

ORIENTAÇÕES DE ESTUDOS DE

FÍSICA **3**

1^a
SÉRIE



Ensino Médio

Secretaria de
Educação



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



Secretaria de
Educação



**GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO**

**Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado de Educação**

Comte Bittencourt
Secretário de Estado de Educação

Andrea Marinho de Souza Franco
Subsecretária de Gestão de Ensino

Elizângela Lima
Superintendente Pedagógica

Coordenadoria de Área de conhecimento
Maria Claudia Chantre

Assistentes

Carla Lopes
Fabiano Farias de Souza
Roberto Farias
Verônica Nunes

Texto e conteúdo

Prof. Geneci Alves de
C.E Professor José Accioli
Prof. Leonardo Elydio da Silveira
C.E. Barão de Macaúbas
Prof. Rodrigo C.S. Benevides
C.E. Andre Maurois
Sandro Jerônimo dos Santos
C.E Central do Brasil
Prof. Wellington Dutra dos Reis
C.E. Presidente Bernardes
Prof. Rodrigo C.S. Benevides
C.E. Andre Maurois

Capa

Luciano Cunha

Revisão de texto

Prof^a Alexandra de Sant Anna Amancio Pereira

Prof^a Andreia Cristina Jacurú Belletti

Prof^a Andreza Amorim de Oliveira Pacheco.

Prof^a Cristiane Póvoa Lessa

Prof^a Deolinda da Paz Gadelha

Prof^a Elizabete Costa Malheiros

Prof^a Ester Nunes da Silva Dutra

Prof^a Isabel Cristina Alves de Castro Guidão

Prof José Luiz Barbosa

Prof^a Karla Menezes Lopes Niels

Prof^a Kassia Fernandes da Cunha

Prof^a Leila Regina Medeiros Bartolini Silva

Prof^a Lidice Magna Itapeassú Borges

Prof^a Luize de Menezes Fernandes

Prof Mário Matias de Andrade Júnior

Paulo Roberto Ferrari Freitas

Prof^a Rosani Santos Rosa

Prof^a Saionara Teles De Menezes Alves

Prof Sammy Cardoso Dias

Prof Thiago Serpa Gomes da Rocha

Esse documento é uma curadoria de materiais que estão disponíveis na internet, somados à experiência autoral dos professores, sob a intenção de sistematizar conteúdos na forma de uma orientação de estudos.

© 2021 - Secretaria de Estado de Educação. Todos os direitos reservados.



Física – Orientações de Estudo

Sumário

1. Introdução	6
2. Aula 1 – O Tempo e o Espaço: um breve olhar através da História	6
2.1. Tempo e Espaço: Aristóteles e Newton	6
2.2. Espaço e Tempo: Albert Einstein	7
3. Aula 2. A Dilatação do Tempo e a Contração do Espaço	10
3.1. A Dilatação do Tempo	10
3.1.1. Evidências dessa Descoberta?	11
3.2. A Contração do Espaço	11
4. Aula 3. A quarta dimensão	12
5. Aula 4. Massa x Energia ($E = m.c^2$)	18
5.1. Consequências da Energia Relativística	20
Considerações Finais	22
Resumo	22
Referências Bibliográficas	23
Referências Audiovisuais	23



DISCIPLINA: Física

ORIENTAÇÕES DE ESTUDOS para Física

3º Bimestre de 2021 - 1ª série do Ensino Médio

META:

Compreender os conceitos envolvidos na Física Relativística

OBJETIVOS:

Ao final destas Orientações de Estudos, você deverá ser capaz de:

- Compreender que o tempo e o espaço são relativos devido à invariância da velocidade da luz;
- Reconhecer tecido espaço-tempo sendo o tempo a quarta dimensão;
- Identificar a relação entre massa e energia na relação $E = m.c.$

1. Introdução

A Física Newtoniana rompeu com a Física Aristotélica através das constatações experimentais, que por sua vez foram originadas nas ideias de Galileu Galilei e Kepler.

Dessa forma, ele pode enunciar as leis do movimento dos corpos e a da Gravitação Universal.

Porém, ao tentar relacioná-las com o Eletromagnetismo estudado por Maxwell esbarrou em barreiras as quais não podiam ser explicadas por essas leis conhecidas.

É então que surge um novo personagem na história, Albert Einstein, o qual formulou a Teoria da Relatividade Restrita. Nessa teoria, ele considerou que os conceitos de espaço e tempo utilizados por Newton não poderiam utilizar o caráter absoluto.

Portanto, nessa OE iremos introduzir conceitos fundamentais para que possamos compreender a Teoria da Relatividade Restrita.

Bom estudo!

2. Aula 1 – O Tempo e o Espaço: um breve olhar através da História

Antes de iniciar, vamos assistir a um vídeo para que possamos entrar no clima de nossa aula.

	<p>HORA DE ASSISTIR UM VÍDEO</p> <p>Assista ao vídeo a partir do link a seguir:</p> <p>https://youtu.be/kJ5xNaSleTI</p>
-------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.1. Tempo e Espaço: Aristóteles e Newton

Para Aristóteles, se um corpo estivesse em movimento vertical para baixo, ou seja, em direção ao solo, este pararia ao tocar a Terra, de acordo com a sua teoria de lugar natural.

Porém, a definição utilizada de lugar natural, apesar de ter sido válida por muitos séculos, não foi suficiente para resolver os problemas matemáticos e astronômicos que surgiram com o Renascimento. Foi a partir de então que se percebeu que essa teoria utilizada já não era mais suficiente para explicar os fenômenos atuais. Portanto, esse foi o momento em que a Ciência buscou novas respostas às novas questões surgidas, abandonando os conceitos anteriores. Coube a Galileu Galilei iniciar esse processo de mudança.

Em seus estudos Galileu Galilei não considerou o movimento e repouso com caráter absoluto, mas, sim, como sendo uma relação entre corpos. Dessa forma, dependeriam da posição do observador.

Para Galileu, ao contrário do que preconizada Aristóteles o qual o destino dos corpos é atingir o repouso, um corpo em MRU permaneceria em movimento.

Foi a partir dessa ideia que Newton pode enunciar a sua Primeira lei, a Lei da Inércia. A partir de então ele passou a ter condições de responder as questões ainda não desenvolvidas. Como resultado desses estudos pode enunciar a Lei da Gravitação Universal e as Leis de Newton para o movimento dos corpos.

2.2. Espaço e Tempo: Albert Einstein

Foi a partir dos estudos de Maxwell, no eletromagnetismo, que ele pode observar que as equações que detalhavam o que seria uma onda eletromagnética, era idêntica à que descrevia o deslocamento mecânico das ondas. Dessa forma, ele pode afirmar que tais ondas estavam presentes na Natureza. Que são as mesmas que, hoje, permitem o funcionamento de rádios, tvs e comunicação por satélite. Foi Maxwell que propôs que a luz era uma onda eletromagnética.

Até esse momento, para a Física, as grandezas **tempo** e **espaço** eram constantes para qualquer sistema referencial, ou seja, que qualquer medida de tempo ou de comprimento, segundo e metro por exemplo, respectivamente, possuíam a mesma dimensão em qualquer lugar.



Em outras palavras, isso significa que um segundo na Terra seria igual a um segundo em qualquer lugar no espaço

Einstein concluiu, após estudar atentamente esses conceitos, que as grandezas **tempo** e **espaço** não eram absolutas e que também dependiam da posição em que se encontrasse o observador.

Logicamente não bastava apenas falar, ele deveria provar o que afirmava. Para isso, ele propôs que havia uma grandeza absoluta, a Luz. Portanto, se um observador estiver parado ou se deslocando com uma velocidade muito rápida, até mesmo próximo à velocidade da luz, a sua percepção da velocidade da luz será de 300 000 km/s.



Xiiii, complicou?
Vamos assistir a um vídeo animado para que possamos compreender melhor o que foi dito.



Uma dica.
Como o vídeo está em inglês, não esqueça de configurar as legendas para o Português.



HORA DE ASSISTIR UM VÍDEO
Assista ao vídeo a partir do link a seguir:
<https://youtu.be/TgH9KXEQ0YU>

Você observou que a partir da suposta construção de um relógio de luz, conforme a figura 1,

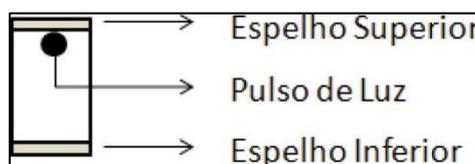


Figura 1- Relógio de luz proposto no vídeo.

Fonte: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/938/93862859007/1519-7050-csu-54-02-0185-gf01.jpg>

instalado sobre uma nave espacial que viaja a velocidade da luz, foi possível concluir que, para observadores diferentes, um dentro da nave e outro fora, a

distância d , percorrida pela luz é a mesma, ou seja, como se um estivesse parado em relação ao outro.

Entretanto, não podemos falar o mesmo da distância percorrida pela luz.

A figura 2, mostra o que seria a visão do observador do interior da nave espacial.

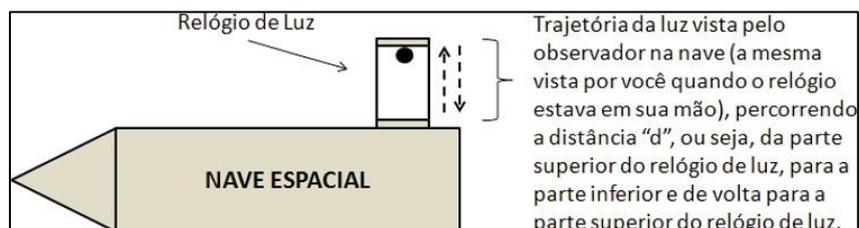


Figura 2- Trajetória da luz vista pelo observador no interior da nave.

Fonte: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/938/93862859007/1519-7050-csu-54-02-0185-gf02.jpg>

Portanto, a observação é apenas de subida e descida, o que seria a distância d .

A figura 3, mostra o que seria a visão de um observador que, supostamente, estivesse fora da nave.

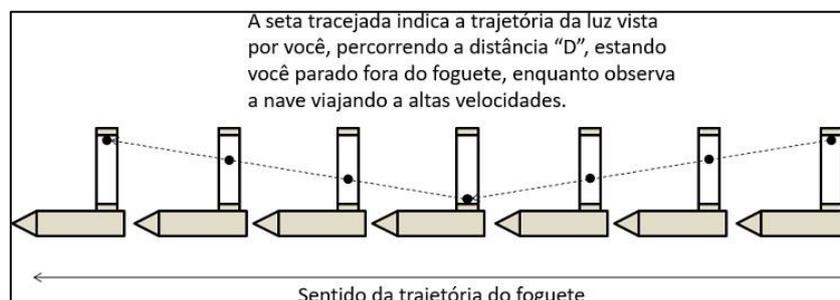


Figura 3- Trajetória da luz vista por um observador fora da nave.

Fonte: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/938/93862859007/1519-7050-csu-54-02-0185-gf03.jpg>

Nesse caso, além do movimento de subida e descida, temos ainda o deslocamento lateral, que corresponde a velocidade da nave, o que foi ilustrado no vídeo pela distância D , o qual podemos concluir, por uma observação visual que, $D > d$.

Entretanto, como a velocidade é a mesma para as duas situações (300 000 km/s), pela equação,

$$velocidade (c) = \frac{espaço}{tempo}$$

A única forma de garantir a manutenção da velocidade da luz é admitir que o tempo também variou, já que percorreram distâncias diferentes também.

Dessa forma, Einstein concluiu que sendo a velocidade constante, em ambas as situações, e que as distâncias percorridas pela luz eram diferentes, o tempo medido pelo observador no interior da nave era diferente do tempo medido pelo observador que se encontrava fora da nave.



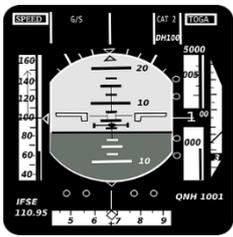
UM OUTRO OLHAR

Portanto, de uma forma mais simples, podemos dizer que, supondo que os dois observadores possuíssem dois relógios de pulsos iguais, o tempo em cada um dos relógios teria durações diferentes.

3. Aula 2. A Dilatação do Tempo e a Contração do Espaço

3.1. A Dilatação do Tempo

A descoberta de Einstein modificou a noção de tempo e distância no mundo. Dessa forma, o tempo e o Espaço deixaram de ser fixos e passaram a depender do ponto de vista do observador, ou seja, deformáveis, variáveis e dependentes do ponto de vista do observador.



HORA DE RELAXAR E ENTENDER

Vamos dar uma parada agora e vamos acessar um simulador de dilatação do tempo, pelo link [Dilatação do tempo \(vascak.cz\)](http://vascak.cz). Nele você poderá modificar a velocidade de deslocamento do veículo e observar o que acontece com o deslocamento do objeto. Dessa forma poderá fixar melhor o que você leu.

a dilatação do tempo é a diferença na medida do tempo realizada por dois relógios distintos e idênticos, perfeitamente sincronizados, que surge ao possuímos um deles se deslocando com velocidade aproximada a luz, ou também, quando este está sujeito a ação de um campo gravitacional diferente

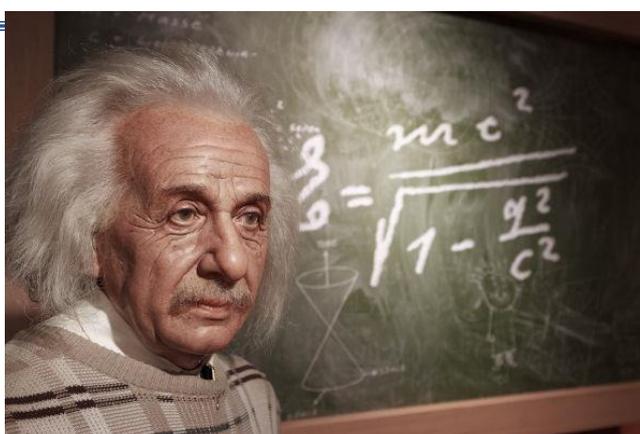


Figura 5- Albert Einstein.

Fonte: <https://s4.static.brasilecola.uol.com.br/be/2020/09/albert-einstein.jpg>

Você pode observar na simulação que o espaço também pode ser contraído, ou seja, que a medição de distâncias a partir de um referencial é afetada.

Vamos propor uma situação hipotética. Você, estando no planeta Terra, observa e mede a distância que separa duas estrelas n=bem distantes. Suponha ainda que um astronauta, viaje de uma dessas estrelas até a outra, com velocidade constante. Ele pode medir a distância entre essas duas estrelas.

Tomemos: $L_p = \text{comprimento medido a partir da Terra}$

$L = \text{comprimento medido pelo astronauta}$

L_p pode ser calculada pela aplicação da fórmula $L_p = c \cdot \Delta t_p$. Idem para L .

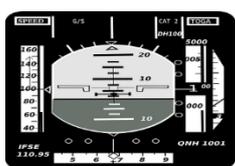
Pelo fato das velocidades serem iguais podemos escrever, $\frac{L_p}{\Delta t_p} = \frac{L}{\Delta t}$.

Utilizando-se de algumas operações algébricas podemos chegar ao resultado:

$$L = \frac{L_p}{K}, \text{ onde } K \text{ é uma constante.}$$

Portanto, o astronauta percebe um comprimento menor do que o observador na Terra.

Utilize o link indicado abaixo para ter acesso a uma simulação onde você pode se divertir tentando esconder completamente um ônibus dentro de uma garagem.



HORA DE RELAXAR E ENTENDER

https://iwant2study.org/lookangejss/06QuantumPhysics/ejss_model_relativity_LengthLorentzTransformation/relativity_LengthLorentzTransformation_Simulation.xhtml

4. Aula 3. A quarta dimensão



HORA DA LEITURA

Leia atentamente o texto a seguir.

É por isso que o Tempo Precisa ser uma Dimensão

Por Ethan Siegel
Traduzido pela equipe do SPRACE

Se lhe pedissem para descrever como você pode se movimentar pelo universo, você provavelmente pensaria em todas as direções diferentes para as quais pode ir. Você pode ir para a **esquerda** ou para a **direita**, para **frente** ou **para trás**, **para cima** ou **para baixo**; e são essas suas opções. Essas três direções independentes, que podem ser descritas por algo tão simples quanto um gráfico, representam todas as formas possíveis que uma pessoa tem de se mover pelo espaço.

Mas essas três dimensões estão longe de ser todas as que existem. Há uma quarta dimensão que é igualmente importante, embora seja muito diferente: **o tempo**. Estamos sempre avançando no tempo, com certeza, mas ele é uma dimensão tanto quanto qualquer outra dimensão espacial. Você pode falar tanto que vivemos em um universo quadridimensional descrito pelo tecido do espaço-tempo como em um universo de 3 + 1 dimensões, onde temos três dimensões espaciais mais uma dimensão temporal; mas você não pode separar essas entidades. Vamos tentar entender o porquê.



Figura 10-Foto do planeta Terra. Fonte: NASA

Essa visão detalhada da Terra é baseada, principalmente, em observações do Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) do satélite Terra da NASA. Na superfície de um planeta como a Terra, são necessárias apenas duas coordenadas (latitude e longitude, por exemplo) para definir um local. Se incluirmos locais subterrâneos ou acima da superfície, uma terceira dimensão espacial será necessária (NASA).

Os seres humanos, normalmente, vivem apenas na superfície da Terra. Quando queremos descrever onde estamos localizados, fornecemos apenas duas coordenadas: latitude e longitude. Precisamos apenas desses dois valores, que informam onde estamos localizados ao longo dos eixos norte-sul e leste-oeste do nosso planeta, porque a terceira dimensão é óbvia: estamos na superfície da Terra.

Mas se você estiver disposto a ir abaixo ou acima da superfície da Terra, precisará de uma terceira coordenada para descrever com precisão sua

localização: profundidade/altitude ou onde você está neste eixo cima-baixo. Afinal, alguém localizado exatamente na mesma latitude e longitude que você – as mesmas coordenadas bidimensionais – poderia estar em um túnel subterrâneo ou em um helicóptero. Vocês não estariam necessariamente no mesmo local; você precisa de três informações independentes para identificar sua localização no espaço.

Sua localização neste universo não é apenas descrita por coordenadas espaciais (onde), mas também por uma coordenada de tempo (quando). É impossível ir de um local para outro sem se mover no tempo também.



Figura 11- Posições do deslocamento de uma pessoa.
Fonte: PIXABAY USER RMATHEWS100

Entretanto, mesmo dois objetos diferentes com as mesmas coordenadas espaciais tridimensionais podem não se sobrepor. O motivo é fácil de entender se você começar a pensar na cadeira em que está sentado agora. Definitivamente, sua localização pode ser descrita com precisão pelas três coordenadas espaciais familiares a nós: x , y e z . Esta cadeira, no entanto, está ocupada por você agora, neste exato momento, em oposição a ontem, uma hora atrás, na semana que vem ou daqui a dez anos.

Para descrever precisamente um evento no espaço-tempo, você precisa saber mais do que apenas onde ele ocorre, mas também quando ele ocorre. Além de x , y e z , você também precisa de uma coordenada de tempo: t . Embora isso possa parecer óbvio, ela não desempenhou um grande papel na física até o desenvolvimento da Teoria da Relatividade de Einstein, quando os físicos começaram a pensar sobre a questão da simultaneidade. Imagine, se preferir, dois locais diferentes – um ponto “A” e um ponto “B” – conectados por um caminho.

Você pode escolher quaisquer dois pontos e desenhar um caminho unidimensional (linear) conectando-os. Se você exigir que alguém ande do ponto A ao ponto B ao mesmo tempo que alguém caminha do ponto B ao ponto A, sempre haverá um

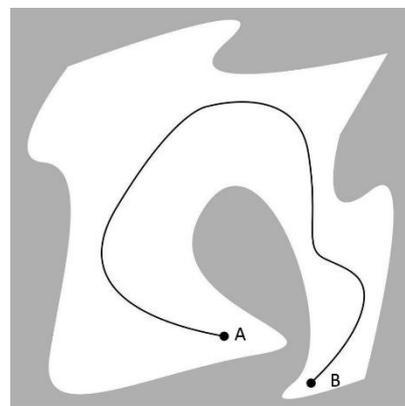


Figura 12- Ilustração de dois pontos distintos.
Fonte: SIMEON87/WIKIMEDIA COMMONS; E. SIEGEL

evento no espaço-tempo em que esses dois viajantes ocuparão o mesmo ponto nas quatro dimensões: eles ocuparão a mesma localização espacial ao mesmo tempo.

Imagine que uma pessoa esteja no ponto A e outra esteja no ponto B, e cada uma começa a viajar em direção ao outro ponto. Você pode visualizar onde cada um está colocando um dedo de cada mão em A e B e depois “caminhar” em direção a seus respectivos destinos. Não há como a pessoa que começa em A chegar a B sem passar pela outra pessoa, e não há como a pessoa que começa em B chegar a A sem passar pela primeira pessoa.



Figura 13- Trajetória de uma bola de tênis.
Fonte: (WIKIMEDIA COMMONS USERS MICHAELMAGGS e (editada por) RICHARD BARTZ)

[...] Se você permitir que uma bola de tênis caia sobre uma superfície dura como uma mesa, ela com certeza irá quicar e voltará a subir. Para descrever a posição de uma partícula como esta bola de tênis, você deve levar em consideração seu movimento através do universo, que requer não apenas informações sobre sua posição espacial, mas

também sobre como essa posição evolui com o tempo. Somente ao incluir uma coordenada de tempo junto com as três espaciais podemos falar com precisão sobre o movimento dos objetos através do nosso universo.

Esse experimento mental explica por que o tempo precisa ser considerado uma dimensão pela qual passamos, da mesma maneira que as dimensões espaciais são dimensões pelas quais passamos. Não foi Einstein, no entanto, que juntou espaço e tempo em uma formulação singular que os deixou inextricáveis. Na verdade, foi o ex-professor de Einstein – Hermann Minkowski – que descobriu o quão inseparáveis essas duas entidades são.

Menos de três anos após Einstein introduzir sua Teoria da Relatividade Especial, Minkowski demonstrou a unidade do espaço-tempo com uma linha de raciocínio brilhante. Se você deseja se mover pelo espaço, não pode

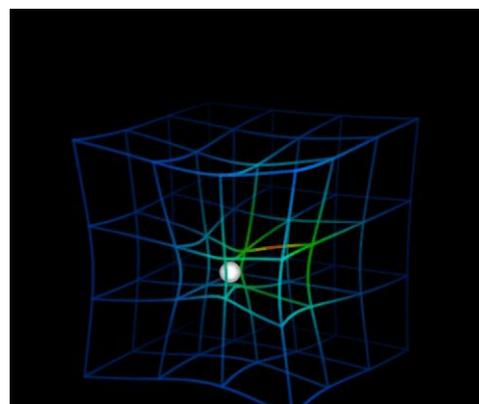


Figura 14- Animação Espaço-tempo.

fazê-lo instantaneamente; você precisa mudar de onde está agora para outro local espacial, onde só chegará em algum momento no futuro. Se você está aqui agora, não pode estar em outro lugar neste mesmo momento, só pode chegar lá mais tarde. Mover-se pelo espaço exige que você também se mova pelo tempo.

Uma visão animada (Fig. 14) de como o espaço-tempo reage à medida que uma massa se move através dele ajuda a mostrar exatamente como, qualitativamente, ele não é apenas uma folha de tecido, mas sim como todo o espaço é curvado pela presença e propriedades da matéria e energia dentro do universo. Observe que o espaço-tempo só pode ser descrito se incluirmos tanto a posição do objeto como onde essa massa está localizada ao longo do tempo. Tanto a localização instantânea quanto a história passada de onde esse objeto estava determinam as forças experimentadas pelos objetos que se movem pelo universo.

O que a publicação da Teoria da Relatividade Especial de Einstein expôs em 1905 foi a relação quantitativa entre o movimento de alguém através do espaço e o movimento de uma pessoa através do tempo. Ela nos ensinou que a velocidade da luz no vácuo é um limite de velocidade universal e que, quando você se aproxima dela, você experimenta os fenômenos bizarros da contração do espaço e da dilatação do tempo.

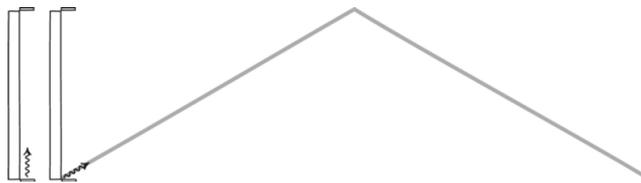
Mas Minkowski deu um salto gigantesco quando percebeu, matematicamente, que o movimento no tempo se comporta exatamente como o movimento no espaço, exceto por dois fatores multiplicativos adicionais: c , a velocidade da luz no vácuo e i , o número imaginário $\sqrt{-1}$. Depois de concluir sua derivação do espaço-tempo pela primeira vez, Minkowski afirmou:

“Daqui em diante, o espaço por si só e o tempo por si só estão fadados a desaparecer em meras sombras, e apenas um tipo de união entre os dois preservará uma realidade independente”.

[...] Ao se mover pelo universo, você experimentará mudanças na maneira como o espaço e o tempo passam para você.

- Se você estiver parado e imóvel, permanecendo na mesma posição espacial, avançará no tempo na velocidade máxima possível.

- À medida que você se move pelo espaço mais rapidamente, você se move mais lentamente no tempo (o tempo se dilata) e as distâncias espaciais se tornarão mais curtas no sentido da direção do seu movimento (contração do espaço).
- E se você não tivesse massa, não teria outra opção a não ser se mover na velocidade da luz. As distâncias no sentido da direção do seu movimento se reduziriam a zero; você as atravessaria instantaneamente. Da mesma forma, o tempo se dilataria até o infinito; sua jornada levaria zero de tempo da sua perspectiva.



Um relógio de luz, formado por um fóton saltando entre dois espelhos, definirá o tempo para qualquer observador. Embora os dois observadores possam não concordar entre si quanto tempo está passando, eles concordam com as leis da física e com as constantes do universo, como a velocidade da luz. Um observador estacionário verá o tempo passar normalmente, mas um observador se movendo rapidamente pelo espaço terá o relógio mais lento em relação ao observador estacionário (JOHN D. NORTON)

Quando você analisa as implicações físicas dessas considerações, elas são surpreendentes. Você pode aprender que todas as partículas sem massa são intrinsecamente estáveis; como o tempo não passa para elas em sua referência, elas nunca podem decair. Quando partículas instáveis são criadas, mesmo que tenham vidas extremamente curtas, poderão percorrer distâncias muito maiores do que você imagina, multiplicando ingenuamente sua velocidade pelo tempo que vivem.

Um múon criado na atmosfera terrestre, cerca de 60-100 km acima do solo, por exemplo, alcançará a superfície da Terra embora sua vida útil ($2,2 \mu\text{s}$) signifique que ele não deveria viajar nem 1 quilômetro a velocidades próximas à da luz antes de decair. Isso também significa que coisas que começam idênticas não permanecerão necessariamente assim: um par de gêmeos idênticos, onde um

permanece na Terra e o outro faz uma viagem ao espaço, envelhecerá em taxas diferentes, com o gêmeo em viagem se tornando mais jovem (experimentando menos passagem do tempo) do que o outro gêmeo ao retornar.



HORA DE ASSISTIR UM VÍDEO

Assista ao vídeo a partir do link a seguir:
<https://youtu.be/98OvQpOkOIU>, para compreender melhor esse exemplo dos gêmeos.

Você não pode pensar no espaço e no tempo separadamente, pois eles estão intrinsecamente conectados; mover-se através de um afeta seu movimento através do outro, independentemente de outras propriedades inerentes ao espaço-tempo. [...]. O tempo é uma dimensão assim como o espaço, pois independentemente de como você se move no espaço, você irá sempre avançar no tempo. Às vezes lemos que nosso universo tem 3 + 1 dimensões, em vez de 4 dimensões, porque o tempo é ligeiramente diferente: acelerar seu movimento pelo espaço desacelera seu movimento pelo tempo e vice-versa.

[...] Se o tempo não fosse uma dimensão e não tivesse exatamente as propriedades que tem, a Relatividade Especial seria inválida e não poderíamos construir o espaço-tempo para descrever nosso universo. Precisamos que o tempo seja uma dimensão inextricável do espaço para a física funcionar como funciona. Quando alguém lhe perguntar se vivemos em um universo tridimensional, tenha orgulho de adicionar um “+1” e prestar uma homenagem ao tempo.

Traduzido do artigo original de Ethan Siegel em “Starts With A Bang!”
(<https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2019/08/27/this-is-why-time-has-to-be-a-dimension/#1ccd6cdc3646>)

5. Aula 4. Massa x Energia ($E = m.c^2$)

Em seus estudos quanto Teoria da Relatividade, Einstein concluiu que se um corpo perder uma quantidade de energia E , por emissão de radiação eletromagnética, sua massa diminui de uma quantidade E/c^2 . Einstein generalizou tal argumento para qualquer tipo de transferência de energia. Portanto, que, nesse sentido, a massa de um corpo é uma medida do seu conteúdo energético.

Ainda de acordo com a sua teoria, qualquer massa possui energia associada a ela e vice-versa. Matematicamente foi representada por: $E = m \cdot c^2$, onde:

$E =$ Energia de uma partícula; $M =$ massa da partícula e

$c =$ velocidade da luz no vácuo.

Essa equação, teve como principal consequência a energia nuclear. Também pode ser associada a energia de repouso: $E_0 = m_0 \cdot c^2$

Entretanto, estando o corpo em movimento ele passa a ter uma energia cinética (E_c) e sua massa relativística representada por: $\Delta m = m - m_0$.

A massa relativística, por sua vez, é $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Após algumas manipulações matemáticas podemos expressar a energia cinética relativística como: $E_c = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \cdot c^2$.

Não se engane!

A massa está associada à inércia.

A energia está associada à capacidade de realizar trabalho.

São grandezas físicas muito diferentes.

*O que Einstein mostrou e que está testado com grande precisão por um grande número de experimentos é que se um corpo ganha uma certa quantidade de energia **E**, sua massa (ou sua inércia) aumenta de uma quantidade equivalente a E/c^2 , onde **c** é a velocidade da luz no vácuo. E inversamente, se um corpo perde uma certa quantidade de energia **E**, sua massa (ou sua inércia) fica diminuída de uma quantidade equivalente a E/c^2 .*

Site do Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria (GEF-UFSM)/

A melhor maneira de apreciar a conclusão de Einstein é entender que se um corpo ganha (ou perde) uma certa quantidade de energia **E**, sua massa aumenta (ou diminui) de uma quantidade igual a E/c^2 .

5.1. Consequências da Energia Relativística

“A equação da energia relativística mostra que a máxima energia que um corpo pode possuir é obtida pela multiplicação da massa pela velocidade da luz ao quadrado. O que também significa que uma quantidade mínima de massa pode produzir quantidades imensas de energia. Por exemplo: Um corpo com massa $m = 1,0 \text{ Kg}$ pode produzir $9,0 \cdot 10^{16} \text{ J}$ de energia.

Esse conceito de equivalência entre massa e energia foi utilizado no desenvolvimento da bomba atômica, pois possibilita o cálculo da energia que pode ser liberada em uma reação nuclear. Essa descoberta foi elementar para a criação das duas bombas atômicas que destruíram as cidades de Hiroshima e Nagasaki e que levou Einstein a ser conhecido como o pai da bomba atômica”.

(Mariane Mendes Teixeira)

Aula 5 - Atividades

1. A teoria da relatividade foi uma revolução para o século XX, pois ela provocou inúmeras transformações em conceitos básicos e também proporcionou que fatos importantes, ainda não explicáveis, pudessem ser entendidos. Essa teoria surgiu com o físico alemão Albert Einstein. Foi ele que explicou corretamente o efeito fotoelétrico, fato esse que possibilitou o desenvolvimento da bomba atômica, mesmo sem ele saber para quais fins se destinava. A teoria da relatividade é composta de duas outras teorias: Teoria da Relatividade Restrita, que estuda os fenômenos em relação a referenciais inerciais, e a Teoria da Relatividade Geral, que aborda fenômenos do ponto de vista não inercial. Apesar de formar uma só teoria, elas foram propostas em tempos diferentes, mas ambas trouxeram o conhecimento de que os movimentos do Universo não são absolutos, mas, sim, relativos.

A teoria da relatividade restrita foi construída por Einstein a partir de dois importantes postulados: 1º Postulado: as leis da Física são as mesmas em todos os sistemas de referência inercial; 2º Postulado: a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial, ou seja, $c = 300\,000 \text{ km/s}$.

Por Marco Aurélio da Silva

Em relação às teorias da relatividade restrita e geral, assinale a única opção correta.

- a) A teoria da relatividade restrita estuda fenômenos em relação a referenciais não inerciais.
- b) A teoria da relatividade geral é uma segunda teoria feita por Einstein, na qual erros em relação à teoria da relatividade restrita foram corrigidos.

- c) A teoria da relatividade geral aborda fenômenos do ponto de vista não inercial.
- d) Ambas as teorias foram desenvolvidas na segunda metade do século XIX.

2. A teoria da relatividade restrita tem como base dois postulados:
1. Todas as leis da natureza são as mesmas em todos os sistemas de referência inerciais (sistemas de referência não-acelerados).
 2. A velocidade de propagação da luz no vácuo é a mesma em todos os sistemas de referência inerciais (sistemas de referência não-acelerados).

Tendo a teoria da relatividade como referência, assinale a única opção verdadeira.

- a) O tempo é uma grandeza absoluta,
- b) Para objetos na velocidade da luz, ocorre a contração do tempo.
- c) Para objetos na velocidade da luz, ocorre a contração dos comprimentos.
- d) Para objetos na velocidade da luz, ocorre a dilatação dos comprimentos.

3. (UEPB–2010-adaptada) Leia o texto a seguir.

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 ideias 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).

Acerca do assunto tratado no texto anterior, foram feitas as seguintes afirmativas:

- I. A Teoria da Relatividade afirma que a velocidade da luz não depende do sistema de referência.
- II. Para a Teoria da Relatividade, quando o espaço dilata, o tempo contrai, enquanto que, para a física newtoniana, o espaço e o tempo sempre se mantêm absolutos.
- III. A Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade não limitam a velocidade que uma partícula pode adquirir.
- IV. Na relatividade de Galileu e Newton, o tempo não depende do referencial em que é medido, ou seja, é absoluto.

Após a análise feita, assinale a única opção que contém apenas afirmativas corretas.

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

4. (UFPEL-RS–2007-adaptada) considerando a Teoria da Relatividade de Einstein foram feitas as afirmativas abaixo.

- I. O tempo transcorre da mesma maneira em qualquer referencial inercial, independentemente da sua velocidade.
- II. O comprimento dos corpos diminui na direção do movimento.
- III. Quando a velocidade de um corpo tende à velocidade da luz, sua massa tende ao infinito.

De acordo com seus conhecimentos sobre Física Moderna e as suas Orientações de Estudos do 3º bimestre, assinale a única opção que contém apenas afirmativas corretas.

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

5. A teoria da relatividade restrita tem como base dois postulados:

1. Todas as leis da natureza são as mesmas em todos os sistemas de referência inerciais (sistemas de referência não-acelerados).
2. A velocidade de propagação da luz no vácuo é a mesma em todos os sistemas de referência inerciais (sistemas de referência não-acelerados).

Tendo a teoria da relatividade como referência, assinale a única opção INCORRETA.

- a) As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais que mantêm velocidade constante ou que estão parados.
- b) A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial e vale $3 \times 10^8 \text{ m/s}$.
- c) Os postulados da teoria da relatividade fundamentam a teoria da relatividade de Einstein.
- d) A velocidade da luz tem seu valor máximo no vácuo e tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial, que é 300000 m/s .

Considerações Finais

Com certeza, em uma primeira leitura, você achou muito complicado e talvez não tenha conseguido entender corretamente as ideias de Einstein. Mas, tente reler com calma e veja como faz sentido a questão da dilatação e contração do tempo. Todas as grandezas fazem parte do trabalho de pesquisa desenvolvido arduamente por ele. A partir dessa leitura veja se não é possível as explicações dadas. Bom estudo.

Resumo

Nestas Orientações de Estudos 3 – Bimestre 3 de 2021, Física – 1ª série, você teve contato com a Teoria da Relatividade enunciada por Albert Einstein.

Pode observar qual a importância dessa teoria para a fundamentação da Física Moderna.

Verificou que ela não extingue a Física Newtoniana, mas, apenas completa a compreensão dos fenômenos que Newton não podia explicar.

Referências Bibliográficas

GOMES, Geovane Ferreira, Tempo e Espaço: onde as teorias da natureza se encontram com as da cultura. Disponível em: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/938/93862859007/html/index.html>. Acesso em 22 de jan 2021.

HELERBROCK, Rafael. "Dilatação do tempo"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/dilatacao-tempo.htm>. Acesso em 21 de janeiro de 2021.

MENDES, Mariana, Energia Relativística. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/energia-relativistica-equivalencia-entre-massa-energia.htm>. Acesso em 22 jan 2021.

Referências Audiovisuais

A velocidade da luz: https://youtu.be/bkRxUMvn_uA

Paradoxo dos gêmeos: <https://youtu.be/iIEeSiT3SI4>

Teoria da Relatividade: <https://youtu.be/njToAZrphko>