RETIFICAÇÕES NA PRIMEIRA PARTE DO TRABALHO "INÍCIO DE UMA TENTATIVA DE FAZER UMA FÍSICA CLARA"

ROBERTO HENRIQUE SCHONMANN

Apresentação

Pouco tempo depois de escrever o trabalho anterior eu comecei a perceber que há erros em sua primeira parte, causados principalmente pela noção do que é um referencial. No entanto é possível corrigir estes erros e manter as idéias centrais da teoria inalteradas, é isto que será exposto neste trabalho.

Veremos que o maior erro estava na afirmação de que é impossível tomar outros referentes além daqueles para os quais vale o princípio da relatividade, mas que ao corrigi-la caimos no outro extremo, admitindo a possibilidade de tomar referentes onde os corpos têm comportamentos muito estranhos. Em seguida, veremos que é possível enunciar as transformações de Lorentz de forma bem mais simples do que havia sido feito e do que é feito em geral nos livros; e que a própria teoria pode ser resumida numas poucas afirmações (esta teoria é a da Relatividade Restrita admitida mesmo na presença de matéria, como o leitor deve se lembrar). Finalmente veremos que, infelizmente, a demonstração da lei da inércia a partir do princípio da relatividade tem um erro.

Assim como no outro trabalho eu procurei ser resumido e não discutir muitos detalhes ou exemplos, para não me extender demais, mas o leitor interessado poderá fazê-lo, principalmente quanto a transformações de referentes, o que é muito interessante.

Além do que será exposto aqui, eu estive no último semestre estudando Relatividade Geral e a matemática nela usada; e embora eu ainda tenha que estudar muito, parece-me claro que, ao menos, há problemas na formulação da teoria, os quais aparecem quando a comparamos com a teoria que será exposta aqui. Mas eu preferi não escrever estas questões, ainda, por não conhecer suficientemente bem a Relatividade Geral. Gostaria, no entanto, de continuar contando com orientação de professores e de discutir com eles estas questões.

Roberto H. Schonmann

Janeiro, 1978

1. Referentes.

Esta secção é apenas uma melhor explicação do que é um "referente".

Um referente é um espaço geométrico. Dado um referente podemos falar em posição, distância, direção, etc e estas noções podem estar ligadas por certas leis que dependem da geometria do referente; isto é, cada referente já tem uma geometria própria.

Quando falamos num referente com tempo não nos referimos a um único espaço geométrico, tomado uma vez, mas um espaço que é tomado várias vezes e ao qual se associa cada vez um número chamado instante; temos então as noções de movimento e repouso: um corpo está em movimento se sua posição é diferente em instantes diferentes e em caso contrário está em repouso.

É claro que podemos fazer uma correspondência biunívoca entre um referente que precise de n números para determinar cada posição (espaço geométrico de dimensão n) e tenha um tempo, com um espaço geométrico de $n+1$ dimensões e sem tempo. Por esta razão poderemos nos referir aos referentes com tempo chamando-os apenas de "referentes", já que podemos fazer uma representação deles onde não temos nada mais do que um espaço geométrico.

2. É possível tomar outros referentes

No trabalho anterior foi afirmado que seria possível representar o Universo em certos referentes, cada um deles com uma geometria euclidiana em 3 dimensões e um tempo (passaremos a nos referir a eles como referentes primários), sendo estabelecidas as transformações entre eles pelas transformações de Lorentz, desde que ~~tomasse-mos~~ tomassemos sistemas adequados de coordenadas. E não seria possível tomar outros referentes. Esta última afirmação é evidentemente falsa; dado um dos referentes primários, podemos fixar nele um sistema de coordenadas x, y, z, tomar uma escala de tempo t e então, tomar um outro espaço geométrico qualquer com um tempo, fixar nele um sistema de coordenadas x', y', z', uma escala de tempo t' e fazer uma correspondência qualquer entre (x, y, z, t) e (x', y', z', t'); isto é, colocar objetos que no primeiro referente tenham certos x, y, z, t nas posições x', y', z', t'. E nesta transformação temos toda liberdade, ela não precisa ser biunívoca nem contínua, se os corpos no referente primário apresentam movimentos contínuos ~~(no outro isto)~~ (isto é, sem saltar de um lugar para outro) no outro referente isto pode não acontecer. É possível, também, que um objeto no primeiro referente corresponda a vários ou a nenhum no segundo. Podemos fazer a correspondência para um espaço não euclidiano e mesmo para um com um número de dimensões de posição diferente de três; apenas acontece que o comportamento dos corpos nos novos referentes pode ser muito diferente do que nos primários.

O que havia levado a idéia da impossibilidade de tomar estes outros referentes foram os problemas mencionados nas secções 1, 3 e 5 do trabalho anterior, que são semelhantes a estas questões que acabamos de mencionar. Mas, realmente, isto não nos impede de fazer as transformações.

3. Os dois princípios da relatividade

O que distingue então os referentes primários dos demais é o comportamento que os corpos têm em relação a eles, e uma das características deste comportamento é o princípio da relatividade. Mas é conveniente dividir este princípio em dois, de um modo que já havia sido sugerido na secção 10 do trabalho anterior. Podemos falar num "princípio da relatividade interno a cada referente primário" referindo~~(nos)~~-nos ao fato de que em cada um destes referentes o resultado de experiências independe do instante lugar e orientação com que elas são feitas (este princípio é a união da homogeneidade de tempo, homogeneidade de espaço e isotropia de espaço). E um "princípio da relatividade externo", pelo qual a mesma experiência dá o mesmo resultado em relação a todos os referentes primários.

4. Princípio da relatividade interno e os processos de medida de comprimento e tempo.

Para medir a distância entre dois pontos sempre fazemos uma experiência. O processo mais comum é o de usar um objeto como régua, e então está envolvido o comprimento de estabilidade deste corpo (discutido na secção 3 do capítulo 4 do trabalho anterior), isto é, o nosso processo só é válido se o comprimento de estabilidade da régua em repouso não depender do lugar onde ela se encontra no nosso referente, do instante e da sua orientação.

Se não tivessemos ainda uma escala de distâncias e usassemos uma certa régua como padrão para determinar distâncias, admitindo-a com comprimento constante não haveria nada de excepcional, mas o notável é que se depois tomarmos outro objeto como régua, distâncias que para o primeiro coincidiram para o segundo também coincidirão. E medidas feitas por outros processos também concordarão com estas.

Para o tempo vale observação análoga; as medidas de tempo são experiências (oscilação de pêndulos, decaimento radioativo) e experiências de tipos muito diferentes indicam as mesmas escalas de tempo.

Tudo isto leva ao seguinte enunciado: "Podemos representar o nosso Universo em certos referentes (primários) com 3 dimensões de comprimento relacionadas euclidianamente e um tempo (isto significa que em cada instante devemos colocar os objetos num espaço euclidiano tridimensional), para os quais vale um princípio de relatividade interno".

Isto fica mais claro quando notamos que

também é possível representar o nosso Universo em referentes para os quais não vale este princípio. Por exemplo, se tomarmos um referente primário onde fixamos um sistema de coordenadas ~~eucli~~ cartesiano triortogonal x, y, z e uma escala de tempo t e fizermos uma transformação para outro ~~re~~ referente euclidiano com tempo com sistema de eixos do mesmo tipo x', y', z' e escala de tempo t' segundo as equações $x' = x$, $y' = y$, $t' = t$, $z' = 2z$; é fácil notar que no novo referente os objetos quando são girados têm suas dimensões de estabilidade alteradas, uma régua que estava na direção x, dobra de tamanho quando colocada na direção z. Se fizermos a transformação $x' = x$, $y' = y$, $z' = z$, $t' = t^3$, a partir de $t' = 0$ os fenômenos ocorreriam cada vez mais lentamente no novo referente.

Estamos tão acostumados a usar referentes primários, que chegamos a fazer a afirmação errada de que "no nosso Universo há homogeneidade de tempo e espaço e isotropia de espaço", quando esta afirmação deve ser feita para os referentes primários e não para o ~~nosso~~ Universo. O notável no nosso Universo é que podemos tomar referentes para os quais o princípio da relatividade interno vale para todos os fenômenos; se não fosse assim, seria muito interessante ...

5. Referentes ligados por transformações de Lorentz.

Nesta seção vamos enunciar as transformações entre os referentes ~~(de)~~ primários de uma forma bem mais simples do que havia sido feito anteriormente.

Independentemente de qualquer teoria, diremos que "dois referentes R e R' com 3 dimensões euclidianas de comprimento e um tempo, cada um, se ligam por transformação de Lorentz, se for possível tomar em cada um um sistema de eixos coordenados cartesianos triortogonais x, y, z e x', y', z' e fixar escalas de tempo t e t' tais que algo que esteja em R em $(x, y, z; t)$ está em R' em $(x', y', z', t') = ((x - vt)/\sqrt{1-v^2}, y, z, (t - vx)/\sqrt{1-v^2})$, onde v é um valor constante entre -1 e $+1$." $(v, 0, 0)$ será chamado de velocidade de R' em relação a R.

Devemos fazer várias observações sobre este enunciado:

1) Nele não aparece a constante c. Isto é devido a se ter afirmado que "é possível tomar escalas de comprimento e tempo tais que ..." estas escalas são aquelas nas quais $c = 1$. Mas é claro que se dois referentes se ligam por transformações de Lorentz podemos tomar neles outras escalas que não as do enunciado (apenas foi afirmada a possibilidade de tomar aquelas) e, em particular, se tomarmos as mesmas escalas de comprimento, mas $\bar{t} = t/c$ e $\bar{t}' = t'/c$ onde c é uma constante teremos as expressões

$$x' = (x - \bar{v}\bar{t})/\sqrt{1-\bar{v}^2/c^2}, \quad y' = y, \quad z' = z,$$

$$\bar{t}' = (\bar{t} - (\bar{v}/c^2)\cdot x)/\sqrt{1-\bar{v}^2/c^2},$$

onde $\bar{v} = v \cdot c$ e portanto $-c < \bar{v} < c$

2) Com este enunciado podemos provar que um ponto parado em R', ou seja, com coordenadas x', y', z' constantes para todo t' se move em relação a R ~~(com)~~ seguindo as equações

$$x = x'\sqrt{1-v^2} + vt \qquad y = y' \qquad z = z'$$

Como v é constante vemos que ele se move em relação a R com velocidade $(v, 0, 0)$, a qual havíamos chamado de velocidade de R' em relação a R.

Isto mostra que nos postulados tomados no trabalho anterior (sec 7 - capto 1) há uma abundância: o postulado 1 sobre movimentos relativos podia ser deduzido do postulado final sobre as transformações. Mas ele teve que ser postulado inicialmente para se poder definir a velocidade relativa dos referentes, que foi usada no postulado final. Aqui este inconveniente foi evitado com um enunciado de possibilidade; isto também simplifica o que havia sido enunciado no postulado final, pois não é mais preciso dizer como os eixos x', y', z' são vistos se movendo em relação a R, todas aquelas características podem ser deduzidas eliminando outras abundâncias.

Outros comentários comparando este enunciado ao do trabalho anterior serão feitos no final para próxima secção, indicando, inclusive, um erro que havia sido afirmado no trabalho anterior e que também é cometido nos livros sobre relatividade restrita, em geral.

6. Enunciado da Teoria

Reunindo o que foi exposto até aqui podemos enunciar o seguinte:

"É possível representar o nosso Universo em certos referentes, que chamaremos primários, com 3 dimensões de comprimento relacionadas euclidianamente e um tempo, tais que

1) Para cada um deles vale o princípio da relatividade interno

2) Entre eles vale o princípio da relatividade externo

3) Eles se ligam por transformação de Lorentz

4) Reciprocamente a (3), dado um dos referentes primários, qualquer outro que se relacione a ele por transformação de Lorentz é primário."

Comparando este enunciado com os que aparecem em geral nos livros e no meu trabalho anterior devemos dizer que.

1) São falsas as afirmações de que "os referentes inerciais se ligam por transformações de Lorentz" e que "para eles vale o princípio da relatividade". Só é correta ~~(=)~~ (segundo a teoria) a afirmação conjunta de que "para certos referentes ligados por transformações de Lorentz vale o princípio da relatividade". Podemos, perfeitamente, tomar um referente primário R e um outro, R', que se ligue a ele, por exemplo, por transformação de Galileu. Sendo válida no primeiro a lei da Inércia é facil deduzir que ela é válida no

segundo. Mas conclui-se também que leis como as dos choques e desagregações (capt 2 - trabalho anterior) sendo válidas no primeiro não são válidas no segundo, ou seja, não há entre eles um princípio da relatividade. Em conclusão: há referentes inerciais que não são primários.

2) Também a afirmação de que a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma é falsa; ela só vale para os referentes primários.

3) Pode-se ver agora que nos postulados enunciados na sec. 7 capto 1 do trabalho anterior, há um erro. Se um referencial é visto ~~em~~ se movendo com velocidade constante de um outro referencial, com eixos x superpostos, y e z paralelos, etc, a transformação entre eles não é necessariamente a de Lorentz. Isto só terá que ocorrer se os referentes onde estes referenciais foram tomados forem primários.

7. A lei de inércia não é conseqüência necessária do princípio da relatividade

Afirmar o contrário foi outro erro que eu cometi no trabalho anterior. Mas o erro é sutil e o leitor, que havia sido convidado a fazer a demonstração, pode agora, se quiser, procurar o erro.

Não há nada de errado (ou talvez seja melhor dizer, não me parece haver nada errado) na segunda parte da demonstração: se um corpo isolado e parado num certo instante, num certo referente primário, tiver que permanecer parado; por escolha adequada de referente e pelas transformações de Lorentz concluimos que um corpo isolado e se movendo (com velocidade de módulo inferior a c ou a 1 se as escalas de comprimento e tempo forem adequadas) permanece com velocidade constante em relação a qualquer referente primário. Mas há um erro na demonstração de que um corpo parado deve permanecer parado. O argumento usado, em palavras um pouco diferentes, foi de que se o corpo começasse a se mover ele o faria em alguma direção, mas como ele está parado e isolado não há direção privilegiada, de modo que o movimento do corpo contrariaria a isotropia do espaço em relação a um dos referentes primários. O erro está no que consideramos condição inicial, pois só sabemos que o corpo estava parado num certo instante e não sabemos se antes ele não se movia, enquanto o enunciado do princípio da relatividade só afirma que "a situações iguais até um certo instante seguem situações iguais". Um corpo isolado poderia, por exemplo, apresentar em relação a um referente primário um movimento harmônico simples, sem violar o princípio da relatividade. Em certos instantes ele estaria parado mas o seu movimento anterior, que faz parte das condições iniciais neste instante, forneceria uma direção e sentido privilegiados e seu movimento subseqüente não contrariaria a isotropia do espaço.

Poderiamos pensar em modificar o enunciado do princípio da relatividade, afirmando que "a mesma situação num dado instante seguem sempre situações iguais", mas isto é um erro. Na realidade conhecemos casos em que o comportamento de corpos depende de situações passadas de outros corpos, como no eletromagnetismo (força atrasada) e, aliás, em qualquer ação a distância esperamos que a ação seja atrasada. Isto nos impede de mexer no princípio da relatividade, porém no nosso caso a coisa é diferente pois temos somente um corpo. Poderíamos pensar então em postular que o movimento de um corpo a partir de um certo instante independe de sua situação em instantes passados, e salvaríamos nossa demonstração. Mas isto é só um jogo de postulados e é melhor postular de uma vez a lei de inércia para corpos parados em relação a referentes primários. Resta o consolo de que assim ainda é possível demonstrar a lei para corpos em movimento, com velocidade menor do que c.