

Física

Aluno

Caderno de Atividades Pedagógicas de Aprendizagem Autorregulada - 03

1ª Série | 3º Bimestre

Disciplina	Curso	Bimestre	Série
Física	Ensino Médio	3º	1ª
Habilidades associadas			
1. Compreender que a Teoria da Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o Universo e uma nova visão de mundo.			
2. Compreender que o tempo e o espaço são relativos devido à invariância da velocidade da luz.			
3. Reconhecer tecido espaço-tempo sendo o tempo a quarta dimensão.			



SOMANDO FORÇAS

SECRETARIA
DE EDUCAÇÃO

Apresentação

A Secretaria de Estado de Educação elaborou o presente material com o intuito de estimular o envolvimento do estudante com situações concretas e contextualizadas de pesquisa, aprendizagem colaborativa e construções coletivas entre os próprios estudantes e respectivos tutores – docentes preparados para incentivar o desenvolvimento da autonomia do alunado.

A proposta de desenvolver atividades pedagógicas de aprendizagem autorregulada é mais uma estratégia para se contribuir para a formação de cidadãos do século XXI, capazes de explorar suas competências cognitivas e não cognitivas. Assim, estimula-se a busca do conhecimento de forma autônoma, por meio dos diversos recursos bibliográficos e tecnológicos, de modo a encontrar soluções para desafios da contemporaneidade, na vida pessoal e profissional.

Estas atividades pedagógicas autorreguladas propiciam aos alunos o desenvolvimento das habilidades e competências nucleares previstas no currículo mínimo, por meio de atividades roteirizadas. Nesse contexto, o tutor será visto enquanto um mediador, um auxiliar. A aprendizagem é efetivada na medida em que cada aluno autorregula sua aprendizagem.

Destarte, as atividades pedagógicas pautadas no princípio da autorregulação objetivam, também, equipar os alunos, ajudá-los a desenvolver o seu conjunto de ferramentas mentais, ajudando-o a tomar consciência dos processos e procedimentos de aprendizagem que ele pode colocar em prática.

Ao desenvolver as suas capacidades de auto-observação e autoanálise, ele passa a ter maior domínio daquilo que faz. Desse modo, partindo do que o aluno já domina, será possível contribuir para o desenvolvimento de suas potencialidades originais e, assim, dominar plenamente todas as ferramentas da autorregulação.

Por meio desse processo de aprendizagem pautada no princípio da autorregulação, contribui-se para o desenvolvimento de habilidades e competências fundamentais para o aprender-a-aprender, o aprender-a-conhecer, o aprender-a-fazer, o aprender-a-conviver e o aprender-a-ser.

A elaboração destas atividades foi conduzida pela Diretoria de Articulação Curricular, da Superintendência Pedagógica desta SEEDUC, em conjunto com uma equipe de professores da rede estadual. Este documento encontra-se disponível em nosso site www.conexaoprofessor.rj.gov.br, a fim de que os professores de nossa rede também possam utilizá-lo como contribuição e complementação às suas aulas.

Estamos à disposição através do e-mail curriculominimo@educacao.rj.gov.br para quaisquer esclarecimentos necessários e críticas construtivas que contribuam com a elaboração deste material.

Secretaria de Estado de Educação

Caro aluno,

Neste caderno você encontrará atividades diretamente relacionadas a algumas habilidades e competências do 3º Bimestre do Currículo Mínimo de Física da 1ª Série do Ensino Médio. Estas atividades correspondem aos estudos durante o período de um mês.

A nossa proposta é que você, Aluno, desenvolva estas Atividades de forma autônoma, com o suporte pedagógico eventual de um professor, que mediará as trocas de conhecimentos, reflexões, dúvidas e questionamentos que venham a surgir no percurso. Esta é uma ótima oportunidade para você desenvolver a disciplina e independência indispensáveis ao sucesso na vida pessoal e profissional no mundo do conhecimento do século XXI.

Neste Caderno de Atividades, vamos aprender sobre a Teoria da Relatividade de Albert Einstein e como esta teoria mudou as nossas concepções seculares sobre o tempo e o espaço e com isso a nossa própria concepção sobre o universo.

Este documento apresenta 5 (cinco) Aulas. As aulas podem ser compostas por uma **explicação base**, para que você seja capaz de compreender as principais ideias relacionadas às habilidades e competências principais do bimestre em questão, e **atividades** respectivas. Leia o texto e, em seguida, resolva as Atividades propostas. As Atividades são referentes a dois tempos de aulas. Para reforçar a aprendizagem, propõe-se, ainda, uma **pesquisa** e uma **avaliação** sobre o assunto.

Um abraço e bom trabalho!

Equipe de Elaboração

Sumário

+ Introdução.....	03
+ Aula 01: Física Clássica.....	05
+ Aula 02: Teoria da Relatividade Restrita	12
+ Aula 03: Dilatação do tempo e contração do espaço.....	21
+ Avaliação.....	29
+ Pesquisa:	32
+ Referências.....	33

Aula 1: Física clássica

Caro aluno, a teoria da relatividade elaborada por Albert Einstein mudou profundamente o nosso conhecimento sobre o Universo e o mundo que nos cerca. Suas conclusões a respeito do tempo e do espaço contrariam totalmente o nosso senso comum e o conhecimento acumulado por mais de vinte séculos pela humanidade sobre estes assuntos.

Neste caderno de estudos serão apresentados três destes fenômenos relativísticos, a relatividade da simultaneidade, a dilatação do tempo e a contração do espaço, porém, para compreender perfeitamente estes fenômenos é preciso compreender como a física clássica¹ os explicava anteriormente, para aí sim, entender o impacto das suas mudanças.

Desta forma, na primeira aula deste caderno serão apresentados alguns conceitos importantes da física clássica e como ela explicava os fenômenos da simultaneidade e da dilatação do tempo.

Galileu percebeu que para descrevermos o movimento dos corpos quantitativamente é preciso adotar um referencial² e, além disso, é preciso que o observador disponha de um relógio para medir o tempo.

A relatividade galileana foi o termo usado por Einstein para tratar da descrição de movimentos em relação a um referencial inercial, ou seja, um referencial em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação a outro referencial.

A relatividade galileana trata dos movimentos em relação a um referencial inercial. Se um referencial qualquer estiver em repouso ou se movimentando em linha reta com velocidade constante (movimento retilíneo uniforme), ele é denominado

¹ Costuma-se denominar física clássica os conhecimentos sobre os conhecimentos físicos anteriores aos trabalhos de Albert Einstein. A física clássica também é chamada de física newtoniana.

² Vocês estudaram isto no primeiro bimestre, se lembram? Para afirmar se algo ou alguém está em movimento ou repouso é preciso antes escolher um referencial.

inercial. Assim, se em relação ao solo um carro estiver parado ou se movendo com velocidade constante de 80 km/h, ambos são ditos referenciais inerciais.

Galileu havia entendido que o tempo e o espaço são absolutos, independentem do referencial, sejam eles referenciais inerciais ou não. Isto significa que o tempo passa da mesma forma para todas as pessoas. Se você ligar para uma pessoa marcando um encontro na casa dela dentro de uma hora, não precisa se preocupar que o tempo passe diferente para ela. Mesma coisa ocorre com o espaço. Se o comprimento de um ônibus é de 15 metros, ele terá 15 metros para uma pessoa que está dentro do ônibus em movimento e terá também 15 metros para uma pessoa que está no ponto esperando por ele.

Estas eram as conclusões de Galileu sobre tempo e espaço e elas são exatamente aquilo que a maioria de nós pensa sobre estes assuntos. Não há nenhuma novidade aqui. Porém, ao estudar um movimento em dois referenciais distintos, este mesmo movimento poderá ser diferente, basta que um dos referenciais esteja se movendo em relação ao outro. Assim, parte do trabalho do Galileu foi estudar um mesmo movimento para dois referenciais distintos e faremos uma rápida introdução a este assunto nesta aula. Vamos começar?

As transformações de Galileu

Dado dois referenciais S e S' , como mostra a figura abaixo, as coordenadas espaciais e o tempo se relacionam a partir das seguintes expressões:

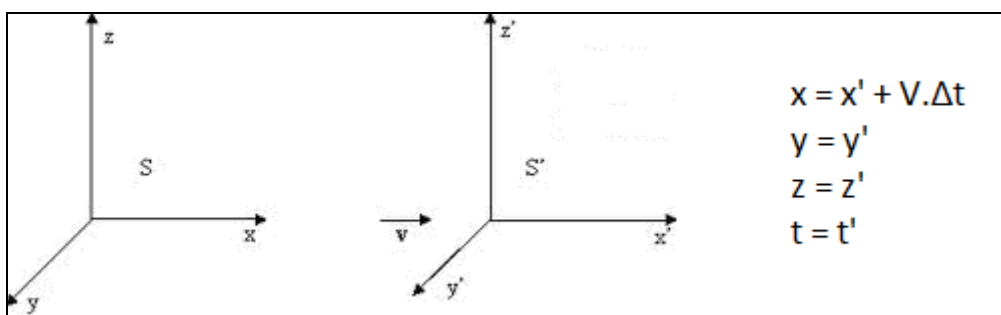


Figura 1 – Referenciais inerciais S e S' e as transformações de Galileu.

(Acervo pessoal)

Notamos que as mudanças nas coordenadas só ocorrem na direção em que ocorre o movimento, por isso as coordenadas y e z são as mesmas nos dois referenciais. Notamos também que para Galileu o tempo é o mesmo nos dois referenciais ($t = t'$), o que está de acordo com o que observamos no nosso dia a dia e com o nosso senso comum.

A partir destas expressões podemos obter uma que relaciona as velocidades nos dois referenciais, basta dividirmos todos os termos da expressão por Δt .

$$\frac{x}{\Delta t} = \frac{x'}{\Delta t} + \frac{V \cdot \Delta t}{\Delta t}$$

Como $t = t'$, podemos considerar $\Delta t = \Delta t'$ na expressão anterior.

$$\frac{x}{\Delta t} = \frac{x'}{\Delta t'} + \frac{V \cdot \Delta t}{\Delta t}$$

$$V_s = V_{s'} + V$$

E assim obtemos uma fórmula que expressa a velocidade relativa entre dois referenciais inerciais. Onde V_s é a velocidade medida no referencial S , $V_{s'}$ é a velocidade medida no referencial S' e V a velocidade do referencial S' medida em S .

Vamos imaginar um exemplo para melhor compreender estas idéias. Pense que você esteja parado na plataforma de uma estação de trem. Está será o referencial S . Enquanto espera o seu trem chegar você observa outros trens passando pela estação. O trem será o referencial S' . Se considerarmos que o trem esteja se movendo em uma trajetória retilínea e com velocidade constante teremos então dois referenciais inerciais e as transformações de Galileu podem ser aplicadas para estudar e relacionar o movimento em qualquer um destes dois referenciais.

Vamos imaginar agora que exista uma pessoa dentro do vagão do trem e vamos pensar em duas situações distintas. Na primeira a pessoa está parada dentro do vagão e na outra ela se move dentro do vagão no mesmo sentido do movimento do trem. As figuras 2 e 3 representam estas duas situações.

Para facilitar o estudo destes movimentos imaginem que as figuras representam fotografias tiradas pelos observadores em três instantes diferentes, com o tempo de um segundo entre duas fotografias.

Na situação 1, o passageiro dentro do vagão está em repouso em relação ao vagão, assim o observador no referencial S' vê o passageiro em repouso, a sua posição no referencial S' não muda, nos três instantes de tempo destacados na figura $x' = 5\text{m}$. Já para o observador no referencial S , ele vê o passageiro se mover junto com o trem, assim sua velocidade é de 5 m/s .

Na situação 2, o passageiro dentro do vagão está em movimento em relação ao vagão, com uma velocidade $V_{S'} = 5\text{ m/s}$, assim o observador no referencial S' vê o passageiro em movimento com esta velocidade. Já o observador no referencial S vê o passageiro se movimentar com uma velocidade combinada de 10 m/s , pois a cada segundo ele se desloca 10 metros no referencial S .

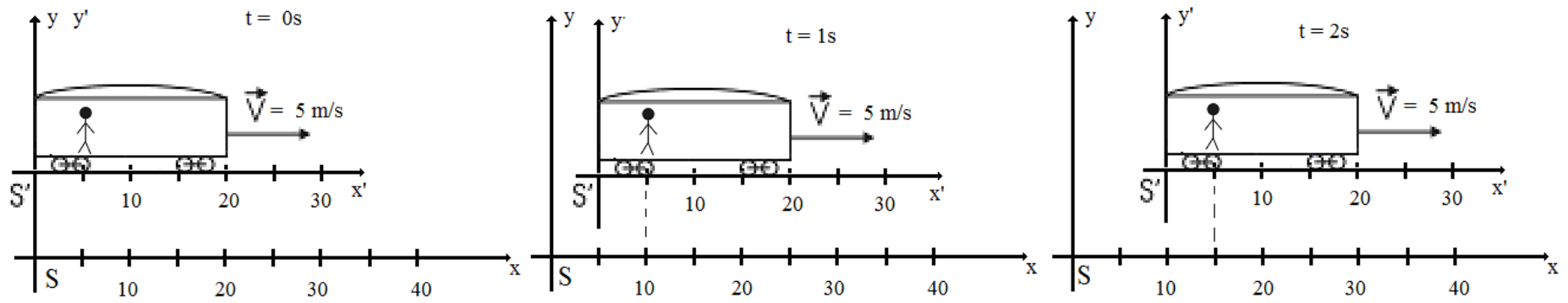


Figura 2 – Passageiro em repouso no referencial S' . (acervo pessoal)

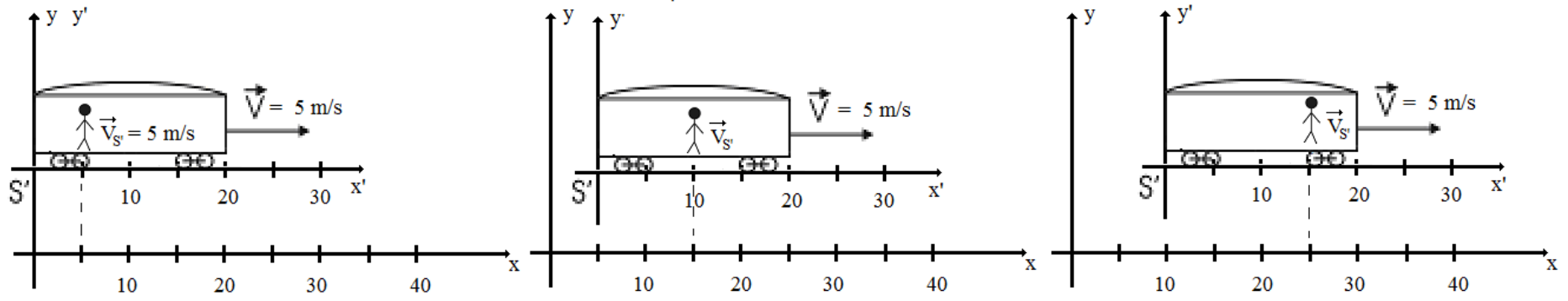


Figura 3 – Passageiro em movimento no referencial S' . (acervo pessoal)

Estas relações estabelecidas por Galileu Galilei são um ponto de partida para o surgimento e estabelecimento da Física Clássica décadas depois. Foi a partir dele que se estabeleceu a validade das leis da mecânica em referenciais inerciais.

Exemplo:

1) (FEI) Um vagão está animado de velocidade cujo módulo é V , relativa ao solo. Um passageiro, situado no interior do vagão move-se com a mesma velocidade, em módulo, com relação ao vagão. Podemos afirmar que o módulo da velocidade do passageiro, relativa ao solo, é:

- a) certamente menor que V ;
- b) certamente igual a V ;
- c) certamente maior que V ;
- d) um valor qualquer dentro do intervalo fechado de 0 a $2V$;
- e) n.d.a

Gabarito: O solo representa o referencial S enquanto que o trem representa o referencial S' . O módulo de uma grandeza não possui sinal, então pelo enunciado não temos como saber se o passageiro está se movendo no sentido do trem ou no sentido oposto. Para resolver o exercício será necessário analisar as duas situações:

1° caso: Passageiro movendo-se no sentido do trem:

$$V_s = V_{s'} + V$$

$$V_s = V + V = 2V$$

2° caso: Passageiro movendo-se no sentido oposto ao movimento do trem:

$$V_s = -V_{s'} + V$$

$$V_s = -V + V = 0$$

Alternativa d.

Atividade 1



Agora aluno, vamos praticar e desenvolver seus conhecimentos.

01) Um barco, com motor a toda potência, sobe o rio a 16 km/h e desce a 30 km/h, velocidades essas, medidas em relação às margens do rio. Sabe-se que tanto subindo como descendo, o barco tinha velocidade relativa de mesmo módulo, e as águas do rio tinham velocidade constante V . Nesse caso, V , em km/h é igual a:

- a) 7,0
- b) 10
- c) 14
- d) 20
- e) 28

02) Um homem rema um barco com velocidade de 5,00 km/h na ausência de correnteza. Quanto tempo ele gasta para remar 3,00 km rio abaixo e voltar ao ponto de partida num dia em que a velocidade da correnteza é de 1,0 km/h?

- a) 1,25 h
- b) 1,20 h
- c) 1,15 h
- d) 1,10 h
- e) 1,00 h

Aula 2: Teoria da relatividade restrita

Vimos na aula anterior que Galileu Galilei desenvolveu um conjunto de expressões que permitia relacionar o movimento entre dois referenciais inerciais, algumas décadas depois Newton ampliaria estas relações entre dois referenciais inerciais, ele estabeleceu que as três leis de Newton são válidas para qualquer referencial inercial.

Uma explicação mais detalhada desta validade foge do propósito desta aula, assim será dado um rápido exemplo visando auxiliar a compreensão deste princípio. Voltemos ao exemplo anterior da aula anterior onde analisamos o movimento de um passageiro no interior de um vagão de trem.

Vejamos a figura 3, nela o passageiro está se movimentando nos dois referenciais, cuja diferença é a velocidade do passageiro para os dois referenciais, mas em ambos os referenciais o passageiro move-se com velocidade constante numa linha reta, podemos então afirmar que a condição da inércia é válida nos dois referenciais e que a força resultante que age sobre o passageiro é nula. Se ele estiver com um movimento acelerado em um dos referenciais, no outro referencial seu movimento também precisará ser acelerado.

Dois dos princípios mais relevantes da mecânica são o princípio da conservação da energia mecânica e o princípio da conservação da quantidade de movimento³, ambos os princípios são desenvolvidos a partir das três leis de Newton, então se em um referencial inercial a energia mecânica de um corpo se conserva, e em qualquer outro referencial inercial se espera que ocorra o mesmo. Assim, se estabelece a validade das leis da mecânica para qualquer referencial inercial.

Uma vez estabelecida esta validade, nos séculos seguintes os físicos buscaram estabelecer a validade de todas as leis da física em referenciais inerciais, porém, o

³ Você estudará o princípio da conservação da quantidade de movimento no quarto bimestre e o princípio da conservação da energia na segunda série.

desenvolvimento do Eletromagnetismo no final do século XIX, indicava que isto não seria possível.

Alguns fenômenos eletromagnéticos estudados neste período aparentavam explicações diferentes quando se passava de um referencial inercial para outro. Um exemplo é o aparecimento da corrente elétrica em condutor quando um ímã e um condutor se aproximam. As explicações, leis e teorias, que explicam o aparecimento da corrente elétrica no condutor são diferentes dependendo de quem está se movendo.

Se o ímã está em movimento e o condutor em repouso, estabelece-se nas vizinhanças do ímã um campo elétrico, que produz uma corrente elétrica no condutor. Mas se é o ímã que está em repouso e o condutor em movimento, não há nenhum campo elétrico gerado pelo ímã, há uma força eletromotriz no condutor, que dá origem a uma corrente elétrica de mesma magnitude e sentido que a produzida no primeiro caso, pelas forças elétricas, desde que sejam iguais os movimentos relativos nas duas situações.

O fenômeno é o mesmo, o aparecimento da corrente elétrica, mas dependendo de quem está se movendo, o condutor ou o ímã, as leis e teorias que dão origem a este fenômeno não são, estabelecendo assim uma incômoda assimetria em fenômenos eletromagnéticos.

E esta aparente assimetria incomodava vários físicos, motivando-os a procurar uma forma de compatibilizar os fenômenos eletromagnéticos com a física clássica e eles perceberam que uma solução para estas assimetrias poderia ser resolvida se as concepções sobre o tempo e o espaço fossem revistas. A contribuição destes físicos resultou naquilo que hoje é conhecido como teoria da relatividade especial e um dos seus primeiros postulados é estabelecer a igualdade das leis da física entre dois referenciais inerciais, vamos então estudar um pouco mais sobre a teoria da relatividade de Albert Einstein.

Os dois postulados da teoria restrita

A teoria da relatividade restrita proposta por Albert Einstein possui somente dois postulados, dois princípios gerais que são válidos na Natureza, são eles:

- 1. “As leis da Física são iguais em qualquer referencial inercial, ou seja, não existe referencial inercial preferencial”;**
- 2. “A luz sempre se propaga em um meio com a mesma velocidade, independente do referencial inercial adotado”.**

Para entender o primeiro postulado vamos analisar a seguinte situação. Imagine que você esteja dentro de um trem e olha pela janela e vê outro trem, nos trilhos ao lado se movendo. Pela percepção visual tudo que você afirmar é que existe movimento relativo entre o seu trem e o outro, não há como dizer qual deles está em movimento. Ele pode estar em repouso em relação ao solo e o outro trem se movendo, ou ele pode estar se movendo em relação ao solo e o outro trem em repouso, ou ambos podem estar em movimento em relação ao solo.

Segundo Galileu e Newton não haveria nenhuma experiência mecânica que poderia ser feito no interior do trem que fosse capaz de afirmar se o trem em que você está está em movimento ou repouso. Einstein estende esta insensibilidade ao movimento para outros ramos da Física. Nenhum experimento seja ele mecânico, eletromagnético ou óptico jamais pôde revelar se um referencial inercial está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Este é o significado do primeiro postulado.

O segundo postulado estabelece que a velocidade da luz é constante, independente do referencial no qual ela é observada, ou seja, ela não segue as transformações de Galileu.

Imagine uma nave espacial viajando pelo espaço interestelar, no meio do éter, com uma velocidade de 30 km/s. Imagine também que um segundo observador, na Terra estivesse com um potente telescópio e um equipamento de precisão que pudesse medir a velocidade de um pulso de luz⁴, oriundo do farol dianteiro e traseiro da nave. Como esse foguete está em alta velocidade, ele seria capaz de afetar a velocidade da luz. Seria esperado que a luz se movesse com velocidade $(c + 30)$ km/s, se estivesse a favor do éter, e se estivesse contra o éter, o pulso teria velocidade de $(c$

⁴ A velocidade da luz é aproximadamente 300.000 km/s e é representada pela letra c .

– 30) km/h. Diferentemente do que se esperava a lei da composição das velocidades de Galileu não funciona com a luz. Em ambos os casos, o observador vê o pulso de luz com a mesma velocidade.

Isto mudou completamente as noções que a física tinha sobre tempo e espaço. Na relatividade galileana tempo e espaço são absolutos. Na relatividade restrita a velocidade da luz é absoluta e a partir dela que se calcula o tempo e o espaço, ou seja, tempo e espaço são relativos.

Vamos então a partir deste momento e na próxima aula estudar as mudanças que esta nova concepção sobre tempo e espaço trouxe para a física. Para deixar claro estas mudanças faremos uma comparação do que deveria ocorrer de acordo com as leis da mecânica e o que de fato ocorre a partir da teoria da relatividade. Vamos lá?

Relatividade da Simultaneidade.

Na mecânica clássica se dois eventos são simultâneos em referencial inercial, eles serão simultâneos em qualquer outro referencial inercial. Vamos pensar um pouco mais sobre isto. O exemplo analisado será uma experiência de pensamento⁵, um recurso utilizado frequentemente por Einstein suas idéias sobre a teoria da relatividade.

Imagine um trem de 120.000 km de comprimento que se move com uma velocidade de 100.000 km/s. No interior deste trem, localizado exatamente no meio dele, existe um dispositivo que emite ao mesmo tempo dois pulsos de luz, um no sentido do movimento do trem e outro no sentido inverso. Nas traseira e dianteira do trem existem dois instrumentos que ao receberem este pulso disparam um flash luminoso de alta intensidade que pode ser observado a milhares de quilômetros de distância.

Um passageiro no interior deste trem perceberia os dois flashes disparando simultaneamente. Para ele a velocidade da luz é 300.000 km/s e como o dispositivo está instalado exatamente no meio do trem, os dois pulsos levariam o mesmo tempo para chegar aos detectores, por isso estes eventos seriam simultâneos para o

⁵ Dizemos que são experiências de pensamento porque os valores das grandezas utilizadas nestas experiências são completamente fora da nossa realidade, como um trem de 120.000 km que se move com uma velocidade de 100.000 km/s.

passageiro. De acordo com a física clássica uma pessoa que estivesse acompanhando o movimento deste trem por outro referencial inercial também deveria ver os dois flashes sendo disparados simultaneamente. A figura abaixo busca ilustrar isto.

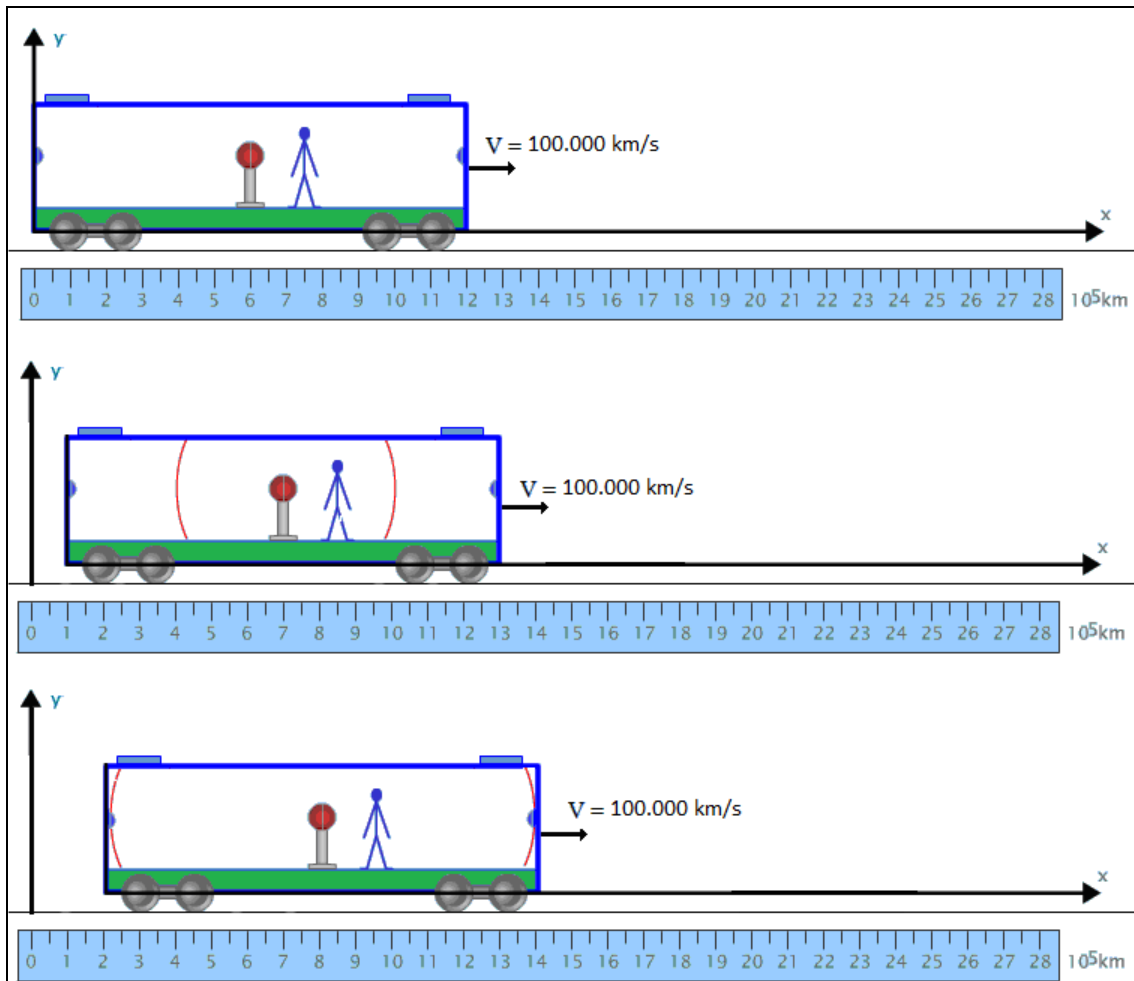


Figura 4 – Simultaneidade clássica (Acervo pessoal)

A partir do momento em que o dispositivo central dispara os dois pulsos luminosos, a distância que os pulsos percorrem para chegar às paredes não é a mesma. Enquanto que a parede traseira isto indo de encontro ao pulso, a dianteira está se afastando dele. A figura deixa isto claro, o pulso dianteiro percorrer 800.000 km para chegar ao dispositivo, enquanto que o pulso traseiro percorre 400.000 km para chegar à traseira do trem, porém, as velocidades relativas dos pulsos de luz seriam alteradas pelo movimento do trem. O pulso dianteiro teria uma velocidade relativa de 400.000 km/s, enquanto que o pulso traseiro teria uma velocidade relativa de 200.000 km/s. Assim, para uma pessoa que estivesse acompanhando o movimento do trem em outro referencial inercial também veria os dois eventos simultaneamente,

como previa a física clássica. O que a teoria da relatividade de Albert Einstein mudou nisso?

De acordo com o segundo postulodo, a velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais inerciais, ou seja, um observador que esteja acompanhando o movimento do trem perceberia que a velocidade dos dois pulsos é a mesma, 300.000 km/s, desta forma ela veria o flash traseiro primeiro e depois o flash dianteiro. A simultaneidade é relativa, o que é simultâneo em um referencial inercial não necessariamente será simultâneo em outro referencial. A figura a seguir ilustra isto.

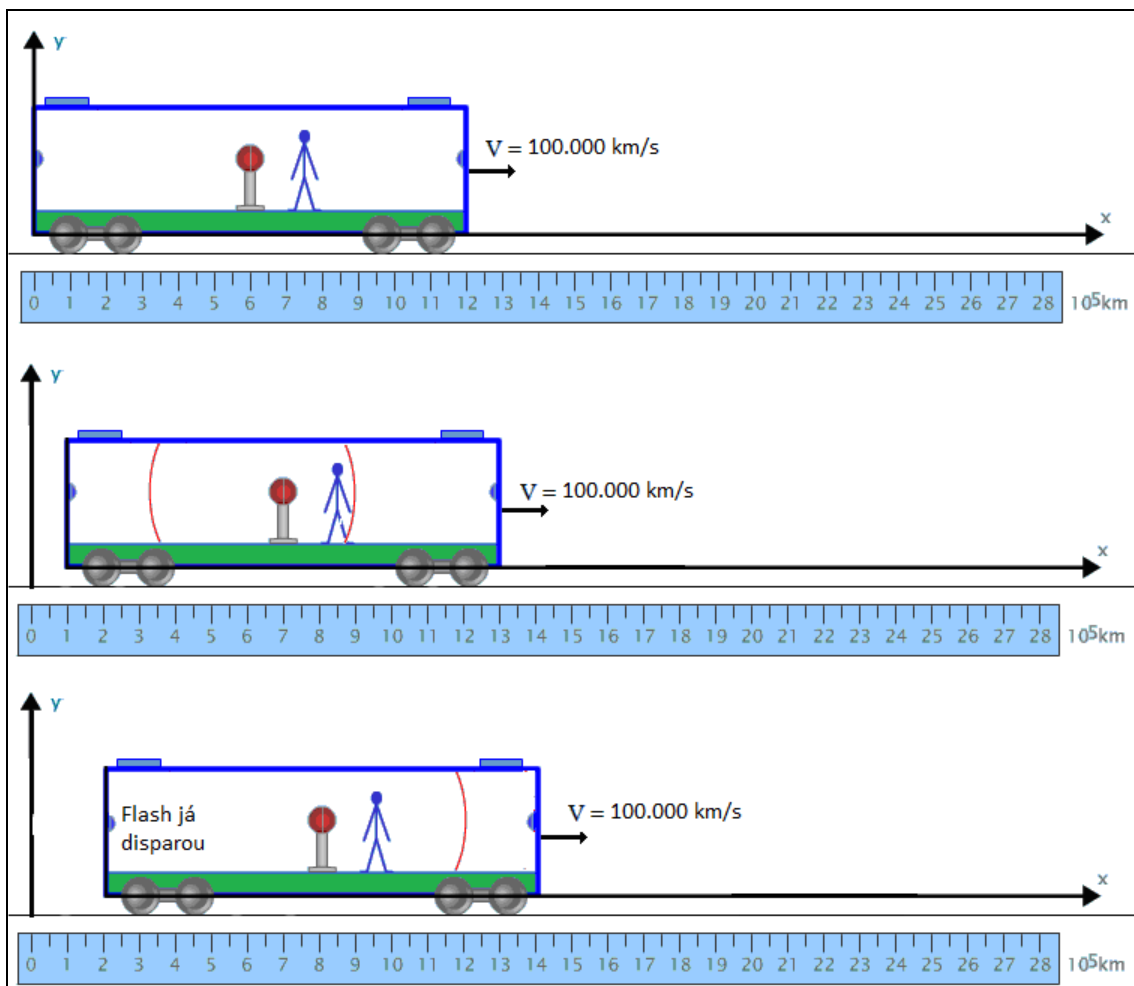


Figura 5 – A relatividade da simultaneidade (Acervo pessoal)

Exemplo:

1) (UFRN) A Teoria da Relatividade Especial ou Restrita prediz que existem situações nas quais dois eventos que acontecem em instantes diferentes, para um observador em um dado referencial, podem acontecer no mesmo instante, para outro observador que está em outro referencial. Ou seja, a noção de simultaneidade é relativa e não absoluta. A relatividade da simultaneidade é consequência do fato 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 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.

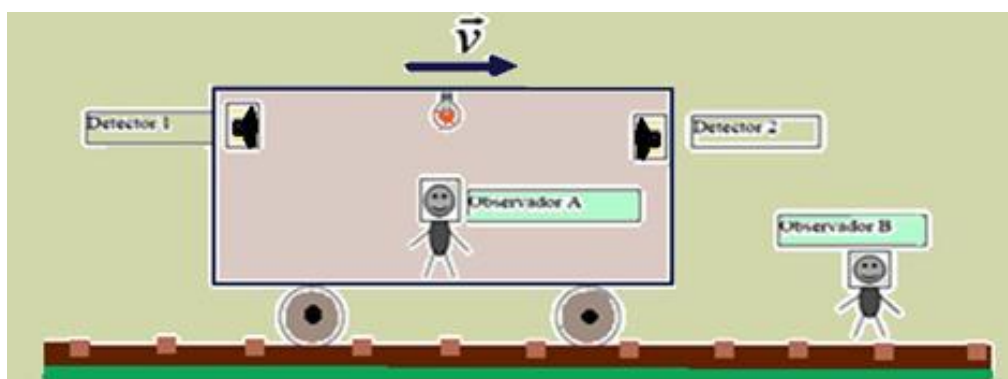
Resposta: De acordo com o segundo postulado, a velocidade da luz é a mesma para todos os referenciais inerciais, letra d.

Atividade 2



Agora aluno, vamos praticar e desenvolver seus conhecimentos

01-(UFCG-PB-010) Um carro viajando com velocidade constante comparável à da luz possui uma fonte de luz no seu interior a igual distância dos detectores 1 e 2 localizados em suas extremidades como mostra a figura.



Num dado instante a fonte emite um pulso de luz. Os observadores inerciais A e B, encontram-se no carro e na superfície da Terra, respectivamente. De acordo com a Teoria Especial da Relatividade, pode-se afirmar, EXCETO, que:

- a) para o observador A, a luz chega simultaneamente aos detectores.
- b) para o observador B, a luz não chega simultaneamente aos detectores.
- c) para o observador B, a luz chega primeiro ao detector 1.
- d) a simultaneidade é um conceito relativo, depende do observador.
- e) tanto para o observador A quanto para o observador B, a luz sempre chegará simultaneamente aos detectores.

02 - (UFMG-MG) Observe esta figura:



Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que c é a velocidade da luz. Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma, envia um pulso luminoso em direção à nave. Com base nessas informações, é correto afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:

- a) $0,7c$. b) $1,0c$. c) $0,3c$. d) $1,7c$.

03-(CFT-CE) Em 2005, Ano Mundial da Física, comemora-se o centenário da Teoria da Relatividade de Albert Einstein. Entre outras conseqüências esta teoria poria fim à idéia do éter, meio material necessário, semelhantemente ao som, através do qual a luz se propagava. O jargão popular "tudo é relativo" certamente não se deve a ele, pois seus postulados estão fundamentados em algo absoluto: a velocidade da luz no vácuo – 300.000 km/s .

Hoje se sabe que:

- I. O som propaga-se no vácuo;
- II. A luz propaga-se no vácuo;
- III. A velocidade da luz no vácuo é a velocidade limite do universo.

É (são) verdadeira(s):

- a) todas
- b) nenhuma
- c) somente II
- d) II e III
- e) somente III

Aula 3: Dilatação do tempo e contração do espaço

Como visto anteriormente, uma das conseqüências do segundo postulando da teoria da relatividade restrita é que o tempo, considerado absoluto na mecânica clássica, passa a ser considerado relativo na mecânica de Einstein. Sendo diferentes as medidas de tempo que dois observadores fazem de um determinado fenômeno, pode-se dizer que as distâncias não são as mesmas a partir de diferentes referenciais.

Algumas dúvidas são comuns ao tratar do tema. Por exemplo: porque é o tempo a grandeza que se dilata e o espaço que se contrai, e não o inverso? Para entender esses conteúdos sugere-se desenvolver os experimentos mentais com o “trem de Einstein” e destacar algumas conclusões simples sobre o tempo e o espaço em cada referencial, como mostra as figuras abaixo:

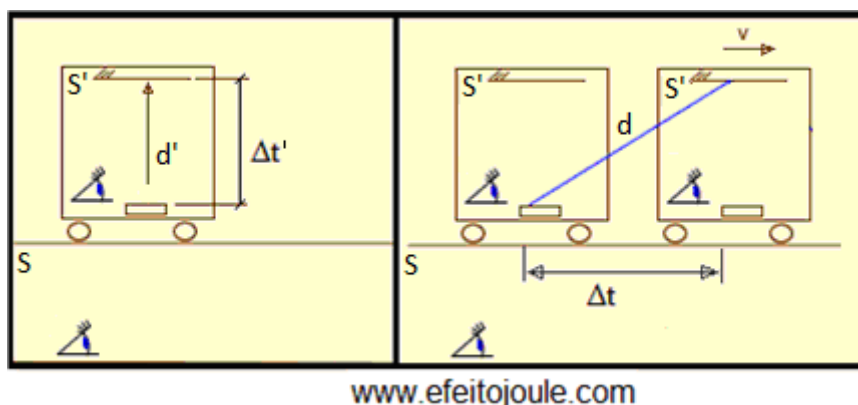


Fig. 6 – Trajetória do pulso de luz visto em S e S'.

O trem da figura acima se desloca com velocidade constante V , em relação ao solo, o qual poderemos considerar como um referencial inercial que chamaremos de S . No interior do trem, que será o nosso referencial inercial S' , há um dispositivo instalado no chão capaz de emitir e detectar pulsos de luz e este dispositivo está apontando para o teto. No teto há um espelho que será usado para refletir os pulsos de luz.

Como o trem está em movimento, a trajetória do pulso de luz visto por um observador em S será diferente daquela visto por um observador em S' , como mostra a figura 6. Da mesma forma que analisamos o fenômeno da simultaneidade, vamos

analisar este fenômeno também a partir da concepção clássica e depois a compararemos com a concepção relativística.

Dilatação do tempo

O dispositivo emite o sinal de luz. Para um observador em S' , a trajetória é vertical e o pulso percorre uma distância d' em um tempo $\Delta t'$, então $c' = d'/\Delta t'$. Como o movimento ocorre em S' , denominamos $\Delta t'$ como o tempo próprio.

Para o observador em S , a trajetória é uma reta inclinada e o pulso percorre uma distância d em um tempo Δt , então $c = d/\Delta t$. Como na física clássica o tempo é absoluto, $\Delta t' = \Delta t$, ou seja, para os dois observadores o tempo que a luz leva para percorrer as distâncias d e d' são iguais. Podemos então escrever:

$$\Delta t' = \Delta t$$
$$\frac{d'}{c'} = \frac{d}{c}$$

Pela figura 6 notamos claramente que o feixe de luz percorre uma distância maior no referencial S ($d > d'$), para que ele chegue ao mesmo tempo ($\Delta t' = \Delta t$) é preciso que a sua velocidade em S seja maior, então $c > c'$.

Entretanto, pelo segundo postulado da teoria relatividade a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, ou seja, $c = c'$. Então, neste caso, a seguinte igualdade deve ser verdadeira:

$$c' = c$$
$$\frac{d'}{\Delta t'} = \frac{d}{\Delta t}$$

Como as distâncias percorridas pela luz são diferentes, para que a igualdade anterior seja verdadeira, os tempos que os pulsos de luz levam para ir do chão ao teto também precisam ser diferentes, neste caso $\Delta t > \Delta t'$, ou seja, no referencial S o tempo passa mais devagar, ocorre a dilatação do tempo. E como se relaciona o tempo próprio com o tempo dilatado? Podemos responder a esta questão fazendo uma simples análise matemática. Da figura 6 obtemos o seguinte triângulo retângulo:

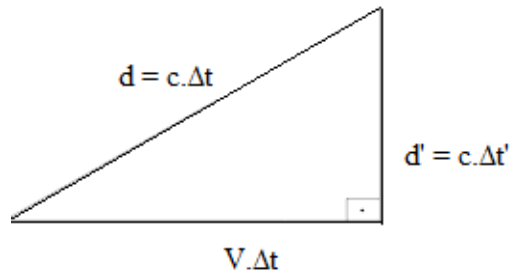


Figura 7 – Relações trigonométricas entre o tempo próprio e o tempo dilatado.

Por Pitágoras obtemos:

$$\begin{aligned}
 c^2 \cdot \Delta t^2 &= c^2 \cdot \Delta t'^2 + V^2 \cdot \Delta t^2 \\
 c^2 \cdot \Delta t^2 - V^2 \cdot \Delta t^2 &= c^2 \cdot \Delta t'^2 \\
 \Delta t^2 (c^2 - V^2) &= c^2 \cdot \Delta t'^2 \\
 \frac{\Delta t^2 (c^2 - V^2)}{c^2} &= \Delta t'^2 \\
 \Delta t^2 &= \frac{\Delta t'^2}{\left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)} \\
 \Delta t &= \frac{\Delta t'}{\sqrt{\left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)}} \\
 \Delta t &= \gamma \cdot \Delta t'
 \end{aligned}$$

Onde γ é conhecido como fator de Lorentz. Antes de prosseguirmos vamos ver um exemplo.

1) Imagine uma situação no futuro onde a humanidade conquistou o espaço e que tenha colonizado os planetas do nosso sistema solar. Neste futuro a viagem entre os planetas é feito em questão de horas.

Considere que a distância entre a Terra e Júpiter seja de 5 horas luz e que uma nave sairá da Terra para levar os trabalhadores para Júpiter. A nave consegue realizar toda a viagem com a excepcional velocidade média de 240.000 km/s (0,8 c) e que a nave parta exatamente ao meio dia e os relógios da Terra, de Júpiter e o da nave estão sincronizados, ou seja, no momento da partida todos os relógios marcam meio-dia.

Determine o horário que estes mesmos relógios marcarão assim que a nave chegar a Júpiter.

Resposta:

Antes de tudo nos lembremos da unidade de distância ano-luz. Ela representa a distância percorrida pela luz em um ano. Podemos então representar distâncias astronômicas por medidas semelhantes. Se a distância entre a Terra e Júpiter é de 5 horas, isto significa que a luz leva cinco horas para percorrer esta distância. Voltemos então ao exercício.

Vamos considerar que a Terra e Júpiter estejam no mesmo referencial, então neste caso o tempo passará da mesma forma nos dois planetas. Vamos então calcular o tempo da viagem percebida neste referencial:

Distância (ΔS): 5 horas-luz \rightarrow 5 h.c

Velocidade da nave (V): 240.000 km/s \rightarrow 0,8 c

Tempo da viagem (Δt): ?

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$0,8c = \frac{5h.c}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{5h.c}{0,8c}$$

$$\Delta t = 6,25h$$

$$\Delta t = 6h15 \text{ min}$$

Então quando a nave tivesse chegado a Júpiter, os relógios da Terra e de Júpiter estariam marcando 18h15min, mas o relógio da nave estaria marcando um horário diferente:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0,64c^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{1}{\sqrt{0,36}} = \frac{1}{0,6}$$

$$\Delta t = \gamma \Delta t' = \Delta t' / 0,6$$

$$\Delta t' = 0,6 \cdot \Delta t = 0,6 \cdot 6,25 = 3,75h = 3h45 \text{ min}$$

Então, para os passageiros no interior da nave, a viagem teria durado somente 3 horas e 45 minutos e o relógio da nave estaria marcando 15h45min.

Contração do espaço.

Da mesma forma como o movimento afeta o tempo, ele também afeta o espaço. Voltemos ao exemplo do trem. Suponhamos que o observador S meça o comprimento da plataforma, encontrando o valor L . Este é o chamado comprimento próprio da plataforma, tendo sido medido no referencial em que ela está em repouso. Este mesmo observador vê a frente do trem atravessar a plataforma no intervalo de tempo Δt . O observador em S conclui então que $L = V\Delta t$. Já para o observador S' , o comprimento da plataforma é $L' = V\Delta t'$, sendo $\Delta t'$ o tempo próprio. Como a velocidade é a mesma em ambos os referenciais, temos:

$$\frac{L}{L'} = \frac{\Delta t}{\Delta t'}, \text{ mas } \Delta t = \gamma\Delta t', \text{ logo}$$

$$L = \gamma L'$$

O comprimento próprio da plataforma, medida no referencial em que ela está em repouso é maior que o comprimento dela medida no referencial em que se move, logo, da mesma forma como o movimento dilata o tempo, ele contrai o espaço. Vamos voltar ao exemplo anterior e pensar um pouco mais sobre isto.

A velocidade da nave não muda durante a viagem, ela continua sendo 0,8c, independente do referencial no qual o movimento esteja sendo observado. Se ela leva 3 horas e 45 minutos para percorrer a viagem entre a Terra e Júpiter, significa que ela teria percorrido uma distância de 3 horas-luz e não teria chegado à Júpiter, para isto ser possível é necessário que a para a nave distância entre a Terra e Júpiter tenha se reduzido, e é exatamente isto que ocorre. O fenômeno da contração do espaço. Se calcularmos a contração da distância pela fórmula anterior obteremos a distância de 3 horas-luz:

$$\begin{aligned} \gamma L' &= L \\ L' / 0,6 &= 5h.c \\ L' &= 3h.c \end{aligned}$$

Atividade 3



Agora aluno, vamos praticar e desenvolver seus conhecimentos.

01-(UEG-GO) Antes mesmo de ter uma idéia mais correta do que é a luz, o homem percebeu que ela era capaz de percorrer muito depressa enormes distâncias. Tão depressa que levou Aristóteles - famoso pensador grego que viveu no século IV a.C. e cujas obras influenciaram todo o mundo ocidental até a Renascença - a admitir que a velocidade da luz seria infinita.

GUIMARÃES, L. A.; BOA, M. F. "Termologia e óptica". São Paulo: Harbra, 1997. p. 177

Hoje sabe-se que a luz tem velocidade de aproximadamente 300.000 km/s, que é uma velocidade muito grande, porém finita. A teoria moderna que admite a velocidade da luz constante em qualquer referencial e, portanto, torna elásticas as dimensões do espaço e do tempo é:

- a) a teoria da relatividade.
- b) a teoria da dualidade onda - partícula.
- c) a teoria atômica de Bohr.
- d) o princípio de Heisenberg.
- e) a lei da entropia.

02-(UEPB-PB) A relatividade proposta por Galileu e Newton na Física Clássica é reinterpretada pela Teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein (1879-1955) em 1905, que é revolucionária porque mudou as idéias sobre o espaço e o tempo, uma vez que a anterior era aplicada somente a referenciais inerciais. Em 1915, Einstein propôs a Teoria Geral da Relatividade válida para todos os referenciais (inerciais e não inerciais).

Ainda acerca do assunto tratado no texto, resolva a seguinte situação-problema: Considere uma situação “fictícia”, que se configura como uma exemplificação da relatividade do tempo.

Um grupo de astronautas decide viajar numa nave espacial, ficando em missão durante seis anos, medidos no relógio da nave.

Quando retornam a Terra, verifica-se que aqui se passaram alguns anos.

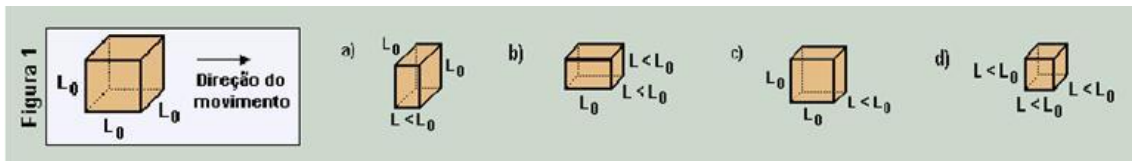
Considerando que c é a velocidade da luz no vácuo e que a velocidade média da nave é $0,8c$, é correto afirmar que, ao retornarem a Terra, se passaram:

- a) 20 anos
- b) 10 anos
- c) 30 anos
- d) 12 anos
- e) 6 anos

03-(UFRN) Bastante envolvida com seus estudos para a prova do vestibular, Silvia selecionou o seguinte texto sobre Teoria da Relatividade para mostrar a sua colega Tereza: A luz da Teoria da Relatividade Especial, as medidas de comprimento, massa e tempo não são absolutas quando realizadas por observadores em referenciais inerciais diferentes. Conceitos inovadores como massa relativística, contração de Lorentz e dilatação temporal desafiam o senso comum. Um resultado dessa teoria é que as dimensões de um objeto são máximas quando medidas em repouso em relação ao observador. Quando o objeto se move com velocidade V , em relação ao observador, o resultado da medida de sua dimensão paralela a direção do movimento é menor do que o valor obtido quando em repouso. As suas dimensões perpendiculares a direção do movimento, no entanto, não são afetadas. Depois de ler esse texto para Tereza, Silvia pegou um cubo de lado L_0 que estava sobre a mesa e fez a seguinte questão para ela:

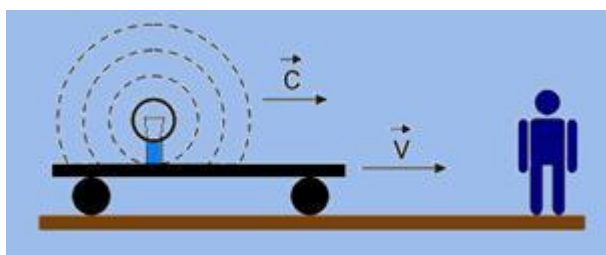
Como seria a forma desse cubo se ele estivesse se movendo, com velocidade relativística constante, conforme direção indicada na figura abaixo?

A resposta correta de Tereza a essa pergunta foi:



Avaliação

1) (UFV-MG-010) A figura a seguir mostra um vagão aberto que se move com velocidade de módulo V em relação a um sistema de referência fixo no solo. Dentro do vagão existe uma lâmpada que emite luz uniformemente em todas as direções. Em relação ao vagão, o módulo da velocidade de propagação da luz é c . Para uma pessoa parada em relação ao solo, na frente do vagão, o módulo da velocidade de propagação da luz emitida pela fonte será:



- a) c
- b) $c + V$
- c) $c - V$
- d) $(c + V)/(c - V)$

2) (U. E. Londrina – PR) A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, é revolucionária porque mudou as idéias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Em 1915, Einstein propôs a Teoria Geral da Relatividade, válida não só para referenciais inerciais, mas também para referenciais não-inerciais.

Sobre os referenciais inerciais, considere as seguintes afirmativas:

- I. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade constante;
- II. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade variável;
- III. Observadores em referenciais inerciais diferentes medem a mesma aceleração para o movimento de uma partícula.

Assinale a alternativa correta:

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas a afirmativas II é verdadeira.
- c) As afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) As afirmativas II e III são verdadeiras.
- e) As afirmativas I e III são verdadeiras.

3) (Unimat- MT) Com o advento da Teoria da Relatividade de Einstein, alguns conceitos básicos da física newtoniana, entre eles, o espaço e o tempo, tiveram de ser revistos. Qual a diferença substancial desses conceitos para as duas teorias?

Alternativas	Física newtoniana		Teoria da relatividade	
	espaço	tempo	espaço	tempo
a)	Absoluto	Absoluto	Dilata	Contraí
b)	Dilata	Absoluto	Contraí	Dilata
c)	Absoluto	Contraí	Dilata	Absoluto
d)	Absoluto	Absoluto	Contraí	Dilata
e)	Contraí	Dilata	Absoluto	absoluto

4) Um astronauta parte da Terra com destino à estrela Vega, distante 27 anos luz, deslocando-se com uma velocidade de $0,96c$. Qual é o tempo decorrido, registrado pelos relógios da Terra:

- a) Quando o astronauta chega em Vega?
- b) Ao chegar em Vega, quanto terá envelhecido o astronauta, segundo ele próprio, se o tempo for contado a partir do instante inicial da viagem? E segundo os observadores na Terra?

5) (UFMG-MG) Suponha que, no futuro, uma base avançada seja construída em Marte. Suponha, também, que uma nave espacial está viajando em direção a Terra, com velocidade constante igual à metade da velocidade da luz. Quando essa nave passa por Marte, dois sinais de rádio são emitidos em direção à Terra - um pela base e outro pela nave. Ambos são refletidos pela Terra e, posteriormente, detectados na base em Marte. Sejam t_B e t_N os intervalos de tempo total de viagem dos sinais emitidos, respectivamente, pela base e pela nave, desde a emissão até a detecção de cada um deles pela base em Marte.

Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que:

- a) $t_N = (1/2) t_B$
- b) $t_N = (2/3) t_B$
- c) $t_N = (5/6) t_B$
- d) $t_N = t_B$

6) Um trem de comprimento igual a 100 m viaja a uma velocidade de $0,8c$, onde c é a velocidade da luz, quando atravessa um túnel de comprimento igual a 70 m. Quando visto por um observador parado ao lado dos trilhos, é CORRETO afirmar que o trem:

- a) não chega a ficar totalmente dentro do túnel, restando um espaço de 12 m fora do túnel.
- b) fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 10 m.
- c) fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 15 m.
- d) não chega a ficar totalmente dentro do túnel, restando um espaço de 5 m fora do túnel.
- e) fica totalmente dentro do túnel e não resta nenhum espaço.

Pesquisa

Em 1915 Albert Einstein publica o que ficou conhecido como a Teoria da Relatividade Geral. Podemos afirmar que trata-se da finalização do seu trabalho e as mudanças trazidas por ela para Física foram tão impactantes quanto às mudanças trazidas pela Teoria da Relatividade Restrita. Uma destas mudanças é um novo modelo para explicar a configuração do sistema solar e o movimento dos planetas que substitui o modelo gravitacional proposto por Isaac Newton. Faça uma pesquisa sobre a relatividade geral buscando responder as seguintes questões:

1- Qual é a principal diferença entre a teoria da relatividade restrita e a geral?

2- A teoria da relatividade restrita contradiz um dos princípios da terceira lei de Newton.

3- Qual é este princípio e como a teoria da relatividade restrita o contradiz?

4- Além disso, sua pesquisa deve abordar os seguintes tópicos:

a) Tecido espaço-tempo;

b) Princípio da equivalência.

Referências

[1] P.G. Hewitt, Física Conceitual (Bookman, Porto Alegre, 2002), 9° ed.

Equipe de Elaboração

COORDENADORES DO PROJETO

Diretoria de Articulação Curricular

Adriana Tavares Maurício Lessa

Coordenação de Áreas do Conhecimento

Bianca Neuberger Leda
Raquel Costa da Silva Nascimento
Fabiano Farias de Souza
Peterson Soares da Silva
Marília Silva

PROFESSORES ELABORADORES

Rafael de Oliveira Pessoa de Araujo
Ricardo de Oliveira Freitas
Saionara Moreira Alves das Chagas