905. Ele contou-me que tinha começado com a idade de dezesseis anos e trabalhado por dez anos; primeiro como estudante, quando, é claro, ele podia despendar somente parte do tempo nisto, mas o problema sempre esteve com ele. Ele abandonou muitas tentativas estéreis, ‘até que eu percebi que o tempo era o suspeito!’”.

Acrescente-se, contudo, que essas idéias constituíam um conjunto de informações disponível não apenas para Einstein (que, trabalhando em Berna, na Suíça, se mantinha — decerto a contragosto — bastante isolado dos grandes centros de pesquisa e, conseqüentemente, da possibilidade de dialogar mais de perto com seus pares²⁴): é um fato indiscutível que estavam também disponíveis para todos os cientistas da época, os mais brilhantes e experientes (Lorentz e Poincaré, p. ex., já eram cinquentões em 1905), os quais, porém, não abandonavam os velhos conceitos e se mantinham firmes em sua já prolongada linha de pesquisa: Lorentz desenvolve sua teoria inteiramente convicto da existência do éter, donde se compreende por que esse grande cientista não cogitava a possibilidade de mudar de perspectiva.

A título de exemplo, voltemos por um momento aos já mencionados fenômenos da dilatação do tempo e da contração dos corpos: estes, como foi dito, emergem naturalmente da matemática da relatividade especial, ou seja, são uma conseqüência dos dois postulados fundamentais da teoria.

Na descrição de Lorentz a contração dos corpos consistia numa alteração real da estrutura da matéria e foi apresentada como uma explicação para o resultado do experimento de Michelson & Morley. Já na relação $t' = t - vx/c^2$ Lorentz chamou t' de “tempo local”, que ele entendia como um artifício matemático sem muito significado físico; Poincaré, que também se referiu a essa relação como “tempo local”, chegou a conferir-lhe uma interpretação física, mostrando que se tratava de uma nova variável pela qual se media o tempo quando relógios eram sincronizados por meio de sinais luminosos. Nenhum dos dois compreendeu o que representava de fato essa variável.

²⁰ Trata-se de uma compilação de vários textos anteriores de Poincaré, sendo que o último texto do livro, *La fin de la matière*, foi escrito em 1906 e inserido em edições posteriores da obra (cf. José Carlos dos Santos).

²¹ Conforme ele próprio refere na conferência de Kyoto, em 1922: “Ainda estudante tomei conhecimento do inexplicável resultado do experimento de Michelson e compreendi intuitivamente que poderia ser incorreta a nossa forma de pensar, ao enfocarmos o movimento da Terra em relação ao éter, se reconhecêssemos o resultado experimental como um fato”. Um ano antes de morrer, Einstein tocou novamente no assunto, tendo dito: “O resultado de Michelson não teve uma influência considerável no meu desenvolvimento. Não me lembro nem mesmo se tinha conhecimento dele quando escrevi o primeiro artigo sobre o tema (1905)”. É possível presumir que, a essa altura da vida, a memória de Einstein já estivesse falhando.

²² Apesar de Einstein ter admitido que o resultado do experimento de Michelson & Morley não fora essencial para o desenvolvimento da relatividade restrita, pois do contrário o teria mencionado em seu artigo, ele se dirigiu a Michelson publicamente com as seguintes palavras: “Foi o senhor que conduziu os cientistas por novos caminhos e, através de seu maravilhoso trabalho experimental, preparou o terreno para o desenvolvimento da Teoria da Relatividade. Descobriu um defeito traiçoeiro na teoria do éter da luz, como era então conhecida, e estimulou as idéias de H. A. Lorentz e Fitzgerald, a partir das quais se desenvolveu a Teoria da relatividade restrita”. Michelson contava, então, 89 anos.

²³ R. S. Shankland, “Conversações com Albert Einstein”.

²⁴ Bernstein, J. [1975].

Acerca do éter luminífero

São notáveis as palavras de Einstein logo nos primeiros parágrafos do artigo **“Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”**, as quais implicavam claramente numa mudança de paradigma:²⁵

“A introdução de um éter luminífero irá se provar supérflua, uma vez que o ponto de vista a ser desenvolvido aqui não exigirá um espaço em repouso absoluto, dotado de propriedades especiais, nem atribuirá um vetor velocidade a um ponto do espaço vazio, onde os processos eletromagnéticos estão ocorrendo”.

À parte a inquestionável genialidade de Einstein, contariam a seu favor a juventude e a mente aberta a novas idéias, e contra os demais o fato de se manterem apegados a conceitos que não mais se justificavam: ao apresentar a teoria tendo como base os dois postulados já referidos, e a partir dos quais pôde deduzir os diversos fenômenos de que tratamos na segunda parte, Einstein tocou um ponto-chave: o conceito de éter não foi abandonado — como alguns textos fazem crer — apenas pelo fato de essa substância jamais ter sua existência verificada: com o éter abandonavam-se também as noções de tempo e espaço absolutos e a necessidade de um referencial em repouso em relação ao qual medir a velocidade da luz. O que se observa com isso é a história de um jovem e desconhecido cientista que, contraditando nomes consagrados da física, corajosamente aposta numa ruptura decisiva com a tradição — aposta, e ganha!

Consta, no entanto, que Einstein, a certa altura, teria “capitulado” ante o conceito do éter, e na conferência de Leyden, em 1920, disse:

“Recapitulando, podemos dizer que, de acordo com a teoria da relatividade Geral, o espaço tem qualidades físicas; neste sentido, portanto, existe um éter. De acordo com a relatividade geral um espaço sem éter é impensável; porque em tal espaço não haveria propagação da luz, nem possibilidade de padrões de espaço e de tempo (...), nem intervalos de espaço-tempo, no sentido físico.”

A que “éter” ele queria referir-se, ou formulando a pergunta de outra maneira, a que fenômeno pretendia nomear de “éter”? Tendo em vista que a essa altura Einstein falava da relatividade geral, não há dúvida de que se referia à estrutura geométrica do espaço-tempo, e assim sendo, parece-nos inteiramente fora de propósito alegar-se que com esse discurso Einstein de fato recuou diante dessa questão.

De qualquer forma, uma coisa é certa: o “éter” que ele menciona nessa ocasião não é o mesmo do qual se descartou ao formular a relatividade especial, publicada em 1905 — não é, por certo, aquela mesma substância que funcionava como suporte para as ondas eletromagnéticas e como um referencial absoluto em repouso, dotada de características estranhas e contraditórias que os físicos procuravam adequar às suas teorias.²⁶

A relatividade geral²⁷

Essa mesma corrente minoritária referida defende igualmente ponto de vista similar com relação à relatividade geral, pretendendo ver na teoria einsteiniana da gravidade apenas uma espécie de desdobramento das pesquisas de outros cientistas, bem como, em decorrência da correspondência mantida entre Einstein e o matemático David Hilbert durante o ano de 1915, uma espécie de plágio feito por Einstein das equações relativísticas que teriam sido formuladas antes por Hilbert.

Os dados históricos desmentem tais pretensões, porem alguns fatos que antecederam a formulação da relatividade geral merecem ser mencionados para que se compreenda melhor a extensão do trabalho de Einstein em sua teoria da gravitação.

²⁵ Mesmo por volta de 1900 já havia quem começasse a questionar o éter como um meio material que poderia ser dispensado. Conforme Paul Drude (1900) “a concepção de um éter absolutamente em repouso é mais simples e mais natural — pelo menos se o éter for concebido, não como uma substância, mas simplesmente como espaço dotado de certas propriedades física”. E, em 1901, Emil Cohn declarou: “Tal meio preenche todos os elementos do nosso espaço. Pode ser um sistema definido e ponderável, e também o vácuo”.

²⁶ Conforme Pais, A. [1982], “existiam os éteres de Fresnel, Cauchy, Stokes, Neumann, MacCoullagh, Kelvin, Planck e, provavelmente outros, distinguindo-se entre si por propriedades como o grau de homogeneidade e compressibilidade, bem como pela extensão com que a Terra arrastava consigo cada éter”.

²⁷ Esta parte baseia-se principalmente em Villani, A [1985].

No ano de 1900 Lorentz desenvolveu a idéia de ondas gravitacionais carregadas pelo éter, constituindo-se na primeira abordagem eletromagnética da gravitação. A descrição de Lorentz implicava entre outras coisas em ondas gravitacionais que se deslocavam com velocidade próxima de c , porém o valor obtido para a precessão do periélio de Mercúrio não se ajustava às observações. Willihelm Wien tentou melhorar o modelo com melhores resultados “e a idéia inovadora de uma relação entre aceleração (e inércia) e gravitação”; persistia, porém, em prever incorretamente a anomalia do planeta Mercúrio e acabou abandonado em 1912.

Em 1906, Poincaré fez sua contribuição com um enfoque matemático que serviu como base para a formulação geométrica de Minkowski; contudo, o modelo de Poincaré tampouco fazia previsões corretas.

Em 1908, Ritz tratou a gravitação como subproduto de uma teoria eletromagnética de sua autoria, e obteve uma previsão do periélio de Mercúrio bastante próxima das observações, mas não teve sucesso na descrição para Vênus e para a Terra, que divergia dos dados experimentais.

Cientistas como Gustav Mie, Max Abraham e Gunnar Nordström, entre 1911 e 1915, tentaram desenvolver, cada qual, sua teoria da gravitação. Nordström tentou construir sua versão da gravitação tomando como ponto de partida a matemática e a eletrodinâmica de Minkowski, mas em seu desenvolvimento obteve uma quebra do princípio da equivalência, sendo por isso criticado por Einstein. Nordström conseguiu melhorar a teoria, obtendo alguns bons resultados, porém a previsão sobre a precessão do periélio de Mercúrio era inversa em sinal! A teoria tinha aspectos positivos, e em 1914 foi retomada por Einstein e Fokker e reformulada com a utilização da geometria diferencial. O próprio Nordström, devido aos seus insucessos, abandonou algumas das idéias contidas na teoria e retomou o modelo anterior de Mie, porém em 1916 reconheceu “que a formulação covariante de Einstein da relatividade geral era a solução mais adequada ao problema da gravitação”.



Hilbert

É fato que “antes de 1912 nenhuma tentativa para construir uma teoria de campo da gravitação tinha conduzido a algum lugar. Em finais de 1913 a situação era confusa. A teoria de Nordström era a única teoria consistente (...). Não existe evidência de que alguém partilhasse dos pontos de vista de Einstein sobre as limitações impostas pela gravitação à relatividade restrita; tampouco de que alguém estivesse pronto para seguir seu programa em busca de uma teoria tensorial da gravitação”. (Pais, A. [1982])

É de salientar-se neste ponto que todos esses físicos, por sinal cientistas de grande envergadura, mesmo já se valendo de um instrumental matemático sobre o qual Einstein só viria a debruçar-se após 1912, não obtiveram sucesso em formular uma teoria da gravitação! Einstein o fez. Talvez aí possamos identificar a crucial diferença entre o talento e o gênio.

Einstein começa a preocupar-se com uma generalização da relatividade especial em 1907, porém só começa a trabalhar no assunto em 1911, publicando um artigo intitulado “A propósito da influência da gravidade sobre a propagação da luz”. Não obstante, depara-se com grandes dificuldades técnicas, até que em 1912 recorre a um amigo seu, matemático, de nome Marcel Grossmann, pedindo-lhe que o ajudasse. É então que Grossmann lhe apresenta a geometria diferencial, uma área da matemática até então desconhecida de Einstein. Nos anos de 1912 e 1913 trabalham juntos — sem que Grossman assumisse qualquer responsabilidade quanto às interpretações físicas pertinentes —, e em 1913 publicam um artigo intitulado “Esboço para uma Teoria da Relatividade Geral”. Em decorrência, Einstein e o matemático italiano Túlio Levi-Civita trocam correspondência no início de 1915, tendo Civita apontado alguns erros técnicos no desenvolvimento de Einstein, que se mostrou agradecido e feliz pelo fato de um profissional interessar-se por seu trabalho.

Consta ainda que entre 1913 e 1914, tanto Michelangelo Berro quanto Lorentz teriam colaborado com Einstein no desenvolvimento da nova teoria da gravidade.

Em outubro de 1914 Einstein publica o artigo “Fundamento formal da Teoria da Relatividade Geral”, e no verão de 1915, apresenta sua obra em Göttingen. Suas palestras foram assistidas por David Hilbert, com quem conversou na ocasião e se correspondeu nos meses seguintes.

Hilbert àquela altura percebeu que a relatividade geral ainda estava incorreta, porém não se sabe exatamente em que momento Einstein também o teria percebido.

Durante a correspondência com Hilbert, ocorreu uma espécie de corrida contra o tempo, pois cada um agora procurava chegar às equações corretas.

No dia 4 de novembro de 1915 Einstein faz sua primeira comunicação acerca das equações de campo à Academia Prussiana, mostrando-se incrédulo quanto à validade das mesmas e apresentando correções. Retorna à Academia nos dias 11 e 18 do mesmo mês com novas equações de campo, sendo que nesta última se mostrava entusiasmado, pois havia conseguido calcular corretamente a anomalia do periélio de Mercúrio conforme os dados experimentais. Sua quarta e última apresentação deu-se em 25 de novembro daquele ano, finalmente com as equações corretas.

Seu trabalho estava concluído!

Contudo, uma semana antes, ou seja, no dia de sua terceira apresentação à Academia Prussiana, Einstein recebera uma carta de Hilbert com equações muito similares às suas. Desse episódio surgiu uma dúvida histórica: teria Einstein “plagiado” o trabalho final de Hilbert?

A dúvida tem fundamento, pois em 20 de novembro daquele ano Hilbert entregou seu trabalho finalizado na Sociedade de Ciências de Göttingen com o título “Os Fundamentos da Física”, tendo esse trabalho sido publicado em março de 1916 com as mesmas equações que Einstein apresentara em 25 de novembro.

Tal dúvida persistiu até o ano de 1997, quando foi finalmente esclarecida: os pesquisadores Jürgen Renn, John Stachel e Leo Corry encontram as provas tipográficas do artigo de Hilbert. “Nelas pode-se ver, nitidamente, que Hilbert introduziu as equações posteriormente, em dezembro de 1915. Einstein não as copiou, o concorrente corrigiu as suas”, registra Neffe.

Deste relato percebemos inicialmente que Einstein chegou primeiro à formulação correta das equações da relatividade geral, embora em sua correspondência com Hilbert possa ter colhido idéias para esse desenvolvimento; em seguida, que Einstein recebeu uma importante ajuda de Grossmann quando este lhe indicou o caminho através da geometria diferencial, chegando a publicar um artigo em conjunto; que também recebeu colaboração de Besso e Lorentz, porém certamente menos relevantes.

Mais uma vez concluímos que foi Einstein quem de fato trabalhou duro no desenvolvimento da relatividade geral, e, apesar das importantes colaborações que recebeu, a ele cabe o mérito de tão relevante contribuição para a ciência.

Uma teoria quântica da gravitação

Uma outra afirmativa questionável feita por alguns historiadores nos diz que a relatividade geral é *incorreta por ser incompatível com o princípio da conservação da energia* (sic) e também com a teoria quântica.

A afirmação acerca da conservação da energia se fundamenta no fato de que Hilbert teria supostamente percebido um erro de Einstein e sugeriu à matemática Emmy Noether que estudasse o problema, tendo ela provado que não seria possível preservar a lei da conservação da energia na relatividade geral. Tal afirmação, contudo, carece de fundamento, conforme Michael Weiss e John Baez: “A energia é conservada na relatividade geral? Em casos especiais, sim. Em geral, depende do que você quer dizer com ‘energia’ e do que você quer dizer com ‘conservado’”. (q. v. Weiss, M; Baez, J. [2017]) A leitura desse artigo, abstraindo a parte matemática, que é técnica e muito complexa (o resto do artigo não chega a ser de difícil entendimento), é especialmente recomendada para que se estabeleça a verdade acerca dessa questão, haja vista o fato de que por tratar-se de assunto técnico de grande complexidade, não é de duvidar-se de que um discurso falacioso seja feito com a intenção de confundir e distorcer a História.

Já a referência à teoria quântica tampouco se sustenta: sabe-se que a relatividade geral não se coaduna com essa teoria nos domínios quânticos, como por exemplo na descrição dos instantes iniciais da formação do Universo (cf. a teoria do Big-Bang), mas o mesmo argumento poder-se-ia aplicar a ela: a teoria quântica está incorreta porque entra em conflito com a relatividade geral. Além do mais, teorias científicas possuem uma espécie de “limite de validade”, extrapolado o qual requer-se uma ampliação na descrição teórica de forma a abranger novos fenômenos: isso aconteceu com a teoria da gravitação de Newton, que falha fora de seu campo de validade mas que é corrigida pela relatividade geral; é de esperar que esta última — como ocorre em relação à teoria quântica — tenha encontrado aí seu limite de aplicação e requeira uma nova ampliação. A formulação de uma “teoria quântica da gravidade”, que em tese reuniria a relatividade geral e a teoria quântica, constitui hoje a maior ambição dos cientistas que investi-

gam essa área da física, mas não há qualquer garantia de que tal teoria venha a ser descoberta, ou que ela exista mesmo em potencial, e portanto que seja possível unificá-las numa descrição única e coerente.

A última tentativa de formular uma teoria da gravitação alternativa à relatividade geral foi feita por Robert Dicke e seu aluno Carl Brans em 1962, que ficou conhecida como Teoria Brans-Dicke. Tal teoria considerava a constante gravitacional G como variável com o tempo, possibilidade que não se coadunava com a relatividade geral. “Se a constante gravitacional deve variar, deve ser uma função do espaço e do tempo, por outras palavras, a cada ponto do espaço-tempo curvo da relatividade geral Dicke e Carl Brans (...) juntaram à matemática um campo escalar. O resultado foi o que eles denominaram uma ‘teoria escalar-tensorial da gravitação’, referindo-se o termo ‘tensor’ à variável matemática associada ao espaço-tempo curvo chamada ‘tensor métrico’. Matematicamente a teoria era muito semelhante à relatividade geral, com algumas equações modificadas pela presença do campo escalar.” (Will, C. [1986])

A teoria, contudo, contava com uma constante ajustável, ω , cujo valor determinava o domínio da curvatura do espaço-tempo em relação ao campo escalar. Para valores elevados de ω (500 ou mais) a teoria Brans-Dicke não se diferenciava da relatividade geral, mas para valores pequenos suas previsões não concordavam. A teoria despertou inicialmente pouco interesse da comunidade científica, apesar de incorporar o Princípio de Mach, e só ganhou impulso a partir de 1966 com os resultados relativos ao achatamento solar, em que o valor de ω seria de 7; mas à medida que as observações experimentais foram se tornando mais acuradas, exigindo valores mais elevados para ω , a balança pendeu para teoria de Einstein e a Teoria Brans-Dicke ficou relegada a um segundo plano em que alguns teóricos a retomam movidos apenas por interesse em sua matemática.

Bibliografia

Martins, Roberto de Andrade

As origens históricas da relatividade especial
(Editora Livraria da Física, 2015)

Pais, Abraham

Sutil é o Senhor, a ciência e a vida de A. Einstein
(Nova Fronteira, © 1982)

Villani, Alberto

Confronto Loretz-Einstein e suas interpretações
(Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 3, 1981)

Will, Clifford

Einstein tinha razão?
(Editora Gradiva, © 1986)

Bernstein, Jeremy

As Idéias de Einstein
(Editora Cultrix, 1975)
Albert Einstein e as fronteiras da Física
(Editora Claro Enigma, 2013 – © 1996)

Neffe, Jürgen

Einstein, uma biografia
(Novo Século, 2012)