

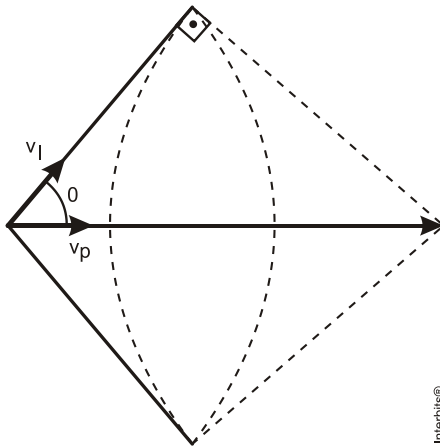
EXERCÍCIOS EXTRAS DE RELATIVIDADE
OBS: RESOLUÇÃO NO FINAL

01. (Unicamp 2011) A radiação Cerenkov ocorre quando uma partícula carregada atravessa um meio isolante com uma velocidade maior do que a velocidade da luz nesse meio. O estudo desse efeito rendeu a Pavel A. Cerenkov e colaboradores o prêmio Nobel de Física de 1958. Um exemplo desse fenômeno pode ser observado na água usada para refrigerar reatores nucleares, em que ocorre a emissão de luz azul devido às partículas de alta energia que atravessam a água.

a) Sabendo-se que o índice de refração da água é $n = 1,3$, calcule a velocidade máxima das partículas na água para que não ocorra a radiação Cerenkov. A velocidade da luz no vácuo é $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

b) A radiação Cerenkov emitida por uma partícula tem a forma de um cone, como ilustrado na figura abaixo, pois a sua velocidade, v_p , é maior do que a velocidade da luz no meio, v_l . Sabendo que o cone formado tem um ângulo $\theta = 50^\circ$ e que a radiação emitida percorreu uma distância $d = 1,6 \text{ m}$ em $t = 12 \text{ ns}$, calcule v_p .

Dados: $\cos 50^\circ = 0,64$ e $\sin 50^\circ = 0,76$.



02. (Ufrgs 2011) De acordo com a Teoria da Relatividade quando objetos se movem através do espaço-tempo com velocidades da ordem da velocidade da luz, as medidas de espaço e tempo sofrem alterações. A expressão da contração espacial é dada por

$$L = L_0 \left(1 - v^2 / c^2\right)^{1/2}$$

onde v é a velocidade relativa entre o objeto observado e o observador, c é a velocidade de propagação da luz no vácuo, L é o comprimento medido para o objeto em movimento, e L_0 é o comprimento medido para o objeto em repouso.

A distância Sol-Terra para um observador fixo na Terra é $L_0 = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$. Para um nêutron com velocidade $v = 0,6 c$, essa distância é de

- a) $1,2 \times 10^{10} \text{ m}$
- b) $7,5 \times 10^{10} \text{ m}$
- c) $1,0 \times 10^{11} \text{ m}$
- d) $1,2 \times 10^{11} \text{ m}$
- e) $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

03. (Ueg 2010) Qual das afirmações a seguir é correta para a teoria da relatividade de Einstein?

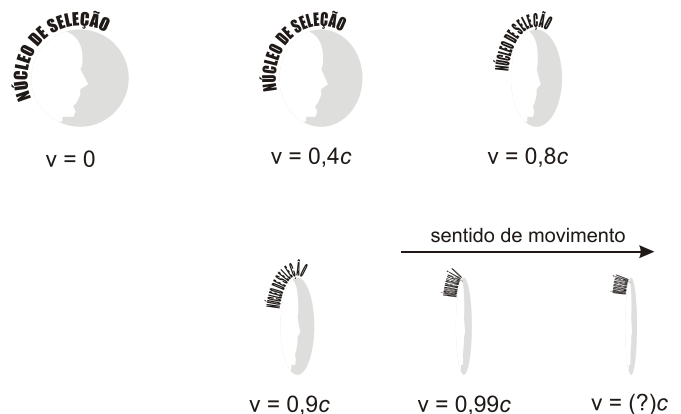
- a) No vácuo, a velocidade da luz depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.
- b) Elétrons são expulsos de uma superfície quando ocorre a incidência de uma radiação eletromagnética (luz).
- c) Em determinados fenômenos, a luz apresenta natureza de partícula e, em outros, natureza ondulatória.
- d) Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz c .

04. (Unicamp 2010) O GPS (*Global Positioning System*) consiste em um conjunto de satélites que orbitam a Terra, cada um deles carregando a bordo um relógio atômico. A Teoria da Relatividade Geral prevê que, por conta da gravidade, os relógios atômicos do GPS adiantam com relação a relógios similares na Terra. Enquanto na Terra transcorre o tempo de um dia ($t_{Terra} = 1,0 \text{ dia} = 86400 \text{ s}$), no satélite o tempo transcorrido é $t_{satélite} = t_{Terra} + \Delta t$, maior que um dia, e a diferença de tempo Δt tem que ser corrigida. A diferença de tempo causada pela gravidade é dada por $(\Delta t / t_{Terra}) = (\Delta U / mc^2)$, sendo ΔU a diferença de energia potencial gravitacional de uma massa m entre a altitude considerada e a superfície da Terra, e $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, a velocidade da luz no vácuo.

a) Para o satélite podemos escrever $\Delta U = mgR_T(1 - R_T/r)$, sendo $r \approx 4R_T$ o raio da órbita, $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ o raio da Terra e g a aceleração da gravidade na superfície terrestre. Quanto tempo o relógio do satélite adianta em $t_{Terra} = 1,0 \text{ dia}$ em razão do efeito gravitacional?

b) Relógios atômicos em fase de desenvolvimento serão capazes de medir o tempo com precisão maior que uma parte em 10^{16} , ou seja, terão erro menor que 10^{-16} s a cada segundo. Qual é a altura h que produziria uma diferença de tempo $\Delta t = 10^{-16} \text{ s}$ a cada $T_{Terra} = 1,0 \text{ s}$? Essa altura é a menor diferença de altitude que poderia ser percebida comparando medidas de tempo desses relógios. Use, nesse caso, a energia potencial gravitacional de um corpo na vizinhança da superfície terrestre.

05. (Ueg 2010) Observe a seguinte sequência de figuras:



Na sequência indicada, estão representadas várias 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 físico exposto nessa sequência 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.

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

06. (Unicamp 2009) A evolução da sociedade tem aumentado a demanda por energia limpa e renovável. Tipicamente, uma roda d'água de moinho produz cerca de 40 kWh (ou $1,4 \cdot 10^8 \text{ J}$) diários. Por outro lado, usinas nucleares fornecem em torno de 20% da eletricidade do mundo e funcionam através de processos controlados de fissão nuclear em cadeia.

a) Um sitiante pretende instalar em sua propriedade uma roda d'água e a ela acoplar um gerador elétrico. A partir do fluxo de água disponível e do tipo de roda d'água, ele avalia que a velocidade linear de um ponto da borda externa da roda deve ser $v = 2,4 \text{ m/s}$. Além disso, para que o gerador funcione adequadamente, a frequência de rotação da roda d'água deve ser igual a 0,20 Hz. Qual é o raio da roda d'água a ser instalada? Use $\pi = 3$.

b) Numa usina nuclear, a diferença de massa Δm entre os reagentes e os produtos da reação de fissão é convertida em energia, segundo a equação de Einstein $E = \Delta mc^2$, onde $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Uma das reações de fissão que podem ocorrer em uma usina nuclear é expressa de forma aproximada por:

$(1000 \text{ g de } U_{235}) + (4 \text{ g de nêutrons}) \rightarrow (612 \text{ g de } Ba_{144}) + (378 \text{ g de } Kr_{89}) + (13 \text{ g de nêutrons}) + \text{energia}$.

Calcule a quantidade de energia liberada na reação de fissão descrita acima.

07. (Ueg 2009) Os cientistas do mundo todo se uniram para construir o maior acelerador de partículas do mundo, o Grande Colisor de Hádrons (Large Hadron Collider). Supondo que dois prótons provenientes deste acelerador de partículas se aproximem frontalmente, cada um com velocidade $0,9c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo, encontre:

- o módulo da velocidade relativa de aproximação dos dois prótons;
- a massa relativística dos prótons acelerados em termos da sua massa de repouso.

08. (Ueg 2007) 2007: ANO HÉLIO-FÍSICO

O ano de 2007 foi o Ano Internacional Hélio-Físico e foi dedicado a eventos e estudos sobre o astro-rei. O Sol fica a 150 milhões de km da Terra. Todo o dia o sol perde 380 milhões de toneladas transformadas em energia. Seu poder de atração enfraquece gradativamente e, por isso, a Terra se afasta dele 3 mm ao ano. A temperatura da "superfície" solar é de 5,5 mil graus Celsius. A massa do Sol equivale a 330 mil vezes à da Terra e corresponde a 99% da massa do Sistema Solar. Estima-se que daqui a cerca de 5 bilhões de anos o hidrogênio solar, seu principal combustível, vai se esgotar. O Sol se converterá em outro tipo de estrela, modificando as condições físicas no Sistema Solar.

GALILEU, São Paulo, abr. 2007, p. 21. [Adaptado].

Com base no texto acima, é incorreto afirmar:

- O sol usa a fusão de átomos de hidrogênio para obter outro composto químico: o hélio.
- A energia diária transformada no Sol por causa da sua perda de massa seria suficiente para manter acesas 100 mil lâmpadas de 100 W por no máximo 300 séculos.
- A luz emitida pelo Sol demora cerca de 8 minutos para chegar à Terra.
- Sabendo-se que os pontos de ebulição da água e o ponto de fusão do gelo na escala Réaumur são, respectivamente, 80°R e 0°R , a temperatura da "superfície" solar é de 4,4 mil graus Réaumur.

09. (Ueg 2006) "Buraco negro" é o nome dado a regiões do espaço sideral de onde radiotelescópios não captam nenhuma emissão de ondas eletromagnéticas. A designação "negro" vem do fato de que nenhuma luz emana daquele local. A astronomia detectou que há um fluxo intenso de radiação eletromagnética e de matéria para dentro do buraco negro que, portanto, não é vazio e sim hiperdenso em termos de concentração de massa e energia. O fato de que não sai luz visível de um buraco negro pode ser associado a qual das seguintes alternativas?

- Por ser hiperdenso, o "buraco negro" tem a capacidade de emitir todas as cores de luz, formando uma mistura de cor "negra".
- A forte concentração de nêutrons no buraco negro não permite a saída de luz por causa da atração eletrostática.
- Mesmo que muito pequena, a luz tem uma massa associada a ela e fica presa ao "buraco negro" pela forte atração gravitacional.
- O "buraco negro" tem temperatura próxima ao zero absoluto e, por isso, não emite radiação alguma.

OBS: questão sem resposta. Veja gabarito para mais detalhes.

10. (Ueg 2005) Antes mesmo de ter uma ideia mais correta do que é a luz, o homem percebeu que ela era capaz de percorrer muito depressa enormes distâncias. Tão depressa que levou Aristóteles - famoso pensador grego que viveu no século IV a.C. e cujas obras influenciaram todo o mundo ocidental até a Renascença - a admitir que a velocidade da luz seria infinita.

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

Hoje sabe-se que a luz tem velocidade de aproximadamente 300000 km/s, que é uma velocidade muito grande, porém finita. A teoria moderna que admite a velocidade da luz constante em qualquer referencial e, portanto, torna elásticas as dimensões do espaço e do tempo é:

- a teoria da relatividade.
- a teoria da dualidade onda - partícula.
- a teoria atômica de Bohr.
- o princípio de Heisenberg.
- a lei da entropia.

11. (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?

12. (Upe-ssa 3 2017) A sonda caçadora de exoplanetas Kepler encontrou aquele que talvez seja o corpo celeste mais parecido com a Terra. A Nasa anunciou, nesta quinta-feira (23), a descoberta de Kepler-452b, um exoplaneta encontrado dentro de uma zona habitável de seu sistema solar, ou seja, uma região onde é possível que exista água no estado líquido. A semelhança com nosso planeta é tão grande que os pesquisadores chamaram o Kepler-452b de Terra 2.0. O Kepler-452b é cerca de 60% maior que a Terra e precisa de 385 dias para completar uma órbita ao redor de sua estrela, a Kepler 452. E essa estrela hospedeira é muito parecida com nosso Sol: tem quase o mesmo tamanho, temperatura e emite apenas 20% mais luz. Localizado na constelação Cygnus, o sistema solar da Terra 2.0 está a 1.400 anos-luz distante do nosso.

Fonte: <http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/terra-2-0-nasa-anuncia-descoberta-historica-de-planeta-quase-identico-ao-nosso>, acessado em: 14 de julho de 2016.

Supondo-se que, a fim de investigar mais de perto o Kepler-452b, uma sonda tenha sido enviada da Terra por uma equipe da Nasa, com uma velocidade igual a $(3)^{1/2} c/2$. Quando o relógio instalado na sonda marcar 28 anos de viagem, quanto tempo terá se passado para a equipe na Terra?

Adote $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ para a velocidade da luz.

- 7 anos
- 14 anos
- 21 anos
- 42 anos
- 56 anos

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

13. (Udesc 2016) No contexto histórico da virada do século XIX para o século XX, Lord Kelvin proferiu uma palestra e afirmou que não havia mais muitos pontos obscuros para serem resolvidos pela Física. Destacou que existiam apenas dois problemas: o primeiro referente a não detecção do vento de éter (resultado nulo do experimento de Michelson-Morley), e o segundo, relacionado à partição de energia (emissão e absorção da radiação de corpo negro).

Em relação ao avanço na construção de conhecimento em Física, decorrente dos dois problemas apontados por Lord Kelvin, assinale a alternativa **correta**.

a) Os pontos obscuros apontados por Lord Kelvin não se configuraram em problemas científicos, e foram ignorados pela Ciência.

b) Os problemas sinalizados por Lord Kelvin foram solucionados pela mecânica newtoniana, sendo necessário apenas um refinamento experimental.

c) A Ciência, em particular a Física, não avançou mediante a resolução de problemas e aos pontos obscuros apontados por Lord Kelvin, que retratavam apenas dúvidas pessoais dele próprio.

d) Max Planck foi o único a solucionar os dois problemas apontados por Lord Kelvin e, por isso, Planck é considerado por muitos o “Pai da Mecânica Quântica”.

e) Os pontos obscuros destacados por Lord Kelvin foram determinantes na condução de mudanças radicais na Física, culminando na construção das teorias quânticas e relativísticas.

14. (Ufsc 2016) Em 6 de novembro de 2014, estreava no Brasil o filme de ficção científica *Interstellar*, que abordou, em sua trama, aspectos de Física Moderna. Um dos fenômenos mostrados no filme foi a dilatação temporal, já prevista na Teoria da Relatividade de Albert Einstein. Além da relatividade, Einstein explicou o Efeito Fotoelétrico, que lhe rendeu o prêmio Nobel de 1921.

Sobre os fenômenos referidos acima, é **CORRETO** afirmar que: 01) o Efeito Fotoelétrico foi explicado atribuindo-se à luz o comportamento corpuscular.

02) a alteração da potência de uma radiação que provoca o Efeito Fotoelétrico altera a energia cinética dos elétrons arrancados e não o número de elétrons.

04) de acordo com a Teoria da Relatividade, as leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial.

08) de acordo com a Teoria da Relatividade, a velocidade da luz no vácuo é uma constante universal, é a mesma em todos os sistemas inerciais de referência e não depende do movimento da fonte de luz.

15. (Ufjf-pism 3 2016) Em um reator nuclear, átomos radioativos são quebrados pelo processo de fissão nuclear, liberando energia e átomos de menor massa atômica. Esta energia é convertida em energia elétrica com um aproveitamento de aproximadamente 30%. A teoria da relatividade de Einstein torna possível calcular a quantidade de energia liberada no processo de fissão nuclear. Nessa teoria, a energia de uma partícula é calculada pela expressão $E = mc^2$, onde $m = m_0 / \sqrt{1 + (v/c)^2}$. Em uma residência comum, se consome, em média, 200 *kWatt-hora* por mês. Neste caso, **CALCULE** qual deveria ser a massa, em quilogramas, necessária para se manter essa residência por um ano, considerando que a transformação de massa em energia ocorra no repouso.

Dado: $c = 3 \times 10^8$ m/s.

a) $3,6 \times 10^{-8}$ kg

b) $6,3 \times 10^{-5}$ kg

c) $3,2 \times 10^{-7}$ kg

d) $9,6 \times 10^{-8}$ kg

e) $5,3 \times 10^{-5}$ kg

16. (Fgv 2016) Não está longe a época em que aviões poderão voar a velocidades da ordem de grandeza da velocidade da luz (c) no vácuo. Se um desses aviões, voando a uma velocidade de $0,6 \cdot c$, passar rente à pista de um aeroporto de 2,5 km, percorrendo-a em sua extensão, para o piloto desse avião a pista terá uma extensão, em km, de

a) 1,6.

b) 2,0.

c) 2,3.

d) 2,8.

e) 3,2.

17. (Ita 2016) Enquanto em repouso relativo a uma estrela, um astronauta vê a luz dela como predominantemente vermelha, de comprimento de onda próximo a 600 nm. Acelerando sua nave na direção da estrela, a luz será vista como predominantemente violeta, de comprimento de onda próximo a 400 nm, ocasião em que a razão da velocidade da nave em relação à da luz será de

a) 1/3.

b) 2/3.

c) 4/9.

d) 5/9.

e) 5/13.

18. (Uem 2016) Em 1905, Albert Einstein propôs mudanças no estudo do movimento relativo entre corpos. A proposta de Einstein ficou conhecida como a Teoria da Relatividade Especial. Sobre a Teoria da Relatividade Especial de Einstein é **correto** afirmar que: 01) As leis da física mudam quando se muda o referencial inercial. 02) A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em todos os referenciais inerciais. Não depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.

04) A massa de um corpo é constante, independente da velocidade desse corpo.

08) A energia total (E, em Joules) de um corpo de massa (m, em quilogramas) é o produto de sua massa pelo quadrado da velocidade da luz no vácuo (c, em metros por segundo), ou seja,

$$E = mc^2.$$

16) Na natureza não podem ocorrer interações com velocidade menor do que a velocidade da luz.

19. (Ueg 2016) Recentemente, os noticiários divulgaram a descoberta de ondas gravitacionais, previstas teoricamente por Albert Einstein. Essa descoberta reforça a teoria

a) da radiação de corpo negro.

b) do efeito fotoelétrico.

c) do efeito Compton.

d) da relatividade.

e) das cordas.

20. (Fuvest 2016) O elétron e sua antipartícula, o pósitron, possuem massas iguais e cargas opostas. Em uma reação em que o elétron e o pósitron, em repouso, se aniquilam, dois fótons de mesma energia são emitidos em sentidos opostos.

A energia de cada fóton produzido é, em MeV, aproximadamente,

Note e adote:

$$\text{Relação de Einstein entre energia (E) e massa (m): } E = mc^2$$

$$\text{Massa do elétron} = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{Velocidade da luz } c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

No processo de aniquilação, toda a massa das partículas é transformada em energia dos fótons.

a) 0,3

b) 0,5

c) 0,8

d) 1,6

e) 3,2

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

21. (Upf 2015) Analise as afirmações sobre tópicos de Física Moderna.

I. Um dos postulados da teoria da relatividade especial é o de que as leis da Física são idênticas em relação a qualquer referencial inercial.

II. Um segundo postulado da teoria da relatividade especial é o de que a velocidade da luz no vácuo é uma constante universal que não depende do movimento da fonte de luz.

III. Denomina-se de efeito fotoelétrico a emissão de fótons por um material metálico quando exposto a radiação eletromagnética.

IV. A Física Moderna destaca que em algumas situações a luz se comporta como onda e em outras situações como partícula.

Está **correto** apenas o que se afirma em:

- I e II.
- II e III.
- I, II e III.
- II e IV.
- I, II e IV.

22. (Udesc 2015) A proposição e a consolidação da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica, componentes teóricos do que se caracteriza atualmente como Física Moderna, romperam com vários paradigmas da Física Clássica. Baseando-se especificamente em uma das teorias da Física Moderna, a Relatividade Restrita, analise as proposições.

I. A massa de um corpo varia com a velocidade e tenderá ao infinito quando a sua velocidade se aproximar da velocidade da luz no vácuo.

II. A Teoria da Relatividade Restrita é complexa e abrangente, pois, descreve tanto movimentos retilíneos e uniformes quanto movimentos acelerados.

III. A Teoria da Relatividade Restrita superou a visão clássica da ocupação espacial dos corpos, ao provar que dois corpos, com massa pequena e velocidade igual à velocidade da luz no vácuo, podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo.

Assinale a alternativa **correta**.

- Somente a afirmativa I é verdadeira.
- Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- Somente a afirmativa II é verdadeira.
- Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- Todas afirmativas são verdadeiras.

23. (Unisc 2015) Em uma explosão de uma mina de carvão foram utilizadas 1.000 toneladas de explosivo trinitrotolueno (TNT), o que equivale a $1,0 \times 10^{12}$ calorias. Qual foi, aproximadamente, a quantidade de massa convertida em energia equivalente a essa explosão? (1 caloria = 4,18J e $c = 3,0 \times 10^8$ m/s)

- $4,6 \times 10^{-5}$ kg
- $4,6 \times 10^{-8}$ kg
- $1,1 \times 10^{-5}$ kg
- $1,1 \times 10^{-8}$ kg
- $1,1 \times 10^{-13}$ kg

24. (Ufjf-pism 3 2015) Na Teoria da Relatividade de Einstein, a energia de uma partícula é calculada pela expressão $E = mc^2$,

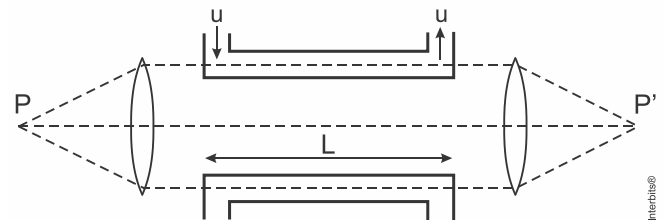
onde $m = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$. Em um microscópio eletrônico de varredura, elétrons são emitidos com energia de $8,0 \times 10^5$ eV para colidir com uma amostra de carbono que se encontra parada. Calcule o valor da velocidade dos elétrons emitidos.

- $2,31 \times 10^8$ m/s
- $4,73 \times 10^8$ m/s
- $1,11 \times 10^6$ m/s
- $2,31 \times 10^4$ m/s
- $1,11 \times 10^4$ m/s

25. (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 $0,999c$ para um planeta de uma estrela situado a 20 anos-luz de distância. Ele passa 5 anos neste planeta e retorna para casa a $0,999c$. 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.

- 20,00 anos e 1,12 anos
- 45,04 anos e 1,79 anos
- 25,00 anos e 5,00 anos
- 45,04 anos e 6,79 anos
- 40,04 anos e 5,00 anos

26. (Ita 2015)



Luz de uma fonte de frequência f gerada no ponto P é conduzida através do sistema mostrado na figura. Se o tubo superior transporta um líquido com índice de refração n movendo-se com velocidade u , e o tubo inferior contém o mesmo líquido em repouso, qual o valor mínimo de u para causar uma interferência destrutiva no ponto P' ?

- $\frac{c^2}{2nLf}$
- $\frac{c^2}{2Lfn^2 - cn}$
- $\frac{c^2}{2Lfn^2 + cn}$
- $\frac{c^2}{2Lf(n^2 - 1) - cn}$
- $\frac{c^2}{2Lf(n^2 - 1) + cn}$

27. (Ita 2015) Um múon de meia-vida de $1,5 \mu\text{s}$ é criado a uma altura de 1km da superfície da Terra devido à colisão de um raio cósmico com um núcleo e se desloca diretamente para o chão. Qual deve ser a magnitude mínima da velocidade do múon para que ele tenha 50% de probabilidade de chegar ao chão?

- $6,7 \times 10^7$ m/s
- $1,2 \times 10^8$ m/s
- $1,8 \times 10^8$ m/s
- $2,0 \times 10^8$ m/s
- $2,7 \times 10^8$ m/s

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

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

- 50 anos.
- 25 anos.
- 5,0 anos.
- 2,5 anos.
- 0,50 ano.

29. (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 invariância do tempo em referenciais inerciais.
- A contração do espaço.
- A invariância da velocidade da luz.
- A diferença entre massa inercial e gravitacional.
- A conservação da quantidade de movimento.

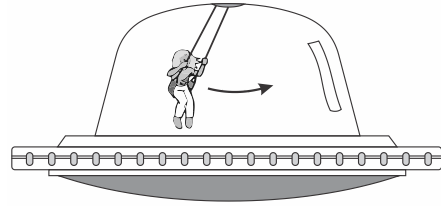
30. (Ufrgs 2014) Os múons cósmicos são partículas de altas energias, criadas na alta atmosfera terrestre. A velocidade de alguns desses múons (v) é próxima da velocidade da luz (c), tal que $v^2 = 0,998c^2$, e seu tempo de vida em um referencial em repouso é aproximadamente $t_0 = 2 \times 10^{-6}$ s. Pelas leis da mecânica clássica, com esse tempo de vida tão curto, nenhum múon poderia chegar ao solo, no entanto eles são detectados na Terra. Pelos postulados da relatividade restrita, o tempo de vida do múon em um referencial terrestre (t) e o tempo t_0 são relacionados pelo fator relativístico

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

Para um observador terrestre a distância que o múon pode percorrer antes de se desintegrar é, aproximadamente,

- $6,0 \times 10^2$ m.
- $6,0 \times 10^3$ m.
- $13,5 \times 10^3$ m.
- $17,5 \times 10^3$ m.
- $27,0 \times 10^3$ m.

31. (Epcar (Afa) 2014) Uma garota de nome Julieta se encontra em uma nave espacial brincando em um balanço que oscila com período constante igual a T_0 , medido no interior da nave, como mostra a figura abaixo.



A nave de Julieta passa paralelamente com velocidade $0,5c$, em que c é a velocidade da luz, por uma plataforma espacial, em relação à qual, o astronauta Romeu se encontra parado. Durante essa passagem, Romeu mede o período de oscilação do balanço como sendo T e o comprimento da nave, na direção do movimento, como sendo L .

Nessas condições, o período T , medido por Romeu, e o comprimento da nave, medido por Julieta, são respectivamente

- $\frac{2}{3}T_0\sqrt{3}$ e $\frac{2}{3}L\sqrt{3}$
- $\frac{2}{3}T_0\sqrt{3}$ e $\frac{L\sqrt{3}}{2}$
- $\frac{T_0\sqrt{3}}{2}$ e $\frac{2}{3}L\sqrt{3}$
- $\frac{T_0\sqrt{3}}{2}$ e $\frac{L\sqrt{3}}{2}$

32. (Unicamp 2013) O prêmio Nobel de Física de 2011 foi concedido a três astrônomos que verificaram a expansão acelerada do universo a partir da observação de supernovas distantes. A velocidade da luz é $c = 3 \times 10^8$ m/s.

a) Observações anteriores sobre a expansão do universo mostraram uma relação direta entre a velocidade v de afastamento de uma galáxia e a distância r em que ela se encontra da Terra, dada por $v = Hr$, em que $H = 2,3 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ é a constante de Hubble. Em muitos casos, a velocidade v da galáxia pode ser

obtida pela expressão $v = \frac{c \Delta\lambda}{\lambda_0}$, em que λ_0 é o comprimento de

onda da luz emitida e $\Delta\lambda$ é o deslocamento Doppler da luz. Considerando ambas as expressões acima, calcule a que distância da Terra se encontra uma galáxia, se $\Delta\lambda = 0,092 \lambda_0$.

b) Uma supernova, ao explodir, libera para o espaço massa em forma de energia, de acordo com a expressão $E = mc^2$. Numa explosão de supernova foram liberados $3,24 \times 10^{48}$ J, de forma que sua massa foi reduzida para $m_{\text{final}} = 4,0 \times 10^{30}$ kg. Qual era a massa da estrela antes da explosão?

33. (Ufg 2013) Em 1964, o físico britânico Peter Higgs propôs a existência de um campo, o qual, ao interagir com uma partícula, conferia a ela a sua massa. A unidade básica desse campo foi chamada de bóson de Higgs. Em julho de 2012, os cientistas do CERN (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares) anunciaram terem identificado o bóson de Higgs, com uma massa de 125 GeV (gigaelétronvolt). O valor dessa massa, em kg, é de:

Dados: $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$; $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$.

- $4,50 \times 10^{-24}$
- $6,66 \times 10^{-18}$
- $2,22 \times 10^{-25}$
- $6,66 \times 10^{-27}$
- $2,22 \times 10^{-34}$

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

34. (Upe 2013) Uma régua cujo comprimento é de 50 cm está se movendo paralelamente à sua maior dimensão com velocidade $0,6c$ 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

35. (Ita 2013) Considere as seguintes relações fundamentais da dinâmica relativística de uma partícula: a massa relativística $m = m_0\gamma$, o momentum relativístico $p = m_0\gamma v$ e a energia relativística $E = m_0\gamma c^2$, em que m_0 é a massa de repouso da partícula e $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ é o fator de Lorentz. Demonstre que $E^2 - p^2c^2 = (m_0c^2)^2$ e, com base nessa relação, discuta a afirmação: "Toda partícula com massa de repouso nula viaja com a velocidade da luz c ".

36. (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.

37. (Ufes 2012) No interior de um veículo espacial, encontramos dois capacitores isolados de placas finas planas paralelas, com capacitância $C_1 = 10$ F, $C_2 = 30$ F e cargas $Q_1 = 1$ C, $Q_2 = 3$ C, respectivamente. A distância entre as placas para cada um dos capacitores é $d = 1$ mm. Após o lançamento, esse veículo apresenta um vetor velocidade constante de módulo 36.000 km/h e de direção paralela ao vetor distância \vec{d} entre as placas. Sabendo que as placas planas paralelas dos capacitores são perpendiculares ao vetor velocidade, determine

- a) a capacitância total do sistema antes do lançamento, quando se associam os capacitores em paralelo;
- b) a tensão entre as placas do capacitor com carga Q_1 antes do lançamento;
- c) a capacitância C_2 , após o lançamento, para um observador fixo na terra;
- d) a velocidade do foguete para que a capacitância de C_1 aumente em 2%.

Se necessário, use $\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \approx 1 + \frac{1}{2}x^2$, para $x^2 \ll 1$.

38. (Ufpe 2012) Com relação à teoria da relatividade especial e aos modelos atômicos podemos afirmar que:

- () A velocidade da luz no vácuo independe da velocidade da fonte de luz.
- () As leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. A única exceção ocorre em fenômenos físicos que ocorram sob gravidade nula.
- () É impossível determinar simultaneamente a velocidade e a posição do elétron no átomo de hidrogênio.
- () No modelo de Bohr do átomo de hidrogênio o elétron não irradia quando se encontra nas órbitas estacionárias, isto é, naquelas órbitas onde o momento linear do elétron é um múltiplo inteiro da constante de Planck.
- () Para ionizar o átomo de hidrogênio, no seu estado fundamental, isto é, separar completamente o elétron do núcleo, gasta-se uma energia menor do que 10 eV.

39. (Uem 2011) Analise as alternativas abaixo e assinale o que for correto.

- 01) O segundo postulando da teoria da Relatividade Restrita afirma que a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para todos os observadores, qualquer que seja seu movimento ou o movimento da fonte.
- 02) A energia total relativística de um corpo é o produto da massa relativística desse corpo pela velocidade da luz no vácuo ao quadrado.
- 04) O nêutron possui uma massa aproximadamente igual a do próton, mas não possui carga elétrica.
- 08) Nas reações nucleares de transmutação, a energia total e a quantidade de movimento não são conservadas.
- 16) Os nêutrons, os prótons e os elétrons são as únicas partículas elementares da natureza.

40. (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, e 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 à 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.

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

RESOLUÇÃO (DE QUASE TODOS OS EXERCÍCIOS)

01. a) Dados: $n = 1,3$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

A velocidade máxima das partículas deve ser igual à velocidade da luz na água. Da expressão do índice de refração:

$$n = \frac{c}{v_{\text{máx}}} \Rightarrow v_{\text{máx}} = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,3} \Rightarrow v_{\text{máx}} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

b) Dados: $d = 1,6 \text{ m}$; $t = 12 \text{ ns} = 12 \cdot 10^{-9} \text{ s}$; $\cos 50^\circ = 0,64$.

A radiação emitida pela partícula tem a velocidade da luz no meio (v_l).

$$v_l = \frac{d}{t} = \frac{1,6}{12 \cdot 10^{-9}} \Rightarrow v_l \cong 1,33 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Da figura dada:

$$\cos 50^\circ = \frac{v_l}{v_p} \Rightarrow v_p = \frac{1,33 \cdot 10^8}{0,64} \Rightarrow v_p \cong 2,1 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

02. D

Aplicação direta da fórmula:

$$L = 1,5 \cdot 10^{11} \sqrt{1 - \frac{0,36c^2}{c^2}} = 1,5 \cdot 10^{11} \cdot 0,8 = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ m}.$$

03. D

A única que tem a ver com Einstein é a letra D.

04. a) Dados:

$$R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}; t_{\text{Terra}} = 1 \text{ dia} = 86.400 \text{ s}.$$

Considerando as expressões dadas:

$$\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = \frac{\Delta U}{m c^2} \quad \text{(I)}$$

$$\Delta U = m g R_T \left(1 - \frac{R_T}{r}\right) \quad \text{(II)}$$

Substituindo (II) em (I), vem:

$$\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = \frac{m g R_T}{m c^2} \left(1 - \frac{R_T}{r}\right). \text{ Como } r \cong 4 R_T, \text{ temos:}$$

$$\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = \frac{m g R_T}{m c^2} \left(1 - \frac{R_T}{4R_T}\right) \Rightarrow \Delta t = (t_{\text{Terra}}) \frac{g R_T}{c^2} \left(\frac{3}{4}\right).$$

Substituindo os dados:

$$\Delta t = 86.400 \frac{10 \times 6,4 \times 10^6 \cdot 3}{(3 \cdot 10^8)^2 \cdot 4} = 28.800 \times 16 \times 10^6 \times 10^{-16} \Rightarrow$$

$$\Delta t = 4,6 \times 10^{-5} \text{ s}$$

b) Dado: $\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = 10^{-16} \text{ s}$

Usando novamente as expressões dadas:

$$\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = \frac{\Delta U}{m c^2}.$$

Considerando que na vizinhança da Terra é: $\Delta U = m g h$, temos:

$$10^{-16} = \frac{g h}{c^2} \Rightarrow h = \frac{10^{-16} c^2}{g} \Rightarrow h = \frac{10^{-16} \times 9 \times 10^{16}}{10} \Rightarrow h = 0,9$$

m

05. D

Como a velocidade é variável, o fenômeno é explicado pela teoria da relatividade especial.

06. Como a velocidade linear é constante (visto que existe uma frequência) é verdadeiro escrever:

$$v = \Delta S / \Delta t = (2 \pi r) / T = 2 \pi r f$$

$$v = 2 \pi r f$$

$$2,4 = 2,3 \cdot r \cdot 0,2$$

$$2,4 = 1,2 \cdot r$$

$$r = 2,4 / 1,2 = 2 \text{ m}$$

A massa dos reagentes é $1000 + 4 = 1004 \text{ g}$

A massa dos produtos é $612 + 378 + 13 = 1003 \text{ g}$

Existe uma variação de massa igual a $1004 - 1003 = 1 \text{ g}$

Esta massa foi convertida em energia, segundo Einstein

$$\rightarrow E = \Delta m \cdot c^2.$$

$$E = 1 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 9 \cdot 10^{13} \text{ J}.$$

07. a) De acordo com a transformada de Lorentz, quando duas partículas se deslocam em certo sistema de referência com velocidades \underline{u} e \underline{v} , não desprezíveis em relação à velocidade da

luz (c), a velocidade relativa entre elas é \underline{v}' dada por: $v' = \frac{u+v}{1+\frac{uv}{c^2}}$.

Nesse caso: $u = v = 0,9 c$. Assim:

$$v' = \frac{0,9c + 0,9c}{1 + \frac{(0,9c)(0,9c)}{c^2}} = \frac{1,8c}{1 + 0,81} = \frac{1,8c}{1,81} \Rightarrow$$

$$v' = 0,994c$$

b) De acordo com a equação de Einstein para massa relativística (m), sendo m_0 a massa de repouso:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0,81}} = \frac{m_0}{\sqrt{0,19}} = \frac{m_0}{0,44} \Rightarrow$$

$$m \cong 2,3 m_0.$$

08. B

09. ANULADA (sem resposta)

Gabarito oficial: C

[A] **Falsa**. A mistura de todas as radiações dá a luz branca.

[B] **Falsa**. Nêutrons não tem carga, não sofrem atração eletrostática.

[C] **Falsa**. A luz não tem massa em situação alguma, o que acontece para que um Buraco Negro consiga capturar a luz é a distorção do espaço-tempo. Por ser extremamente massivo, a distorção do espaço é tão grande que a luz que passa por dentro do horizonte de eventos é obrigada a seguir um caminho que não tem volta, logo fica presa no buraco negro.

[D] **Falsa**, de acordo com o já exposto acima.

10. A

11. Como sabemos:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ onde: } \begin{cases} \Delta t_0 \rightarrow \text{tempo medido na nave} \\ \Delta t \rightarrow \text{tempo medido na Terra} \\ v \rightarrow \text{velocidade da nave} \\ c \rightarrow \text{velocidade da luz} \end{cases}$$

$$\Delta t = \frac{12}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} = \frac{12}{0,6} = 20 \text{ meses}$$

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

12. E

Usando a Teoria da Relatividade para o tempo, podemos determinar a dilatação no tempo com a equação:

$$\Delta t_{relativ} = \gamma \cdot \Delta t_{próprio}, \text{ onde } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \text{ a constante de Lorentz.}$$

Cálculo da constante γ de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot c}{c}\right)^2}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,75}} \therefore \gamma = 2$$

Com isso o tempo relativístico passado na Terra será o dobro que o tempo próprio:

$$\Delta t_{relativ} = 2 \cdot 28 \text{ anos} \therefore \Delta t_{relativ} = 56 \text{ anos}$$

13. E

Michelson-Morley tentando provar a existência do éter, depois de uma vida inteira dedicada a isso, a comunidade científica viu que o éter não existia, o que abriu grandes questionamentos que junto do problema da partição de energia, esses problemas culminaram na construção das teóricas quânticas e relativísticas.

14. 01 + 04 + 08 = 13.

[01] Verdadeira. Einstein recuperou uma teoria defendida por Newton e depois colocada de lado depois do experimento de Young, de que a luz era composta de unidades fundamentais corpusculares chamadas de fótons, e que cada um transporta uma quantidade de energia equivalente ao produto da sua frequência pela constante de Planck, sendo capaz de transferir essa energia na colisão com os elétrons do material metálico.

[02] Falsa. A potência é diretamente proporcional à quantidade de elétrons arrancados do material e a frequência da onda incidente está relacionada à Energia Cinética dos elétrons ejetados do material metálico.

[04] Verdadeira. A afirmativa compreende o primeiro postulada da relatividade, em que as leis da Física são as mesmas em todos os sistemas referenciais inerciais, isto é, não existe nenhum sistema referencial inercial preponderante sobre os demais.

[08] Verdadeira. O segundo postulada da relatividade de Einstein propõe a invariância da velocidade da luz em qualquer sistema referencial inercial. Isto quer dizer que a velocidade da luz no vácuo ($c \approx 300.000 \text{ km/s}$), não depende do observador e nem da velocidade da fonte emissora de luz.

15. C

A energia útil consumida pela residência em 1 ano (12 meses) é:

$$E_U = 200 \text{ kW} \cdot h \times 12 = 2400 \text{ kW} \cdot h = (2400 \times 10^3 \text{ W}) \times (3,6 \times 10^3 \text{ s}) = 8,64 \times 10^9 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$E_U = 8,64 \times 10^9 \text{ J.}$$

Considerando o rendimento de 30%, a energia total produzida pela fissão é:

$$\eta = \frac{E_U}{E_T} \Rightarrow E_T = \frac{E_U}{\eta} = \frac{8,64 \times 10^9}{0,3} \Rightarrow E_T = 2,88 \times 10^{10} \text{ J.}$$

Usando a relação massa-energia:

$$E_T = m_0 c^2 \Rightarrow m_0 = \frac{E_T}{c^2} = \frac{2,88 \times 10^{10}}{9 \times 10^{16}} \Rightarrow m_0 = 3,2 \times 10^{-7} \text{ kg.}$$

16. B

A expressão da relatividade que relaciona a contração das distâncias é também chamada de contração de Lorentz-Fitzgerald:

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

Onde:

L = comprimento da pista no referencial do avião;

L_p = comprimento próprio da pista;

v = velocidade do avião em relação à velocidade da luz;

c = velocidade da luz.

Então,

$$L = 2,5 \text{ km} \sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}} \Rightarrow L = 2,5 \text{ km} \sqrt{1 - 0,36} \Rightarrow$$

$$L = 2,5 \text{ km} \sqrt{0,64}$$

$$L = 2,5 \text{ km} \sqrt{0,64} \Rightarrow L = 2,5 \text{ km} \cdot 0,8 \therefore L = 2,0 \text{ km}$$

17. E

$$\frac{\lambda_{aparente}}{\lambda_{real}} = \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \Rightarrow \left(\frac{400}{600}\right)^2 = \frac{c-v}{c+v} \Rightarrow$$

$$\left(\frac{2}{3}\right)^2 = \frac{c-v}{c+v} \Rightarrow \frac{4}{9} = \frac{c-v}{c+v} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{5}{13}$$

18. 02 + 08 = 10.

[01] Falso. As leis da física não mudam quando se muda o referencial inercial.

[02] Verdadeiro. A velocidade da luz será sempre igual, essa grande descoberta foi feita por Michel e Morley, onde ambos passaram a vida tentando provar que a teoria do Éter estava certa, quando na verdade, só conseguiram mais argumentos provando que o Éter não existe.

[04] Falso. Lorentz provou o oposto disso.

[08] Verdadeiro.

[16] Falso. Na natureza ocorre o tempo todo interações com velocidade inferior a da luz.

19. D

Segundo Paul Tipler, em seu livro *Física Moderna*, 3ª edição, LTC: "Implícita na teoria da relatividade geral está a possibilidade de que uma massa acelerada emita ondas gravitacionais, da mesma forma como uma carga elétrica acelerada emite ondas eletromagnéticas."

20. B

Substituindo os dados na expressão dada:

$$E = mc^2 = 9 \times 10^{-31} (3 \times 10^8)^2 = 8,1 \times 10^{-14} \text{ J.}$$

Convertendo para elétron-volt:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ eV} \rightarrow 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ E \rightarrow 8,1 \times 10^{-14} \text{ J} \end{array} \right\} \Rightarrow E = 5,0625 \times 10^5 \text{ eV} \cong 0,5 \times 10^6 \text{ eV} \Rightarrow E = 0,5 \text{ MeV}$$

21. E

[I] Verdadeira.

[II] Verdadeira.

[III] Falsa. O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons de um metal causado pela incidência de luz ou fótons de uma determinada energia mínima equivalente à função trabalho (energia mínima para retirar os elétrons do material).

[IV] Verdadeira.

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

22. A

[I] CORRETA. Pela teoria da massa relativística, tem-se que:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Se a velocidade do corpo (v) aproximar-se da velocidade da luz (c), pode-se observar que a massa relativística tenderá ao infinito.

[II] INCORRETA. A Teoria da Relatividade Restrita não é abrangente, pois quando a velocidade do corpo é muito menor que a velocidade da luz, as equações da mecânica newtoniana são suficientes para representar os movimentos.

[III] INCORRETA. O Princípio da Impenetrabilidade diz que dois corpos distintos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo.

23. A

Esta questão nos traz uma consequência da teoria da relatividade, que implica na mais famosa equação da Física de todos os tempos, a relação universal entre massa e energia de Albert Einstein.

$$E = m \cdot c^2$$

Essa equação nos diz que a massa também é uma forma de energia e vice-versa. Neste caso, uma parte da massa do explosivo utilizado deve ser responsável pela energia da explosão.

Isolando a massa, substituindo os valores e transformando calorías para joule, temos:

$$m = \frac{E}{c^2} \Rightarrow m = \frac{1 \cdot 10^{12} \text{ cal} \cdot 4,18 \frac{\text{J}}{\text{cal}}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = \frac{4,18 \cdot 10^{12} \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$m = 4,64 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

24. A

Dados:

$$\begin{cases} c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{cases}$$

$$E = \frac{m_e}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cdot c^2 \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}}}} \cdot 9 \cdot 10^{16} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}}}\right)^2 = 0,64^2 \Rightarrow 1 - \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}} = 0,41 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}} = 0,59 \Rightarrow v = \sqrt{5,31 \cdot 10^{16}}$$

$$\therefore v = 2,31 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

25. D

O tempo total Δt para o referencial da Terra é:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} + t_{\text{planeta}} \Rightarrow \Delta t = \frac{2 \cdot 20 \text{ al}}{0,999 c} + 5 \text{ a} \therefore \Delta t = 45,04 \text{ a}$$

A equação abaixo expressa a dilatação dos tempos da relatividade:

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cdot \Delta t' \Rightarrow \Delta t = \gamma \cdot \Delta t'$$

Então, o tempo total na visão do viajante, é dado por:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\gamma} + t_{\text{planeta}} \Rightarrow \Delta t' = \frac{40}{22,4} + 5 \therefore \Delta t' = 6,79 \text{ a}$$

26. D

Da definição de índice de refração, obtemos a velocidade (v) de propagação da luz no tubo inferior.

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n}$$

A velocidade da luz (v') no tubo superior é obtida relativisticamente.

$$v' = \frac{v+u}{1 + \frac{uv}{c^2}} \Rightarrow v' = \frac{\frac{c}{n} + u}{1 + \frac{u \cdot \frac{c}{n}}{c^2}} = \frac{\frac{c+un}{n}}{\frac{c^2 + cu}{c^2}} = \frac{c+nu}{n} \times \frac{c^2}{c^2 + uv} \Rightarrow$$

$$v' = \frac{c+nu}{nc+u}$$

A interferência destrutiva no ponto P' ocorre devido a diferença de velocidades de propagação da luz nos dois tubos ($v'-v$) que acarreta diferença nos tempos de propagação ($t-t'$). O menor valor de u é aquele que faz com essa diferença de tempos seja igual a meio período.

$$\left. \begin{aligned} t-t' &= \frac{T}{2} \Rightarrow t-t' = \frac{1/f}{2} \Rightarrow t-t' = \frac{1}{2f} \quad (I) \\ t &= \frac{L}{v} = \frac{L}{c/n} \Rightarrow t = \frac{nL}{c} \quad (II) \\ t' &= \frac{L}{v'} = \frac{L}{\frac{c+nu}{cn+u}} \Rightarrow t' = \frac{L(cn+u)}{c+nu} \quad (III) \end{aligned} \right\}$$

$$(II) \text{ e } (III) \text{ em } (I) \Rightarrow \frac{nL}{c} - \frac{L(cn+u)}{c+nu} = \frac{1}{2f} \Rightarrow$$

$$u = \frac{c^2}{2Lf(n^2-1) - cn}$$

27. E

Dados:

$$t = 1,5 \mu\text{s} = 1,5 \times 10^{-6} \text{ s}; L_0 = 1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}; c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

No tempo de meia vida, o múon deve percorrer a distância relativística L .

$$\begin{cases} L = vt \\ L = L_0 \sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c^2}} \end{cases} \Rightarrow L_0 \sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c^2}} = vt \Rightarrow \frac{L_0^2}{c^2} (c^2 - v^2) = v^2 t^2 \Rightarrow$$

$$c^2 = v^2 = v^2 \left(1 + t^2 \frac{c^2}{L_0^2}\right) \Rightarrow 9 \times 10^{16} = v^2 \left(1 + 2,25 \times 10^{-12} \times \frac{9 \times 10^{16}}{10^6}\right) \Rightarrow$$

$$v^2 = \sqrt{\frac{9 \times 10^{16}}{1,2025}} \Rightarrow$$

$$v = 2,7 \times 10^8 \text{ m/s}$$

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

28. A

Trata-se de uma questão sobre a Teoria da Relatividade, mais especificamente sobre a dilatação do tempo. Para isto, temos que:

$$\Delta t_2 = \Delta t_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Onde,

Δt_1 → Tempo decorrido para o observador em repouso;

Δt_2 → Tempo decorrido dentro da aeronave;

v → Velocidade da aeronave.

Assim,

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta t_2}{\sqrt{1 - \frac{(0,995 \cdot c)^2}{c^2}}} = \frac{5}{0,01}$$

$$\Delta t_1 = 50 \text{ anos}$$

29. E

A conservação da Quantidade de Movimento ou do Momento Linear é considerada um dos alicerces fundamentais da Física pois se aplica tanto a Física Clássica quanto à Física Moderna.

30. C

Dados: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$; $t_0 = 2 \times 10^{-6} \text{ s}$; $v^2 = 0,998 c^2$.

Fazendo a correção para o tempo:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow t = \frac{2 \times 10^{-6}}{\sqrt{1 - \frac{0,998 c^2}{c^2}}} = \frac{2 \times 10^{-6}}{\sqrt{20 \times 10^{-4}}} = \frac{2 \times 10^{-6}}{2\sqrt{5} \times 10^{-2}} \Rightarrow$$

$$t = 4,5 \times 10^{-5} \text{ s.}$$

A distância (D) percorrida pelo múon é:

$$D = v t \cong 3 \times 10^8 \times 4,5 \times 10^{-5} \Rightarrow \boxed{D = 13,5 \times 10^3 \text{ m}}$$

31. A

A dilatação do espaço-tempo é dada por:

$$T = T_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Para $v = 0,5c$, temos que:

$$T = T_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,5c}{c}\right)^2}} \Rightarrow T = T_0 \frac{1}{\sqrt{\frac{3}{4}}} \Rightarrow T = T_0 \frac{2}{\sqrt{3}} \therefore T = T_0 \frac{2\sqrt{3}}{3}$$

Já, a contração do comprimento é dada pela equação:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Para $v = 0,5c$, temos que:

$$L = L_0 \sqrt{\frac{3}{4}} \Rightarrow L = L_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \therefore L_0 = 2L \frac{\sqrt{3}}{3}$$

32. a) Dados: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$; $H = 2,3 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$; $\Delta\lambda = 0,092 \lambda_0$.

Combinando as duas expressões dadas:

$$\left\{ \begin{array}{l} v = H r \\ v = \frac{c \Delta\lambda}{\lambda_0} \end{array} \right\} \Rightarrow H r = \frac{c \Delta\lambda}{\lambda_0} \Rightarrow r = \frac{c \Delta\lambda}{H \lambda_0} = \frac{3 \times 10^8 \cdot 0,092 \lambda_0}{2,3 \times 10^{-18} \cdot \lambda_0} \Rightarrow$$

$$r = 1,2 \times 10^{25} \text{ m.}$$

b) Dados: $E = 3,24 \times 10^{48} \text{ J}$; $m_{\text{final}} = 4 \times 10^{30} \text{ kg}$.

Calculando a massa consumida para produzir essa energia:

$$E = m c^2 \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{3,24 \times 10^{48}}{(3 \times 10^8)^2} = \frac{3,24 \times 10^{48}}{9 \times 10^{16}} \Rightarrow$$

$$m = 3,6 \times 10^{31} \text{ kg.}$$

$$m_{\text{inicial}} = m_{\text{final}} + m \Rightarrow m_{\text{inicial}} = 4 \times 10^{30} + 3,6 \times 10^{31} \Rightarrow$$

$$m_{\text{inicial}} = 4 \times 10^{31} \text{ kg.}$$

33. C

Transformando a energia do bóson de Higgs para joule:

$$E = 125 \text{ GeV} = 125 \times 10^9 \times 1,6 \times 10^{-19} \Rightarrow E = 2 \times 10^{-8} \text{ J.}$$

Da relação massa-energia de Einstein:

$$E = m c^2 \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{2 \times 10^{-8}}{(3 \times 10^8)^2} = \frac{2 \times 10^{-8}}{9 \times 10^{16}} \Rightarrow$$

$$m = 2,22 \times 10^{-25} \text{ kg.}$$

34. B

Pela Teoria da relatividade, sabemos que

$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \rightarrow L = 50 \sqrt{1 - \left(\frac{0,6C}{C}\right)^2}$$

$$L = 50 \sqrt{1 - \left(\frac{0,6C}{C}\right)^2} = 50 \sqrt{1 - 0,36} = 50 \sqrt{0,64} = 50 \times 0,8 = 40 \text{ cm}$$

35. Analisando o fator de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow \gamma^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2} \text{ (o que será utilizado em$$

toda a resolução)

Da energia relativística:

$$E = m_0 \cdot \gamma \cdot c^2 \rightarrow E^2 = m_0^2 \cdot \gamma^2 \cdot c^4 \rightarrow E^2 = m_0^2 \cdot \frac{c^2}{c^2 - v^2} \cdot c^4 \rightarrow \text{(eq.1)}$$

$$E^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^6}{c^2 - v^2}$$

Do momentum relativístico:

$$p = m_0 \cdot \gamma \cdot v \rightarrow p^2 = m_0^2 \cdot \gamma^2 \cdot v^2 \rightarrow p^2 = m_0^2 \cdot \frac{c^2}{c^2 - v^2} \cdot v^2 \rightarrow \text{(eq.2)}$$

$$p^2 \cdot c^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^4 \cdot v^2}{c^2 - v^2}$$

Subtraindo a eq.1 da eq.2:

$$E^2 - p^2 \cdot c^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^6}{c^2 - v^2} - \frac{m_0^2 \cdot c^4 \cdot v^2}{c^2 - v^2} \rightarrow E^2 - p^2 \cdot c^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^4}{c^2 - v^2} \cdot (c^2 - v^2) \rightarrow E^2 - p^2 \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2)^2$$

$$E^2 - p^2 \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2)^2$$

Prova da afirmação: "Toda partícula com massa de repouso nula viaja com a velocidade da luz c ".

$$E^2 - p^2 \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2)^2$$

$$m_0 = 0 \rightarrow E^2 - p^2 \cdot c^2 = 0 \rightarrow E^2 = p^2 \cdot c^2 \rightarrow E = p \cdot c$$

$$E = m_0 \cdot \gamma \cdot c^2$$

$$p = m_0 \cdot \gamma \cdot v$$

$$E = p \cdot c \rightarrow m_0 \cdot \gamma \cdot c^2 = m_0 \cdot \gamma \cdot v \cdot c$$

$$v = c$$

36. a) Dados: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$; $L = 30 \text{ m}$.

De acordo com o 2º postuladado de Einstein, a velocidade da luz é a mesma em qualquer sistema de referência.

Assim:

$$L = c t \Rightarrow t = \frac{L}{c} = \frac{30}{3 \times 10^8} \Rightarrow t = 1 \times 10^{-7} \text{ s.}$$

b) Novamente, de acordo com o 2º postuladado de Einstein, a velocidade do pulso de laser, medida no referencial de Alberto, é $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

PROFESSOR DANILO

FÍSICA MODERNA – TEORIA DA RELATIVIDADE – TERCEIRO ANO – 23/09/2019

37. a) Dados: $C_1 = 10 \text{ F}$ e $C_2 = 30 \text{ F}$.

Como os capacitores estão em paralelo, a capacitância total é a soma das capacitâncias:

$$C_T = C_1 + C_2 = 10 + 30 \Rightarrow C_T = 40 \text{ F.}$$

b) Dados: $C_1 = 1 \text{ F}$ e $Q_1 = 1 \text{ C}$.

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{10}{1} \Rightarrow U_1 = 10 \text{ V.}$$

c) Dados: $d = 1 \text{ mm}$; $v = 36.000 \text{ km/h} = 10^4 \text{ m/s}$. Como não foi fornecida a velocidade da luz, vamos considerá-la $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Calculemos a razão v/c :

$$\frac{v}{c} = \frac{10^4}{3 \times 10^8} = 3,3 \times 10^{-5}.$$

Essa razão mostra que a velocidade da nave é desprezível em relação à velocidade da luz, sendo, então, também desprezíveis os efeitos relativísticos. A distância relativística (d') entre as placas é praticamente igual à distância de repouso (d).

$$\left\{ \begin{array}{l} C_2 = \frac{\epsilon A}{d} \\ C_2' = \frac{\epsilon A}{d'} \end{array} \right\} d' \cong d \Rightarrow C_2' \cong C_2 = 30 \text{ F.}$$

d) Dados: $d = 1 \text{ mm}$. Como não foi fornecida a velocidade da luz, vamos considerá-la $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Seja d' a distância relativística para um observador na Terra (considerando o mesmo referencial do item anterior), para um aumento de 2% na capacitância de C_1 , temos:

$$C_1' = C_1 + 2\%C_1 \Rightarrow C_1' = \frac{102}{100}C_1 \Rightarrow C_1' = 1,02 C_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = \frac{\epsilon A}{d} \\ C_1' = \frac{\epsilon A}{d'} \end{array} \right\} \frac{\epsilon A}{d'} = 1,02 \frac{\epsilon A}{d} \Rightarrow \frac{d}{d'} = 1,02.$$

Da expressão de Einstein para o comprimento relativístico:

$$d' = d \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \Rightarrow d = \frac{d'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \Rightarrow \frac{d}{d'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Para a variação pretendida na distância, a velocidade da nave é muito menor que a velocidade da luz, portanto:

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 \ll 1.$$

Podemos, então, usar a aproximação sugerida no enunciado:

$$\frac{1}{\sqrt{1 - x^2}} \approx 1 + \frac{1}{2}x^2.$$

Assim:

$$\frac{d}{d'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \Rightarrow 1,02 = 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2 \Rightarrow 0,02 = \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2 \Rightarrow$$

$$0,04 = \frac{v^2}{c^2} \Rightarrow v = \sqrt{0,04 c^2} \Rightarrow v = 0,2 c = 0,2(3 \times 10^8) \Rightarrow$$

$$v = 6 \times 10^7 \text{ m/s.}$$

38. V - F - V - F - F.

[V] - De acordo com o segundo postulada da teoria da relatividade restrita, a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para todos os observadores, qualquer que seja o seu movimento ou o movimento da fonte.

[F] - De acordo com o primeiro postulada da teoria da relatividade restrita, as leis da física são as mesmas para todos os observadores em quaisquer sistemas de referência inerciais e isso não tem exceção.

[V] - A afirmação está de acordo com o princípio da incerteza de Heisenberg.

[F] - De acordo com o modelo de Bohr, as órbitas estacionárias se caracterizam por terem o momento angular, e, não, o momento linear, como citado no exercício, como múltiplo da constante de Planck.

[F] - Para separar completamente o elétron do núcleo do átomo de hidrogênio, no seu estado fundamental, é necessária uma energia maior que 13,6 eV.

39. 01 + 02 + 04 = 07.

01) Correto. É um postulada.

02) Correto. $E = mc^2$.

04) Correto. Conclusão experimental.

08) Errado. Estas reações são feitas em sistemas isolados e conservativos.

16) Errado. Temos ainda quarks, bósons, neutrino, pósitron, etc.

40. V F V V V

Justificando a(s) falsa(s);

(F) As leis da Física dependem do referencial inercial escolhido. Essa afirmativa contraria exatamente o que afirma o primeiro postulada de Einstein:

“As leis da física são as mesmas para todos os observadores em quaisquer sistemas de referência inerciais.