

**INSTITUTO
DE FÍSICA**

preprint

Banc 4
18A0417

IFUSP/P-259

O CONFRONTO LORENTZ-EINSTEIN E SUAS INTERPRETAÇÕES.
I. A REVOLUÇÃO EINSTEINIANA.

A. Villani

Instituto de Física, Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil

MARÇO/1981

B.F.F. - IFUSP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
Caixa Postal - 20.516
Cidade Universitária
São Paulo - BRASIL

FORA DE
CIRCULAÇÃO

IFUSP/P-259
B.F.F. - USP

O CONFRONTO LORENTZ-EINSTEIN E SUAS INTERPRETAÇÕES.

I. A Revolução Einsteiniana.

A. Villani

Instituto de Física - USP

INTRODUÇÃO

Ao publicar em 1905 o artigo de Einstein sobre o princípio da Relatividade, certamente os editores da revista "Annalen der Physik" ⁽¹⁾ não imaginavam quantas discussões este trabalho teria gerado, não somente como produto científico estilisticamente e conceitualmente original, mas também como produto histórico: de fato além das consequências científicas geradas a partir dele, foi produzido também um número extraordinário de artigos tentando interpretar a gênese e o significado da teoria da Relatividade de Einstein, no contexto do desenvolvimento da Ciência e da Física em particular.

Neste nosso trabalho não pretendemos apresentar uma história detalhada das várias interpretações, nem acompanhar os lances mais importantes que nos últimos 15 anos esquentaram o debate histórico filosófico sobre a fundamentação epistemológica ⁽²⁾ da teoria da Relatividade: é nossa intenção apresentar somente as contribuições significativas de alguns autores que propõem respostas bem claras e originais às seguintes perguntas:

1. A teoria de Einstein é realmente revolucionária em relação à teoria do éter de Lorentz e Poincaré? Ela depende dos resultados do experimento de Michelson e Morley (M.-M.)?
2. A teoria de Lorentz pode ser considerada uma teoria "ad hoc" ou artificial?
3. Quais as razões que explicam a grande adesão, a partir de 1908, dos físicos à teoria de Einstein?

Com isso pretendemos oferecer uma idéia qualitativa de um debate extremamente interessante e significativo, sem ter que acompanhá-lo em todas as suas complexas articulações.

O nosso trabalho constará de 4 partes.

Na primeira será relatada a opinião de E. Whittaker ⁽³⁾ e W. Pauli ⁽⁴⁾, dois cientistas notáveis que sustentaram, mesmo que de for-

ma diferente, a continuidade entre o trabalho de Lorentz, Poincaré e Einstein, e a identidade de perspectivas e de finalidades. Apresentamos também a posição de alguns autores que, apesar de reconhecerem a diferença entre Einstein e Lorentz, interpretam o trabalho do primeiro como decorrente geneticamente dos resultados do experimento de M.-M. Todas essas interpretações, apesar de sustentarem teses diferentes, podem ser reunidas pelo fato de serem consideradas hoje anti-históricas, ou seja de serem uma violência à história. Tentaremos também apresentar a análise detalhada de G. Holton⁽⁵⁾ refutando as opiniões anteriores sobre a relação entre o experimento de M.-M. e a teoria da Relatividade.

Na segunda parte será relatada uma síntese da opinião de G. Holton⁽⁶⁾ em relação ao status da teoria de Lorentz, considerada fundamentalmente artificial, e a análise de E. Zahar⁽⁷⁾, cuja tese, ao contrário, sustenta a completeza, organicidade e adequação empírica da mesma teoria.

Na terceira parte apresentaremos a interpretação de Zahar sobre o sucesso da teoria de Einstein, junto com algumas críticas à sua interpretação.

Finalmente na quarta parte apresentaremos a tese global de G. Battimelli⁽⁸⁾, sobre o confronto entre a teoria de Lorentz e o de Einstein e o sucesso deste último: o interesse do trabalho deste autor reside na utilização de categorias sociais, as únicas, na opinião dele, que dão conta integralmente do significado mais amplo da teoria da Relatividade. Concluiremos com alguns comentários em relação aos vários autores citados.

PARTE I. A TEORIA DE EINSTEIN É REVOLUCIONÁRIA?

I.1. *As interpretações de Wittaker e Pauli*

O segundo capítulo do II volume da "História das teorias do eter e da eletricidade" de E. Whittaker tem como título: "A teoria da Relatividade de Poincaré e Lorentz" e contém afirmações do tipo:

"Geralmente considera-se Poincaré como matemático e Lorentz como físico teórico: no entanto, em relação à suas contribuições à teoria da Relatividade^(8a), as posições foram trocadas: foi Poincaré quem propôs o princípio físico, e Lorentz forneceu-lhe uma estrutura matemática"⁽⁹⁾.

"O conceito de espaço absoluto e fixo, que ... se pensava exigido pela teoria do eter e do elétron, foi mostrado sem fundamentação em 1900-04, pela teoria de Lorentz e Poincaré"⁽¹⁰⁾.

Esta interpretação histórica apareceu também em 1910, na primeira edição da mesma obra, e gerou um verdadeiro escândalo: Max Born, que tinha lido o manuscrito, tentou convencer Whittaker a modificar suas afirmações, mas sem sucesso. Numa série de aulas em Cambridge na Inglaterra em 1947, o autor confirma novamente a sua opinião:

"... Os resultados negativos de todas as tentativas (para de terminar a velocidade do observador em relação ao eter) conduziram à conclusão eventual de que qualquer tentativa deveria sempre falhar. Poincaré expressou esta opinião no Congresso Internacional de Paris em 1900, e questionou se o eter tem alguma existência real, salientando que, no caso de não existir, não se poderia encontrar nenhum sistema de referência privilegiado, mas ao contrário, um número infinito de sistemas de referência deveria ser igualmente fundamental"⁽¹¹⁾.

Em relação à teoria de Einstein escreve:

"... No outono do mesmo ano (1905)... Einstein publicou um artigo que juntava as teorias da Relatividade de Lorentz e Poincaré, com alguma ampliação, e que atraiu muita atenção"⁽¹²⁾.

No necrológico de 1955 em ocasião da morte de Einstein, ele repete que Poincaré, na sua conferência de 1904 em St. Louis cunhou o nome Princípio da Relatividade: em relação as leis do eletro-magnetismo (e.m.) Whittaker sustenta que a descoberta desse princípio foi feita por Lorentz em 1903, pois as equações fundamentais do campo e.m. no espaço vazio são invariantes para transformações de Lorentz. Whittaker conclue sua reconstrução histórica com a sentença memorável:

"Einstein (no trabalho de 1905) adotou o princípio da Relatividade de Poincaré... como nova base para a física, e mostrou que o grupo das transformações de Lorentz fornece uma nova análise para a física dos corpos em movimento relativo"⁽¹³⁾.

O pensamento de Whittaker então é bem radical: não existe nenhuma solução de continuidade entre os trabalhos de Lorentz, Poincaré e a Teoria da Relatividade (T.R) de Einstein: ao contrário esta última constitui uma síntese das idéias desenvolvidas por Lorentz e Poincaré.

Mesmo reconhecendo originalidade na perspectiva de Einstein, a opinião de Pauli concorda em relação a continuidade:

"A teoria da Relatividade Restrita ligou-se ao conceito matemático de grupo que tinha nascido na mecânica de Galileu e Newton

ton... (13a) O desenvolvimento da eletrodinâmica culminou nas equações diferenciais a derivadas parciais de Maxwell e Lorentz. Ficou evidente que estas não admitiam o grupo da mecânica, pois nelas estava contida, como consequência, a independência da velocidade da luz do estado de movimento da fonte... Dever-se-ia renunciar à propriedade das leis naturais e admitir um grupo?... ou era talvez o grupo da mecânica que, sendo válido só aproximadamente poderia ser substituído por um grupo mais geral, válido para mecânica e para o eletromagnetismo? Decidiu-se em favor desta segunda alternativa. O novo postulado podia ser obtido de duas maneiras. Em primeiro lugar podia-se analisar de forma puramente matemática qual o grupo mais geral de transformações em relação ao qual... as equações de Maxwell-Lorentz conservavam suas formas: este foi o caminho percorrido pelo matemático Poincaré. Podia-se também analisar criticamente as hipóteses físicas que tinham conduzido ao grupo especial da Mecânica de Galileu e Newton. Este foi o caminho... de Einstein...

Einstein e Poincaré basearam-se nos trabalhos de Lorentz que... tinha-se aproximado do resultado sem atingi-lo completamente. Na coincidência dos resultados conseguidos, por caminhos diferentes, por Einstein e Poincaré, eu vejo o profundo significado da harmonia entre os métodos matemáticos e a análise dos aspectos gerais da experiência física, conduzida com experimentos ideais..."(14).

I.2. *As críticas de Holton e Battimelli*

Essas idéias de continuidade são típicas da mentalidade do ambiente científico que tenta minimizar as rupturas do passado e se esforça para reinterpretá-lo à luz das teorias e das perspectivas presentes: no entanto uma análise mais rigorosa, do ponto de vista histórico e metodológico, segundo Holton e Battimelli, aponta várias falhas nessas interpretações:

a) Não existe uma teoria da Relatividade de Lorentz e Poincaré: o que eles elaboram é uma teoria do eter e do elétron, na qual a impossibilidade de revelar o movimento absoluto é baseada na utilização do conceito de "espaço absoluto e fixo". Para eles a impossibilidade de revelar o movimento absoluto é um possível dado empírico e não implica na eliminação do eter.

b) É incorreto afirmar que o trabalho de Einstein atraiu a atenção de muitos, pois a primeira reação da comunidade científica foi o silêncio, quebrado unicamente pela afirmação de Kaufman de que os resultados dos seus experimentos contradiziam as previsões da teoria de Einstein e Lorentz.

c) Na conferência de 1904, Poincaré não enuncia um novo princípio da Relatividade, mas ao contrário, ele afirma que os experimentos parecem teimar em sugerir a impossibilidade de detetar o movimento absoluto e que deveria-se pensar em construir uma nova mecânica, com a velocidade da luz como limite não ultrapassável. No entanto a ligação entre princípio da Relatividade e velocidade limite pertence à teoria de Einstein, pois na teoria de Lorentz e Poincaré são duas propriedades físicas completamente distintas.

d) Einstein não conhecia o trabalho de Lorentz que foi publicado em 1904⁽¹⁵⁾. As equações de transformação são assumidas a priori por Lorentz, de forma a obter a covariância das equações de Maxwell no espaço livre: ao contrário, Einstein as deduziu dos dois postulados da Relatividade.

e) No trabalho de 1904, Lorentz postula ainda o teorema não relativístico da adição das velocidades e em 1922 ainda não estará convencido do limite absoluto da velocidade da luz. Sempre no trabalho de 1904 ele se refere a pequenas velocidades e não consegue a total invariância das equações de Maxwell em presença de carga⁽¹⁶⁾.

f) Na análise de Pauli desapareceu qualquer sinal de conflito ou de constraste entre Lorentz e Poincaré de um lado e Einstein do outro: também sumiram os conceitos de eter, de espaço e de tempo absolutos, característicos da física clássica abraçada pelos primeiros. Todos esses conceitos são substituídos pelas propriedades de grupo. Pauli escreve numa época (~1930) na qual se olha sobretudo às propriedades formais das leis naturais e aos instrumentos matemáticos para expressá-las e, desse ponto de vista, interpreta a história da Relatividade para poder encontrar uma continuidade com o pensamento moderno e justificar seu embasamento conceitual. Trata-se então da re-leitura da história, do ponto de vista dos vencedores e com finalidade apologéticas.

I.3. A história da Relatividade nos textos didáticos e de divulgação

Tirando estas vozes solitárias, que não reconheceram o caráter revolucionário da proposta de Einstein, a opinião comum nos meios científicos, até o começo da década de sessenta, considerava a teoria da Relatividade como o grande acerto teórico, capaz de sistematizar a situação caótica da Física depois do experimento de Michelson e Morley. Em outras palavras a teoria de Einstein era a resposta finalmente correta ao experimento de M.-M. e a sua continuação natural. A Revolução Relativista é pensado então como uma volta da Física às ori-

gens e aos seus fundamentos. R.A. Millikan, na sua tentativa de sintetizar a origem experimental da teoria da Relatividade, expressa bem esta idéia.

"A teoria da Relatividade Especial pode ser considerada... essencialmente uma generalização a partir do experimento de Michelson... Descartando todas as concepções a priori sobre a natureza da velocidade... Einstein tomou como ponto de partida fatos experimentais cuidadosamente testados..., independentemente deles parecerem no momento razoáveis ou não... Mas este experimento (de M.-M.), depois de ter sido realizado com extraordinária habilidade e refinamento pelos seus autores, deu a resposta definitiva... que não existe nenhuma velocidade observável da Terra em relação ao eter. Este incrível e aparentemente inexplicável fato experimental perturbou violentamente a Física do séc. XIX e por quase vinte anos os físicos... se esforçaram por torná-lo razoável. Mas Einstein nos chamou atenção: vamos aceitá-lo como um fato experimental estabelecido e tirar as suas inevitáveis consequências... Assim nasceu a teoria da Relatividade Especial"⁽¹⁷⁾.

Parecido com esta opinião é o comentário de M. Von Laue:

"O resultado negativo do experimento de M.-M., forçou a teoria de Lorentz do eter estacionário a fazer uma nova hipótese, que conduziu à teoria da Relatividade. Dessa forma o experimento se tornou por assim dizer, o experimento fundamental da T.R., porque é partindo dele que se atinge quase imediatamente a derivação das transformações de Lorentz, que contêm o princípio da relatividade"⁽¹⁸⁾.

É fácil imaginar que, se cientistas eminentes, nos livros textos avançados ou nas suas conferências, expressam de forma sistemática uma determinada interpretação, esta mesma, simplificada, passará a ser transmitida através dos livros didáticos e das obras de divulgação. Na realidade não é pretensão dos livros didáticos ensinar a história da física, mas de fato existe uma "história popular" da ciência e ela é sustentada explicitamente ou implicitamente pela grande maioria dos livros didáticos, mesmo os mais elaborados^(18a). Basta escolher ao acaso na lista apresentada por Holton⁽¹⁹⁾, por ex.: no livro de Mecânica de Berkeley, lê-se:

"Einstein finalmente propôs uma abordagem completamente diferente para o problema criado pelo experimento de M.-M.. Ele explicou o seu resultado nulo voltando ao princípio da Relatividade"

Mesmo Feynman não escapa dessa visão:

"Várias tentativas foram feitas para determinar a velocidade absoluta da Terra em relação ao éter. O mais famoso destes experimentos foi o de M.-M. em 1887. Mas foi 18 anos tarde que o resultado negativo foi finalmente explicado por Einstein".

Holton aponta várias razões que concorreriam para explicar este consenso nos meios científicos:

a) Em primeiro lugar o clima histórico particular que se criou pela difícil aceitação do resultado de Michelson e do trabalho de Einstein. De um lado o resultado do experimento de M.-M. foi considerado, por vários anos, e mesmo pelo próprio Michelson, um evento negativo, um resultado que, mais do que resolver questões, gerava problemas: esta caracterização o acompanhou até pelo menos a segunda década de 1900. De outro lado a Teoria da Relatividade se apresentou, para a maioria dos físicos, como mais misteriosa ainda, por um período de tempo considerável. Consequentemente:

"... parece inevitável que, durante a década que seguiu o trabalho de Einstein de 1905 - especialmente na literatura didática - se desse uma união simbiótica entre o enigmático experimento de Michelson e a incrível teoria da Relatividade. O indubitável resultado dos experimentos de Michelson podia ser visto como fonte de uma base experimental para a compreensão da teoria da Relatividade, que, por outro lado, parecia contrária ao próprio senso comum; a teoria da Relatividade, por sua vez, podia fornecer uma explicação do resultado experimental de Michelson, de forma não artificial ou ad hoc como parecia ser, baseada na suposta contração de Lorentz-Fitzgerald. Isso provou ser um casamento de longa duração"⁽²⁰⁾.

b) Em segundo lugar pode ser invocado o próprio testemunho de Einstein em algumas de suas primeiras publicações didáticas. Por ex.: numa delas ele afirma que, com base na teoria da Relatividade, a interpretação do resultado nulo do experimento de Michelson ficava muito mais satisfatória do que com a contração de Lorentz e Fitzgerald. Outra vez, ao tentar reconstruir a história da Física, ele escreve:

"O sucesso da teoria de Lorentz era tão significativo que os físicos teriam abandonado o princípio da Relatividade sem remorsos, não tivessem tido disponível o importante resultado experimental... de Michelson... Tentar justificar teoricamente os resultados negativos do experimento através de hipóteses fabricadas ad hoc (a hipótese da contração) é altamente insatisfatório"⁽²¹⁾.

c) Uma terceira razão da ligação entre o experimento de Michelson e a teoria de Einstein é dada pelas características próprias e pelas finalidades dos escritos didáticos e de divulgação: neles tenta-se convencer (os cientistas, os estudantes, o público em geral) da validade de uma teoria, então nesse sentido procura-se estabelecer ligações diretas entre teoria e experimento: nesse sentido a exposição do experimento de M.-M., junto com a teoria da Relatividade tem um inegável efeito didático. Com esta observação fica relativamente fácil entender o significado das citações de Einstein: ele considerava que o experimento de M.-M. era necessário para que a maioria dos físicos aceitasse a sua teoria; mas isso é bem diferente de considerar o experimento como genesis e base da Relatividade.

d) Provavelmente a causa mais profunda da ligação genética entre o experimento de M.-M. e a teoria de Einstein é a visão filosófica "experimentalista"^(21a), que dominava o ambiente científico da época. Nesta visão uma teoria científica deve ser necessariamente baseada, logicamente e geneticamente, sobre resultados experimentais; é racional somente aquela proposta teórica que seja justificada por particulares experimentos. A única maneira legítima de obter uma descoberta científica é através da generalização de experimentos particulares. É somente com essas premissas que podem ser entendidas as afirmações de J. Petzoldt, um teórico do movimento filosófico:

"O experimento de Michelson é a causa e o principal suporte... da teoria eletrodinâmica da Relatividade"⁽²²⁾.

"A teoria de Lorentz é, no seu núcleo conceitual, pura metafísica... A teoria de Einstein é inteiramente fundada no resultado do experimento de Michelson e pode ser inteiramente derivada dele"⁽²³⁾.

O domínio incontestado do experimento, pode ser facilmente encontrado na opinião entusiástica de Bachelard:

"Como nós sabemos, e foi-nos repetido milhares de vezes... a Relatividade nasceu da falência do experimento de Michelson... Para fraseando Kant, podemos dizer que este experimento acordou a Mecânica Clássica do seu sono dogmático... Pode um simples experimento do vigésimo século (?) aniquilar - um sartriano diria nulificar - dois ou três séculos de pensamento racional? Sim, um único decimal é suficiente - como diria o nosso poeta H. de Regnier - para fazer toda a natureza cantar"⁽²⁴⁾.

Após levantar os argumentos que explicariam a visão didática

da relação entre experimento de M.-M. e a T.R., Holton passa em resenha as opiniões dos historiadores a respeito do assunto, e não encontrando um consenso dominante ele procura dar mais peso e valor as pesquisas mais detalhadas e aprofundadas. As conclusões as quais ele chega podem ser resumidas em:

a) O experimento de M.-M., chamou a atenção de Einstein somente depois de 1905 (mesmo tendo tido conhecimento do seu resultado anteriormente).

b) A base experimental mais importante para o trabalho de 1905 é fornecida pelas experiências anteriores ligadas a teoria do eter: em particular chamaram a sua atenção a aberração da luz das estrelas e o experimento de Fizeau sobre o arrastamento da luz na água.

c) Apesar de estar ciente do resultado de Michelson, Einstein não ficou particularmente impressionado quando o leu no trabalho de Lorentz⁽²⁵⁾, pois já tinha previsto este resultado com base em outras hipóteses⁽²⁶⁾.

d) Finalmente na carta que Einstein escreveu por ocasião do centenário do nascimento de Michelson, tratando explicitamente da relação entre o experimento e a teoria da Relatividade, aparece claro que o ponto mais importante é o experimento mental do movimento relativo de um condutor num campo magnético^(26a). Ao experimento de Michelson é deixada a função indireta de sublinhar o caráter artificial da hipótese da contração, que era aparentemente exigida para salvar o conceito de eter estacionário.

Sintetizando suas conclusões, Holton escreve,

"O que emerge das narrações históricas explícitas, incluindo as entrevistas diretas com Einstein^(26b), é que a história que encontramos... nas fontes didáticas e filosóficas é, na melhor das hipóteses, suspeita e precisa ser criticada severamente"⁽²⁷⁾.

I.4. A análise direta do trabalho de Einstein

No esforço sistemático de ligar fontes e documentos diferentes e contrastantes, Holton passa a considerar a evidência direta no artigo de Einstein de 1905, confrontando-a com as anotações autobiográficas do próprio Einstein.

O trabalho de 1905 parece oferecer uma eletrodinâmica dos corpos em movimento com base nas leis formuladas por Maxwell para a eletrodinâmica dos corpos em repouso.

A necessidade de um ponto de vista novo é justificada, por Einstein, numa insatisfação de tipo estético sobre a maneira usual de utilizar a teoria de Maxwell para os corpos em movimento: não se trata de desacordo entre teoria e experimento, mas de assimetria na explicação dos efeitos do movimento relativo entre um ímã e um condutor. É esta assimetria que deve ser eliminada reformulando a teoria usual: e a direção desta reformulação é bem clara para Einstein:

"Exemplos desse tipo, junto com as tentativas sem sucesso de descobrir o movimento da Terra em relação ao meio luminoso sugerem que os fenômenos de eletrodinâmica, assim como os da mecânica, não possuem propriedades correspondentes a idéia de repouso absoluto. Sugerem ao contrário que, como já foi demonstrado para a primeira ordem de pequenas quantidades (v/c), as próprias leis da eletrodinâmica e da ótica serão válidas para todos os sistemas de referência para as quais são válidas as equações da mecânica"⁽²⁸⁾.

Neste trecho e no artigo todo não aparece nenhuma citação do experimento de M.-M.: para Holton é claro que se essa fosse a base das idéias de Einstein, certamente ele deveria tê-la citada neste trecho; mas ele não cita nenhum experimento específico sugerindo então que nenhum deles é crucial.

Em síntese, para Holton, o raciocínio que Einstein propõe é do tipo: as interpretações assimétricas dos resultados das experiências sobre o movimento relativo entre ímã e condutor junto com alguns experimentos óticos não citados estão em conflito com o conceito de espaço e tempo absolutos: a teoria de Maxwell consegue ligar entre si todos esses experimentos, então parece razoável confiar nas equações de Maxwell, como ponto de partida, para torná-las válidas para qualquer sistema de referência inercial e a partir daí interpretar toda a ótica e eletrodinâmica juntas. Assim o princípio da Relatividade passa a ter o status de postulado, ao qual Einstein junta o postulado da constância da velocidade da luz no vácuo, sem no entanto oferecer nenhuma evidência da plausibilidade dessa nova hipótese. Desses dois postulados ele tira todas as consequências.

Para Holton trata-se de um trabalho genial, escrito num período de 5 ou 6 semanas (como Einstein mesmo escreveu para um dos seus biógrafos), num ano no qual ele produziu três trabalhos fundamentais para a física, com um intervalo menor que dois meses entre eles, e num período no qual ele trabalhava no escritório de Patentes de Berna: a idéia básica que o sustenta é a procura de um princípio universal formal, cujas consequências a experiência se encarregará de validar: para Holton a frase lacônica "exemplos desse tipo" refere-se ao parado-

xo citado na autobiografia pelo próprio Einstein e sobre o qual ele pensou quando tinha 16 anos:

"Se eu pudesse seguir um raio de luz com velocidade c (a velocidade da luz no vácuo), o raio luminoso me apareceria como um campo e.m. oscilante no espaço, em estado de repouso. Mas nada disso parece acontecer com base na experiência de Maxwell.

Desde o começo pareceu intuitivamente claro para mim que do ponto de vista de um tal hipotético observador, tudo deveria acontecer segundo as mesmas leis que valem para um observador em repouso na terra. Por outro lado, como o primeiro observador saberia, isso é, como poderia determinar que está num estado de movimento uniforme rápido? Percebe-se que neste paradoxo está já contido o germe da Relatividade Especial"⁽²⁹⁾.

Para Holton este paradoxo é do mesmo tipo da assimetria entre ímã e condutor: num caso o campo eletromagnético associado por um observador em movimento a um raio de luz, no outro caso o campo e.m. experimentado por um condutor em movimento. Em ambos os casos a solução do paradoxo vem das equações de transformação que re-estabelecem as simetrias.

Depois de dizer que o conceito de eter e de espaço estacionário não são mais necessários, Einstein redefine a cinemática com um novo conceito de simultaneidade e deduz as transformações de Lorentz e as equações de transformação do campo e.m.

Segue uma referência ao efeito Doppler relativístico, à aberração da luz e à pressão de radiação sobre um espelho refletor, problema este último que já tinha absorvido Einstein nos anos anteriores como exemplo dos limites da aplicabilidade da teoria de Maxwell.

Einstein conclui:

"Todos os problemas da ótica dos corpos em movimento podem ser resolvidos com o método aqui utilizado. O essencial é que a força elétrica e magnética da luz, que é influenciada por um corpo em movimento, seja transformada num sistema de coordenadas em repouso com respeito ao corpo.

Desta forma todos os problemas da optica dos corpos em movimento serão reduzidos a problemas da optica dos corpos estacionários"⁽³⁰⁾.

Nesta altura seria de se esperar, segundo Holton, uma referência ao experimento de M.-M. que representava uma das preocupações dos físicos da época: uma re-interpretação do resultado nulo constituiria um ponto importante a favor do trabalho; no entanto Einstein perde es

sa ocasião. Mas após uma análise mais acurada, Holton afirma:

"do ponto de vista da física relativística, no experimento (de Michelson não acontece nada de importante. O resultado é natural, plenamente esperado e trivialmente verdadeiro. O abandono da idéia do éter e a assunção das equações de transformação significavam o desaparecimento de finalidades e do próprio vocabulário para discutir os interesses dos teóricos do éter em relação ao resultado negativo e as possíveis causas da contração" (31).

Para Holton, então, toda a estrutura do trabalho de Einstein revela uma coerência com a sua atitude original: uma teoria deve ser julgada segundo a sua perfeição interna e segundo a sua confirmação experimental. Isso não significa que a teoria deve ser construída sobre fatos empíricos, nem verificada através de experimentos decisivos, mas simplesmente que ela não deve contrastar com fatos empíricos. Significa também que deve ser evitada a adaptação da teoria a fatos empíricos por meio de hipóteses adicionais artificiais, que, quase sempre, é bastante fácil encontrar. Este critério "quase estético" de "perfeição interna" e "de simplicidade lógica" é imprescindível quando a teoria pretende ser fundamental, referindo-se a totalidade dos fenômenos físicos.

Esta coerência metodológica de Einstein apareceu várias vezes na sua produção científica, a começar de 1906, quando questionou os resultados experimentais de Kauffman sobre a massa eletromagnética, resultados que contrastavam com as previsões da teoria da Relatividade (e também do modelo de Lorentz): com a mesma coerência ele rejeitou em 1925 os resultados da experiência de Miller que anunciava ter descoberto o vento do éter, ao repetir o experimento de Michelson a diferentes alturas, anulando o segundo postulado da Relatividade: e Einstein conseguiu intuir a fonte de erro na influência da temperatura (32). Até a morte, a sua atitude em relação a experiência foi bem diferente da dedicação incondicional dos "empiricistas": sobretudo nas teorias de "princípio", que envolvem uma síntese criativa sobre a totalidade da experiência física num determinado campo, a idéia de que um único experimento possa derrubar a inteira construção teórica é sem dúvida, para Einstein, uma caricatura infeliz. Na opinião de Holton as características essenciais da genialidade de Einstein são o seu sentido estético, e sua aspiração a leis simples e universais, a necessidade de explicações simétricas capazes de revelar uma ordem pré-estabelecida: para atingir esta ordem é necessária a uma intuição especulativa, na qual os resultados experimentais podem somente enriquecer nos detalhes. Por isso segundo Holton, é possível considerar que o experimento de

Michelson tenha tido influência secundária na gênese da teoria da Relatividade: ele permitiu que a teoria eletrodinâmica do eter recorresse a interpretações artificiais para poder-se ajustar a ele, revelando mais ainda a sua incapacidade de respeitar o critério de perfeição interna.

Em resumo então, para Holton, uma análise histórica rigorosa mostra resultados abertamente discordantes da história popular encontrada nos manuais, nos escritos dos físicos famosos e mesmo nas publicações de filósofos da ciência. A análise global dos muitos documentos disponíveis revela que a influência de Michelson na gênese da teoria da Relatividade é tão secundária e indireta que "não teria feito alguma diferença para o trabalho de Einstein se o próprio experimento não tivesse sido executado" (32).

Notas e Referências

- 1) A. Einstein, *Annalen der Physik*, 17, 891 (1905); trad. inglesa em AA.VV. - *The Principle of Relativity: "On the Electrodynamics of Moving Bodies"*, New York, 1923, pp. 37-65.
- 2) Uma análise bastante detalhada e profunda deste debate poderá ser encontrada em: M. La Forgia, C. Tarsitani - "Note Critiche Sulle Scorpetà della Relatività Speciale", preprint I.F. Università di Roma, 1979.
- 3) E. Whittaker - "A History of the Theories of Aether and Electricity", London, 1953.
- 4) W. Pauli - "Fisica e conoscenza", Boringhieri, 1962, citado na ref. 7.
- 5) G. Holton - "Einstein, Michelson and the Crucial Experiment", está em G. Holton - "Thematic origins of Scientific Thought", Harvard Univ. Press, Cambridge (Mass.), 1973, pp. 261-353.
- 6) V. ref. 5 e também: G. Holton - "On the Origins of the Special Theory of Relativity", *Am. Jour. of Physics*, 28(7), 627-636, 1960.
- 8) G. Battimelli - "Teoria dell'Elettrone e Teoria della Relatività: Uno Studio sulle Cause della Scomparsa dalla Prassi Scientifica del Concetto di etere elettromagnetico", Tese di Laurea (não publicada), Roma, 1973.
- 8a) Uma exposição mais detalhada da teoria de Lorentz e Poincaré será apresentada na parte II.

- 9) Ref. 3, vol. II, p. 36; (neste e em todos os trabalhos citados a tradução é nossa)
- 10) ibid p. 35.
- 11) E. Whittaker - "From Euclid to Eddington - a Study of Conceptions of the External World", Cambridge, 1949, p. 56.
- 12) Ref. 3, vol. II, p.40.
- 13) E. Whittaker - "Albert Einstein", Brog. Mem. of Fellows of the Royal Society (London), 1955, p. 42.
- 13a) O autor refere-se ao fato de que as leis da Mecânica são invariáveis por transformações de coordenadas de Galileu: estas transformações, do ponto de vista matemático, formam um conjunto que tem todas as propriedades de grupo. Analogamente as transformações de Lorentz constituem um grupo de invariância das equações do eletromagnetismo.
- 14) Ref. 4, p. 88.
- 15) H.A. Lorentz - "Eletromagnetic Phenomena in a System Moving with any Velocity less than that of Light", Proc. Royal Acad. Amsterdam, 6, 809-834, 1904. Está em AA.VV. - "The Principle of Relativity".
- 16) O problema da invariância das equações de Maxwell em presença de carga, será analisado mais em detalhe quando da apresentação sistemática da teoria de Lorentz.
- 17) R.A. Millikan - "Albert Einstein on his Seventieth Birthday", Rev. Mod. Phys., 21, 1949, 343-344.
- 18) M. von Laue - "Das Relativitätsprinzip", 1911, p. 13, citado na ref. 5.
- 18a) Com isso queremos dizer que a apresentação didática de teorias e experimentos, junto com as poucas referências históricas, e oportunamente escolhidas, induzem a uma visão histórica sempre muito simplificada e muitas vezes distorcida.
- 19) Ref. 5, p. 270 e p. 332-333.
- 20) ibid p. 269.
- 21) A. Einstein - "Relativity Theory", Die Physik, E. Warburg (Leipzig B.G. Teubner, 1915), pp. 706-707, citado na ref. 5.
- 21a) Holton usa os termos: "The Experimenticist Phylosophy of Science".
- 22) J. Petzoldt - "Positivistische Philosophie", Ziet. Posit.Philos., 1, 1913, pp.8, citado na ref. 5.

- 23) J. Petrodolt - "Die Relativitätstheorie der Physik", Zeit. Posit. Philos., 2, 1914, pp. 10-11, citado na ref. 5.
- 24) G. Bechelard - "The Philosophical Dialectic of the Concepts of Relativity", em P.A. Schlipp.
- 25) Quando Shaukland entrevistou Einstein em 1950 sobre o assunto ele se referiu explicitamente aos trabalhos de Lorentz de 1895.
R.S. Shaukland - "Conversations with A. Einstein", Am. Jor. of Phys. 31, 1957, pp. 47-57.
H.A. Lorentz, "Versuch einer Theorie der Elektrischen und Optischen Erscheinungen in bewegten Körpern", Leiden, ed. Brill, 1895.
- 26) Em seguida será analisado um pouco mais em detalhe como Einstein já tinha pensamento elaborado em torno da teoria e.m. e o princípio da relatividade.
- 26a) Na teoria de Lorentz o fenômeno físico que se dá quando acontece um movimento relativo entre um ímã e um condutor é diferente se é o ímã que está em movimento em relação ao éter, ou se é a espira condutora que se movimenta em relação ao éter. No primeiro caso a corrente elétrica gerada é devida à indução e.m., no segundo caso é devida à força de Lorentz. Evidentemente na Relatividade as duas explicações são simultâneas e ligadas ao referencial no qual é observado o fenômeno.
- 26b) Ref. 25.
- 27) Ref. 5, p. 288.
- 28) Ref. 1, p. 37.
- 29) A. Einstein - "Autobiographical Notes" em Schlipp, p. 53.
- 30) Ref. 1, p. 59.
- 31) Ref. 5, p. 294; em outras palavras postular a invariança da velocidade da luz, significa postular o resultado de M.-M..
- 32) De fato foi Shaukland e colaboradores ("New Analysis of the Interferometer Observations of Dayton C. Miller", Review of Mod. Physics, 27, 1955, pp. 167-178) que encontraram numa análise muito elaborada dos dados experimentais de Miller, que a influência do éter a diferentes alturas era devida, na realidade, a grande diferença de temperatura nos laboratórios de Case e de Mt. Wilson.
- 33) Ref. 5, p. 327.