



Relatividade

Prof. Paulo Sérgio Moscon

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Maio 23, 2010

Resumo

blá

1 Introdução

Entre os estudantes, e a população em geral, o título (já famoso) “teoria da relatividade” é sinônimo de dificuldade extrema (analogamente ao termo “física quântica”). Como exemplo, é comum se ouvir um marido dizendo para a esposa: “você é mais complicada do que a teoria da relatividade (ou que a física quântica)”. Na verdade tudo o que é novo apresenta sim um grau a mais de dificuldade; contudo, no caso particular da teoria da relatividade especial de Einstein, esta não apresenta grandes dificuldades técnicas (ferramental matemático necessário), tal que qualquer aluno com conhecimento de física e matemática em nível médio está apto ao seu estudo. Assim, esta disciplina poderia ser ministrada no primeiro semestre de um curso de graduação. Os pré-requisitos necessários são mínimos: Além de um conhecimento básico em física e matemática, é exigido que aceite-se dois pequenos postulados nos quais toda a teoria se baseia. Notadamente a “grande” dificuldade encontrada está exatamente em aceitar como verdadeiros estes dois postulados, pois estes fogem ao senso comum. São eles:

Postulado 1 - Postulado relativístico - As leis da física são as mesmas para observadores em diferentes referenciais inerciais.

Postulado 2 - Postulado da velocidade da luz - A frente de onda associada a um único pulso luminoso assume mesma velocidade c relativa a qualquer referencial inercial.

? - O que é um referencial inercial e porque este é importante para física?

Em um referencial inercial, qualquer aceleração observada está necessariamente associada a uma força real. Sendo assim, um referencial inercial não pode estar acelerado. Exemplo: Se cientistas vivessem (toda suas vidas) dentro de uma grande caixa fechada, e esta caixa fosse acelerada por uma força externa, então os pesquisadores sentiriam e observariam, em seu “mundo” (sua natureza), forças e acelerações ocorrendo sem a necessidade de uma ação; uma bolinha de gude colocada sobre uma mesa mudaria seu estado de movimento sem a necessidade de entrar em contato com outro corpo dentro do sistema.

Claro que se nosso mundo fosse uma caixa fechada como esta (e talvez seja), a física seria desenvolvida de qualquer forma, pois os estudos seriam realizados e conclusões seriam alcançadas. Provavelmente neste mundo não inercial as leis da física assumiriam uma forma mais complexa pois o estado de movimento de um corpo contaria com uma variação intrínseca. Felizmente, em nosso mundo

(nossa caixa), ao excluirmos todas as forças observadas dentro de nossa caixa, a bolinha de gude fica em repouso ou mantém sua velocidade constante em relação às paredes da caixa, não mudando seu estado de movimento. As leis da física ficam muito mais simples desta forma.

Como as leis físicas assumem formas diferentes dependendo se o referencial é ou não inercial, então temos que optar por trabalharmos com as leis encontradas em um ou em outro tipo de sistema. Qual você escolheria? Obviamente existe uma tendência natural de evitarmos maiores complicações;

sendo assim os cientistas optaram por trabalhar com as leis físicas definidas a partir das caixas não submetidas a forças externas (ou, equivalentemente, acelerações sem a necessidade de ação), ou seja, os referenciais inerciais.

Além do fato colocado acima, que as leis físicas assumem maior simplicidade nos referenciais inerciais, existe um outro aspecto que merece atenção. Uma outra pergunta a ser respondida:

? Dentre todos os referenciais inerciais possíveis, existe algum especial? que apresenta algum diferencial em relação aos demais?

A pergunta acima é naturalmente justificada, pois se dentre todos os referenciais inerciais existir um (ou mais de um) diferenciado(s) em relação aos demais, então estaríamos novamente com aquela pergunta – Qual referencial escolher para estudar a natureza?

Para a teoria da relatividade especial (e também para o eletromagnetismo) todos os referenciais inerciais são absolutamente equivalentes e as leis físicas independem de qual referencial inercial escolhemos para trabalhar. Contudo, no início do século XX esta questão não era tão clara.

Breve histórico sobre a existência de um referencial inercial especial

Porque do postulado 1 (\equiv **P1**)?

Sabemos que uma onda sonora se propaga através de um meio específico, a atmosfera (ou qualquer meio composto por partículas suficientemente próximas). Sendo assim, o referencial que está em repouso relativamente ao sistema de partículas responsável por transmitir a onda de pressão sonora, possui um diferencial em relação aos demais. A velocidade da onda sonora, na atmosfera, é de $\approx 300\text{m/s}$ no referencial em repouso relativamente à atmosfera. Para os demais referenciais (estamos considerando referenciais inerciais) esta velocidade deve ser adicionada à velocidade do sistema em

questão. Algo semelhante é esperado para a onda de luz; esperava-se que esta se propagava através de um meio até então não detectado. Este meio foi chamado de éter, e grande parte da comunidade científica acreditava que sua detecção seria questão de tempo devido às melhorias tecnológicas.

Note que se a existência deste éter fosse comprovada, e sabendo que a luz se propaga através do vácuo, então nosso universo (nossa caixa) estaria empregnada com o tal éter e este definiria entre todos os referenciais inerciais, um especial, o que tivesse velocidade nula em relação ao éter, tal como no caso da onda sonora, mas sobre um ponto de vista mais amplo, todo o universo conhecido. Experimentos que objetivavam a detecção deste éter foram realizados no final do século XIX (link - [MEDINDO A VELOCIDADE DA LUZ](#)). O experimento de Albert Michelson e Edward Moreley foi realizado em 1887 (link - [EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY](#)). Em resumo, se a onda eletromagnética se propaga através de um éter, então a velocidade da luz é relativa a este éter; sendo assim, referenciais inerciais com diferentes velocidades relativamente ao suposto éter devem medir velocidades diferentes para a onda eletromagnética, tal como no caso da onda sonora se propagando pela atmosfera. De fato o experimento de Michelson-Morley (posteriormente confirmado por vários outros experimentos) indicou que o éter – ou não existe ou produz algum efeito sobre os corpos com velocidade relativa a ele, não permitindo sua detecção experimental. Ele encontrou a mesma velocidade para a onda eletromagnética (luz) a partir de diferentes sistemas inerciais (ver o links relacionados acima).

A conclusão final é: Considere um único pulso eletromagnético (ou seja, de luz). A velocidade medida para a propagação deste pulso é sempre a mesma não importando a velocidade do medidor relativamente à fonte de luz. Desta forma, não existe referencial inercial privilegiado, logo não existe¹ um meio específico (éter) através do qual a luz se propaga.

Este resultado fundamenta uma importante característica para os referenciais inerciais. Que são todos

¹Na verdade a primeira hipótese foi que o éter interagiria com os materiais utilizados para realizar as medidas da velocidade da luz. Esta interação mudaria os comprimentos das “régua” utilizadas para medir distâncias, dependendo da velocidade da régua relativamente ao éter, impossibilitando uma medida correta da velocidade da luz e fazendo resultar sempre no mesmo valor. Esta hipótese foi abandonada e hoje considera-se que o éter não existe e que a velocidade da luz é uma grandeza absoluta da natureza.

equivalentes na descrição das leis físicas. Sendo assim, o postulado 1 está justificado.

O postulado 2 é consequência das evidências experimentais comentadas acima.

