

FÍSICA CLÁSSICA E RELATIVIDADE: CONTINUIDADE E RUPTURA

Tópicos e palavras chave:

- 1- **As teorias físicas não se explicam; servem para explicar.**
Uma experiência com relógios em movimento.
Relógios, tempo (Santo Agostinho).
Os relógios em Física Clássica: tempo universal e simultaneidade.
Os relógios em Relatividade.
- 2- A lei da composição das velocidades. Um problema que todos resolviam do mesmo modo.
A noção de referencial e corpos sólidos. A Geometria de Euclides: a primeira teoria física.
A estrutura das teorias físicas: *Isto (noção física) é aquilo (noção matemática)*. O exemplo da GE: *O espaço de um referencial (noção física) é um espaço pontual propriamente euclidiano com três dimensões (noção matemática)*. É assim possível associar a todos os pontos de um referencial três coordenadas espaciais e uma temporal – o tempo universal em FC.
(Alguma confusão na terminologia francesa entre referenciais e sistemas de coordenadas).
- 3- Os referenciais em Física Clássica. Em todos os tratados de Mecânica Clássica há um capítulo: “A Cinemática dos Corpos Rígidos”, em que são estudadas as fórmulas de transformação entre as coordenadas dos pontos de referenciais diferentes em movimento relativo.
Vamos aqui considerar só o caso mais simples das fórmulas de transformação de Galileu.
- 4- Uma categoria muito especial de referenciais: os referenciais de inércia (em que as partículas livres têm movimentos rectilíneos e uniformes).
Os referenciais de inércia em Relatividade Restrita.
- 5- As leis da Mecânica Clássica: as leis de Newton e da Gravitação de Newton são igualmente válidas em todos os referenciais de inércia. (São invariantes numa transformação de Galileu).
Idem os princípios de conservação que delas resultam.
Há, assim, em Física Clássica um Princípio da Relatividade válido para a Mecânica.
Vão-nos interessar, de momento, a conservação da quantidade de movimento (do momento linear) dos sistemas isolados, em particular no choque de partículas pontuais, a conservação da energia cinética nos choques elásticos de duas partículas e, ainda, a conservação da massa.
- 6- O Electromagnetismo estudado no século XIX culminou nas equações de Maxwell (1870) não invariantes numa transformação de Galileu e que permitiram prever a existência de ondas com uma velocidade c igual à das ondas luminosas, já conhecida: 300.000 Km/s.
- 7- Tudo se passaria como no caso das ondas sonoras que são vibrações do ar. No caso do Electromagnetismo (que passou a englobar a Óptica) seria um *Ether* (já usado na Gravitação de Descartes) que vibraria. Haveria, então, um referencial privilegiado, o referencial em que o *Ether* estaria em repouso, em que seriam válidas as equações de Maxwell e a velocidade da luz seria a mesma em todas as direcções. Nos outros referenciais, a velocidade da luz (que a lei da composição das velocidades permitia calcular) não seria a mesma em todas as direcções, o que permitiria detectar o “*vento do Ether*”.
- 8- Tudo parecia certo. Em 1881 e nos anos seguintes, Michelson e depois Morley fizeram exaustivas observações para detectar o “*vento do Ether*”. Em todos os casos encontraram o estranho resultado da velocidade da luz parecer ser a mesma em todas as direcções em todos os referenciais. Isto é, o *Ether* parecer imóvel em todos eles. (Felizmente não apareceu nenhum “Chico esperto”, que também os há em Ciência, a explicar o estranho resultado destas experiências dizendo, por exemplo, que o planeta Terra devia arrastar o *Ether* junto à sua superfície. Estaríamos, agora, a tentar detectar o “*vento do Ether*” com satélites).
- 9- Einstein considerava estranho que houvesse um Princípio da Relatividade para a Mecânica e um referencial privilegiado no Electromagnetismo. Uma vez que as observações desmentiam repetidamente a existência deste referencial, Einstein aceitou o facto da velocidade da luz ter o mesmo valor c em todos os referenciais de inércia. Isto é, aceitou que o Princípio da Relatividade era também válido para o Electromagnetismo.

- 10- Pouco tempo antes, o matemático Henri Poincaré tinha-se dado ao trabalho de procurar uma transformação de coordenadas que deixasse invariantes as equações de Maxwell e tinha encontrado as hoje chamadas formulas de transformações de Lorentz, parcialmente encontradas por Lorentz a partir de hipóteses físicas sobre a contracção de barras em movimento no *Ether* admitidas “ad hoc” para que as experiências de Michelson nada detectassem. Nenhum destes dois cientistas enunciou claramente, no entanto, aquilo que Einstein afirmou: **a equivalência de todos os referenciais de inércia para efeitos de formulação das leis da Física.**
- 11- Há duas maneiras de acertar relógios afastados: o método do “caixeiro viajante” e o envio de sinais. Uma vez que a velocidade da luz era a mesma em todos os referenciais de inércia, Einstein optou por acertar os relógios supostos fixos nos diferentes pontos de cada referencial por meio de sinais luminosos. Definiu, assim, um tempo para cada referencial. No seu primeiro texto fundamental de 1905: “*Sobre a Electrodinâmica dos corpos em movimento*” mostrou que os tempos t e t' de dois referenciais de inércia S e S' não coincidem. Não há, assim, um tempo universal e a noção de simultaneidade só tem sentido associada a um referencial de inércia. Na sequência, estudou as fórmulas de transformação entre as coordenadas espaciais e temporais de dois referenciais de inércia e encontrou as fórmulas de transformação de Lorentz.
- 12- Dispensar-me, aqui, de apresentar a dedução destas fórmulas, **mas aconselho vivamente** os estudantes que se comecem agora a interessar pela Relatividade a estudarem a sua dedução e a familiarizarem-se com os seus “estranhos” efeitos: a “*contracção dos comprimentos*” e a “*dilatação dos tempos*” num dos muitos livros de iniciação que existem. Indico, por exemplo, o livro: “*Introdução à teoria da relatividade restrita*”, do Professor Resina Rodrigues editado pela PRESS-IST. Outro texto indicado são as páginas sobre Relatividade do livro a “*Teoria da Electricidade*”, Vol. II, do Professor António da Silveira, reeditado pela UTL.
- 13- As fórmulas referidas, são o primeiro passo na aprendizagem da Relatividade. Delas resulta uma lei da composição das velocidades diferente da lei clássica e elas permitem explicar o desacerto dos relógios nas voltas ao mundo. A diferença está em que, no referencial de inércia em que a Terra roda, um dos físicos está praticamente parado e outro dá duas voltas em 24 horas.
- 14- O Electromagnetismo das equações de Maxwell já eram relativista antes da Relatividade. Mas a Mecânica Clássica deixou de o ser. Para construir uma Mecânica Relativista conciliada com as fórmulas de transformação de Lorentz foi necessário substituir os dois princípios separados da conservação da massa e da energia por um princípio único de conservação da massa-energia. Neste quadro aparece a célebre fórmula $E = mc^2$ a que Einstein chegou logo, em 1905, num artigo de 4 páginas, em que considerou um corpo a emitir ondas luminosas para os dois lados. A Relatividade revelou-se assim, desde o início, extraordinariamente fecunda.
- 15- Ficou de fora a Gravitação. Os esforços para construir uma teoria da Gravitação no âmbito da Relatividade Restrita não tiveram êxito. Einstein compreendeu que era necessário dar um passo em frente. Aparecera, entretanto, o conceito de espaço-tempo de Minkowski que permite exprimir a RR numa linguagem quadridimensional. Os referenciais de inércia são muitos, mas o espaço-tempo é um só: *é um espaço pontual pseudo euclidiano de assinatura -, -, -, + (noção em que se aprende nas cadeiras de Álgebra e permite falar em paralelismo e distância).* Einstein percebeu que para introduzir a Gravitação era necessário deformar o espaço-tempo. Descobriu assim a Relatividade Generalizada em 1915.
Acho que podemos hoje dizer que, no fundo, ele foi um físico clássico, dum tempo em que a Física era essencialmente uma Física do comportamento das coisas, agarrada a uma noção antiga de compreender, enquanto que a Física actual, uma Física da existência das coisas, ensaia teorias vertiginosas em que faz apelo a espaços matemáticos cada vez mais complicados.
- 16- Creio que em todas elas os pontos estão associados a pontos de espaços matemáticos com coordenadas. Julgo que, um dia, a Física, para dar um verdadeiro passo em frente precisará de discutir seriamente a noção de ponto (arranjando, eventualmente, para a substituir, noções de que os pontos de agora sejam uma mera imagem). Como se trata de uma ideia muito vaga, não encontro melhor para terminar esta palestra do que um poema:

O Ponto, de Reinaldo Ferreira:

Mínimo sou/ Mas quando ao nada empresto/ A minha elementar realidade/ O nada é só o resto.