

O CONFRONTO LORENTZ-EINSTEIN E SUAS INTERPRETAÇÕES.

IV. Uma Interpretação Sociológica.

A. Villani

Instituto de Física - USP

INTRODUÇÃO

Até agora nós vimos as tentativas de interpretação da revolução Einsteiniana a partir de uma reconstrução que privilegia a racionalidade da ciência e que tenta encontrar nela mesma as razões de seu desenvolvimento. No entanto não faltam críticos⁽¹⁾ a essa maneira de focar os problemas ligados à Ciência. Para estes, a atividade científica não é isolada das outras atividades sociais mais diretamente ligadas ao desenvolvimento econômico e político, e por isso está sujeita aos mesmos tipos de condicionamento. Além do mais, a pesquisa científica nestes últimos séculos foi perdendo o caráter artesanal para tornar-se uma instituição com os seus mecanismos e as suas funções ideológicas, políticas e econômicas. Será que tudo isso não afeta a produção científica? Mais ainda, será que tudo isso não afeta pelo menos os valores da comunidade científica e os seus critérios de julgamento?

Nessa perspectiva insere-se o trabalho de G. Battimelli⁽²⁾ no qual o autor propõe uma nova interpretação do confronto Lorentz-Einstein incorporando no debate as transformações sócio-econômicas da sociedade alemã do início do século, e procurando nelas as razões objetivas do sucesso da teoria da Relatividade Restrita de Einstein em relação à Teoria do Elétron de Lorentz e Poincaré.

Nesta parte IV, além de uma exposição das idéias do autor acima mencionado, analisaremos a crítica levantada por La Forgia et al.⁽³⁾ e finalmente concluiremos com as nossas impressões sobre o problema.

IV.1. A tese de Battimelli

Na sua exposição o autor procura mostrar as seguintes idéias:

a) A Teoria da Relatividade de Einstein constitui uma ruptura em relação à tradição anterior, pelo aparecimento de novos critérios

de explicação científica e pela utilização de diferentes instrumentos conceituais.

b) A Teoria do Elétron de Lorentz e Poincaré é uma teoria completa e coerente na qual a explicação científica tem um significado diferente que se dá através da redução dos fenômenos aos conceitos fundamentais de carga e éter.

c) Não existe uma superioridade empírica da teoria da Relatividade, no entanto existe uma profunda divergência de significação social, pelo papel diferente que o fazer ciência adquire no contexto das duas teorias.

d) A reconstrução da racionalidade do processo de nascimento e implantação da teoria de Einstein precisa englobar o desenvolvimento social, econômico e cultural da Alemanha do início do século, quando a teoria de Einstein emerge mais adaptada às condições criadas por este desenvolvimento.

IV.1.1. A Revolução Einsteiniana

Já foram salientados na parte I⁽⁴⁾ alguns aspectos da originalidade da proposta Einsteiniana e a sua não dependência do experimento de Michelson. Na parte III⁽⁵⁾ foi caracterizada a sua "heurística"; no entanto um resumo da sequência do trabalho original de Einstein⁽⁶⁾, junto com os comentários de G. Battimelli, nos ajudarão a focalizar de forma mais sintética este aspecto.

a) O trabalho de Einstein começa com algumas considerações sobre as assimetrias que aparecem na teoria eletromagnética (e.m.) de Maxwell, quando aplicada aos corpos em movimento; também é mencionado genericamente o esforço, sem resultados, de revelar o movimento da Terra em relação ao éter.

b) São introduzidos os dois postulados da Relatividade: da invariança das leis da Eletrodinâmica e da Ótica para sistemas inerciais e da constância da velocidade da luz para todos os referenciais inerciais.

c) É eliminado o conceito de éter, considerado supérfluo, e é criticado o conceito de simultaneidade: a partir dos dois postulados é demonstrado que eventos distantes, simultâneos num sistema de referência inercial S , não o são mais quando analisados num sistema de referência \bar{S} em movimento retilíneo e uniforme em relação a S .

d) São deduzidas as equações de transformação para as coordenadas espaço-temporais de dois sistemas de referência em movimento re

lativo (Transformação de Lorentz-Einstein).

e) São analisadas as consequências das equações de transformação: contração dos corpos rígidos na direção do movimento e dilatação dos intervalos temporais na passagem de um referencial para outro.

f) É deduzida a lei de composição das velocidades: em particular, quando \vec{v} e \vec{w} estão na mesma direção temos

$$\bar{w} = \frac{v + w}{1 + \frac{vw}{c^2}}$$

onde: w é a velocidade de um corpo em S

v é a velocidade relativa entre \bar{S} e S

\bar{w} é a velocidade do corpo em \bar{S} ,

e quando $w = c$, então $\bar{w} = c$, confirmando a coerência do postulado da invariância da velocidade da luz.

g) São fornecidas as equações de transformação dos vetores "força elétrica e magnética" que aparecem nas equações de Maxwell, a partir do princípio da Relatividade e das transformações de Lorentz-Einstein. Como consequência desaparece a assimetria na explicação da origem da corrente produzida num condutor em movimento relativamente a um ímã.

h) Os princípios são aplicados ao efeito Doppler, à aberração da luz e à pressão de radiação, problemas que a teoria de Lorentz tinha resolvido através do éter e que também a Teoria da Relatividade consegue sistematizar. Com maior generalidade, consegue-se estabelecer a compatibilidade entre as equações de Maxwell em presença de cargas e o Princípio da Relatividade.

i) É analisada a dinâmica do elétron, obtendo-se a dependência entre a sua massa longitudinal (m_L), transversal (m_t) e sua velocidade: os resultados coincidem com as previsões da teoria do elétron de Lorentz, apesar da dedução de natureza diferente. Também é questionada a origem dessa variação de massa, localizando-a não na interação e.m. entre carga e éter, mas na característica dos princípios cinemáticos fundamentais: portanto, nenhuma hipótese é feita em relação à forma e tamanho do elétron e à sua distribuição de carga.

j) Finalmente, é mostrada a inconsistência física de velocidades maiores que c , derivando a energia cinética do elétron

$$T = mc^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right] \quad \text{com } \beta = \frac{v}{c}.$$

onde verifica-se que a energia torna-se infinita se $v \rightarrow c$ e que a dependência entre massa e velocidade é de origem puramente cinemática.

No trabalho de Einstein desaparece o éter, seja como sistema privilegiado, seja como suporte dos fenômenos e.m. e em particular da propagação das ondas luminosas: as propriedades empíricas dos fenômenos são interpretadas muito mais diretamente eliminando-se aquelas assimetrias que o privilegiar do éter introduzia⁽⁷⁾.

"... Einstein inverte o enfoque usual das teorias e.m. da sua época: ao invés de tentar a reconstrução das propriedades dos fenômenos a partir da interação dos componentes fundamentais, estabelece como ponto de partida da teoria as propriedades empiricamente observadas dos fenômenos, generalizadas a princípios de validade universal. O princípio da Relatividade tem a característica de "a priori" na teoria de Einstein".⁽⁸⁾

A teoria de Einstein é, portanto, uma teoria de "princípios", que tira os seus resultados de alguns postulados fundamentais; ao contrário, a teoria de Lorentz era "construtiva", pois tentava explicar os problemas reduzindo-os à interação dos constituintes fundamentais: éter e cargas.

"Neste sentido, a novidade da teoria einsteiniana está mais no fato que ela oferece um novo modelo daquilo que devem ser teoria e explicação científica, do que na sua capacidade de explicar alguns resultados experimentais".⁽⁹⁾

IV.1.2. A contribuição de Poincaré à teoria do elétron de Lorentz

A capacidade explicativa do modelo de Lorentz não se limitou aos fenômenos e.m., mas estendeu-se à mecânica, envolvendo o problema da variação da massa com a velocidade e a progressiva eliminação da massa dentre os elementos fundamentais⁽¹¹⁾.

Já foi exposta, na parte II⁽¹⁰⁾ deste trabalho, a teoria do éter e.m. de Lorentz, sublinhando a sua completeza e coerência; no entanto, é importante complementar a exposição com algumas informações sobre o problema da massa dos elétrons.

No modelo de Lorentz a "inércia" de origem e.m. que se opõe à variação do estado de movimento de uma partícula carregada, era calculada com base nas equações de movimento e assim previa-se a existência de uma massa longitudinal (m_L) e de uma massa transversal (m_t) que coincidem somente para pequenas velocidades. Ao contrário, para grandes velocidades, $m_L > m_t$ e, mais importante ainda, ambas tornam-se in

finitas quando v tende a c : daí o limite finito para a velocidade dos corpos ponderáveis⁽¹²⁾.

Um grande sucesso do programa e.m. se deu em 1902 quando Kauffman, medindo a deflexão de elétrons velozes em campos elétricos e magnéticos, estabeleceu que a massa mecânica deles, se existisse, era desprezível em relação à massa e.m.: a euforia que tomou conta dos adeptos do programa pode ser explicada pela possibilidade de englobar a mecânica no eletromagnetismo, eliminando a massa como elemento fundamental e derivando-a das equações do campo e.m..

Entre os adeptos do programa e.m., que visavam a unificação da Física através de uma explicação fundamentalmente e.m., não existia uma coerência monolítica: na época do sucesso do experimento de Kauffman, de fato, existiam duas correntes. Uma radical, liderada por Abraham, que visava explicar tudo através do e.m., outra mais moderada que aceitava em linha geral a filosofia do programa, mas propunha uma certa flexibilidade para poder dar conta de uma maior unificação dos fenômenos. Um ponto importante de divergência entre as duas linhas era em torno do modelo do elétron, que nesta altura já tinha perdido qualquer característica "material" sendo reduzido à energia de campo localizada: de um lado Abraham continuava insistindo no modelo de elétron como partícula elementar única, que mantém inalterada a sua forma esférica e o seu volume, apesar das forças elétricas que agem entre as suas partes. Do outro lado, a introdução da hipótese da contração e o Teorema dos Estados Correspondentes, levaram Lorentz a propor um novo modelo de elétron deformável. Este modelo evidentemente estava de acordo com toda a teoria de Lorentz de 1904, mas nele ficava inexplicada a estabilidade do elétron. A divergência entre as duas teorias não era só questão de interpretação, pois as suas previsões sobre a relação entre a massa longitudinal e transversal até a segunda ordem em v/c eram diferentes; mas até 1906 não foi possível um experimento que chegasse a tal precisão. Até esta data, a intervenção de Poincaré conseguiu resolver o problema teórico da estabilidade, dando então uma forma completa à teoria de Lorentz.

O problema da estabilidade do elétron é apresentado pelo próprio Lorentz mostrando que o trabalho da força que age no elétron modificando a sua velocidade não está de acordo com a variação de energia eletromagnética diretamente calculada para o elétron deformável: portanto, deve existir uma outra forma de energia no elétron que mantenha o balanço energético. Poincaré conseguiu resolver o problema introduzindo uma pressão externa constante de origem não e.m.: através dela assegurou a estabilidade do elétron, impedindo que as suas partes se separassem por efeito da repulsão eletrostática. A essa pres-

são foi associado um esforço, normal à superfície do elétron, cuja intensidade constante é capaz de garantir a energia adicional necessária para compensar, junto com o trabalho da força externa que acelera o elétron, a variação de energia e.m. devido à deformação por efeito da velocidade. Dessa forma foi completado o duro trabalho de incorporar o princípio da Relatividade (ou seja, a impossibilidade de detectar o movimento absoluto) à teoria do elétron, salvando o éter e a característica fundamental da interação e.m..

Mal tinham sido colocadas as últimas pedras do mosaico que compõe a teoria do elétron, quando Kauffman, em 1906, realizou uma segunda experiência mais refinada, com elétrons velozes, determinando a razão entre m_L e m_t até a segunda ordem em v/c : o resultado encontrado era decididamente favorável à teoria do elétron rígido de Abraham e parecia neutralizar de vez os esforços para incorporar o princípio da Relatividade em todas as ordens. Lorentz e Poincaré ficaram perturbados⁽¹³⁾: este último, apesar de não encontrar falhas no trabalho de Kauffman, pediu a repetição da experiência, e não levou em consideração a sugestão para modificar a teoria de forma a incorporar também o resultado de Kauffman⁽¹⁴⁾. Poincaré ficou firme no modelo de Lorentz, o único que mantinha as propriedades de simetria⁽¹⁵⁾.

"Eu mostro, de acordo com Lorentz, que ela (a hipótese de Langevin) é incapaz de concordar com a impossibilidade experimental de revelar o movimento absoluto. Isso depende...do fato que... o conjunto das transformações de Lorentz forma um grupo somente com a hipótese de ℓ (o parâmetro livre das equações de transformação de Lorentz originais) ser igual a 1".⁽¹⁶⁾

A experiência repetida dois anos mais tarde por Bucherer não confirmou os resultados de Kauffman, mas ao contrário foi decididamente favorável ao modelo de Lorentz e Poincaré e também ao de Einstein.

IV.1.3. *Equivalência empírica e diferenciação social das teorias de Lorentz e Einstein*

Já ficou claramente estabelecido, pelo que vimos até agora que não existia uma superioridade empírica da teoria da Relatividade, no sentido dela explicar algum dado que a teoria de Lorentz não conseguisse incorporar; para mostrar que esta era a opinião também de cientistas da época podemos citar alguns autores.

M. Van Laue no seu texto sobre a teoria da Relatividade de 1911.

"Preciso complementar que H.A. Lorentz modificou sua teoria em 1904, utilizando as experiências de Michelson e de Trouton

e Noble, de forma a dar conta de todas as observações (nesta teoria já se encontram as transformações de Lorentz)...

Não é possível, e isto de forma absoluta, decidir através da experiência, entre a teoria da Relatividade e a teoria de Lorentz completa".⁽¹⁷⁾

No mesmo ano, 1911, Campbell escreve:

"É importante notar que existe uma outra teoria, a de Lorentz, que explica completamente todas as leis elétricas dos sistemas em movimento relativo; as deduções a partir do princípio da Relatividade são idênticas àquelas da teoria lorentziana, e ambos os conjuntos de deduções estão em completo acordo com todos os experimentos realizados".⁽¹⁸⁾

Battimelli insiste na equivalência entre as duas teorias e rejeita também a posição mais refinada que aponta para um maior conteúdo empírico, a partir de 1916 com a teoria da Relatividade Geral:

"Foi mostrado pelo astrofísico Dicke⁽¹⁹⁾ que a teoria de Lorentz pode ser desenvolvida até chegar a uma teoria eletromagnética da gravitação com as mesmas consequências, no que se refere ao grau de falsificabilidade, da Relatividade Geral".⁽²⁰⁾

Fazendo algumas hipóteses sobre a densidade do éter nas proximidades de corpos com grande massa, daria para propor uma teoria eletromagnética da gravitação: Lorentz e Poincaré de fato fizeram algumas tentativas, mas sem obter resultados significativos.

"Esta teoria é desenvolvida por Dicke que mostra como através das suas equações, que são invariantes para transformações de Lorentz, é possível determinar a deflexão dos raios luminosos, dar uma explicação satisfatória à anomalia do perihélio de Mercúrio, e prever o valor correto do deslocamento gravitacional para o vermelho. Temos assim a demonstração de que todo o conteúdo acima sustentado experimentalmente na Relatividade Geral pode ser obtido a partir da teoria do elétron".⁽²¹⁾

Já foi visto que, apesar de uma equivalência empírica, existia uma profunda diferença conceitual entre as teorias de Lorentz e Einstein: o que para este último era a-priori, Lorentz deduzia a partir da experiência; o que para Lorentz era fundamental, para Einstein era dispensável. Mas para Battimelli isso não é uma idiossincrasia de cientistas desejosos de passar à história como inovadores: ao contrário tem uma significação profunda no contexto da atividade social de pro-

dução da ciência. Para demonstrar isso Battimelli tenta localizar o que representa no contexto social do começo deste século, a teoria de Lorentz e Poincaré, e qual o significado das modificações teóricas introduzidas por Einstein:

A crise do mecanicismo, com o aparecimento de fenômenos elétricos e magnéticos não redutíveis a uma explicação em termos de pontos materiais que interagem à distância através de forças centrais, significou de fato a crise da pretensão de unificar todas as explicações da realidade física e, conseqüentemente, abalou a posição social do cientista que estava perdendo o controle e o monopólio sobre a totalidade do saber.

Esta posição foi em boa parte reconquistada com o aparecimento da física matemática moderna, com os seus princípios gerais (por exemplo, conservação da energia e princípio da mínima ação): é bom ressaltar que com isso estava se operando uma modificação sobre o significado da explicação científica: não mais os detalhes de uma explicação em termos de pontos materiais que interagem à distância através de forças centrais, mas uma análise mais global na qual os dados são interpretados à luz de princípios gerais⁽²²⁾. Dessa forma era restabelecida a unidade da Ciência através da generalidade da sua função explicativa.

Mas esta nova síntese foi ameaçada pelo aparecimento de uma série de dados experimentais que pareciam contradizer as previsões teóricas.

A situação era ainda mais grave pois a pesquisa experimental, que se articulava sempre mais com o aparelho produtivo da sociedade, começava a gerar seus próprios problemas tornando-se cada vez mais autônoma. A teoria, conseqüentemente, estava perdendo a sua função orientadora de novas experiências, ficando com a ingrata tarefa de sanar as falhas e explicar os pontos obscuros que continuamente apareciam. Além disso, para Battimelli, um terceiro fator perturbava e pressionava o equilíbrio no campo científico:

"... a procura de uma utilização direta no processo produtivo, não somente dos resultados da técnica mas também dos mesmos instrumentos e métodos da pesquisa fundamental, pressiona na direção... de uma simplificação da praxis científica e dos formalismos da Ciência, que permitam introduzir no complexo aparelho industrial, pesquisadores ou técnicos de laboratório com o mínimo de conhecimentos científicos necessários para o desempenho da sua função."⁽²³⁾

em outras palavras exigia-se uma especialização na pesquisa de modo que a preparação de pesquisadores envolvesse um número limitado

de conhecimentos: desta forma estava-se questionando a própria figura do cientista como alguém capaz de controlar todo o processo científico e o conhecimento dele derivado.

Para Battimelli, a crise é bem grande: de um lado a Ciência representada pela procura de uma teoria unitária não dá conta do recado; do outro lado, a Sociedade Industrial não precisa mais do cientista com conhecimentos universais.

A proposta de Lorentz, e mais ainda de Poincaré, é uma resposta a esta crise: é a última tentativa de manter firme a unidade dos princípios explicativos e a totalidade dos conhecimentos científicos, na figura aristocrática do cientista superior a qualquer aplicação do produto de seu trabalho.

Em resumo a teoria de Lorentz e Poincaré não foi um retorno simplista ao passado mecanicista com as suas explicações causais e detalhadas, mas a tentativa de unificação dos fenômenos ópticos, eletromagnéticos e mecânicos num único esquema explicativo, dominado pela interação éter-cargas e pelos princípios fundamentais implícitos nas equações de Maxwell e no Princípio da Relatividade. A sua finalidade era oposta à da fenomenologia experimental, que tendia a organizar os dados em campos separados.

Quem parece estar consciente dessa luta é o próprio Poincaré, que não poupou esforços para salvar a teoria do elétron, última esperança contra a dispersão: nesta tentativa ele aproveitou-se abundantemente do instrumental matemático que dominava com perícia. O seu esforço na procura de princípios gerais se revela, de um lado na firmeza com que rejeitou as teorias e.m. intermediárias que, apesar de ajustarem-se aos dados até então conhecidos, não possuíam as características de grupo. E de outro lado, nas críticas às várias e sucessivas modificações da teoria de Lorentz, que não incorporavam de vez o Princípio da Relatividade em qualquer ordem de v/c , antecipando-se aos eventuais resultados negativos das tentativas de revelar o movimento absoluto em relação ao éter.

Podemos então considerar os trabalhos de Poincaré e de Einstein análogos, pois, em última análise, ambos procuravam princípios gerais, ambos apostavam no Princípio da Relatividade?

A resposta de Battimelli é categórica: existe solução de continuidade entre Poincaré e Einstein⁽²⁴⁾.

Para Poincaré, o Princípio da Relatividade é um princípio experimental, introduzido para explicar um conjunto de dados experimentais, e que poderá eventualmente ser invalidado por outras experiências. Ele deve ser compatibilizado e demonstrado a partir das hipóteses fundamentais da teoria: por isso as fórmulas de transformação não são de

duzidas a partir do Princípio da Relatividade, mas ao contrário, a hipótese das Forças Moleculares é formulada de maneira suficientemente geral a poder culminar no Princípio da Relatividade.

Para Einstein, ao contrário, este Princípio é um a-priori com o qual as possíveis teorias tem que ser compatibilizadas: ele não tem que ser deduzido, mas é um instrumento conceitual que permanece inalterado quando as teorias são modificadas a fim de serem compatibilizadas com os resultados das experiências.

Para Battimelli, Poincaré foi um grande conservador que, prevendo os perigos advindos do abandono da teoria clássica, fez um esforço grandioso para dar nova vida à velha teoria. Ao contrário, Einstein é um "oportunist" do ponto de vista metodológico, pois diante das dificuldades que os resultados experimentais oferecem, tem propensão a jogar fora a velha teoria propondo uma nova, sem se preocupar com as consequências concretas na prática científica.

A ruptura em relação aos conceitos fundamentais da Física Clássica, modifica radicalmente o sentido da explicação científica: ela abandona os vários modelos, ou pelo menos não se compromete com eles, e passa a ser a descrição de fenômenos através de equações matemáticas que satisfaçam a determinadas propriedades formais e que, portanto, incluem algumas restrições na forma das leis naturais. Com isso, se de um lado potencia-se a tendência a desenvolver radicalmente o formalismo matemático, do outro, perde-se a unidade conceitual do sistema teórico e experimental, abrindo uma brecha contra as pretensões unitárias e explicativas na Física. O próprio Einstein tentará em vão reconstruir a unidade conceitual em torno do conceito de campo, (interpretando a teoria da Relatividade Restrita como um passo intermediário neste sentido). No entanto, o efeito da sua revolução irá além das suas previsões e intenções⁽²⁵⁾, sendo reforçadas somente aquelas componentes que encontram ressonância na estrutura global da sociedade.

IV.1.4. A necessidade histórica da teoria da Relatividade

Já foi mostrado em detalhe como as posições de Poincaré e Einstein eram diferentes. No entanto, não faltaram nas exposições e nos comentários sobre a teoria da Relatividade - desde o começo do século até os tempos mais recentes - tentativas de identificar semelhanças e continuidade nos trabalhos dos dois cientistas. Para Battimelli estas tentativas anti-históricas de reconstrução do passado à luz da Ciência presente, eliminando rupturas, conflitos, diferenças conceituais, tem como finalidade implícita sustentar a ideologia de uma Ciência continuamente progressiva e alheia às pressões de natureza diversa que in-

fluenciam o seu desenvolvimento. Mesmo os autores mais recentes, que tem reconhecido as diferenças entre as idéias de Einstein e de Poincaré, empobreceram o significado e o alcance das duas teorias por focalizarem sua problemática na procura de critérios internos ao próprio desenvolvimento científico.

Para Battimelli, ignorados o contexto social, as referências às finalidades da Ciência e às relações com agentes sociais que expressam as suas exigências, perde-se, no caso da Relatividade, um dos elementos explicativos mais ricos e mais interessantes: o fato de que o programa de Einstein conseguiu o seu sucesso (além das intenções do autor) por ter ido ao encontro de necessidades sociais. A argumentação se fundamenta em dois pontos:

a) as interpretações através das várias "lógicas da descoberta" são insatisfatórias;

b) a análise da situação sócio-econômica, política e cultural da época revela uma maior adequação da teoria de Einstein.

Na rejeição das interpretações positivistas e falsificacionistas, Battimelli utiliza os mesmos argumentos encontrados em Zahar e Holton e analisados nas partes I e II deste trabalho. A sua rejeição de uma explicação mais refinada, que apontasse para uma maior potencialidade da teoria de Einstein, também já foi vista ao analisar a equivalência empírica das teorias de Einstein e de Lorentz-Poincaré, e na possibilidade desta última tornar-se uma teoria eletromagnética da gravitação.

"Pode-se sempre manter a lógica interna ao processo, sustentando que pelo fato das potencialidades da teoria de Lorentz não terem de fato vindo à tona, a escolha da teoria da Relatividade seria então justificada. Mas parece razoável admitir o contrário, ou seja, que não se chegou a uma formulação da teoria eletromagnética da gravitação exatamente porque o programa Lorentziano foi abandonado em favor do seu concorrente, quando não existia nenhuma necessidade advinda das experiências".⁽²⁶⁾

Quais as razões do abandono da teoria do éter em favor da teoria de Einstein? Battimelli aponta fundamentalmente cinco.

a) O rápido progresso na divisão do trabalho torna obsoleta a figura do cientista que domina o inteiro processo de pesquisa, desde a construção dos aparelhos até a formulação da teoria: ao contrário, cada vez mais acentua-se a divisão entre trabalho experimental e elaboração teórica, entre a construção de aparelhos e planejamento de experimentos, onde cada uma dessas atividades é reconhecida como autônoma. O efeito disso é que a divisão é introduzida ao mesmo nível da teoria.

"... E a nível da compreensão teórica, o rápido crescimento da problemática enfrentada leva a um descolamento entre os vários canais de pesquisa, em cada um dos quais a preocupação maior é na definição de instrumentos matemáticos refinados e poderosos para cada problema específico, tornando-se desnecessário encontrar uma fundamentação unitária nas coisas".^(26a)

Nesse sentido é claro que a teoria do éter, que ainda procura a "fundamentação unitária" na interação entre os constituintes fundamentais, é percebida como não funcional em relação à nova situação da Física.

b) Um raciocínio análogo, que confirma a melhor versatilidade da teoria de Einstein⁽²⁷⁾ e sua maior capacidade de englobar novos resultados, é o fato de que a teoria de Lorentz, pelo seu caráter reducionista deve sempre - além de ter satisfeitas as suas equações e seu formalismo matemático - encontrar uma interpretação ou um modelo ao nível das interações: certamente isso torna o processo mais pesado e mais difícil naquelas circunstâncias, pois:

"... o desenvolvimento das técnicas de precisão determina um crescimento quantitativo de novos fenômenos que são revelados nos laboratórios e submetidos à interpretação da teoria, além da notável melhoria das medidas que atingem níveis de precisão antes não cogitáveis⁽²⁸⁾, e permitem por em evidência novos efeitos".⁽²⁹⁾

c) Um terceiro elemento de pressão vem do desenvolvimento da interação crescente entre produção científica e produção industrial. O grande desenvolvimento industrial que teve lugar na Alemanha no fim do século passado deu-se com a progressiva substituição da Mecânica pela Eletricidade, e na conseqüente mudança de qualificação dos técnicos: antes eram os artesãos mecânicos que conseguiam soluções habilidosas aos problemas de transmissão mecânica, posteriormente vieram os novos técnicos que precisavam manipular com domínio a teoria dos circuitos e o instrumental matemático para resolver os novos problemas de eletricidade. A conseqüência mais imediata dessa mudança foi a grande facilidade na aplicação das leis da natureza, dos métodos científicos e dos aparelhos científicos ao campo da produção. Este processo, de um lado é favorecido pelo grande apoio do Estado às Escolas Técnicas profissionais que na Alemanha já gozavam de grande prestígio e tradição, e de outro lado pressiona para um novo tipo de ensino no qual a Ciência passa a ser ensinada em pacotes diferentes para os diferentes técnicos.

"O tipo de instrução científica que é necessário ministrar para sustentar com pessoal qualificado a expansão produtiva, faz com que seja privilegiado um ensino setorial e específico, sem que a aprendizagem de um particular ramo de física implique necessariamente no conhecimento aprofundado dos outros". (30)

As características da revolução Einsteiniana tornam-na mais apta a satisfazer estas necessidades externas, ao passo que o edifício Lorentziano dificilmente pode ser decomposto em setores separados.

d) A adoção de uma teoria que privilegia a elaboração de um formalismo matemático coerente e objetivo, abandonando os problemas e as divisões entre as várias Ciências Nacionais (30a), divisões particularmente fortes em relação à estrutura do éter (31), favorecem a troca e a comunicação ao nível internacional:

"... isto evidentemente está de acordo com as experiências do sistema de produção que tende a quebrar as barreiras nacionais e a expandir-se de forma crescente, junto com a exportação e a difusão dos seus mecanismos". (31a)

e) Finalmente, uma última consideração que explica como uma nova teoria tão diferente passa a ser considerada, estudada e avaliada tão rapidamente, diz respeito à estrutura da Universidade Alemã. Nesta, a existência de um clima interno fortemente competitivo, fazia do acúmulo crescente de conhecimentos e da familiaridade com as últimas novidades no campo, um pré-requisito para o progresso na carreira. Ao lado disto, a competição externa com outras universidades pressionava para que cada pesquisador não ficasse alheio àquilo que os outros do seu campo adotavam. Estes são dois elementos que certamente favorecem a introdução de novidades no ensino e a discussão de novas teorias científicas. Se lembrarmos também que cada instituição era autônoma na sua programação, será fácil perceber como pressões internas e externas podiam rapidamente dar origem a projetos concretos. Isso explica porque é na Alemanha que a Teoria da Relatividade é rapidamente testada, analisada e finalmente aceita: nos outros países somente mais tarde toma-se conhecimento dela e surgem reações em defesa do éter (32), sem no entanto conseguir freiar a progressiva adesão à teoria de Einstein.

Todos esses elementos são uma forte indicação, para Battimelli, de que a teoria do elétron não foi abandonada por alguma inferioridade intrínseca em relação à teoria da Relatividade; ao contrário é a filosofia que a sustentava que foi abandonada por causa de pressões, em boa parte externas, que exigiam uma outra maneira de fazer Ciência e

que tendiam a reforçar aqueles resultados que mais se harmonizavam com as suas exigências.

IV.2. Algumas críticas à interpretação de Battimelli

Até agora tentamos sintetizar o trabalho de Battimelli sem entrar no mérito das opiniões por ele sustentadas: elas não tiveram grande ressonância no mundo científico⁽³³⁾, mas na nossa opinião elas representam uma contribuição significativa à análise do confronto entre Lorentz e Einstein.

Neste capítulo, além de resumir as críticas e as dúvidas que aparecem no trabalho de La Forgia e Tarsitani⁽³⁴⁾, tentaremos apresentar também as nossas objeções junto com uma rápida análise da importância da contribuição de Battimelli no contexto da reconstrução histórica sobre a Relatividade e seu significado.

La Forgia e Tarsitani levantam fundamentalmente quatro aspectos do trabalho de Battimelli, que de alguma forma deixam a desejar.

a) O autor, salientando sobretudo o aspecto formal da Teoria da Relatividade, deixa de lado a análise rigorosa de Einstein sobre os conceitos fundamentais da Teoria Clássica e a sua contribuição original no plano puramente conceitual.

b) O autor parece mais interessado no significado metodológico e filosófico da revolução Einsteiniana e nos seus efeitos práticos no plano da prática científica e social, sem se preocupar com a gênese e com a reconstrução dos novos conteúdos científicos: dessa forma parece trilhar um caminho "justificacionista" não muito diferente de várias reconstruções filosóficas a posteriori.

c) Mais em particular, a explicação histórica de Battimelli parece mais de tipo teleológico ou funcional, no sentido de que o efeito presumido (o "aprimoramento" da praxis científica) corresponde à sua função histórica objetiva. A sua interpretação acaba assim utilizando os argumentos preferidos nas "reconstruções racionais" por ele criticados que tentam valorizar a eficiência heurística da teoria de Einstein.

"Nesse sentido é uma aquisição trivial a constatação que uma maior flexibilidade teórica, se fundamentada experimentalmente, leva a uma maior capacidade de controle empírico e portanto, prático e torna-se definitivamente funcional às exigências de uma sociedade industrial em expansão".⁽³⁵⁾

d) Se for verdade que as exigências da economia industrial alemã serviram para remover os obstáculos epistemológicos que oprimiam a Física Teórica, e abrir o campo a uma teorização mais avançada, mais abstrata e mais setorializada, será que isso é suficiente para produzir novos conteúdos? A pesquisa histórica não pode limitar-se a encontrar para que e a quem serviu uma inovação teórica, mas deve tentar entender nos detalhes como ela aconteceu.

"Nos parece, em suma, que partindo da exigência de atribuir a todo custo um papel determinante a fatores de tipo sócio-econômico, Battimelli acaba perdendo a especificidade da revolução Einsteiniana e acaba sugerindo uma espécie de "filosofia" do nascimento da Física contemporânea tão abstrata e unilateral, quanto ou tras tentativas análogas de interpretação global do significado da crise da Física Clássica". (36)

A nossa impressão em relação ao trabalho de Battimelli diverge parcialmente das críticas citadas, pois consideramos que a idéia de ampliar o quadro de análise de uma revolução científica para incluir os componentes sociais (ideológicos, políticos e econômicos) longe de desviar o enfoque para considerações marginais, complementa a reconstrução e leva a uma compreensão mais adequada do fenômeno. Nesse sentido, apesar de considerar a intervenção de Zahar extremamente interessante e esclarecedora (em parte devido ao subsequente debate por ele estimulado), achamos que o seu pressuposto fundamental pode ser questionado ou pelo menos esclarecido ulteriormente.

O problema não é somente uma escolha entre uma descrição fenomenológica e uma "reconstrução racional". Concordamos que uma análise fenomenológica, de fato, é interpretativa, pois é baseada na suposição de que os acontecimentos individuais contêm toda (ou pelo menos a mais significativa) inteligibilidade do fenômeno analisado: na nossa opinião ela parece perder a inteligibilidade global que vai além das intenções ou da consciência explícita dos atores envolvidos (37), e que somente pode ser recuperada utilizando um modelo teórico de análise. Em relação à "reconstrução racional", nos preocupa a possibilidade de ela constituir, pelo menos em alguns casos, uma camisa de força para a própria inteligibilidade global do fenômeno histórico.

O esforço de encontrar uma lógica interna ao aspecto estritamente científico pode ser limitante, no sentido de não estimular paralelamente uma análise mais ampla, sobretudo nos casos nos quais as revoluções científicas parecem não apresentar uma fundamentação empírica evidente ou não resolver alguma anomalia fundamental.

A nossa opinião é que uma análise "social" poderia dar conta, em primeiro lugar, da mudança dos critérios da comunidade científica para a avaliação de uma teoria e dos valores fundamentais nela envolvidos (como por exemplo, o significado de simplicidade, flexibilidade, potencialidade heurística) e, somente indiretamente, da gênese⁽³⁸⁾ e do particular desenvolvimento conceitual das teorias analisadas⁽³⁹⁾; esta última inteligibilidade poderá ser de fato alcançada de forma melhor através de uma "reconstrução racional" que privilegie a lógica científica.

A nossa segunda consideração diz respeito diretamente à forma do trabalho de Battimelli, que nos parece mais uma indicação qualitativa dos elementos fundamentais que deveriam compor o quadro explicativo do ponto de vista social.

Para nós não está clara a natureza das exigências da prática científica no começo do século, nem as suas manifestações mais evidentes e menos ainda quais as indicações concretas de que estas exigências operaram-se em dois sentidos: eliminando a barreira epistemológica levando ao abandono dos conceitos metafísicos fundamentais, e fortalecendo uma física mais abstrata e mais setorializada. Também não ficou completamente esclarecido que tipo de física estava na expectativa da comunidade científica (além de Lorentz e Poincaré) e dos setores significativos da sociedade e o quanto a revolução conceitual proposta por Einstein se encaixa nestas expectativas. Enfim, na nossa opinião, falta o trabalho paciente de composição através de uma ampla documentação que ultrapasse as opiniões dos protagonistas do debate e que através de um quadro histórico social mais amplo evidencie de que forma a Relatividade Restrita é a solução dos problemas dos cientistas, dos técnicos e da sociedade.

Finalmente, uma terceira consideração, que achamos fundamental para uma compreensão adequada da Gênese da Teoria da Relatividade, da sua relação com a Teoria de Lorentz e com os problemas da Física do começo do século, diz respeito à análise e à avaliação da proposta de Einstein no contexto dos outros trabalhos, igualmente fundamentais e importantes, por ele desenvolvidos durante o mesmo período. Isso poderá jogar nova luz sobre a "racionalidade" da sua proposta e sobre a medida da ruptura em relação ao contexto da época.⁽⁴⁰⁾

IV.3. Sumário e Conclusões

Retomando a introdução geral deste trabalho⁽⁴¹⁾, na qual afirmamos que não era nossa pretensão reconstruir o debate dos últimos anos e, menos ainda, fazer um inventário de todas as contribuições pa-

ra este debate sobre a gênese e o significado da revolução einsteiniana, mas somente apresentar algumas posições significativas e diferentes entre si, poderemos nos considerar satisfeitos se esta apresentação estimular uma análise mais aprofundada das interpretações e do fenômeno estudado.

Começamos apresentando as opiniões de Whittaker e Pauli que salientavam uma continuidade entre os trabalhos de Lorentz, Poincaré e Einstein e apresentamos também as críticas de Holton e Battimelli a esta interpretação. Na nossa opinião, apesar de existirem elementos comuns entre os resultados de Lorentz e Einstein (as equações de transformação são um destes elementos) eles não dão conta do fenômeno revolucionário⁽⁴²⁾, de sua significação histórica e da sua peculiaridade: por isso esses elementos devem ser inseridos num contexto explicativo que evidencie, além da tendência a uma formalização mais abstrata, também o abandono de categorias conceituais como o éter e uma redefinição dos conceitos de espaço e tempo e simultaneidade⁽⁴³⁾ e a significação social desta mudança. Em caso contrário, a interpretação assume um caráter unilateral com evidentes conotações ideológicas e apoloéticas.

O mesmo discurso vale para interpretação neo-positivista da dependência entre o trabalho de Einstein e a experiência de Michelson, por isso achamos importante relatar com detalhes a análise de Holton.

A segunda parte⁽⁴⁴⁾ foi dedicada à teoria de Lorentz e ao debate Holton-Zahar sobre sua pretensa artificialidade: isso nos deu oportunidade, sobretudo na complementação do debate com as críticas ao trabalho de Zahar e com as suas respostas, para introduzir a diferenciação entre análise fenomenológica e "reconstrução racional", além de apresentar os elementos fundamentais para uma reconstrução baseada na "Metodologia de Programas de Investigação Científica" de Lakatos, que na nossa opinião, constitui um poderoso instrumento teórico de análise da lógica interna do desenvolvimento científico.

Na terceira parte⁽⁴⁵⁾ enfrentamos o problema do sucesso da teoria de Einstein na comunidade científica, analisando as idéias de Zahar a respeito: o trabalho dele é extremamente interessante e detalhado e constitui, na nossa opinião, o ponto de maior sofisticação do esforço de "reconstrução racional": no entanto, ele também revela alguns sinais de incompletude na medida que não enfrenta o problema da origem e das mudanças de valores da comunidade científica.

Por isso, deixamos para a última parte a intervenção de Battimelli que, apesar de não apresentar um grau de articulação e de detalhamento comparável com o de Zahar, nos parece indicar um caminho para a possível complementação do trabalho deste último. A apresentação das críticas a interpretação de Battimelli nos deu a possibilidade de colocar algumas idéias que fomos amadurecendo durante a leitura e a análise das várias intervenções apresentadas.

Nesta altura, nos resta a tarefa de esclarecer melhor essas idéias: de um lado esperamos que elas estimulem um debate a respeito, e de outro lado acreditamos que a melhor maneira de aprofundá-las seria através de uma análise mais detalhada do quadro social no qual a Relatividade nasceu e foi rapidamente aceita.

Gostaríamos de terminar esta exposição agradecendo particularmente ao professor M. Cini da Universidade de Roma pelas discussões e sugestões sobre a tese de Battimelli e aos professores Jesuina L. A. Pacca e Roberto I. Kishinami pela leitura paciente e crítica de todo o trabalho nas suas versões sucessivas e pelas sugestões a respeito. Finalmente um agradecimento a todos os colegas e alunos que contribuíram para levantar os pontos eventualmente obscuros da exposição.

Referências e Notas

- 1) Nesta linha tem-se mostrado muito ativo o grupo da Universidade de Roma, cujo expoente mais conhecido é o prof. M. Cini. Um artigo interessante a este respeito:
G. Ciccotti, G. Jona-Lasinio - "Il dibattito epistemologico moderno e la socializzazione della scienza", está em G. Ciccotti, M. Cini, M. de Maria, G. Jona-Lasinio - "L'ape e l'architetto", Feltrinelli Ed., Milano, 1976.
- 2) a) G. Battimelli - "Teoria dell'Elettrone e teoria della Relatività: uno studio...", Tese de Laurea (não publicada), Roma, 1973.
b) G. Battimelli - "Etere e Relatività", Sapere, Nov., 1974, pp. 46-50.
- 3) M. La Forgia, C. Tarsitani - "Note critiche sulla scoperta della Relatività Speciale", Preprint da Univ. de Roma, 1979.
- 4) A. Villani - "O confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações. I. A Revolução Einsteiniana", Preprint IFUSP/P-259, 1981.
- 5) A. Villani - "O confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações. III. A Heurística de Einstein", Preprint IFUSP/P-265, 1981.
- 6) A. Einstein - "On the Elektrodynamics of moving bodies", está em AA.VV. - The Principle of Relativity, N.Y., 1923, pp. 37-65.
- 7) Em particular, para Einstein, a contração era uma característica simétrica que dependia unicamente da velocidade dos referenciais em jogo, ao passo que para Lorentz só se dava uma contração "real" na passagem do éter para um sistema em movimento em relação a ele e não vice-versa.
- 8) V. ref. 2a) p. 36.
- 9) V. ref. 2a) p. 37.
- 10) A. Villani - "O confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações. II. A teoria de Lorentz e sua consistência", Preprint IFUSP/P-264, 1981.

- 11) Na realidade, a mecânica de Newton já tinha recebido alguns golpes violentos: de um lado, para introduzir a reação radiativa na equação de movimento do elétron, reação que depende das derivadas da aceleração, precisou alterar a 2a. lei de Newton; de outro lado a velocidade finita de propagação das ações nos meios materiais alterou o princípio de ação e reação, introduzindo um atraso da reação em relação à ação, no lugar da simultaneidade postulada por Newton.
- 12) É importante notar que esta previsão na teoria de Lorentz é independente do problema da contração e da impossibilidade de revelar o movimento em relação ao éter: ao contrário, na teoria de Einstein todos esses efeitos são de origem cinemática, ou seja, são problemas de medida.
- 13) O resultado de Kauffman, evidentemente, contrastava também com a teoria da Relatividade, mas Einstein, que considerava o princípio da Relatividade um princípio a-priori, não deu muita importância ao experimento, pois tinha certeza que o seu resultado devia estar errado.
- 14) Uma teoria do elétron intermediário entre o modelo rígido de Abraham e o elétron deformável de Lorentz foi proposta por Langevin: ele considerava o elétron deformável mas não compressível, de forma a manter constante o seu volume, eliminando o problema da estabilidade e a introdução de forças não-eletromagnéticas.
- 15) De fato, na sua forma original, as equações de Lorentz eram definidas a menos do parâmetro ℓ , função arbitrária de v/c . Lorentz e Poincaré tinham encontrado, por caminhos diferentes, $\ell = 1$, que era fundamental para as propriedades de grupos das transformações.
- 16) H. Poincaré - "Sur la dynamique de l'electron", *Compt. Rendus*, 140 (1905), p. 156, citado na ref. 2a).
- 17) M. von Laue - "La theorie de la Relativité", Gauthier-Villars, Paris, 1922; é uma re-edição francesa da primeira edição alemã de 1911.
- 18) Citado em G. Holton - "Einstein and the "Crucial" Experiment", *Am. J. of Physics*, 37, 1969.
- 19) R.H. Dicke - "Mach's Principle and Equivalence", *rendiconti della Scuola It. Fisica "E. Fermi"*, XX Corso, 1961; citado na ref. 2a).
- 20) V. ref. 2a), p. 181.
- 21) V. ref. 2a), p. 181-182.

- 22) A inutilidade de uma explicação mecânica é provada por Poincaré a través de um teorema segundo o qual, satisfeitos os princípios da conservação da energia e da mínima ação: "se um fenômeno admite uma explicação mecânica completa, ele admitirá um número infinito de outras que darão conta de forma igualmente satisfatória de todas as particularidades reveladas pela experiência".
H. Poincaré - "La scienza e l'ipotesi", La Nuova Italia, 1950, pp. 208, citado na ref. 2a).
- 23) V. ref. 2a), p. 118.
- 24) A prova mais evidente é que até a sua morte, Poincaré se recusou a aceitar a teoria da Relatividade de Einstein.
- 25) Battimelli refere-se genericamente à proliferação de modelos e paradigmas diferentes na física teórica do primeiro pós-guerra. Provavelmente ele tem em mente os problemas ligados à Mecânica Quântica e as suas diferentes formulações. Problemas análogos podem ser encontrados também no desenvolvimento da Eletrodinâmica Quântica (M. Cini - "Fatores ambientais e tradições culturais no desenvolvimento da Eletrodinâmica Quântica", comunicação apresentada ao Congresso: "A reestruturação da ciência entre as duas guerras mundiais", Firenze, 1980).
- 26) V. ref. 2a), p. 182.
- 26a) V. ref. 2b), p. 49.
- 27) Uma consideração semelhante, mesmo que de um ponto de vista diferente, pode ser encontrada em: K. Schaffner - "Outlines of a Logic of a Comparative Theory Evaluation with Special Attention to Pre and Post-Relativistic Electrodynamics", em Historical and Philosophical Perspectives of Science, Minneapolis, 1970, pp. 311-355, citado na ref. 3.
- 28) Como exemplo disso já vimos os experimentos de Michelson e de Kaufman e podemos juntar também todos os experimentos que chegaram a medir os efeitos até a segunda ordem em v/c .
- 29) V. ref. 2b), p. 50.
- 30) V. ref. 2b), p. 50.
- 30a) Em 1883, um artigo da revista Nature ainda era dedicado a salientar as características nacionais da Ciência e as profundas divergências na maneira de produzi-la nos vários países europeus. Típica neste sentido é a disputa entre a escola inglesa com a ação mediante contato e a escola continental com a ação à distância.

- 31) Além do éter estacionário e imaterial de Lorentz, existia o éter de Stokes, imaterial, mas arrastado no movimento e, sobretudo na Inglaterra, ainda continuava-se a procurar modelos mecânicos contínuos.
- 31a) V. ref. 2b), p. 50.
- 32) Veja por exemplo, S. Goldberg: - "In Defense of Aether: British Response to Relativity", *Hist. Studies in Phys. Science*, 2, 1970, citado na ref. 2a).
- 33) Uma das causas mais prováveis é o fato de que a tese de Laurea não foi publicada, ao passo que o artigo da revista "Sapere" tem caráter mais de divulgação do que de pesquisa.
- 34) V. ref. 3, pp. 78a-78d.
- 35) V. ref. 3, p. 78d.
- 36) V. ref. 3, p. 78d.
- 37) Parece-nos que a divergência entre as duas maneiras de interpretar os fenômenos históricos é uma reedição da divergência entre explicação mecânica e análise em termos de princípios teóricos fundamentais. Será que podemos parafrasear Poincaré e sugerir: "Se um fenômeno histórico admite uma análise fenomenológica completa, admitirá uma infinidade de outras, que darão conta igualmente bem de todas as particularidades reveladas pelos fatos conhecidos". Daí a nossa preferência pela utilização de um esquema explicativo que leve a uma "reconstrução racional".
- 38) Apesar de que em alguns casos, a ligação entre a pesquisa com sua teorização subsequente e as exigências sócio-econômicas é muito mais forte e evidente (ver por exemplo, a gênese das leis da Termodinâmica e as pesquisas sobre máquinas a vapor).
- 39) Neste ponto estamos particularmente gratos ao prof. M. Cini, por uma discussão extremamente esclarecedora a respeito.
- 40) Quem primeiro apontou esta necessidade foi Holton: ("On the Origins of the Special Theory of Relativity", *Am. Jour. of Phys.*, 28 (1960) pp. 627-636), que também tentou analisar as semelhanças formais entre os três trabalhos de Einstein publicados em 1905. La Forgia e Tarsitani (v. ref. 3), desenvolvem bastante este ponto, fazendo uma resenha das várias contribuições neste sentido.
- 41) V. ref. 4, pp. 1-2.
- 42) Em qualquer revolução existem sempre aspectos de continuidade, no entanto salientá-los de forma exclusiva significa negar os novos valores revolucionários.

43) Uma análise muito interessante sobre o caráter revolucionário e u
nitário da teoria de Einstein, e que mereceria uma discussão ex-
plícita por nossa parte, pode ser encontrada em: S.G. Suvorov:
"Einstein: the creation of the theory of relativity and some gnosio-
logical lessons", Sov. Phys. Usp., 22, 1979, pp. 528-554. O nos-
so agradecimento ao prof. G. Moscati por ter chamado a nossa aten-
ção para este artigo.

44) V. ref. 4, p. 1.

45) V. ref. 10.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq.