

## **Sequências de ensino e aprendizagem no Ensino de Ciências e Física**

<b>Guilda:</b> Os Galácticos
<b>Professores:</b> Alexandre Santana Emygdio, Henrique Veiga Giannini, Ivânia de Oliveira, Ricardo Vieira Pereira e Vinicius Bueno da Silva
<b>Avatares:</b> Grande Nuvens de Magalhães, Sombreiro, Andrômeda, Cygnus A e Galáxia olho negro
<b>Disciplina:</b> Física
<b>Série:</b> 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> Série
<b>Ensino:</b> Ensino Médio
<b>Tempo de aula:</b> 12 aulas
<b>Tema estruturador</b>
Relatividade Restrita e Geral (Galileu, Newton e Einstein)
<b>Objetivo</b>
Abordar a Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física do ensino médio, ao longo das séries, de forma paralela e em pé de igualdade com a Física Clássica.
<b>Justificativa</b>
<p>Ao final do século XIX, os cientistas acreditavam que já sabiam quase tudo sobre a Física, com exceção das “<i>duas ‘nuvens’ no céu da Física</i>” citadas por Lorde Kelvin, se referindo a teoria ondulatória da luz desenvolvidas por Fresnel e Young e a equipartição da energia de Maxwell- Boltzmann na descrição dos graus de liberdade dos gases diatômicos e seus calores específicos. Houve até quem dissesse que a Física já estava determinada, pois as leis da Gravitação de Newton, a teoria de Maxwell que unificava a Eletricidade e o Magnetismo, a lei da Termodinâmica e da teoria cinética dos gases explicavam perfeitamente grande parte dos fenômenos físicos. Porém no início do século XX, duas teorias provocaram uma revolução nos alicerces da Física, pois em 1900, Max Planck apresentou as ideias básicas da teoria quântica da radiação, posteriormente com Bohr, Schrödinger, Heisenberg e Dirac que originaram e fundamentaram a mecânica quântica.</p> <p>Em 1905, Albert Einstein formulou a teoria especial da relatividade, abrangendo fenômeno da Óptica e do Eletromagnetismo, que foi complementada pela teoria geral da relatividade, tratando a gravidade como uma consequência da geometria espaço – tempo.</p> <p>Assim com a nova Física é importante que além dos conteúdos de Física Clássica, seja também abordado os conhecimentos desenvolvidos pelos físicos do início do século XX, ou seja, a Física Moderna e Contemporânea, que fazem parte do dia a dia dos alunos presentes nas tecnologias que os mesmos usam.</p> <p>De acordo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) a Física deve permitir a elaboração de modelos que permita investigar os mistérios do mundo microscópico, das partículas que compõem a matéria, permitindo ao mesmo tempo o desenvolvimento de novas fontes de energia, produtos, materiais e novas tecnologias.</p>

<p>Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de</p>
<p>Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômeno e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS - ENSINO MÉDIO, 2012).</p>
<p>Então ensino de Física não deve ficar restrito apenas à Física Clássica desenvolvida por um modelo propedêutico, baseado em resolução de equações sem significados físicos. Deve sim ser incorporada a Física Moderna e Contemporânea de forma que seja utiliza tecnologias que fazem parte da realidade nos docentes, como recursos de internet, jogos, vídeos, etc., tentado despertar o interesse dos jovens pela ciência.</p>
<p>Portanto a sequencia didática tem como objetivo abordar a Física Moderna e Contemporânea juntamente com a Física Clássica fazendo relações e contraposições quando possível, de forma a contextualizar e dar significado ao conhecimento físico. A metodologia utilizada será Ensino sob Medida (EsM) juntamente com a Instrução pelos Colegas (IpC), pois no processo de ensino e aprendizagem o aluno terá o papel principal e ativo, recebendo material de apoio extra classe para dar início a reflexão sobre o conteúdo a ser abordado em classe ainda em casa, podendo assim elaborar suas próprias ideias e modelos para quando chegar em classe expor aos colegas, confirmando seus pensamentos ou modificando-os de acordo com o desenvolvimento em sala.</p>
<p><b>Competências/Habilidades</b></p> <p>Espera-se que com a sequencia didática os alunos possam compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, que está inserido em um processo histórico e social. Compreenda que a Teoria da Relatividade constitui um modelo explicativo para uma nova visão de mundo. Saiba utilizar e propor novos modelos explicativos para fenômeno naturais ou sistemas tecnológicos e entenda que o espaço e tempo são relativos à invariância da velocidade da luz.</p>
<p><b>Conteúdo</b></p> <p>Tipos de movimento, Principio da relatividade de Galileu (queda livre), as Leis do movimento (leis de Newton), meios de propagação da luz (éter), Relatividade de Einstein (restrita e geral).</p>
<p><b>Conceitos</b></p> <p>Velocidade, tempo, espaço, frequência, energia e simultaneidade.</p>
<p><b>Recursos</b></p> <p>Vídeos, simuladores, textos, jogos, exercícios de vestibular.</p>
<p><b>Avaliação</b></p> <p>- Contínua, através da produção das atividades desenvolvidas em sala. - Atividade do relatório de laboratório realizado pelos discentes.</p>

## Aula 1

**Tema:** Tipos de movimento

**Objetivo da aula:** Identificar e diferenciar os diversos tipos de movimento (Movimento Uniforme e Movimento Uniformemente Variado).

**Recursos utilizados:** Aplicativo PhET, website: Teoria da Relatividade Restrita.

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/moving-man](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/moving-man)

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/forces-1d](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/forces-1d)

[https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_pt_BR.html)

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/a-relatividade-de-galileu/>

**Metodologia:** Instrução pelos colegas (IpC) **Tempo estimado:** 45 minutos (1 aula) **Desenvolvimento:**

**1º)** O professor irá abordar brevemente que existem dois tipos de movimento, sendo um deles o movimento onde a velocidade de um dado corpo não se modifica ao passar o tempo, chamado de movimento uniforme (MU) e outro movimento onde o determinado corpo pode ganhar ou perder velocidade, chamado movimento uniformemente variado (MUV).

**2ª)** Solicitar aos discentes acessar o website Teoria da Relatividade Restrita no seguinte endereço eletrônico:

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/a-relatividade-de-galileu/>

Sugerir a leitura dos textos contidos na página e deixar como sugestão para outro momento, assistir o vídeo endereçado na mesma página.

**3º)** Realizada tal abordagem, será solicitado para que os discentes abram o aplicativo ou o site do PhET no simulado “Forças em uma dimensão”, que pode ser encontrado no link a seguir:

([https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/forces-1d](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/forces-1d) ou [https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_pt_BR.html)). Tal simulador poderá ser aberto no celular dos respectivos alunos. Caso não tenham acesso, será possível o professor realizar experimentos mentais a partir das situações que podem ser verificadas com a utilização do simulador. Para cada pergunta, serão realizadas duas votações para respostas; 1ª) sem que utilizem o simulador individualmente; 2ª) com a utilização do simulador em duplas.

Para realizar a votação, será utilizado o aplicativo “Plickers”, que pode ser obtido no link: <https://www.plickers.com/>. Caso tal aplicativo não possa ser

utilizado, poderá ser feita a votação com os itens “A”, “B”, “C”, “D” e “E” escritos em folhas de sulfite.

Segue abaixo a lista de perguntas conceituais que serão discutidas com os discentes:

1) Com o simulador aberto na página inicial, sem tocar no skate, é possível fazer com que o skate se movimente sem encostá-lo?

a) Sim

b) Não

2) Selecione no quadro lateral a opção velocidade. Considere que o personagem empurre a caixa. Durante essa ação, o que acontecerá com a velocidade do skate e que tipo de movimento ele irá descrever?

a) Ganha velocidade – movimento uniforme.

b) Ganha velocidade – movimento uniformemente variado.

c) Perde velocidade – movimento uniforme.

d) Perde velocidade – movimento uniforme.

e) Mantém a sua velocidade – movimento uniforme

3) Resete o simulador. Novamente na situação inicial, Faça com que o personagem empurre durante um curto tempo a caixa localizada acima do skate. Ao parar de empurrá-la, a velocidade do skate:

a) diminui.

b) aumenta.

c) continua a mesma.

4) Na situação acima, para que ocorra tal fenômeno observado, pode-se considerar que o atrito entre as rodas do skate e o chão é:

a) Desprezível

b) Intenso

c) Moderado

5) A situação acima pode ser considerada um:

a) movimento uniformemente acelerado

b) movimento uniforme

c) movimento uniformemente desacelerado (retardado)

5) Um corpo pode se movimentar sem que nenhuma força atue sobre ele?

a) Sim

b) Não

6) Resete o simulador. Novamente na situação inicial, Faça com que o personagem empurre a caixa localizada acima do skate durante um curto

tempo. Após o skate ser empurrado no simulador, o que é necessário para que ele pare por completo?

- a) Deixar que o mesmo continue deslizando até parar
- b) Aumentar a quantidade de objetos sobre skate até que ele pare.
- c) Empurrar no sentido contrário do movimento até que ele pare.

7) Ao tentar fazer o skate parar, qual é o tipo de movimento será realizado pelo skate?

- a) Movimento uniforme
- b) Movimento uniformemente acelerado
- c) Movimento uniformemente (desacelerado) retardado

8) Resete o simulador. Novamente na situação inicial, Faça com que o personagem empurre a caixa localizada acima do skate o máximo possível. Durante esse intervalo de tempo no qual a caixa foi empurrada, o movimento pode ser classificado como:

- a) Movimento uniforme
- b) Movimento uniformemente acelerado
- c) Movimento uniformemente (desacelerado) retardado

9) Um movimento uniforme ocorre quando:

- a) móvel percorre distâncias iguais em intervalos de tempo iguais – velocidade é constante
- b) móvel percorre distâncias iguais em intervalos de tempo iguais – velocidade aumenta
- c) o móvel percorre distâncias diferentes em intervalos de tempo iguais – velocidade é constante

10) Um movimento uniformemente variado ocorre quando:

- a) em intervalos de tempos iguais ocorrem iguais variações de velocidades – aceleração aumenta.
- b) em intervalos de tempos iguais ocorrem iguais variações de velocidades – aceleração diminui.
- c) em intervalos de tempos iguais ocorrem iguais variações de velocidades – aceleração é constante.

11) Um movimento uniformemente variado acelerado ocorre quando: a) o módulo da velocidade diminui.

- b) o módulo da velocidade aumenta .
- c) o módulo da velocidade permanece constante.

12) Um movimento uniformemente variado desacelerado (retardado) ocorre quando: a) o módulo da velocidade diminui.

- b) o módulo da velocidade diminui.
- c) o módulo da velocidade permanece constante.

No final da aula espera-se que os discentes compreendam:

- que em um movimento uniforme a velocidade do objeto nunca muda.
- que para se ter um movimento uniforme é necessário que a força resultante sobre o corpo seja nula.
- que para se ter um movimento uniformemente variado é necessário que a velocidade varie.
- que para se ter um movimento uniformemente acelerado é necessário que uma força constante atue fazendo com que a sua velocidade aumente em uma proporção constante.
- que para se ter um movimento uniformemente desacelerado (retardado) é necessário que uma força constante atue fazendo com que a sua velocidade diminua em uma proporção constante.

## **Aulas 2 e 3**

**Tema:** Princípio da relatividade de Galileu

**Objetivo da aula:** Abordar a trajetória de um corpo em queda livre a partir das conclusões de Galileu, onde a Física será a mesma para todos os referenciais, diferindo apenas por uma dada velocidade horizontal constante.

**Recursos utilizados:** vídeos, exercícios de vestibulares, website: Teoria da Relatividade Restrita

**Metodologia:** Aula invertida (Aprendizagem Baseada em Equipes)

**Tempo estimado:** 90 minutos (2 aulas)

### **Desenvolvimento:**

Para o estudo prévio em casa, serão sugeridos os seguintes vídeos para que o aluno visualize antes da aula:

1º) <https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>

2º) <https://www.youtube.com/watch?v=DUOShbOWcRA>

3º) <https://www.youtube.com/watch?v=rxicbBpmbVc>  
(Desenho sobre a vida de Galileu!!)

4º) <https://youtu.be/wD7C4V9smG4>

E para nortear o seu estudo, será solicitado para que ele responda, mesmo que de maneira breve, os tópicos abaixo:

- a) Sobre o que é abordado no vídeo?
- b) Você consegue relacionar o conteúdo abordado com alguma situação da sua vida? Se sim, qual?
- c) Se você tivesse que explicar para um amigo o conteúdo do vídeo em uma conversa telefônica, o que você contaria?

Em classe, serão formados os grupos para a realização da dinâmica relacionada a aprendizagem baseada em equipes. Ainda na fase de preparação, será fornecido um Teste de Preparação Individual (TPi), que pode ser observado a seguir:

1) Considere um corpo muito “leve” e outro bastante “pesado” e que sejam soltos ao mesmo tempo de uma mesma altura. Supondo que a resistência do ar seja desprezível, qual dos dois chegará mais rápido ao chão?

- a) O mais pesado.
- b) O mais leve.
- c) Ambos chegarão ao mesmo tempo.

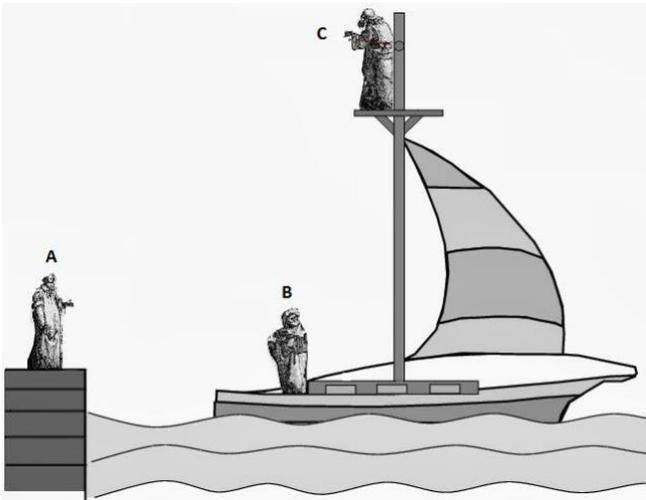
2ª) Quando os corpos estão caindo, descrevem um:

- a) Movimento uniforme
- b) Movimento uniformemente acelerado
- c) Movimento uniformemente desacelerado (retardado)

3ª) Durante a queda:

- a) O corpo mais leve tem uma aceleração menor.
- b) O corpo mais pesado tem uma aceleração maior.
- c) Ambos possuem a mesma aceleração.

4ª) Suponha a seguinte situação: em um grande navio parado próximo a Terra um tripulante “C” subiu no topo do mastro e de lá, soltou uma bola. Qual será a trajetória observada pelo observador “A” na Terra?



- a) Observará uma queda em linha reta.
- b) Observará uma queda na forma de parábola.

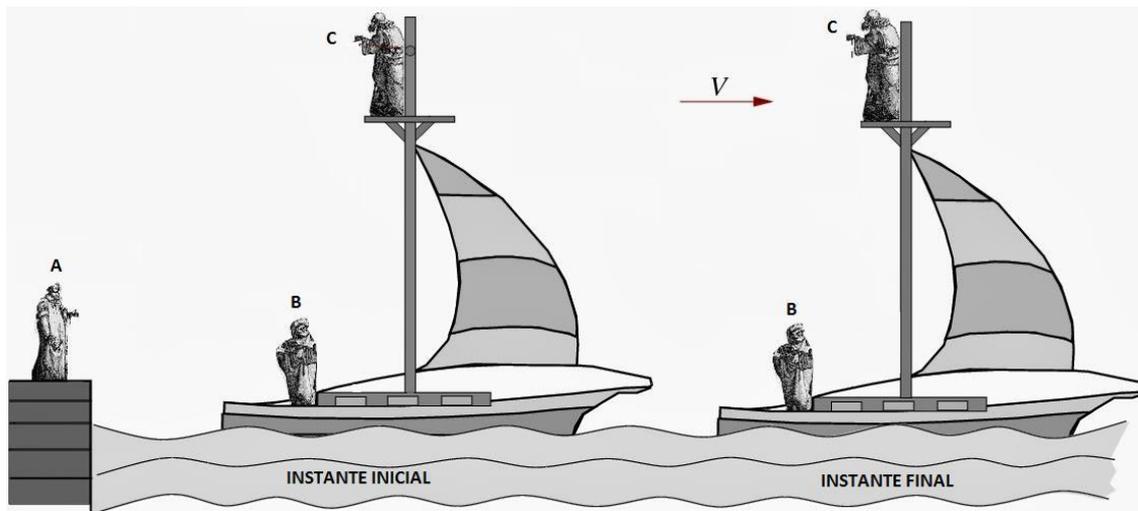
5ª) Considere a situação acima. Qual será a trajetória observada pelo observador "B", localizado dentro do barco que está parado?

- a) Observará uma queda em linha reta.
- b) Observará uma queda na forma de parábola.

6ª) Considere a situação acima. Qual será a trajetória observada pelo tripulante "C" localizado dentro do barco que está parado?

- a) Observará uma queda em linha reta.
- b) Observará uma queda na forma de parábola.

7ª) Suponha a seguinte situação: em um grande navio que está se afastando com velocidade constante em relação a um tripulante "C", parado na Terra, um tripulante subiu no topo do mastro e de lá, soltou uma bola no instante inicial, chegando ao final da sua trajetória no instante final. Para essa situação, qual será a trajetória observada pelo observador "A" parado na Terra?



- a) Observará uma queda em linha reta.
- b) Observará uma queda na forma de parábola.

8ª) Considere a situação acima. Qual será a trajetória observada pelo observador “B”, localizado dentro do barco que se move com velocidade constante?

- a) Observará uma queda em linha reta.
- b) Observará uma queda na forma de parábola.

9ª) Considere a situação acima. Qual será a trajetória observada pelo observador “C”, localizado dentro do barco que se move com velocidade constante?

- a) Observará uma queda em linha reta.
- b) Observará uma queda na forma de parábola.

10ª) Você está na beira da calçada, observando o movimento. Vê um carro movendo-se na rua, com velocidade de módulo 40 km/h. Uma outra pessoa está do outro lado da rua, na calçada. Qual a velocidade que esta pessoa diz ter o carro?

Uma vez que não temos uma cartela na forma de um bilhete instantâneo, as marcações das respostas serão realizadas da maneira tradicional, como um gabarito.

Finalizando a fase de preparação, o professor faz uma breve exposição oral, enfatizando os pontos de maior dificuldade dos alunos durante a realização dos testes, abordando os seguintes tópicos:

- Referencial Inercial – É um sistema de referência em que corpos livres não têm o seu estado de movimento alterado a não ser que haja sobre eles uma força externa.

- Princípio da relatividade de Galileu – A Física será sempre a mesma para todos os referenciais, diferindo apenas por uma dada velocidade horizontal constante para um sistema em movimento uniforme.

- Tempo absoluto (invariância de tempo e comprimento) – Os corpos vão demorar o mesmo tempo e vão percorrer a mesma distância, para qualquer referencial inercial.

- A massa dos corpos não interferem na queda dos corpos.

- Na ausência da resistência do ar, quaisquer objetos caem sujeitos à mesma aceleração gravitacional.

Em casa, os alunos responderão algumas questões, que podem ser observadas a seguir:

1) (UFTM) Em 1971, no final da última caminhada na superfície da Lua, o comandante da Apollo 15, astronauta David Scott, realizou uma demonstração ao vivo para as câmeras de televisão, deixando cair uma pena de falcão de 0,03 kg e um martelo de alumínio de 1,32 kg. Assim ele descreveu o experimento:

*Bem, na minha mão esquerda eu tenho uma pena, na minha mão direita, um martelo. Há muito tempo atrás Galileu fez uma descoberta muito significativa sobre objetos em queda em campos gravitacionais, e nós pensamos: que lugar seria melhor para confirmar suas descobertas do que na Lua? Eu deixarei cair a pena e o martelo (...) Depois de abandonados simultaneamente e da mesma altura a pena e o martelo, Scott comentou: O que acham disso? Isso mostra que o Sr. Galileu estava correto em sua descoberta. A descoberta de Galileu, comprovada pelo astronauta David Scott na superfície da Lua, foi de que:*

a) na Lua não há gravidade, e portanto, a pena e o martelo flutuaram.

b) em queda livre, um corpo mais pesado, como o martelo, chega ao solo em menos tempo do que um mais leve, como a pena.

c) ambos os objetos chegam juntos ao solo, pois como a gravidade lunar é desprezível, não importa qual objeto tem maior massa.

d) na ausência de resistência do ar, o corpo mais pesado (martelo) chega primeiro ao solo, pois a gravidade de um planeta é diretamente proporcional à massa do corpo que cai.

e) na ausência de resistência do ar, mesmo com massas diferentes, eles levam o mesmo intervalo de tempo para chegar ao solo, pois caem com a mesma aceleração.

2) (Acafe-SC) Em uma atividade experimental, deseja-se verificar a dependência do tempo de queda livre de um corpo em função de sua massa. Para isso tomam-se dois blocos A e B iguais de mesma massa. Primeiro deixa-se cair livremente o bloco A e mede-se o tempo  $t_1$  gasto para percorrer a altura  $h$ . Depois, repete-se a situação anterior, mas desta vez é colocado o bloco B sobre o bloco A e registra-se o tempo  $t_2$ . Finalmente, amarra-se os blocos A e B mediante uma corda e mede-se o tempo  $t_3$  que gasta A para percorrer a mesma altura  $h$ .

A alternativa que apresenta a relação correta entre os tempos registrados é:

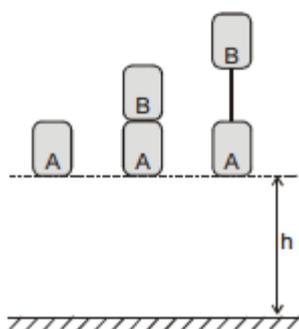
a)  $t_1 > t_2 > t_3$

b)  $t_1 < t_2 = t_3$

c)  $t_1 < t_2 < t_3$

d)  $t_1 = t_2 = t_3$

3) (Ceetps-SP) A cidade de Pisa, na Itália, teria sido palco de uma experiência, hoje considerada fictícia, de que Galileu Galilei, do alto da famosa torre inclinada, teria abandonado, no mesmo instante, duas esferas de diâmetros muito próximos: uma de madeira e outra de ferro.



O experimento seria prova de que, em queda livre e sob a mesma influência causada pelo ar, corpos de

- a) mesmo volume possuem pesos iguais.
- b) maior peso caem com velocidades maiores.
- c) massas diferentes sofrem a mesma aceleração.
- d) materiais diferentes atingem o solo em tempos diferentes.
- e) densidades maiores estão sujeitos a forças gravitacionais menores.

4) (PUC-RJ) Aristóteles (384 – 322 a.C.) foi para Atenas estudar com Platão e, durante seus estudos, formulou a tese de que corpos de massas diferentes caem com tempos diferentes ao serem abandonados de uma mesma altura, sem qualquer tipo de verificação experimental.

Com o desenvolvimento da Ciência e o início do processo experimental por Galileu Galilei (1564 – 1642), realizou-se um experimento para comprovar a tese de Aristóteles. Galileu verificou que soltando dois corpos de massas diferentes, com volumes e formas iguais, simultaneamente, de uma mesma altura e de um mesmo local, ambos atingem o solo no mesmo instante.

Com relação ao experimento realizado por Galileu, afirma-se que

I. a aceleração da gravidade foi considerada a mesma para ambos os corpos abandonados. II. os corpos chegaram ao mesmo instante no solo, pois os pesos tornaram-se iguais.

III. a resistência do ar não influenciou no resultado obtido por Galileu.

Está CORRETO o que se afirma em

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) I e III, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) I, II e III.

5) (UFJF-MG) Um astronauta está na superfície da Lua, quando solta simultaneamente duas bolas maciças, uma de chumbo e outra de madeira, de uma altura de 2,0 m em relação à superfície. Nesse caso, podemos afirmar que:

- a) a bola de chumbo chegará ao chão bem antes da bola de madeira
- b) a bola de chumbo chegará ao chão bem depois da bola de madeira.
- c) a bola de chumbo chegará ao chão um pouco antes da bola de madeira, mas perceptivelmente antes.
- d) a bola de chumbo chegará ao chão ao mesmo tempo que a bola de madeira.
- e) a bola de chumbo chegará ao chão um pouco depois da bola de madeira, mas perceptivelmente depois.

6) (Enem PPL 2013) Conta-se que um curioso incidente aconteceu durante a Primeira Guerra Mundial. Quando voava a uma altitude de dois mil metros, um piloto francês viu o que acreditava ser uma mosca parada perto de sua face. Apanhando-a rapidamente, ficou surpreso ao verificar que se tratava de um projétil alemão. PERELMAN, J. Aprenda Física brincando. São Paulo: Hemus, 1970. O piloto consegue apanhar o projétil, pois:

- a) ele foi disparado em difração ao avião francês, freado pelo ar e parou justamente na frente do piloto.
- b) o avião se movia no mesmo sentido que o dele, com velocidade visivelmente superior.
- c) ele foi disparado para cima com velocidade constante, no instante em que o avião francês passou.
- d) o avião se movia no sentido oposto ao dele, com velocidade de mesmo valor.
- e) o avião se movia no mesmo sentido que o dele, com velocidade de mesmo valor.

Na aula seguinte, serão corrigidas as mesmas questões para casa por cada um dos grupos, apresentando os seus pontos de vista sobre a resolução do problema.

#### **Aula 4**

**Tema:** As Leis do movimento

**Objetivo da aula:** Apresentar para o aluno as três leis de Newton de modo sintético. Conceituar a interação entre corpos (Força).

**Recursos utilizados:** Aplicativo PhET , website: Teoria da Relatividade Restrita

[https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_pt_BR.html)

[https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits_pt_BR.html)

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/a-mecanica-newtoniana/>

**Metodologia:** Instrução pelos colegas (IpC)

**Tempo estimado:** 45 minutos (1 aula)

**Desenvolvimento:**

1º) O professor irá abordar o assunto incitando os alunos a concluírem o que vem a ser Força, e se darem conta de que a mesma só pode ocorrer em pares.

Apresentar dando nome a algumas forças existentes e conhecidas, como a força da gravidade, caracterizar sua natureza, dizer que sua existência está associada à existência de massa, dando o argumento de que em regiões do espaço desprovidas de matéria, os corpos tendem a permanecer em M.R.U.

3º) Solicitar se possível, aos alunos que acessam o endereço:

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/a-mecanica-newtoniana/>

Pedir que os alunos façam a leitura do material contido na página. Deixar como sugestão pós aula, o acesso ao vídeo contido na subpágina.

2º) Realizada tal abordagem, o professor deve começar a comentar de maneira breve em que consistem as três leis do movimento, e enfatizar que elas tem um domínio de ação bastante amplo, englobando praticamente todos os fenômeno do mundo macroscópico.

Como vídeo sugerido, o primeiro trata-se do lançamento do ônibus espacial. Interessante associar seu lançamento à tentativa de escapar do campo gravitacional da Terra.

Como sugestão de ilustração do conceito, e mesmo como forma de instigar os alunos, vídeos contendo colisões entre veículos de diferentes tamanhos. Ainda podem ser usados vídeos de Crash Test, filmados em super câmera lenta, de modo que o aluno possa visualizar a interação entre os corpos.

<https://www.youtube.com/watch?v=OnoNITE-CLc>  
<https://www.youtube.com/watch?v=4dHo8blskI8>

Lista de perguntas conceituais que devem ser feitas pelo professor de modo a nortear conceitos a serem obtidos pelos alunos.

1) Se o ônibus espacial decolasse como um jato comercial, ele subiria tão alto?

- a) Sim
- b) Não

2) Em seu movimento de subida, quem aplica a força que faz com que o foguete suba?

- a) Motor
- b) Ar
- c) Gases expelidos

3) O que acontece com sua massa?

- a) Aumenta
- b) Diminui
- c) Não se altera

4) O que acontece com o peso do foguete à medida em que ele se afasta da superfície da Terra?

- a) Aumenta
- b) Diminui
- c) Não se altera

5) Nos testes de colisão, qual dos dois veículos tem papel mais importante?

- a) Carro
- b) Caminhão
- c) Ambos

6) Qual dos dois veículos sofre a ação de uma maior força durante a colisão?

- a) Carro
- b) Caminhão

## **Aulas 5 e 6**

**Tema:** Experimento Michelson-Morley

**Objetivo da aula:** Verificar a existência do éter como meio de propagação para a luz.

**Recursos utilizados:** simulador do experimento de Michelson-Morley, website: Teoria da Relatividade Restrita

**Metodologia:** Aula Invertida, Aula experimental virtual

**Tempo estimado:** 90 minutos (2 aulas)

**Desenvolvimento:**

**1ª)** Como estratégia de preparação, sugerir aos alunos que acesse previamente o website nos seguintes endereços eletrônicos:

1º) <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/a-fisica-moderna/>

2º) <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/o-experimento-de-michelson-morley/>

Na segunda página está hospedado o vídeo da série Universo Mecânico. Deve ser sugerido aos alunos que eles encerrem a leitura das páginas assistindo o vídeo.

**2ª)** Com intenção de que os alunos discutam sobre a existência do éter, será utilizado o link:

[http://www.kcvs.ca/site/projects/physics\\_files/specialRelativity/michelsonMorley/resources/experiment.html](http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/specialRelativity/michelsonMorley/resources/experiment.html)

que apresenta um simulador sobre o experimento mais famoso realizado para tentar localizá-lo: o Interferômetro de Michelson – Morley.

Para o desenvolvimento da aula, os alunos se reúnem em pequenos grupos de quatro integrantes e irão seguir o roteiro abaixo:

**Roteiro Experimental**

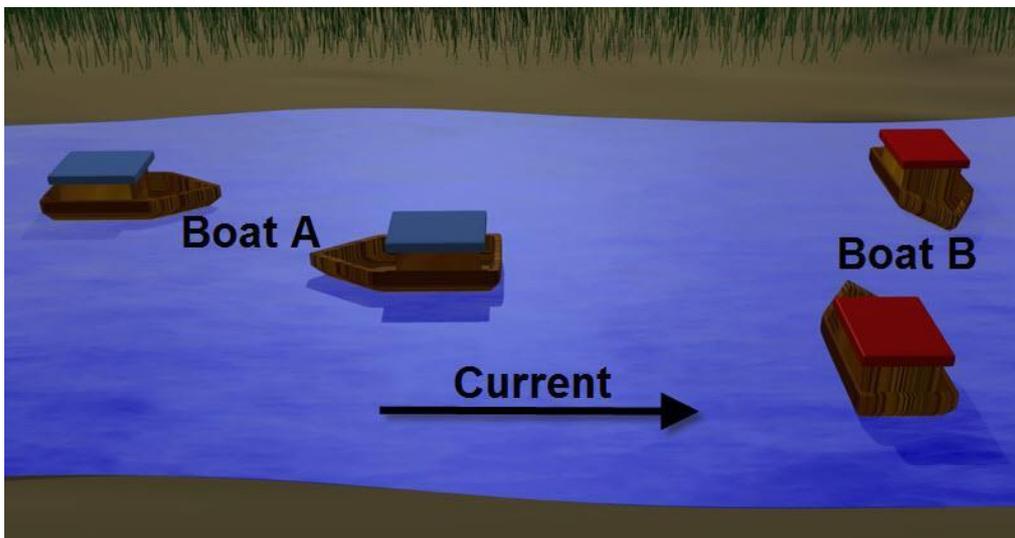
**Objetivo:** A finalidade do experimento de Michelson-Morley era entender melhor as propriedades do éter (o meio pelo qual se acreditava que a luz viaja).

**Problema:** Como esse "vento etéreo" afeta a velocidade da luz?

**Hipótese:** Para entender melhor como um vento de éter poderia afetar a velocidade da luz, considere a analogia de dois barcos A e B:

O barco A e o barco B movem-se ambos na mesma velocidade média. Um dia, ambos os capitães decidem ir para um passeio de barco em um rio próximo. O

barco A viaja paralelo à corrente do rio, percorrendo um percurso de 50 m, enquanto o barco B se movimentava perpendicularmente à corrente, viajando entre as duas margens do rio, que possui 50 m de largura.



### Questões:

Seja  $V_A$  a velocidade média dos barcos em água parada e  $V_R$  seja a velocidade da corrente do rio.

1) Quão rápido o barco A está se movendo quando está viajando:

- a) Com a corrente?
- b) contra a corrente?

2) Se o barco B tentar ir em linha reta através do rio, a corrente do rio afetará a sua velocidade? Para onde você espera que ele se movimente? Explique usando diagramas vetoriais.

3) Que direção o capitão do Barco B deve começar a viajar se ele quiser acabar diretamente do outro lado do rio? Se ele se dirigir nessa direção, qual será a velocidade que o barco estará se movendo para a outra margem (Dica: use o Teorema de Pitágoras).

4) Como vocês esperam que o aumento da velocidade da corrente afetaria os "tempos de volta" do barco?

5) Podemos pensar no vento éter como a corrente na analogia acima e na luz como um nadador no rio. Com base nessa analogia, como a luz que se move perpendicular ao vento do éter pode ser afetada em comparação com a luz que se move paralelamente ao vento do éter?

Uma vez que as ideias que se tinha para o comportamento da luz no éter foram apresentadas, agora os grupos realizarão o experimento de Michelson-Morley.

### **Procedimento e Análise**

Clique na caixa de ferramentas à direita para abrir o applet Michelson-Morley. Certifique-se de que a opção "Resultados esperados" está selecionada no canto inferior direito do simulador.

No menu Opções, selecione "Mostrar vento do éter". Deixe a rotação em 0 graus. Ligue a lâmpada de sódio usando o botão "Light On".

### **Questões:**

Para responder as questões, considere o espelho à esquerda da lâmpada de sódio como Espelho A que reflete a Luz A, e considere o espelho diretamente em frente da lâmpada de sódio ser Espelho B, que reflete a Luz B.

- 1) Em que direção a Luz A está viajando em relação ao vento do éter? Luz B?
- 2) Com base na sua hipótese, qual luz deve atingir primeiro o telescópio/detector? Isso concorda com o diagrama Combinando Ondas à direita? (A linha azul é da Luz A, a linha vermelha da Luz B.)

No diagrama de interferência à direita, selecione uma crista (amarelo) perto do meio para acompanhar. Mova a barra deslizante vermelha para o centro da crista e clique no botão "Gravar Dados". Uma estrela vermelha deve aparecer em sua crista.

Use a barra deslizante Rotação para girar a mesa giratória em  $90^\circ$ .

- 3) Comparando a posição da barra vermelha com as outras posições (de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ ), você e seu grupo concluem que os feixes chegaram ao mesmo tempo ou em tempos diferentes no detector?

Agora, na parte inferior direita do simulador, selecione a opção "Resultados reais".

- 4) Comparando a posição da barra vermelha com as outras posições (de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ ) utilizando agora os resultados reais obtidos na experiência. Você e seu grupo concluem que os feixes chegaram ao mesmo tempo ou em tempos diferentes no detector?
- 5) Compare o comportamento observado na primeira parte da experimentação com a utilização dos resultados esperados com a segunda parte com a utilização dos resultados reais. Você pode dizer que os feixes realmente possuem velocidades diferentes devido ao éter?
- 6) Ainda da análise acima, pode-se dizer que o éter existe e que ele interfere na propagação da luz?

**Conclusão** (abaixo, registre a conclusão que o grupo obteve após a análise da experimentação).

---

---

---

---

---

---

---

**2º)** Na aula seguinte, o professor irá abordar brevemente a ideia que se tinha para o movimento da luz, realizando o fechamento da aula “virtual”. Acreditava-se que a luz necessitava de um meio para se propagar, assim como o som que se movimenta pelo ar. Para o deslocamento dessas ondas eletromagnéticas, imaginava-se que existia um meio chamado éter luminífero que possibilitava a sua propagação. Para se tentar detectar tal “substância”, foi proposto um

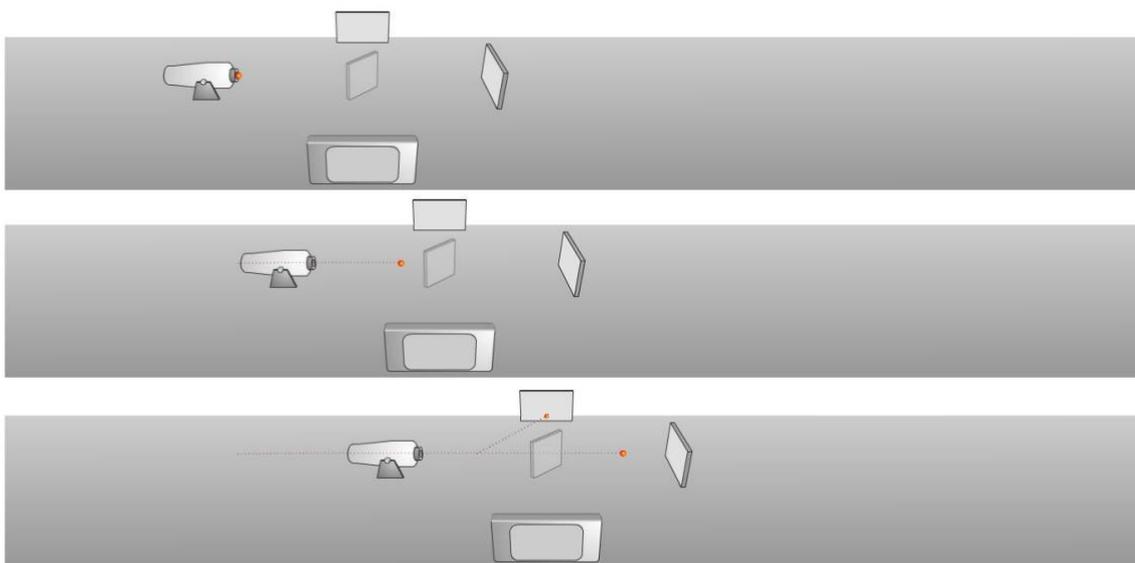
experimento utilizando um interferômetro por Michelson-Morley para detectar o movimento da Terra através do éter estacionário, baseando-se no princípio da adição de velocidades.

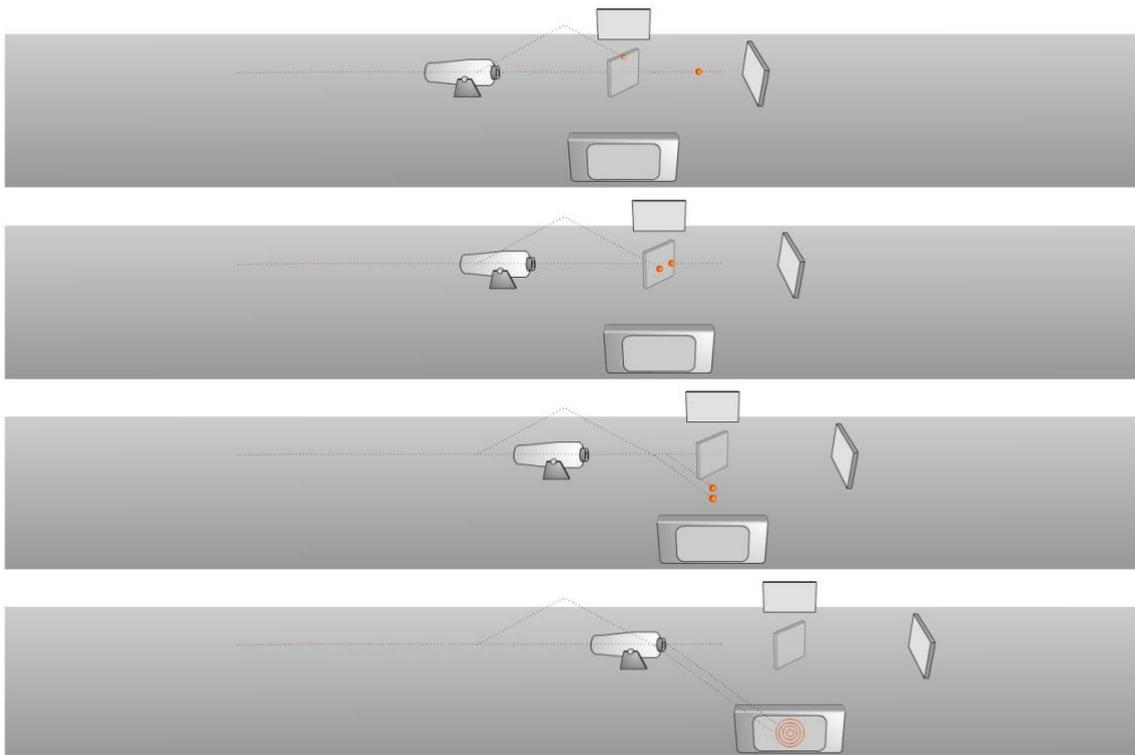
Uma vez que a Terra se move relativamente ao éter estacionário, deveria existir uma corrente de éter que atravessaria o aparato experimental. Desta maneira, esperava-se que a luz se movimentasse com uma velocidade maior quando se deslocasse em uma determinada direção, de tal maneira que um dos feixes deveria se mover mais rápido do que o outro. Isso implicaria que quando os feixes de luz atingissem o detector, seria observado um deslocamento na incidência dos feixes, implicando em tempos diferentes para atingi-lo.

Para mostrar tal comportamento, o professor utilizaria o simulador do experimento no link a seguir:

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/20265>

Abaixo é possível visualizar a realização da simulação.





Entretanto, o deslocamento não foi visualizado, independentemente da angulação e da época da realização do ano do experimento. Os resultados negativos da experimentação são considerados as primeiras evidências contra a teoria da existência do éter.

Com o “fracasso” de detectar o éter, constatou-se que a luz viaja com a igual velocidade em todas as direções desacordando com a ideia da Terra se mover através do éter. Em outras palavras, a velocidade da luz independe do referencial inercial.

Após a conclusão da aula, será indicado o seguinte vídeo para que os alunos reforcem os seus aprendizados:

<https://pt.khanacademy.org/science/physics/special-relativity/michelson-and-morleys-luminiferous-ether-experiment/v/michelson-morley-experiment-introduction>

## **Aulas 7, 8, 9 e 10**

**Tema:** Relatividade de Einstein

**Objetivo da aula:** Apresentar os postulados da teoria da relatividade restrita e suas consequências.

**Recursos utilizados:** Leitura preliminar à aula, simuladores, vídeos e animações, website: Teoria da Relatividade Restrita.

**Metodologia:** Aula invertida

**Tempo estimado:** 180 minutos (4 aulas)

**Desenvolvimento:**

1º) Será indicado para leitura prévia o arquivo do GREF para introduzir o tema de relatividade (página 60), que pode ser encontrado do link a seguir:

<http://www.if.usp.br/gref/mec/mec2.pdf>.

2º) Os alunos deverão assistir os seguintes vídeos:

[https://www.youtube.com/watch?v=MSp\\_aaCqKQY](https://www.youtube.com/watch?v=MSp_aaCqKQY)

(Animação sobre simultaneidade 0:00 a 5:00)

<https://www.youtube.com/watch?v=nf32ejhzTNQ>

(Telecurso 2000 – 0:00 a 10:15)

3º) Os alunos devem acessar o conteúdo presente na web Page:

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/postulados-da-relatividade/>

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/relatividade-restrita/>

- Após a leitura e os vídeos, os alunos responderão, em casa, o seguinte questionário e enviarão ao professor um dia antes da aula:

1) Em 2005, Ano Mundial da Física, comemorou-se o centenário da Teoria da Relatividade de Albert Einstein. Entre outras consequências esta teoria poria fim à ideia 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 sabe-se 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.

Ê (são) verdadeira(s):

a) todas

b) nenhuma

c) somente II

d) II e III

e) somente III

2) A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias 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) Com base nas ideias de Galileu Galilei seria possível medir intervalos de tempos diferentes em referenciais diferentes, considerando que inicialmente os relógios dos observadores se encontravam sincronizados.

a) sim

b) não

4) De acordo com a questão anterior (3) por que seria ou não possível medir intervalos de tempos diferentes?

5) De acordo com os vídeos anteriores eventos simultâneos para um determinado observador pode não ser para outro observador? Cite quais foram os exemplos dados nos vídeos e explique o porquê de sua resposta.

*- Pela verificação das respostas dadas pelos alunos, o professor direcionará a aula de acordo com o índice de acertos. Se o índice for maior ou igual a 70% o professor começará a aula com os dois vídeos a seguir, caso contrário, fará uma breve apresentação sobre o assunto em função das dificuldades encontradas nas respostas anteriores e a partir disso apresentará os vídeos seguir:*

1º) Vídeo - <http://www.dw.com/pt-br/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013> (Tempo é relativo)

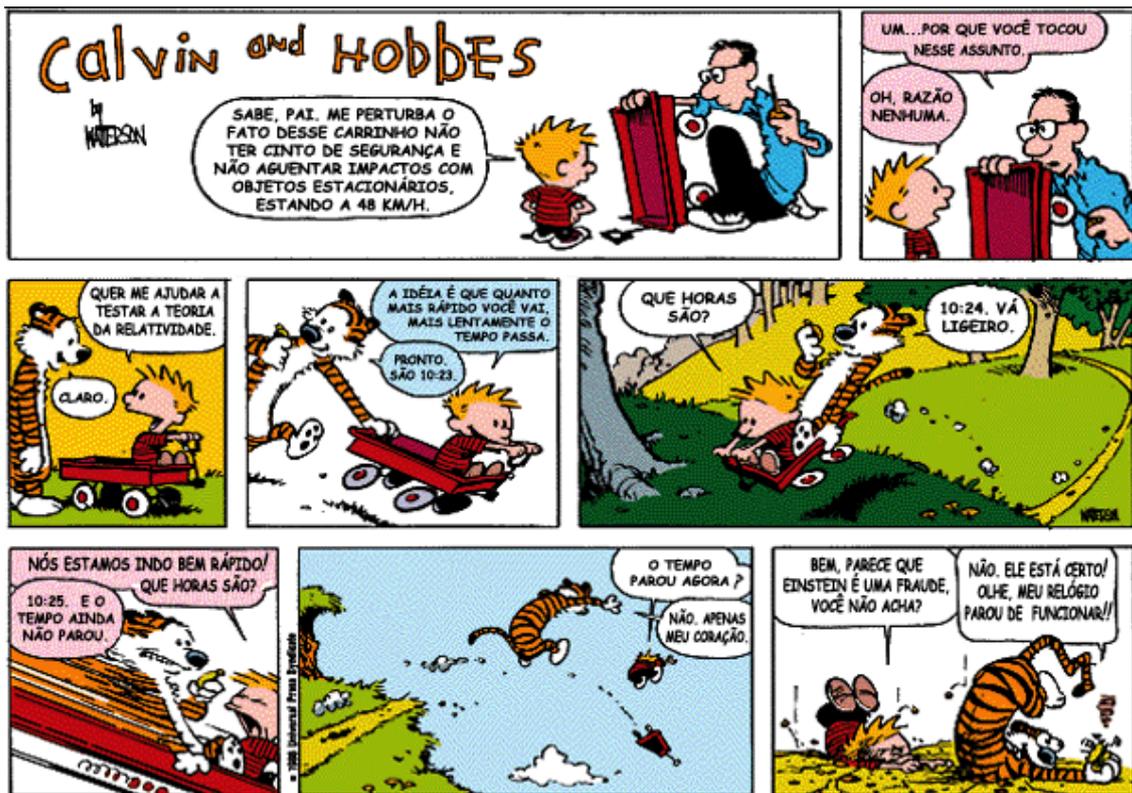
2º) Vídeo - <http://www.dw.com/pt-br/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013> (Velocidade da luz)

*- Após os vídeos o professor lançará a seguinte questão conceitual para futura análise qualitativa de acertos:*

- Se pudéssemos viajar ao lado da luz e no mesmo sentido dela, pensando na relatividade de Galileu, como veríamos a luz?

- a) com a mesma velocidade 'c'.
- b) com velocidade maior "2c".

- De acordo com a charge a seguir responda o que está incorreto afirmar:



Fonte: <https://sites.google.com/site/sitedoperon/quadrinhos>

- A percepção da dilatação do tempo ocorre apenas para velocidades próximas a da luz.
- Ocorreu uma dilatação no tempo de Kevin.
- Além da dilatação do tempo para Kevin, também ocorreu uma contração do espaço visto de um referencial fixo na terra.
- O tempo só pararia se a velocidade atingida por Kevin fosse igual a velocidade da luz.
- É impossível Kevin ter atingido a velocidade da luz.

- Com as respostas individuais, utilizando o aplicativo Pickler (<https://www.plickers.com/>) ou respostas em papel sulfite, sem que os alunos saibam das respostas dos amigos, o professor guardará as respostas individuais para que em uma das aulas seguintes sejam feitas as mesmas perguntas, só que desta vez para grupos formados de alunos e a partir disso o professor possa avaliar a diferença de desempenho após discussão prévia.

-Seguindo de uma breve explanação sobre a constância da velocidade da luz prevista pelas equações de Maxwell (sem entrar em detalhes sobre as equações) além de relembrar de aulas anteriores sobre o experimento de Michelson-Morley, o professor deduzirá a constante de Lorentz e introduzirá nas equações de Galileu, após apresentar o simulador a seguir:

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/19088>



### LABORATÓRIO VIRTUAL

Relógio de Lorentz  
9.1803<sub>t</sub>

L = 1,00 m



Velocidade  $u$   
◀ 0 c ▶

Iniciar

Relógio de Einstein  
9.1803<sub>t</sub>

Einstein observa em repouso.

### LABORATÓRIO VIRTUAL

Relógio de Lorentz  
9.1803<sub>t</sub>

L = 1,00 m



Velocidade  $u$   
◀ 0.25 c ▶

Iniciar

Relógio de Einstein  
10.158E

Einstein observa em repouso.

### LABORATÓRIO VIRTUAL

Relógio de Lorentz  
9.1803<sub>t</sub>

L = 1,00 m



Velocidade  $u$   
◀ 0.5 c ▶

Iniciar

Relógio de Einstein  
11.357E

Einstein observa em repouso.

**LABORATÓRIO VIRTUAL**

Relógio de Lorentz  
9.1803s  
L = 1,00 m

Relógio de Einstein  
14.870s  
L = 0,66 m  
Einstein observa em repouso.

Velocidade  $u$   
0.75 c

Iniciar

**LABORATÓRIO VIRTUAL**

Relógio de Lorentz  
9.1803s  
L = 1,00 m

Relógio de Einstein  
69.725s  
L = 0,66 m  
Einstein observa em repouso.

Velocidade  $u$   
0.99 c

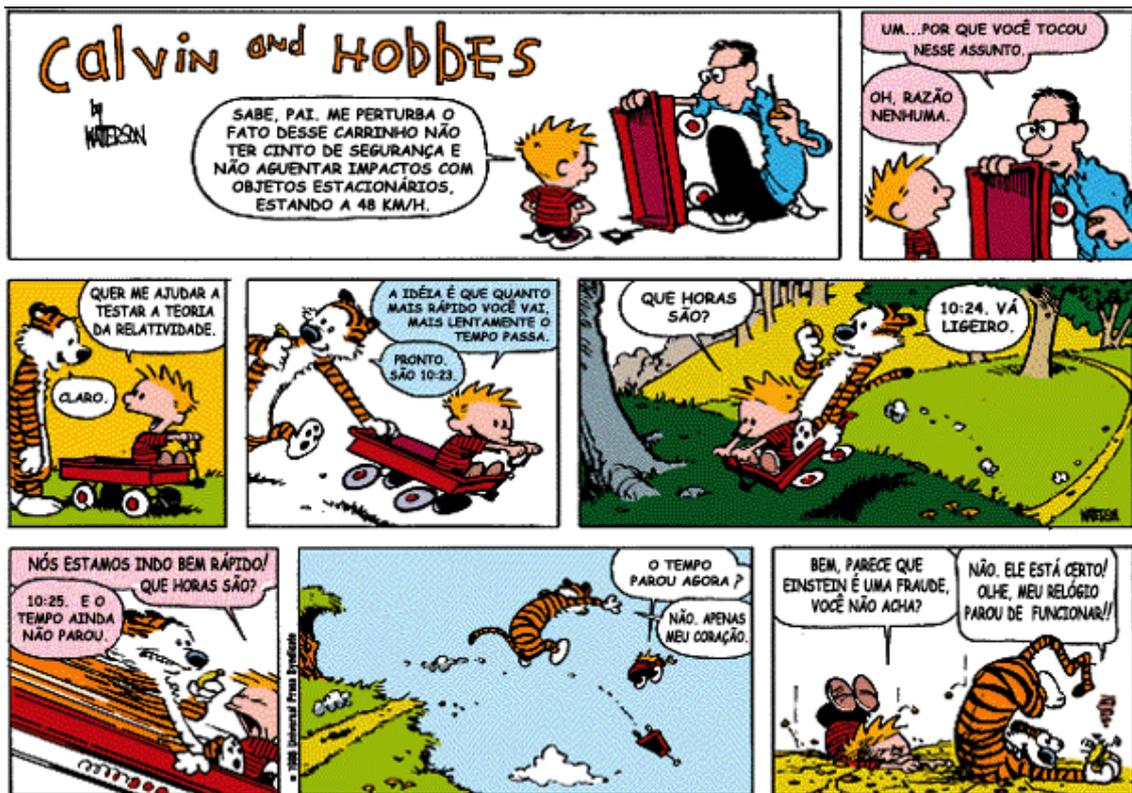
Iniciar

- Uma vez aproveitada a simulação anterior para a dedução da constante de Lorentz, o professor organizará grupos e lançará os seguintes questionamentos conceituais para uma breve discussão entre os integrantes de cada grupo e posterior apresentação de respostas, por flashcards ou pelo Pickler, por grupo:

1) Se pudéssemos viajar ao lado da luz e no mesmo sentido dela, pensando na relatividade de Galileu, como veríamos a luz?

- a) com a mesma velocidade 'c'.
- b) com velocidade maior '2c'.

2) De acordo com a charge responda o que está incorreto afirmar:

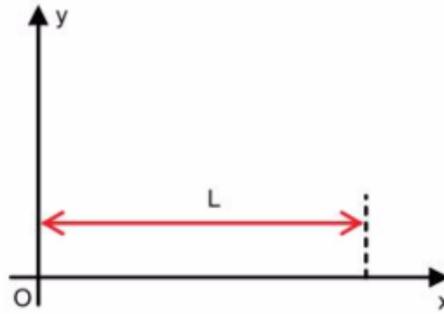


Fonte: <https://sites.google.com/site/sitedoperon/quadrinhos>

- A percepção da dilatação do tempo ocorre apenas para velocidades próximas a da luz.
- Ocorreu uma dilatação no tempo de Kevin.
- Além da dilatação do tempo para Kevin, também ocorreu uma contração do espaço visto de um referencial fixo na terra.
- O tempo só pararia se a velocidade atingida por Kevin fosse igual a velocidade da luz.
- É impossível Kevin ter atingido a velocidade da luz.

-Após essas duas questões conceituais e consenso de respostas entre os alunos de cada grupo o professor reavaliará as respostas, a partir do Pickler (ou flashcards), comparando-as com as que foram dadas individualmente pelos alunos anteriormente. Se houve um aumento significativo de acertos, ou seja, acima de 70%, o professor responde as alternativas corretas, caso contrário o professor retoma o assunto nas próximas aulas com novas abordagens de leituras e artifícios didáticos. No caso de aumento significativo de respostas corretas, será lançada novas perguntas aos grupos, como as que seguem:

1) No instante  $t = 0$ , um pulso de luz é emitido do ponto O. O tempo que a luz demora para percorrer a distância  $L$  é  $t=L/c$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.



Se a fonte luminosa estivesse se deslocando para a direita, quando da emissão do pulso, o tempo, para percorrer a distância  $L$ , seria:

- a) Menor do que  $L/c$
- b) Maior do que  $L/c$
- c) Igual a  $L/c$
- d) Impossível de ser determinado.

2) (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:

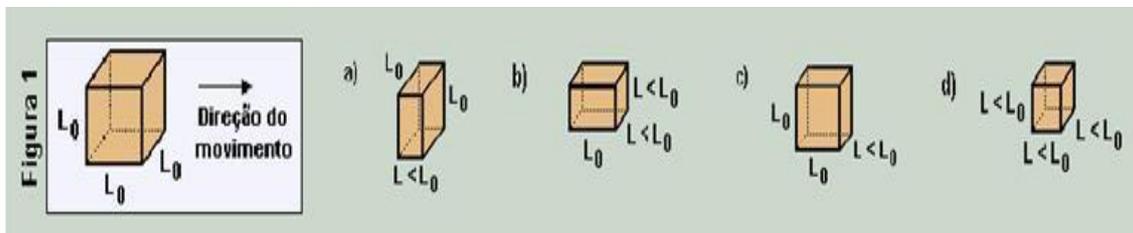
3) O tempo nada mais é que a forma da nossa intuição interna. Se a condição particular da nossa sensibilidade lhe for suprimida, desaparece também o conceito de tempo, que não adere aos próprios objetos, mas apenas ao sujeito que os intui.

KANT, I. *Crítica da razão pura*. Trad. Valério Rohden e Udo Balduer Moosburger.

São Paulo: Abril Cultural, 1980. p. 47. Coleção Os Pensadores.

(Uel 2017) A questão do tempo sempre foi abordada por filósofos, como Kant. Na Física, os resultados obtidos por Einstein sobre a ideia da “dilatação do tempo” explicam situações cotidianas, como, por exemplo, o uso de GPS.

Com base nos conhecimentos sobre a Teoria da Relatividade de Einstein, assinale a alternativa correta.



a) O intervalo de tempo medido em um referencial em que se empregam dois cronômetros e dois observadores é menor do que o intervalo de tempo próprio no referencial em que a medida é feita por um único observador com um único cronômetro.

b) Considerando uma nave que se movimenta próximo à velocidade da luz, o tripulante verifica que, chegando ao seu destino, o seu relógio está adiantado em relação ao relógio da estação espacial da qual ele partiu.

c) As leis da Física são diferentes para dois observadores posicionados em sistemas de referência inerciais, que se deslocam com velocidade média constante.

d) A dilatação do tempo é uma consequência direta do princípio da constância da velocidade da luz e da cinemática elementar.

e) A velocidade da luz no vácuo tem valores diferentes para observadores em referenciais privilegiados.

4) (Udesc 2015) De acordo com o paradoxo dos gêmeos, talvez o mais famoso paradoxo da relatividade restrita, pode-se supor a seguinte situação: um amigo da sua idade viaja a uma velocidade de  $0,999 \cdot c$  para um planeta de uma estrela situado a 20 anos-luz de distância. Ele passa 5 anos neste planeta e retorna para casa a  $0,999 \cdot c$ . Considerando que  $\gamma = 22,4$ , assinale a alternativa que representa **corretamente** quanto tempo seu amigo passou fora de casa do seu ponto de vista e do ponto de vista dele, respectivamente.

a) 20,00 anos e 1,12 anos

b) 45,04 anos e 1,79 anos

c) 25,00 anos e 5,00 anos

d) 45,04 anos e 6,79 anos

e) 40,04 anos e 5,00 anos

5) (Cefet MG 2015) Um observador A está em uma espaçonave que passa perto da Terra afastando-se da mesma com uma velocidade relativa de  $0,995 \cdot c$ . A

espaçonave segue viagem até que o observador A constata que a mesma já dura 2,50 anos. Nesse instante, a espaçonave inverte o sentido da sua trajetória e inicia o retorno à Terra, que dura igualmente 2,50 anos, de acordo com o relógio de bordo. Um observador B, na superfície da Terra, envelhece, aproximadamente, entre a partida e o retorno da espaçonave,

- a) 50 anos.
- b) 25 anos.
- c) 5,0 anos.
- d) 2,5 anos.
- e) 0,50 ano.

6) (Ufg 2014) A teoria da relatividade elaborada por Albert Einstein (1879-1950), no início do século XX, abalou profundamente os alicerces da Física clássica, que já estava bem estabelecida e testada. Por questionar os conceitos canônicos da ciência e do senso comum até então, ela tornou-se uma das teorias científicas mais populares de todos os tempos.

Que situação Física, prevista pela relatividade restrita de Einstein, também está em conformidade com a Física clássica?

- a) A invariância do tempo em referenciais inerciais.
- b) A contração do espaço.
- c) A invariância da velocidade da luz.
- d) A diferença entre massa inercial e gravitacional.
- e) A conservação da quantidade de movimento.

7) (Upe 2013) Uma régua cujo comprimento é de 50 cm está se movendo paralelamente à sua maior dimensão com velocidade  $0,6 \cdot c$  em relação a certo observador. Sobre isso, é CORRETO afirmar que o comprimento da régua, em centímetros, para esse observador vale

- a) 35
- b) 40
- c) 62,5
- d) 50
- e) 100

*- Finalizando essa fase, o professor coleta as respostas, da mesma forma que fez anteriormente, faz uma breve exposição oral, enfatizando os pontos de maior dificuldade dos alunos durante a realização dos testes, abordando os seguintes tópicos:*

- Relatividade Galileana (Física clássica) – De acordo com as relações de Galileu e Newton postulava-se que:

- 1) As leis da **mecânica** são idênticas em qualquer referencial inercial.
- 2) O tempo e o comprimento é invariante para qualquer sistema de referencia (princípio da simultaneidade).

- Relatividade Einsteiniana (Física moderna) – Para a relatividade de Einstein não há um sistema de referência universal. Com isso passou-se a postular que:

1) As leis da **Física** são idênticas em relação a qualquer referencial inercial.

2) A velocidade da luz no vácuo é uma constante universal. É a mesma em todos os sistemas inerciais de referência. Não depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.

- Dilatação do tempo e contração do espaço – A partir da introdução dos coeficientes de Lorentz e suas transformações é possível prever o que ocorre com o tempo e o comprimento dos objetos que se movem próximos a velocidade da luz.

*- O professor também poderá aproveitar o ensejo de introdução ao novo assunto (relatividade geral) para as próximas aulas explanando sobre o paradoxo dos gêmeos. Para isso, o professor deverá fazer uma retomada entre o conteúdo abordado contrapondo a história dos gêmeos no contexto relativístico, podendo utilizar um ou mais das animações a seguir:*

•

<https://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/SpecRel/Flash/TwinParadox.html>

• <http://www.opensourcephysics.org/items/detail.cfm?ID=7238>

Aos alunos devem ser sugeridas o acesso à seguinte página índice:

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/paradoxos-da-relatividade/>

Nessa página estão contidos dois Paradoxos da Relatividade, o Paradoxo do Gêmeos e o Paradoxo da Vara e do Celeiro.

Após feitas essas leituras o professor ainda pode propor a resolução do exercício sobre o Múon Relativístico, que também se encontra resolvido e comentado no endereço:

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/resolucao-dos-exercicios-relatividade-restrita/>

Utilizar em sala de aula o simulador contido no endereço eletrônico

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/energia-relativistica/>

*- Em casa, os alunos responderão algumas questões, que podem ser observadas a seguir, para uma breve análise do professor e preparação para as próximas aulas:*

1) (UFMG 2012) Considere que, no ano de 2222, um trem expresso passa por uma estação à velocidade de  $0,2c$ , em que  $c$  é a velocidade da luz. Henrique está dentro desse trem, em um vagão que mede 30 m de comprimento.

Quando o trem está passando pela estação, Henrique liga um *laser* situado no fundo do vagão. Esse laser emite um pulso de luz, que é refletido por um espelho posicionado na frente do vagão, retorna e atinge um detector situado junto ao *laser*.

a) No referencial de Henrique, calcule o intervalo de tempo entre o pulso sair do *laser* e atingir o detector.

b) Enquanto isso, Alberto, parado na estação, vê o trem passar.

Considerando essa informação, responda: qual é a velocidade do pulso de luz do *laser* medida no referencial de Alberto? Justifique sua resposta.

2) (UFPB 2011) A Relatividade Especial é uma teoria muito bem consolidada experimentalmente, inclusive tendo aplicações dela no cotidiano. Um exemplo bastante expressivo é o aparelho de navegação GPS, o qual está baseado na Relatividade Especial, é construído com a finalidade de proporcionar orientação espacial com precisão.

Com base nos conceitos da Relatividade Especial, identifique as afirmativas corretas:

( ) A velocidade da luz no vácuo é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais e não depende do movimento da fonte ou do observador.

( ) As leis da Física dependem do referencial inercial escolhido.

( ) Dois observadores em movimento relativo não concordam, em geral, quanto a simultaneidade entre dois eventos.

( ) O tempo próprio é o intervalo de tempo entre dois eventos que ocorrem no mesmo ponto em um determinado referencial inercial, medido nesse referencial.

( ) O comprimento próprio de um objeto é aquele medido em um referencial no qual ele está em repouso.

3) (Ueg 2010) Observe a seguinte sequencia de figuras:



Na sequencia indicada, estão representadas varias imagens do logo do Núcleo de Seleção da Universidade Estadual de Goiás, cada uma viajando com uma fração da velocidade da luz ( $c$ ). O fenômeno fisico exposto nessa sequencia de figuras é explicado

- a) pela ilusão de ótica com lentes.
- b) pela lei de proporções múltiplas.
- c) pelo efeito Compton da translação.
- d) pela teoria da relatividade especial.

4) (UFPE 2004) Um astronauta é colocado a bordo de uma espaçonave e enviado para uma estação espacial a uma velocidade constante  $v = 0,8 c$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo. No

referencial da espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada na estação espacial foi de 12 meses. Qual o tempo transcorrido no referencial da Terra, em meses?

Ainda podem e devem contar no planejamento das aulas, tratar assuntos mais avançados da teoria da relatividade restrita. Abaixo, algumas sugestões de quais assuntos podem ser inseridos nas aulas, de acordo com a disponibilidade e o andamento das aulas.

## **Aula 11**

**Tema:** Energia Relativística

**Objetivo da aula:** O aluno deverá entender que o conceito massa é algo mais amplo, estando relacionado com a energia.

**Recursos utilizados:** Simulações e vídeos

**Metodologia:** Aula invertida

**Tempo estimado:** 45 minutos (1 aula) **Desenvolvimento:**

**1º)** O professor deve disponibilizar para o aluno o link da matéria jornalística abaixo, realizada no CERN.

<https://www.youtube.com/watch?v=1TONz71uDak>

Também deve ser previamente disponibilizado para o aluno, o seguinte endereço eletrônico:

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/energia-relativistica/>

O aluno deve fazer a leitura prévia dessa página, deixando para assistir o vídeo sugerido na própria página, bem como o uso do simulador também contido na página, como atividade pós aula.

Outro vídeo que pode ser sugerido para o aluno, consta no link abaixo, e que por possuir pequena difração, pode ter seu uso feito em sala de aula pelo professor, se esse achar necessário lançar mão desse recurso.

Vídeo - <http://www.dw.com/pt-br/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013> (E=m.c<sup>2</sup>)

**2º)** A aula deve ser iniciada com uma rodada de perguntas que tem por intuito induzir o aluno a pensar que as energias elevadas utilizadas pelos experimentos ocorridos no CERN, tem por objetivo levar partícula muito pequenas à velocidades próximas as da Luz.

Perguntas:

1) Porque mesmo investigando a interação de corpos muito pequenos, até muito menores do que as dimensões atômicas, o laboratório possui uma estrutura gigantesca?

a) Demonstração de força e influência política b) Necessidade de elevadas energias

2) Porque o consumo de energia do complexo CERN, é muito grande? Comparável ao consumo de energia de uma cidade pequena.

a) É preciso muita energia para dar velocidade para as partículas, embora sejam muito pequenas.

b) A equipe envolvida nos experimentos é bastante grande.

3) MASSA É ENERGIA!

Muita gente gosta de tomar aquele copão de chocolate em frente a televisão. Quente no friozinho e

geladão no calor uma caneca sempre vai bem. Uma caneca típica de chocolate tem mais ou menos 200mL, como possui densidade próxima da água, o chocolate na caneca tem massa de mais ou menos 200g. O chocolate possui muita energia química facilmente aproveitada pelo corpo e é por isso que é considerado um energético eficiente quando estamos estudando ou praticando esportes. Contudo, o chocolate não possui somente energia em suas ligações químicas. Pela relatividade, a sua própria massa é energia! (Na verdade a massa de qualquer coisa!)

Segundo a relatividade, esses 200g de chocolate podem ser convertidos em outro tipo de energia, pois, como você já deve ter ouvido falar, E=mc<sup>2</sup>, ou seja, a massa de alguma coisa pode se transformar, mas quanto? Considere a fórmula e determine a energia dos 200g de chocolate. Observação: c =

$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Item I - É uma quantidade muito grande de energia?

a) Sim

b) Não

Item II - Vamos supor que utilizássemos essa energia para manter ligado um aparelho de TV de aproximadamente 100W de potência. Por quanto tempo a TV funcionaria?

Considere que a potência pode ser calculada da seguinte forma:

$$Potência = \frac{Energia}{Tempo}$$

A ideia contida nas perguntas é levar o aluno a perceber que assim como as quantidades relacionadas ao movimento, como espaço e tempo, sofrem deformação o mesmo acontece com a massa, até então uma grandeza invariável, impactando assim toda a dinâmica do ponto de vista clássico.

Para complementar a ideia, fica mais uma sugestão que pode ser explorada tanto em sala de aula, quanto em casa pelo próprio aluno, que é o uso de simulações.

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/20264>

Abaixo, seguem algumas sugestões de conteúdo extra que podem ser trabalhados em sala de aula, ou ainda como uma extensão do conteúdo, na forma de um trabalho proposto pelo professor, um seminário ou ainda simplesmente, para que o aluno possa estudar como matéria suplementar.

Observe que a distribuição dos assuntos bem como a sua inserção, apresentam-se na forma de um currículo em espiral. Como exemplo, tem-se o caso da força relativística, que quando de sua revisão, é necessário que os alunos já tenham tido um contato com relatividade restrita.

É possível estender o conceito clássico de força pré-estabelecido, com essa nova interpretação mais abrangente que considera todo o espectro de movimentos.

### **Aula 1 – Transformação de coordenadas e Transformação de Velocidades**

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/transformacao-de-coordenadas/>

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/as-tranformacoes-de-lorentz-para-a-velocidade/>

### **Aula 2 e 3 – Problemas de Relatividade Galileana e o Paradoxo de Zenão**

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/relatividade-galileana/relatividade-de-galileu-problemas/>

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/o-paradoxo-de-zenao/>

#### **Aula 4 – Força Relativística**

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/forca/>

#### **Aula 5 e 6– A onda eletromagnética e o Efeito Doppler para a Luz**

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/equacoes-de-maxwell-e-a-velocidade-da-luz/>

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/o-efeito-doppler-relativistico/>

#### **Aulas 7, 8, 9 e 10 – Simultaneidade**

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/relatividade-restrita-equacoes-do-movimento/>

#### **Aula 11 – Próton Relativístico**

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/proton-relativistico-raios-cosmicos/>

1) Leia o texto abaixo.

Em Setembro de 1905, Einstein mostrou que uma consequência da sua Teoria da Relatividade

Restrita, em conjunção com as equações de Maxwell, era que se um corpo emite uma certa quantidade de energia, então a sua massa deve decrescer de um valor proporcional.

(Disponível em:

<<http://www.pucsp.br/pos/cesima/schenberg/alunos/fernandacardoso/Relatividade/Massa%20e%20Energia.htm>>)

De acordo com esse texto, existe uma equivalência entre massa e:

- A) aceleração.
- B) energia.
- C) espaço.
- D) força.
- E) tempo.

2) Leia o texto abaixo.

Einstein introduziu a Teoria da Relatividade em seu trabalho "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento", escrito em junho de 1905. Em

setembro do mesmo ano, ele publicou mais um pequeno trabalho, complementando o anterior, intitulado "A inércia de um corpo depende de seu conteúdo de energia?". Nesse trabalho ele mostrou que a massa inercial de um corpo varia toda vez que esse corpo ganha ou perde energia, qualquer que seja o tipo de energia. Se um corpo receber uma quantidade de energia  $\Delta E$ , sua massa inercial terá um aumento  $\Delta m$  dado por  $\Delta E = (\Delta m) \cdot c^2$ . Do mesmo modo, se o corpo perder energia, sua massa inercial irá diminuir. Assim, a massa de um tijolo quente é maior do que a de um tijolo frio; uma mola comprimida tem massa maior do que quando não estava comprimida, pois o acréscimo de energia potencial elástica ocasiona um aumento da massa inercial da mola. Quando um corpo tem sua velocidade aumentada, aumenta também sua energia cinética; é esse aumento de energia cinética que acarreta o aumento da massa inercial do corpo.

(Disponível em: <[http://atomico.no.sapo.pt/08\\_06.html](http://atomico.no.sapo.pt/08_06.html)>. Acesso em: 16 jan. 2014)

De acordo com esse texto, Einstein descobriu o Princípio da Equivalência entre:

- a) Massa e Energia.
- b) Massa e Força.
- c) Velocidade e Aceleração.
- d) Velocidade e Espaço.
- e) Velocidade e Força.

2) (UFSC) Assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S):

01. A Teoria da Relatividade afirma que a velocidade da luz não depende do sistema de referência.

02. A Mecânica Clássica não impõe limitação para o valor da velocidade que uma partícula pode adquirir pois, enquanto atuar uma força sobre ela, haverá uma aceleração e sua velocidade poderá crescer indefinidamente.

04. A Teoria da Relatividade não limita a velocidade que uma partícula pode adquirir.

08. Tanto a Mecânica Clássica como a Teoria da Relatividade asseguram que a massa de uma partícula não varia com a velocidade.

16. Pela Teoria da Relatividade podemos afirmar que a luz se propaga no vácuo com velocidade constante  $c = 300.000 \text{ km/s}$ , independentemente da velocidade da fonte luminosa ou da velocidade do observador; então é possível concluir que a luz se propaga em todos os meios com velocidade constante e igual a  $c$ .

32. A Teoria da Relatividade permite concluir que quanto maior for a velocidade de uma partícula, mais fácil será aumentá-la, ou seja, quanto maior for a velocidade, menor será a força necessária para produzir uma mesma aceleração.

3) Uma fábrica de produtos metalúrgicos do Distrito Industrial de Fortaleza consome, por mês, cerca de  $2,0 \times 10^6$  kWh de energia elétrica

(1kWh= $3,6 \times 10^6$  J). Suponha que essa fábrica possui uma usina capaz de converter diretamente massa em energia elétrica, de acordo com a relação de Einstein,  $E = mc^2$ . Nesse caso, a massa necessária para suprir a energia requerida pela fábrica, durante um mês, é, em gramas:

- a) 0,08
- b) 0,8
- c) 8
- d) 80
- e) 800

4) (Ufc) Um elétron é acelerado a partir do repouso até atingir uma energia relativística final igual a 2,5MeV. A energia de repouso do elétron é  $E_0=0,5$  MeV. Determine:

Item I) a energia cinética do elétron quando ele atinge a velocidade final.

Observação: eV (elétron – volt), unidade de energia que corresponde a  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J.

- a) 2,0 MeV
- b) 3,0 MeV
- c) 1,6 MeV
- d) 5 MeV

Item II) a velocidade escalar atingida pelo elétron como uma fração da velocidade da luz no vácuo, c.

- a) 1,0c
- b) 0,98c
- c) 0,90c
- d) 1,98c

5) Uma régua que apresenta comprimento de 1,00 m e massa de 1,00 kg é lançada verticalmente no espaço sideral, atingindo a velocidade de  $0,5 \cdot c$ , em que c representa a velocidade da luz no vácuo. Determine:

a) o comprimento dessa régua nessa nova velocidade; b) a nova massa dessa régua.

6) Em repouso em relação a um ambiente, a massa de um elétron vale  $9,11 \cdot 10^{-31}$  kg. Considere agora esse elétron movimentando-se em um aparelho com uma velocidade de  $0,9 \cdot c$  em relação ao ambiente onde o aparelho se encontra. Calcule a massa do elétron em relação a esse ambiente.



## Aula 12

**Tema:** Relatividade Geral

**Objetivo da aula:** Que o aluno compare a teoria da Gravitação Universal de Newton com a teoria da Relatividade Geral de Einstein e que ele consiga explicar o comportamento dos astros em ambas as teorias.

**Recursos utilizados:** simulador PhET, sites, história em quadrinhos, vídeos, charges. **Metodologia:** Aula invertida (Aprendizagem Baseada em Equipes)

**Tempo estimado:** 45 minutos (1 aula)

**Desenvolvimento:**

Para discutir os conceitos da Lei da Gravitação de Newton, utilizaremos o seguinte simulador:

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/gravity-and-orbits](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gravity-and-orbits)

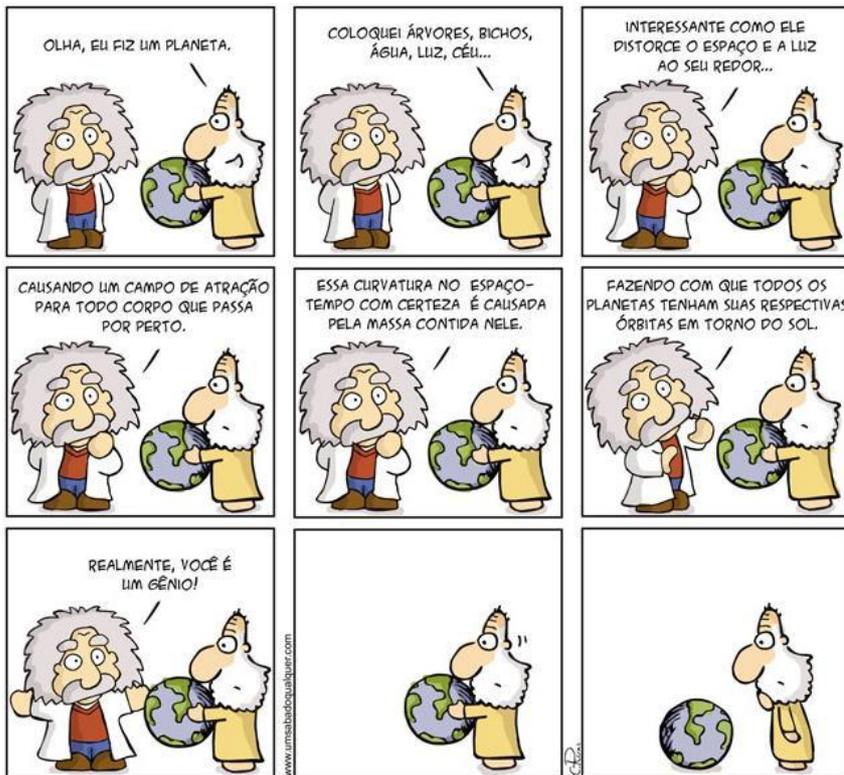
Para introdução do assunto da Relatividade Geral de Einstein, será utilizado a revista em quadrinhos publicada na Science, que pode ser observada no link:

<http://spark.sciencemag.org/generalrelativity/?intcmp=collection-generalrelativity>

Para fomentar ainda mais a discussão que será realizada em sala, os alunos deverão assistir o vídeo do link a seguir:

[https://www.youtube.com/watch?v=8JCKfm\\_oguE](https://www.youtube.com/watch?v=8JCKfm_oguE)

Por fim, será apresentada a charge abaixo para que os alunos reflitam acerca das informações que estão contidas nela.



Fonte: <https://sites.google.com/site/sitedoperon/quadrinhos>

Para nortear o seu estudo em casa, será solicitado para que os alunos respondam, mesmo que de maneira breve, os tópicos abaixo:

- a) Sobre o que é abordado no vídeo e a revista em quadrinhos?
- b) Você consegue relacionar o conteúdo abordado com alguma situação da sua vida? Se sim, qual?
- c) Se você tivesse que explicar para um amigo o conteúdo do vídeo em uma conversa telefônica, o que você contaria?

Em classe, serão formados os grupos para a realização da dinâmica relacionada a aprendizagem baseada em equipes. Ainda na fase de preparação, será fornecido um Teste de Preparação Individual (TPI).

- 1) Na simulação, o que faz a Terra se mover ao redor do Sol?
- 2) Caso não houvesse gravidade, o planeta Terra continuaria orbitando o Sol?
- 3) É possível, a partir do simulador baseado na Lei da Gravitação Universal de Newton, um astro orbitar outro sem a existência de uma força?
- 4) O que ocorre com o comportamento da Terra se a massa do Sol aumentasse para um 1,5 vezes a massa do Sol?
- 5) Faz sentido se falar em força na teoria da Relatividade Geral de Einstein?
- 6) Como você explicaria o mesmo fenômeno observado na questão 1 a partir da teoria da Relatividade Geral de Einstein.

7) Um astro de muita massa atrai muito ou pouco outro astro? Como você explicaria a sua resposta pela teoria da Gravitação Universal de Newton e pela teoria da Relatividade Geral de Einstein?

8) De posse de um lençol e de esferas (bola de gude, bola de tênis, bola de futebol), como você demonstraria a teoria de Relatividade Geral de Einstein para o comportamento orbital dos astros ao redor do Sol.

Os grupos comentarão as suas respostas para os colegas, de tal maneira que haja uma discussão em sala.

Finalizando a fase de preparação, o professor faz uma breve exposição oral, enfatizando os pontos de maior dificuldade dos alunos durante a realização dos testes, abordando os seguintes tópicos:

- Lei da Gravitação Universal de Newton (força entre os corpos).
- Lei da Relatividade Geral de Einstein (não é necessária a existência de uma força de atração entre os corpos, pois este ocorre devido a curvatura no espaço-tempo causada pelo planeta devido a sua massa).
- Em ambas as teorias, a massa tem um papel importante, entretanto, em uma delas a força gravitacional possui um papel essencial enquanto na outra a massa deforma o espaço-tempo.