



DISCIPLINA: FÍSICA MODERNA	PROFESSOR (A): DIÂNGELO		VERIFICAÇÃO 3º Bimestre	VALOR 3,0 pontos
DATA: ____/____/2018		NOTA	CONTEÚDO	
ALUNO (A): _____ Nº: _____		Data de entrega: ____/____/2018 Somente na 1ª aula	Física Moderna	
		SÉRIE/ANO: 3º	TURMA(S): A, B, C, D, E, F e G	Nº DE QUESTÕES: 17

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 e, 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

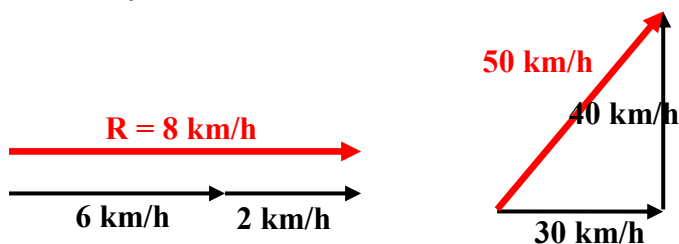
fez os cálculos e no dia do eclipse e **devido à velocidade da luz ser grande, mas finita**. Não infinita como chegou-se a acreditar!

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.

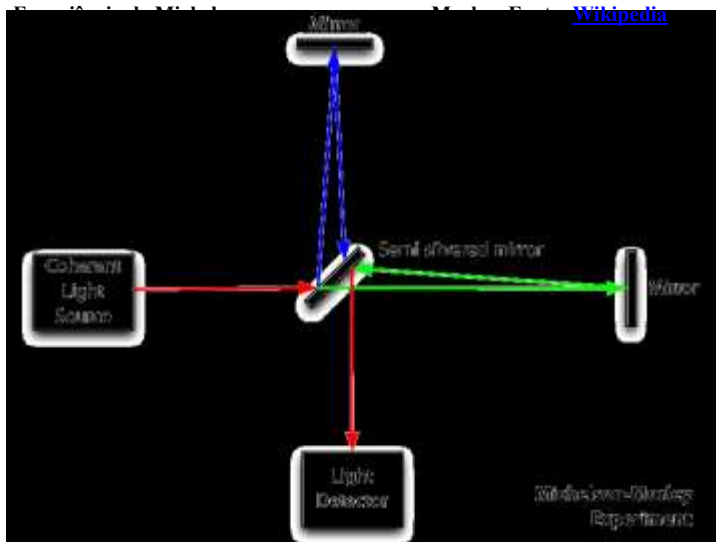
Posteriormente, Fizeau (1819-1896) em 1849, Foucault (1819-1868) – o do pêndulo – e

sucessivas melhorias nas medições até os atuais $c = 3.10^8 \text{ m/s}$.

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 à conclusão 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!



DISCIPLINA: FÍSICA MODERNA	PROFESSOR (A): DIÂNGELO	VERIFICAÇÃO	VALOR
DATA: ____/____/2018		3º Bimestre	6,0 pontos
ALUNO (A): _____ Nº: _____		NOTA	CONTEÚDO
		Data de entrega: ____/____/2018 Somente na 1ª aula	Física Moderna
		SÉRIE/ANO:3º	TURMA(S): A, B, C, D, E, F e G
		Nº DE QUESTÕES:17	

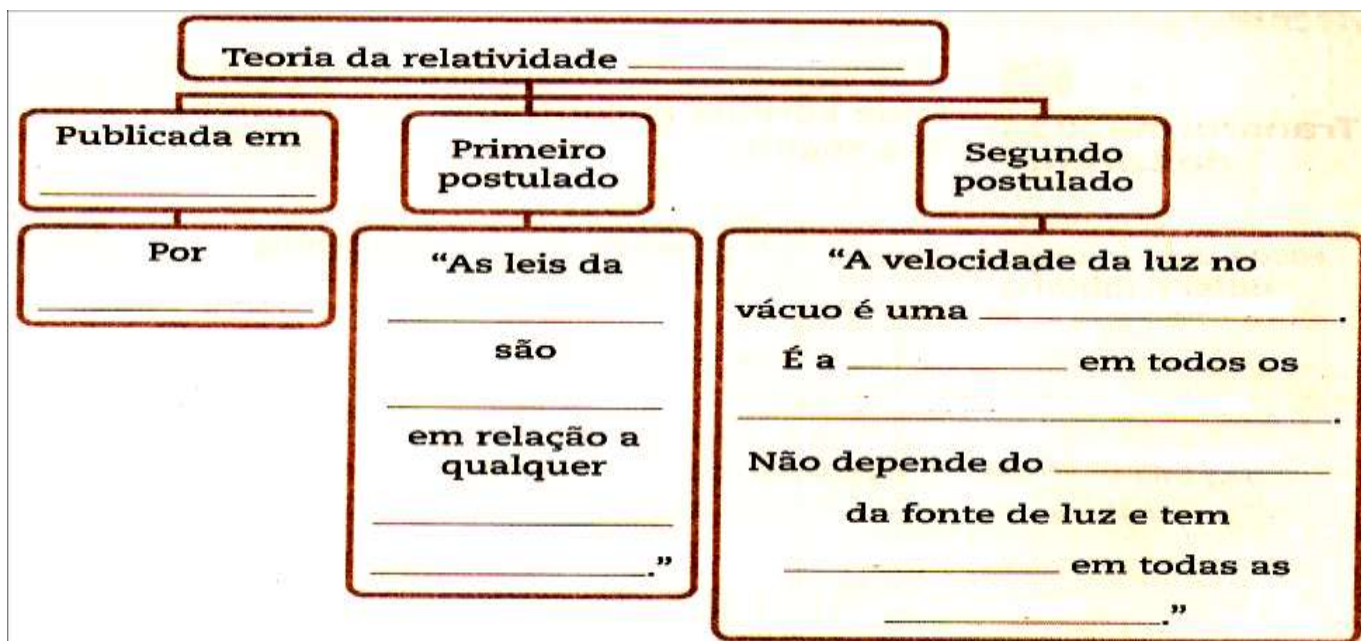
EXERCÍCIOS

01 – Defina os termos ou conceitos a seguir:

a) Simultaneidade _____

b) Referencial inercial _____

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



03 – 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?

04 – 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.

05 – 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 anos, medidos por uma astronauta a bordo da nave, calcule o tempo decorrido para a gêmea da astronauta que permaneceu na Terra.

06 – 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?

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

08 – José e Pedro são irmãos gêmeos. Há 25 anos, José partiu para uma missão espacial a bordo de uma nave, viajando a uma velocidade de 200000 km/s ($2,0 \times 10^8$ m/s). Quando retornou à Terra, encontrou Pedro com 85 anos de idade. Qual a idade real de José ao retornar à Terra? Dado: $c = 3,0 \times 10^8$ m/s.

09 – 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?

10 - Leopoldo se encontra sentado numa calçada de uma avenida observando os carros passarem. Se num instante de tempo $t_0 = 0$ um automóvel passa por Leopoldo a uma velocidade constante de 54 km/h, em relação a este, determine quanto tempo irá levar para que o automóvel esteja a uma distância de 300 m em relação a Leopoldo.

11 - Se você caminha dentro de um trem com velocidade constante de 5,0 km/h, na mesma direção e sentido que este se move com 50 km/h em relação ao solo, determine a sua velocidade em relação ao solo?

12 - Uma nave espacial se move com uma velocidade constante de 1500 m/s em relação a um planeta próximo. Em um determinado instante a nave lança a sua frente, na mesma direção e sentido do deslocamento da nave, uma sonda com uma velocidade de 15 m/s em relação à nave. Determine a velocidade com que uma pessoa fixa no planeta observará a sonda se mover. Indique qual teoria, relatividade clássica de Galileu ou Relatividade Especial de Einstein, melhor se adequa para encontrar a solução deste problema e explique o porquê.

13 - 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 asteróides 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 asteróides. Determine a velocidade com que uma pessoa fixa no planeta observará o pulso de luz se mover:

- a) $v_{\text{luz}} = 200000$ km/s
- b) $v_{\text{luz}} = 400000$ km/s
- c) $v_{\text{luz}} = 500000$ km/s
- d) $v_{\text{luz}} = 300000$ km/s
- e) zero

14 - O que significa dilatação do tempo?

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

17 - A estrela mais próxima do nosso sistema solar é chamada de Alfa Centauro. Ela pertence a um sistema triplo de estrelas que fica na constelação do Centauro. A distância dessa estrela ao Sol foi medida com a ajuda de telescópios fixos na terra e vale aproximadamente 4,2 anos-luz. Considerando que uma nave espacial possa viajar a 0,9 da velocidade da luz e que esta faça uma viagem do Sol a Alfa Centauro, determine o espaço percorrido pela nave durante a viagem, medida pelo piloto da nave em anos-luz.