



CEPMG - POLIVALENTE MODELO VASCO DOS REIS

SÉRIE/ANO: 3º ANO	TURMA(S): A, B, C, D, E, F, G e H	DISCIPLINA: FÍSICA MODERNA	DATA: / / 2019
PROFESSOR (A): DIÂNGELO C. GONÇALVES		ATIVIDADE DE FÍSICA MODERNA – 1º bimestre	
DATA DE ENTREGA: ____ / 03 / 2019.	Somente na 1ª aula		
ALUNO (A):	Nº		

ATIVIDADE DE FÍSICA MODERNA – Responder na própria folha

01 - A teoria da relatividade de Einstein formaliza adequadamente a mecânica para os corpos que viajam a velocidades muito alta, evidenciando as limitações da Mecânica Newtoniana. De acordo com essa teoria, analise as informações em V (verdadeiro) e F (falso):

- () A velocidade limite para qualquer corpo é a velocidade da luz no vácuo, aproximadamente, $3,0 \cdot 10^8$ m/s.
- () O tempo pode passar de maneira diferente para observadores a diferentes velocidades.
- () As dimensões de um objeto são sempre as mesmas, quer ele esteja em repouso, que em movimento.
- () A massa de um elétron viajando à metade da velocidade da luz é maior que a do elétron em repouso.
- () A célebre equação $E = mc^2$ pode explicar a energia que o sol emite quando parte da sua massa se converte em energia.

02 - A teoria da Relatividade Especial prediz que existem situações nas quais dois eventos que acontecem em instantes diferentes, para um observador em um dado referencial inercial, podem acontecer no mesmo instante, para outro observador que está em outro referencial inercial. Ou seja, a noção de simultaneidade é relativa e não absoluta.

A relatividade da simultaneidade é consequência do fato de que:

- a) a teoria da Relatividade Especial só é válida para velocidades pequenas em comparação com a velocidade da luz.
- b) a velocidade de propagação da luz no vácuo depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.
- c) a teoria da Relatividade Especial não é válida para sistemas de referência inerciais.
- d) a velocidade de propagação da luz no vácuo não depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.

03 - Nos dias atuais, há um sistema de navegação de alta precisão que depende de satélites artificiais em órbita em torno da Terra. Para que não haja erros significativos nas posições fornecidas por esses satélites, é necessário corrigir relativisticamente o intervalo de tempo medido pelo relógio a bordo de cada um desses satélites. A Teoria da Relatividade Especial prevê que, se não for feito esse tipo de correção, um relógio a bordo não marcará o mesmo intervalo de tempo que outro relógio em repouso na superfície da Terra, mesmo sabendo-se que ambos os relógios estão sempre em perfeitas condições de funcionamento e foram sincronizados antes do o satélite se lançado. Se não for feita a correção relativística para o tempo medido pelo relógio de bordo:

- a) ele se adiantará em relação ao relógio em Terra enquanto ele for acelerado em relação à Terra.
- b) ele ficará cada vez mais adiantado em relação ao relógio em Terra.
- c) ele atrasará em relação ao relógio em Terra durante metade de sua órbita e se adiantará durante a metade da outra órbita.
- d) ele ficará cada vez mais atrasado em relação ao relógio em Terra.

04 - A Física moderna é o estudo da Física desenvolvido no final do século XIX e início do século XX. Em particular, é o estudo da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade Restrita.

Assinale as proposições em V (verdadeiro) e F (falso):

- () Demonstra limitações da Física Newtoniana na escala microscópica.
- () Nega totalmente as aplicações das leis de Newton.
- () Explica o efeito fotoelétrico e o laser.
- () Afirma que as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

() Comprova que a velocidade da luz é diferente para quaisquer observadores em referenciais inerciais.

() Demonstra que a massa de um corpo independe de sua velocidade.

05 - Uma excelente ilustração da virtude da ciência fundamental e prova da utilidade de teorias antes consideradas exóticas é a aplicação da Teoria da Relatividade de Einstein ao Sistema de Posicionamento Global, conhecido pelas iniciais GPS (Global Positioning System). Sem as correções introduzidas pela teoria da relatividade na medição do tempo, não seria possível definir com precisão a localização dos aviões, barcos ou automóveis que dispõem de um receptor GPS.

Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita assinale a alternativa INCORRETA:

a) A relatividade da noção de simultaneidade deriva do fato de que a velocidade da luz no vácuo independe do sistema referencial inercial em relação ao qual ela é medida.

b) A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade do observador ou da velocidade da fonte que a emite. Nenhuma partícula pode se mover com uma velocidade maior do que a da luz no vácuo.

c) As leis da Física são as mesmas para todos os observadores situados em diferentes referenciais.

d) O comprimento próprio de um corpo é definido como a distância no espaço entre os pontos extremos do corpo, medida por um observador em repouso em relação ao corpo. O comprimento próprio do corpo é máximo, quando medido em repouso em relação ao observador.

e) A energia de um corpo (E) e seu equivalente em massa (m) estão matematicamente relacionados pela equação $E=mc^2$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. Isto significa que, ao aquecer uma esfera de ferro de 1,0 kg, inicialmente à temperatura de 10,0 °C e alcançando a temperatura de 90,0 °C, obtém-se um aumento da massa da esfera.

06 - Em relação a questão anterior, considere agora que a nave acionou seu motor principal que lhe imprimiu uma velocidade de 100000 km/s. Vamos considerar também que em sua viagem espacial, a nave se depara com alguns asteroides e aciona a sua arma a laser, que atira pulsos de luz a sua frente com uma velocidade constante $c = 300000$ km/s em relação a nave, para destruir os asteroides. Determine a velocidade com que uma pessoa fixa no planeta observará o pulso de luz se mover:

a) $v_{luz} = 200000$ km/s

b) $v_{luz} = 400000$ km/s

c) $v_{luz} = 500000$ km/s

d) $v_{luz} = 300000$ km/s

e) zero

07 – Defina os termos ou conceitos a seguir:

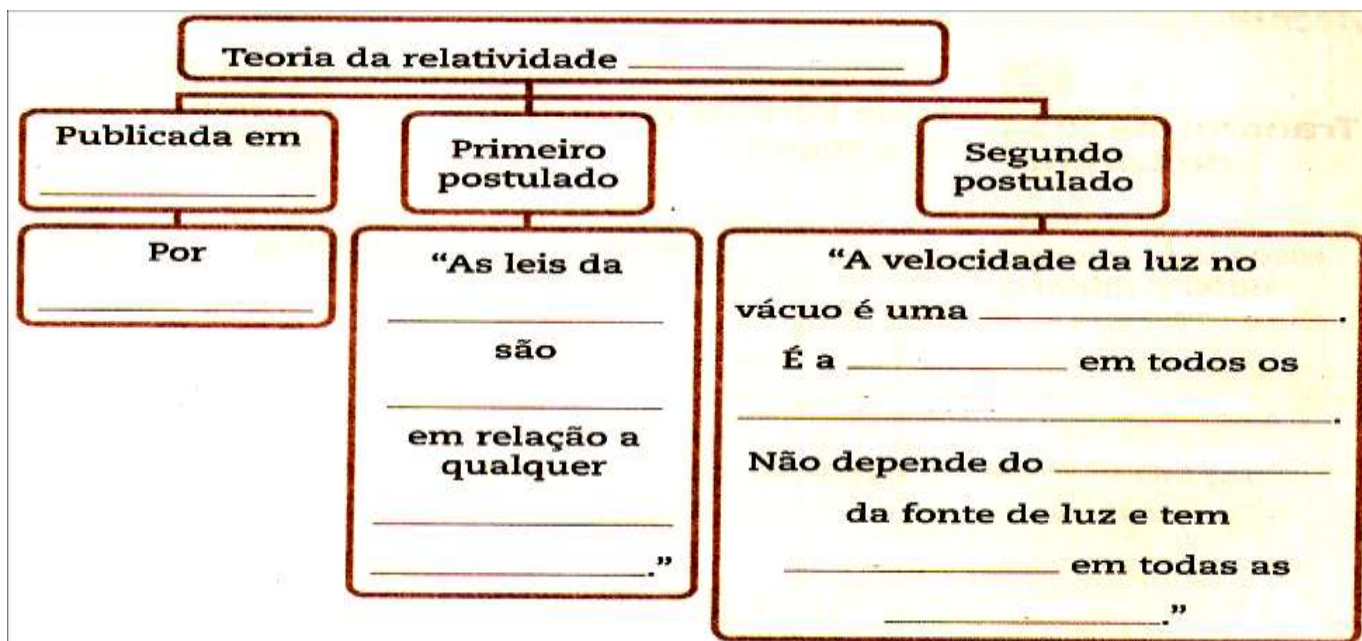
a) Simultaneidade _____

b) Referencial inercial _____

08 – A afirmação de que “a teoria da relatividade restrita é válida apenas para velocidades próximas à da luz” é verdadeira? Justifique sua resposta.

09 – Qual é o significado do conceito de “*tempo absoluto*” para a Física Clássica e como a relatividade restrita o invalidou?

10 – Resuma os dois primeiros postulados da teoria da relatividade especial completando os quadros abaixo.



11 – Considere um vagão em movimento retilíneo e uniforme, com velocidade v em relação ao solo. Um espelho plano está colocado no teto do vagão e uma lanterna está colocada em seu piso, a uma distância d do espelho. A lanterna emite do piso um pulso de luz que vai até o espelho no teto e retorna à lanterna. Suponha que um relógio, no pulso de um observador dentro do vagão, registre, entre dois eventos quaisquer ocorridos dentro do vagão, um intervalo de tempo de 12 minutos e que a velocidade do vagão seja de $0,8.c$ (80% da velocidade da luz no vácuo). Calcule então quanto tempo registra, entre esses eventos, um relógio no pulso de um observador que se encontra fora do vagão.

12 – Uma nave dirige-se verticalmente de encontro ao solo, com velocidade v igual a $0,6.c$ em relação a ele. Em certo instante, ela está começando a passar por um pico de 1000 m de altura, medida por um observador fixo no solo. Vamos determinar a que altura a nave se encontra nesse mesmo instante, medido por um de seus tripulantes.

13 – Vamos calcular a massa que teria uma pessoa se pudesse se mover com velocidade $0,8c$, considerando sua massa de repouso igual a 60 kg,

14 – Dois gêmeos, A e B, separam-se quando um deles (B) embarca em uma espaçonave para uma viagem até a estrela Alfa da constelação do Centauro, distante cerca de 4,0 anos-luz da Terra. A viagem transcorre a 80% da velocidade da luz ($0,8c$). Para o gêmeo A, que permaneceu na Terra, o tempo que o irmão B gasta na viagem de ida e volta é:

15 – Um astronauta parte em uma viagem de um ano para o espaço. No entanto, quando ele retorna, percebe que se passaram 15 anos na Terra. Qual foi a velocidade, supostamente constante, da espaçonave durante a viagem?

16 – Qual é o comprimento de um trem viajando a uma velocidade de 70% da velocidade da luz para uma pessoa que esta parada do lado de fora do trem, em uma plataforma de uma estação ferroviária? O comprimento do trem em repouso é de 200 metros.

17 – Uma pessoa parte em uma viagem espacial de 10 anos com velocidade de 70% da velocidade da luz. Após encerrar essa viagem, quanto tempo terá transcorrido para uma pessoa em repouso em relação à Terra?

18 – Com base no que você aprendeu sobre a Teoria da Relatividade Restrita, responda:

a) Com que comprimento apareceria uma régua de 1,0 m se ela estivesse se movimentando como se fosse uma lança arremessada a 99,5 % da velocidade da luz?

b) Qual seria o comprimento da régua se ela estivesse se deslocando com seu comprimento sendo perpendicular à direção do movimento? Justifique.

c) Se você estivesse numa nave espacial a 99,5 % da velocidade da luz com a régua no interior da nave, como ela pareceria a você?

19 - Vamos fazer a suposição de que uma nave espacial possa viajar com 80% da velocidade da luz. Sendo os tempos de aceleração e de desaceleração desprezíveis, qual será o tempo medido na Terra se os astronautas a bordo medirem o tempo de 6 horas?

20 – Se aquecermos uma porção de macarrão, ao fazermos com que ela absorva uma quantidade de calor de 180 kJ, em quanto a sua massa irá aumentar? Utilize: $c = 3 \times 10^8$ m/s.

21 – Uma espaçonave de ficção científica viaja com velocidade igual a 60% da velocidade da luz. Desprezando os tempos de aceleração e de desaceleração da espaçonave durante uma viagem, de ida e volta, em um total de 8,0 anos, medidos por uma astronauta a bordo da nave, calcule o tempo decorrido para a gêmea da astronauta que permaneceu na Terra.

22 – Uma partícula desloca-se a $2,994 \times 10^8$ m/s. Uma distância de 9.000 m em relação à Terra, quando percorrido pela partícula, vale para esta partícula, aproximadamente?

23 – Uma partícula, de massa de repouso igual a 10,00 mg, move-se com a velocidade $v = 0,30.c$, em que c é a velocidade da luz no vácuo. Determine sua massa nessa velocidade.

24 – Num acelerador de partícula, elétrons lançados com velocidade $v = 2,9 \times 10^8$ m/s percorrem um tubo de 3,2 km de comprimento. Qual é o comprimento desse tubo para os elétrons?

25 - O que significa dilatação do tempo?

26 - Um passageiro de um expresso interplanetário, deslocando-se com $v = 0.99.c$, tira uma soneca de cinco minutos pelo seu relógio. Quanto dura esta soneca do ponto de vista de um planeta considerado fixo?

TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Uma área importante da física é a relatividade, o campo de estudo dedicado à medida de eventos (acontecimentos): onde e quando ocorrem e qual a distância que os separa no espaço e no tempo. Além disso, a relatividade tem a ver com a relação entre os valores medidos em referenciais que estão se movendo um em relação ao outro (daí o nome relatividade).

A relação entre os resultados de medidas executadas em diferentes referenciais, era um assunto conhecido e tratado rotineiramente pelos físicos em 1905, ano em que Albert Einstein propôs a **teoria da relatividade restrita**. O adjetivo restrita é usado para indicar que a teoria se aplica apenas a referenciais inerciais, isto é, a referenciais em que as leis de Newton são válidas.

Partindo de dois postulados aparentemente simples, Einstein surpreendeu o mundo científico ao mostrar que as velhas ideias a respeito da relatividade estavam erradas, embora todos estivessem tão acostumados com elas que pareciam óbvias. O fato de parecerem óbvias era uma consequência do fato de que estamos acostumados a observar corpos que se movem com velocidades relativamente pequenas. A teoria da relatividade de Einstein, que fornece resultados corretos para todas as velocidades possíveis, previa muitos efeitos que, à primeira vista, pareciam estranhos justamente porque ninguém jamais os havia observado.

Em particular, Einstein demonstrou que o espaço e o tempo estão interligados, isto é, que o intervalo de tempo entre dois eventos depende da distância que os separa e vice-versa. Além disso, a relação entre espaço e tempo é diferente para observadores que estão em movimento um em relação ao outro. Uma consequência é o fato de que o tempo não transcorre a uma taxa fixa, como se fosse marcado com regularidade mecânica por algum relógio-mestre que controla o universo. Na realidade, o fluxo do tempo é ajustável: o movimento relativo modifica a rapidez com que o tempo passa. Antes de 1905, essa ideia seria impensável para a maioria das pessoas.

Os Postulados da Relatividade

Vejamos agora os dois postulados em que se baseia a teoria de Einstein.

I - Postulado da Relatividade: As leis da física são as, mesmas para todos os observadores situados em referenciais inerciais. Não existe um referencial absoluto.

Galileu postulou que as Leis da mecânica eram as mesmas em todos os referenciais inerciais. Einstein ampliou a ideia para incluir todas as leis da física, especialmente as do eletromagnetismo e da ótica.

II - Postulado da Velocidade da Luz: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor e em todas as direções e em todos os referenciais inerciais.

Outra forma de enunciar este postulado é dizer que existe na natureza uma velocidade limite c , que é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais. A luz se propaga com essa velocidade limite. Nenhuma entidade capaz de transportar energia ou informação pode exceder esse limite. Além disso, nenhuma partícula com massa diferente de zero pode atingir esse limite, mesmo que seja acelerada por um tempo muito longo. (Isso significa que, infelizmente, as naves que se movem mais depressa que a luz em muitas histórias de ficção científica provavelmente jamais serão construídas.)

Embora os dois postulados tenham sido exaustivamente testados, nenhuma exceção até hoje foi descoberta.

A Relatividade da Simultaneidade

Suponha que um observador (João) observa que dois eventos independentes (evento Vermelho e evento Azul) ocorreram simultaneamente. Suponha também que outro observador (Maria), que está se movendo com velocidade constante v em relação a João, também registra os dois eventos. Os eventos também são simultâneos para Maria? A resposta, em geral, é negativa.

Dois observadores em movimento relativo não concordam em geral, quanto à simultaneidade de dois eventos. Se um dos observadores os considera simultâneos, o outro em geral conclui que não são simultâneos.

Não podemos dizer que um observador está certo e o outro está errado; as observações de ambos são igualmente válidas e não há motivo para dar razão a um deles.

O fato de que duas afirmações contraditórias a respeito de um mesmo evento podem estar corretas é uma das conclusões aparentemente ilógicas da teoria de Einstein. Entretanto, discutimos outra forma pela qual o movimento pode afetar os resultados de uma medida sem nos espantarmos com os resultados contraditórios: no efeito Doppler, a frequência de uma onda sonora medida por um observador depende do movimento relativo entre o observador e a fonte. Assim, dois observadores em movimento relativo podem medir frequências diferentes para a mesma onda e as duas medidas estão corretas.

Chegamos, portanto, à seguinte conclusão:

A simultaneidade não é um conceito absoluto e sim um conceito relativo, que depende do movimento do observador.

Se a velocidade relativa dos observadores é muito menor que a velocidade da luz os desvios em relação à simultaneidade são tão pequenos que não podem ser observados. É o que acontece na vida cotidiana; é por isso que a relatividade da simultaneidade nos parece tão estranha.

Os Postulados A teoria da relatividade restrita de Einstein se baseia em dois postulados:

1. As leis das físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Não existe um referencial absoluto.

2. A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor e em todas as direções e em todos os referenciais inerciais.

A velocidade da luz no vácuo, c , é uma velocidade limite que não pode ser excedida por nenhuma entidade capaz de transportar energia ou informação.

Dilatação do tempo

A dilatação do tempo propõe que o intervalo de tempo marcado por um observador parado é maior que aquele marcado por alguém em movimento.

Antes das propostas feitas por Albert Einstein sobre movimentos com velocidades próximas à da luz, o tempo era tratado como algo absoluto, ou seja, a passagem do tempo deveria ocorrer da mesma forma em todos os lugares e para todos os possíveis observadores.

A Teoria da Relatividade, proposta por Einstein no início do século XX, mostrou que o tempo é relativo e mantém uma relação de interdependência com o espaço. De acordo com essa teoria, dois observadores que possuem movimento relativo entre si marcam intervalos de tempo diferentes ao observarem a ocorrência de dois fenômenos sucessivos.

Em tese, a relatividade propõe a dilatação do tempo. Os intervalos de tempo marcados por um observador em repouso são sempre maiores que os intervalos de tempo marcados por um observador em movimento com velocidade próxima à da luz.

Paradoxo dos gêmeos

O paradoxo dos gêmeos é uma forma simples de exemplificar a relatividade do tempo. Caso um homem faça uma viagem pelo espaço em uma nave que consiga viajar na velocidade da luz, quando ele retornar, parecerá mais jovem que seu irmão gêmeo que ficou na Terra.

Se a velocidade da nave fosse de 80% da velocidade da luz e o tempo da viagem fosse de quatro anos, o tempo marcado pelo gêmeo que ficou na Terra seria de dez anos. O tempo para o referencial parado sempre é maior que para o referencial em movimento. Nesse caso, a diferença de idade entre os irmãos gêmeos seria de seis anos.

A Contração do Espaço

Outra consequência notável da teoria da Relatividade Especial é que os comprimentos que medimos de corpos em movimento são relativos, isto é, diferem dependendo do movimento em relação aos observadores considerados.

Quando queremos medir o comprimento de um corpo que se encontra em repouso em nosso referencial, podemos, com toda a calma, medir as coordenadas das extremidades do corpo

usando uma régua estacionária e subtrair uma leitura da outra. Quando o corpo está em movimento, porém, precisamos observar a simultaneamente (em nosso referencial) as coordenadas das extremidades do corpo para que o resultado de nossas medidas seja válido.

O comprimento, de um corpo medido no referencial em que o corpo se encontra estacionário é chamado de comprimento próprio ou comprimento de repouso. O comprimento medido em outro referencial em relação ao qual o corpo está se movendo (na direção da dimensão que está sendo medida) é sempre menor que o comprimento próprio.

A contração da distância ocorre apenas na direção do movimento relativo. Além disso, a distância medida não precisa ser o comprimento de um corpo; pode ser também a distância entre dois corpos no mesmo referencial, como o Sol e uma estrela vizinha (que estão, pelo menos aproximadamente, em repouso um em relação ao outro).

Massa Relativística

Quando aplicamos em um corpo uma força de intensidade F , fazemos com que ele adquira velocidade, ou melhor, podemos aumentar sua velocidade de forma indefinida. Agora, se um corpo atingisse a velocidade da luz no vácuo, a força não mais seria capaz de acelerá-lo, pelo fato de ter sido atingida a velocidade limite, isto levando em conta a Teoria da Relatividade.

Nesse caso, poderíamos dizer que a inércia desse corpo seria finita. Sendo assim, cada vez que aumentamos a velocidade de um corpo, aumentamos também sua inércia. Caso continuemos a aumentar sua velocidade, tendendo à velocidade da luz, a sua inércia tenderá a ficar infinitamente grande.

RELATIVIDADE

Na segunda metade do século XIX duas importantes teorias físicas se sobressaíram: a Mecânica Newtoniana e o Eletromagnetismo de Maxwell. De fato, os conhecimentos e os avanços que estas teorias proporcionaram foram enormes! Provocaram profundas mudanças, inclusive filosóficas, em toda a humanidade.

Particularmente, a **luz**, tão importante pela visão humana, está em movimento, o que é descrito pela Mecânica, e trata-se de uma onda eletromagnética, descrita no Eletromagnetismo. Sua **velocidade** é motivo de especulações filosóficas desde a antiguidade, da Grécia a outras culturas.

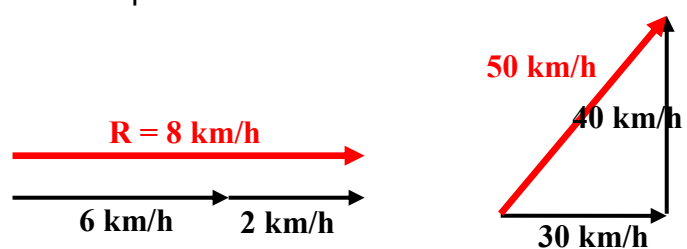
Pelo que se tem registro, sua primeira medida ocorreu em 1676 por Romer (1644-1710). Fazendo observações sobre a lua *Io*, de Júpiter, ele previu um eclipse que ocorreu com um atraso de 17 minutos. De forma muito perspicaz, ele concluiu que o atraso em relação à sua previsão se devia à diferença de distância entre os astros – Terra e *Io* – na época em que fez os cálculos e no dia do eclipse e **devido à velocidade da luz ser grande, mas finita**. Não infinita como chegou-se a acreditar!

Huygens (1629-1695) e Newton também pesquisaram a luz, suas propriedades e, claro, velocidade. Mas foi o inglês **Bradley** (1693-1762) quem deu mais um passo decisivo no seu cálculo. Ele e um amigo desejavam medir a *paralaxe*, ou deslocamento de uma estrela no céu. Segundo o historiador Isaac Asimov,

Bradley, passeando de navio e notando o balançar da bandeira do mastro, compreendeu a composição entre a velocidade da luz e a velocidade da Terra. Pasmem, pois se hoje conhecemos seu valor enorme, ele levou em conta a distância entre a objetiva e a ocular de um telescópio e o tempo que a luz gasta neste diminuto trajeto! E calculou a velocidade da luz em 295.000 km/s no ano de 1728! Erro de 2% apenas! É atribuído a ele, também, a introdução do conceito de ano-luz.

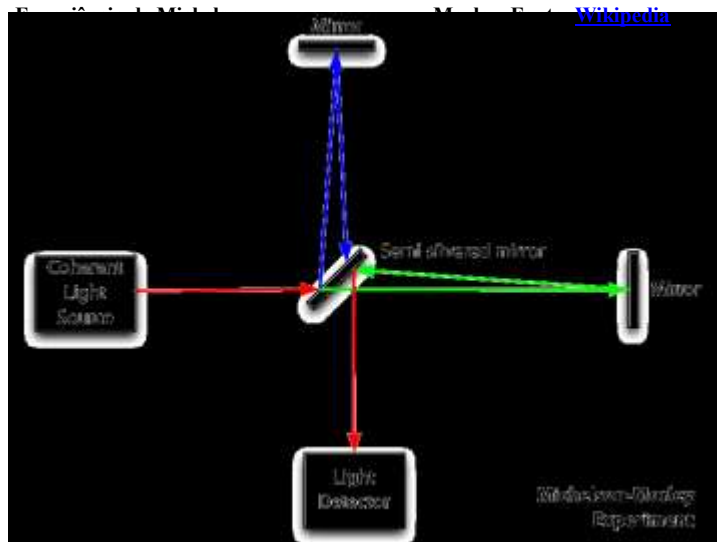
Posteriormente, **Fizeau** (1819-1896) em 1849, **Foucault** (1819-1868) – o do pêndulo – e sucessivas melhorias nas medições até os atuais $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

E, com esta velocidade “enorme”, vários cientistas decidiram medir **composições de velocidade**. Grosso modo, era de se esperar que a velocidade da luz se *somasse* ou se *subtraísse* como qualquer operação vetorial. Por exemplo:



Uma velocidade grande o suficiente para conseguir ser medida ao se *somar* com a luz seria a da Terra. No famoso experimento de **Michelson e Morley** eles tentaram medir a diferença entre a velocidade da luz na direção

do movimento da Terra e perpendicular a ele, sem nada encontrar.



Nesta época havia a [Teoria do Éter](#), uma espécie de *fluido invisível*, sem densidade e *onipresente*, em relação ao qual também se tentava medir a velocidade da luz. E um adepto desta teoria foi Lorentz (1853-1928), que deixou as suas chamadas [Transformações](#) de 1904 e interpretações como *mudança do tempo*, bases da Relatividade Restrita de Einstein publicada pela primeira vez em 1905.

Considerando a **invariância** da velocidade da luz em todos os experimentos até então, fugindo da Teoria estranha do Éter e tendo o brilhantismo de ousar pensar o que ninguém pensara, Einstein propôs os dois **Postulados** que podem ser escritos da seguinte forma:

- **As leis da Física são equivalentes em qualquer referencial inercial.**
- **A velocidade da luz c tem o mesmo valor em qualquer referencial inercial.**

Ao postular que a velocidade da luz era constante e partindo das transformações de Lorentz, Einstein chegou às conclusões que fugiam completamente do chamado *senso comum*. Daí a dificuldade dos que o precederam em aceitar as previsões – hoje mais que confirmadas – que a Relatividade fazia.

Para começar, ela derruba a ideia de *espaço* e *tempo* imutáveis e constantes. O comprimento passa a ser uma grandeza que depende do observador, bem como o tempo não passa mais do mesmo jeito, igualzinho, em qualquer circunstância! Massa e Energia se tornam grandezas intercambiáveis! E a Física nunca mais foi a mesma!

Fator de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

O termo " v^2 " se refere à velocidade do corpo. Note que, se $v \ll c$, os chamados *efeitos relativísticos* serão insignificantes, que é o que ocorre a maior parte das vezes.

Dilatação do tempo: $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_o$

Onde:

Δt é o intervalo de tempo para alguém *parado* vendo outra pessoa se mover e Δt_o o tempo medido por quem estava *se movendo*.

Contração do Espaço:

$$L = \frac{L_o}{\gamma}$$

Onde:

L é o comprimento de um objeto medido por alguém *em movimento* em relação a ele e L_o o comprimento do mesmo objeto medido em repouso.

Massa Relativística: $m = \gamma \cdot m_o$

Onde:

m é a massa de uma partícula que se move à velocidade v e m_o sua chamada *massa de repouso*.

Energia de Repouso e Equivalência Massa-Energia:

$$E = m_o c^2$$

, fórmula mais famosa da Física!

