

MAIS DE 50 EXERCÍCIOS RESOLVIDOS DE FÍSICA MODERNA

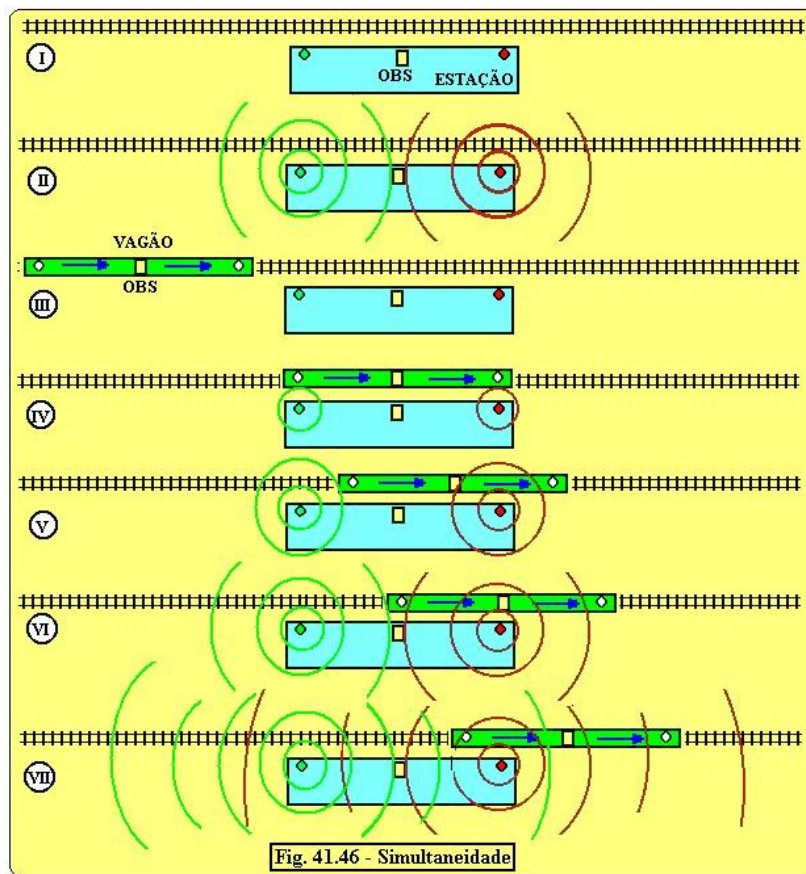
I - PROBLEMAS RESOLVIDOS

1. Simultaneidade

Mostre que dois acontecimentos simultâneos num referencial não são simultâneos num outro referencial que se move com movimento uniforme em relação ao primeiro.

SOLUÇÃO

Observe o desenvolvimento da figura (41.46)



I – Dois faróis de sinalização estão equidistantes do observador situado no centro da plataforma de uma estação;

II – São ligados por um mesmo interruptor num circuito elétrico e acendem simultaneamente. As duas ondas luminosas emitidas chegam ao observador no mesmo instante e ele interpreta como dois acontecimentos simultâneos;

III – Um vagão tem o mesmo comprimento da plataforma, foram feitas duas marcas nas posições correspondentes aos faróis existentes na estação, há um observador situado no centro do vagão e o conjunto aproxima-se da mesma com velocidade constante;

IV – Quando o vagão está emparelhado com a plataforma os faróis são ligados, simultaneamente, como no processo anteriormente descrito;

V - Com o movimento do vagão o observador situado aí logo percebe a luz emitida do farol à direita;

VI – No momento em que o observador na plataforma percebe a simultaneidade o outro no vagão ainda não recebeu a emissão do farol à esquerda;

VII – Finalmente o observador do vagão recebe o sinal do farol da esquerda. Para ele os dois faróis não foram acesos simultaneamente.

RESPOSTA: Dois acontecimentos simultâneos num referencial não são simultâneos em outro referencial que se mova, com movimento relativo uniforme relativamente ao primeiro.

2. Relatividade do tempo.

Mostrar que o mesmo evento tem durações diferentes do ponto de vista de dois sistemas de referência como movimento relativo uniforme.

SOLUÇÃO

I – Observador no vagão: dispara uma bola para cima, verticalmente, com velocidade c . Ela bate no teto e volta. Mede o tempo total

$$\Delta t' = \frac{2h}{c} \quad (I)$$

Essa medida independe do estado de movimento do vagão que se move para a direita com velocidade v ;

II – O ponto de vista de um observador parado na estação: ele vê o momento do lançamento, o instante do contato com o teto e retorno.

III - Com o vagão em movimento a trajetória da bola é uma linha inclinada ascendente até atingir o teto e, depois, descendente, formando um triângulo equilátero de altura h , base $v \Delta t$ e lado comum,

$$d = \sqrt{\left(\frac{v \Delta t}{2}\right)^2 + h^2} \quad (II)$$

Para o observador na estação a bola percorreu a distância $2d$. Imaginando que a bola fosse um raio de luz, a velocidade seria igualmente c , do seu ponto de vista.

Assim, o observador da estação calcularia o intervalo de tempo como:

$$\Delta t = \frac{2d}{c} \quad (III)$$

De (I) tiramos: $h = \frac{c \Delta t'}{2}$.

De (III) obtemos: $d = \frac{c \Delta t}{2}$. Levando esses resultados em (II) e elevando ao quadrado chegamos a:

$$\frac{c^2 \Delta t^2}{4} = \frac{v^2 \Delta t^2}{4} + \frac{c^2 \Delta t'^2}{4} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \Rightarrow \Delta t = \gamma \Delta t'$$

Com $v \ll c$, $\gamma > 1$ e $\Delta t > \Delta t'$. Esse resultado coincide com o da equação (41.9), obtido com a hipótese da velocidade da luz ser a mesma do ponto de vista dos dois observadores.

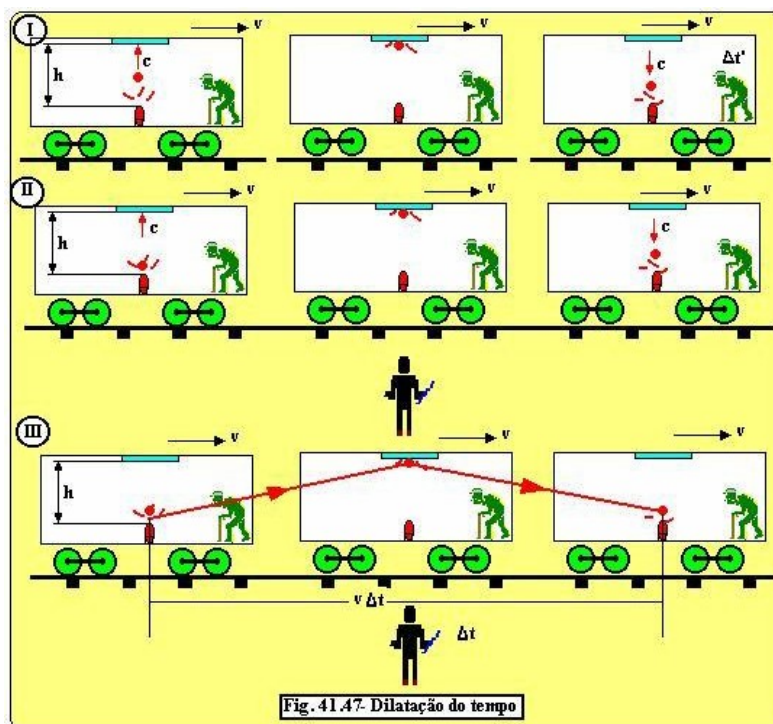


Fig. 41.47: Dilatação do tempo

RESPOSTA: O intervalo do tempo medido para o observador em movimento é menor que o intervalo de tempo determinado pelo observador parado na estação para o mesmo evento. A isto se chama “dilatação do tempo”.

Essa denominação não é adequada e, de certo modo, reproduz uma preferência com determinado sistema de referência. Alguns autores denominam $\Delta t'$, o tempo próprio por ser medido no sistema em que o ocorreu o evento. O tempo para o mesmo evento, determinado a partir de outro sistema de referência em movimento relativo uniforme é maior. Ocorre que, no exemplo, esse sistema é o da estação, estável, onde costumamos ficar e, portanto, de nossa preferência.

É interessante observar a interpretação clássica dessa situação que supõe iguais intervalos de tempo para os dois observadores e admite que a velocidade da bola, do ponto de vista do observador da estação é o resultado da composição da velocidade vertical de lançamento com a velocidade de deslocamento do vagão.

3. Relatividade do espaço

Mostrar que um segmento observado a partir de dois sistemas de referência como movimento relativo uniforme apresenta medidas diferentes.

SOLUÇÃO

I – O observador na estação mede o comprimento da plataforma (L);

II e III – Depois, determinam os instantes de passagem de uma marca efetuada no trem no início e fim da plataforma. Usa dois relógios sincronizados. Calcula a velocidade do trem:

$$v = \frac{L_T}{\Delta t} \rightarrow L_T = v \Delta t$$

IV – Um observador no trem vê a plataforma se aproximar com velocidade v ;

V – Registra o instante de passagem do início da plataforma usando a marca existente onde está o cronômetro;

VI – Registra o momento de passagem do final da plataforma.

Determina o intervalo de tempo $\Delta t'$ e calcula o comprimento $L_V = v \Delta t'$

Usando essas duas equações concluímos que:

$$\frac{L_V}{L_T} = \frac{\Delta t'}{\Delta t} = \frac{1}{\gamma} \Rightarrow L_T = \gamma L_V$$

Com $v \ll c$, $\gamma > 1$ e $L_T > L_V$.

RESPOSTA: O comprimento medido para o vagão, em movimento, é menor que o comprimento determinado pelo observador parado na estação. A isto se chama “contração do espaço”.

A mesma observação feita ao final do problema resolvido 2 pode ser repetida. No caso, o “comprimento próprio” da estação seria aquele medido no sistema onde ela se encontra em repouso, o sistema S. Aí, o comprimento é L_T . O comprimento determinado em outro sistema com movimento relativo uniforme (S') é menor que L_T . Denominar esse fenômeno de contração do espaço denota uma preferência por determinado sistema de referência.

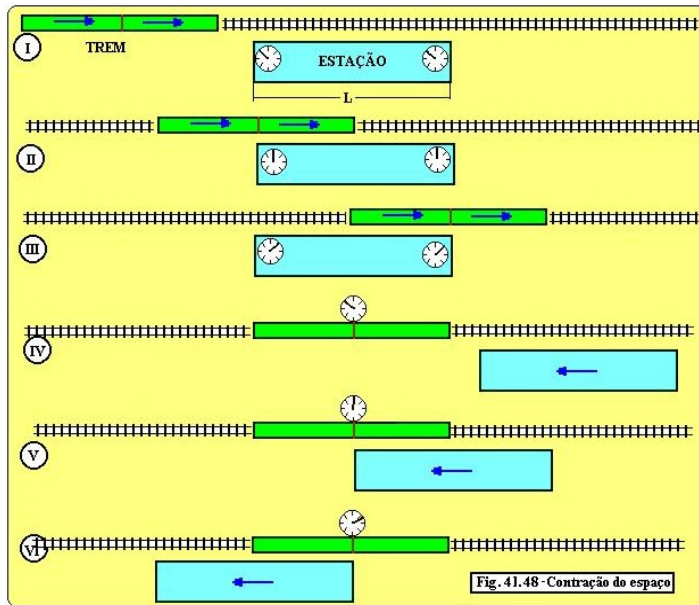


Fig. 41.48 - Contração do espaço

4. Determinação dos tempos de percurso na experiência de Michelson-Morley.

Calcule, detalhadamente, os tempos dos percursos 2-3-2 e 2-4-2 na experiência de Michelson-Morley.

SOLUÇÃO

Observando o detalhe (A) da figura (41.5), para o percurso 2-3-2:

$$t_{232} = \frac{d}{c+v} + \frac{d}{c-v} = \frac{dc - dv + dc + dv}{c^2 - v^2} = \frac{2dc}{c^2 - v^2} = \frac{2d}{\frac{c^2 - v^2}{c}} = \frac{2d}{c \left(\frac{c^2 - v^2}{c^2} \right)} = \frac{2d}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)} = \frac{2d}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1}$$

Observando o detalhe (B) da figura (41.5) vemos que a velocidade da luz, c , sofre um arraste do éter e apresenta uma velocidade resultante $\sqrt{c^2 - v^2}$, tanto na ida quanto na volta:

$$t_{242} = \frac{d}{\sqrt{c^2 - v^2}} + \frac{d}{\sqrt{c^2 - v^2}} = 2d \left(\frac{1}{\sqrt{c^2 - v^2}} \right) = \frac{2d}{c} \left(\frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}} \right) = \frac{2d}{c} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c^2}}} \right) = \frac{2d}{c} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) = \frac{2d}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2}$$

RESPOSTAS: $t_{232} = \frac{2d}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1}$ e $t_{242} = \frac{2d}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2}$

5. Diferença de fase na experiência de Michelson-Morley

Calcule a diferença de fase em função da diferença de percurso na experiência de Michelson-Morley.

SOLUÇÃO

A diferença de percurso Δx provoca a diferença de fase entre os raios que seguem os caminhos 2-3-2 e 2-4-2.

Essa diferença de fase deve ser calculada em proporção ao comprimento de onda, mediante uma regra de três:

A diferença de fase 2π está para um comprimento de onda (λ) assim como a diferença de fase $\Delta\phi$ está para Δx :

$$\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\Delta\phi}{\Delta x} \rightarrow \Delta\phi = \frac{2\pi\Delta x}{\lambda}$$

Para testar essa expressão consideremos o caso, já conhecido, da interferência construtiva na qual a diferença de fase de 2π corresponde a defasagem de um comprimento de onda. Substituindo Δx por λ encontramos $\Delta\phi = 2\pi$.

RESPOSTA: $\Delta\phi = \frac{2\pi\Delta x}{\lambda}$

6. Efeito Doppler em ondas sonoras.

Desenvolva as fórmulas que relacionam as frequências emitida e recebida quando:

- (a) O observador se afasta da fonte. (b) A fonte se afasta do observador.
Nos dois casos a velocidade da onda no ar é maior que a velocidade do observador ou fonte.

SOLUÇÃO

(a) A fonte emite a onda com velocidade c (frequência f) e o observador se afasta dela com velocidade v . O intervalo de tempo entre duas frentes de onda, quando a fonte emite é o período e vale $1/f$.

O intervalo de tempo entre duas frentes de onda, na percepção do observador, é aumentado porque entre uma e outra, ele está se afastando. A velocidade relativa de afastamento é $(c - v)$. No momento em que o observador capta uma frente de onda o afastamento entre ele e a próxima frente de onda é o comprimento de onda, igual a c/f . O intervalo de tempo desse percurso é o período da onda (inverso da frequência), do ponto de vista do observador e vale:

$$\frac{1}{f'} = \frac{\frac{c}{f}}{c - v}. \text{ A nova frequência será: } f' = \frac{c - v}{\frac{c}{f}} = f \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$

(b) Com a fonte em movimento a distância entre duas frentes de onda é aumentada pelo movimento da fonte. Essa distância é o comprimento de onda percebido pelo observador estático.

Imaginemos uma distância inicial d entre a fonte e o observador no momento da emissão de uma frente de onda.

Essa frente atingirá o observador movendo-se com velocidade c levando um tempo $t = d/c$.

Até a emissão da próxima frente de onda transcorre um tempo $t' = 1/f$.

Nesse tempo a fonte desloca-se de $d' = vt' = v/f$.

A nova distância entre a fonte e observador, no momento da emissão dessa segunda frente, é $d + d'$ e será percorrida com velocidade c num tempo $t'' = \frac{d + d'}{c}$.

A diferença de tempo entre a chegada da primeira frente e da segunda será $t - (t' + t'')$. Esse é o período da onda percebida pelo observador estático. A frequência recebida será:

$$f' = \frac{1}{(t' + t'') - t} = \frac{1}{\left(\frac{1}{f} + \frac{d}{c} + \frac{v}{fc}\right) - \frac{d}{c}} = \frac{1}{\frac{1}{f} + \frac{v}{fc}} = \frac{1}{\frac{1}{f} \left(1 + \frac{v}{c}\right)} \rightarrow f' = \frac{f}{\left(1 + \frac{v}{c}\right)}$$

RESPOSTAS: (a) $f' = f \left(1 - \frac{v}{c} \right)$; (b) $f' = \frac{f}{\left(1 + \frac{v}{c} \right)}$

7. Transformação relativística da aceleração.

Determine a fórmula de transformação relativística para a aceleração.

SOLUÇÃO

Vamos começar com a equação de transformação de velocidades (41.15): $u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}$

Essa expressão será derivada para determinação da aceleração:

$$a'_x = \frac{du'_x}{dt'} = \frac{d}{dt'} \left(\frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}} \right) = \frac{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2} \right) \left(\frac{du_x}{dt'} \right) - (u_x - v) \left(-\frac{v}{c^2} \frac{du_x}{dt'} \right)}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2} \right)^2} = \frac{du_x}{dt'} \frac{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2} \right) + \left(\frac{u_x v}{c^2} - \frac{v^2}{c^2} \right)}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2} \right)^2} \rightarrow \frac{du_x}{dt'} = \frac{du_x}{dt} \frac{dt}{dt'}$$

Do conjunto de equações (41.7) tiramos: $t = \gamma(t' + \frac{v}{c^2}x')$ $\rightarrow \frac{dt}{dt'} = \gamma\left(1 + \frac{v}{c^2} \frac{dx'}{dt'}\right) = \gamma\left(1 + \frac{v}{c^2} u'_x\right)$

Conclusão: $\frac{du_x}{dt'} = \frac{du_x}{dt} \frac{dt}{dt'} = a_x \gamma \left(1 + \frac{v}{c^2} u'_x\right)$

Voltando à expressão para a aceleração, obtemos sucessivamente: $a'_x = a_x \gamma \left(1 + \frac{v}{c^2} u'_x\right) \frac{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right) + \left(\frac{u_x v}{c^2} - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^2}$

Agora, vamos substituir $u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}} \rightarrow a'_x = a_x \gamma \left(1 + \frac{v}{c^2} \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}\right) \frac{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right) + \left(\frac{u_x v}{c^2} - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^2}$

Em seguida: $a'_x = a_x \gamma \left(1 - \frac{vu_x}{c^2} + \frac{u_x v}{c^2} - \frac{v^2}{c^2}\right) \frac{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right) + \left(\frac{u_x v}{c^2} - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^3} = a_x \gamma \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \frac{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2} + \frac{u_x v}{c^2} - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^3}$

Depois: $a'_x = a_x \gamma \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \frac{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^3} = a_x \gamma \frac{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^2}{\left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^3} \rightarrow \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^2 = \frac{1}{\gamma^4} \rightarrow a'_x = \frac{a_x}{\gamma^3 \left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^3}$

RESPOSTA: $a'_x = \frac{a_x}{\gamma^3 \left(1 - \frac{vu_x}{c^2}\right)^3}$

8. Um detalhamento do efeito Cherenkov.

- (a) Uma partícula pode se deslocar num meio material com velocidade maior que a da luz no vácuo?
 (b) Determinar o ângulo do cone do efeito Cherenkov na água ($n = 1,33$) para partículas que se deslocam com $0,8c$.

SOLUÇÃO

(a) O índice de refração representa uma relação entre a velocidade da luz no vácuo e num meio material. É um número maior do que um. Seu valor para a água é $1,33$. Isto significa que a velocidade da luz na água vale $300.000 \div 1,33 = 225.564$ km/s. Em outros meios, o índice pode ultrapassar o valor $1,5$, o que reduziria ainda mais a velocidade da luz nesses meios (200.000 km/s ou menos).

Desse modo é perfeitamente possível a uma partícula, acelerada devidamente, atingir ou ultrapassar tais velocidades.

O “rompimento da barreira da luz” é possível, em meios materiais altamente refrativos.

$$(b) \sin \theta = \frac{v_o}{v} = \frac{\frac{c}{1,33}}{0,8c} = \frac{1}{0,8 \times 1,33} = 0,93984 \rightarrow \theta = 70^\circ$$

O ângulo do cone é o dobro.

RESPOSTAS: (a) Sim; (b) 140° .

9. Experiência de Millikan.

A distância de queda e ascensão das gotas de óleo na experiência de Millikan é de $1,0$ cm. A separação entre as placas do capacitor é de $1,6$ cm e a diferença de potencial aplicada é de 5.000 volts. Os tempos de ascensão e queda são respectivamente de $1,2$ e 13 s para uma determinada gota de óleo. Determine a carga dessa gota com massa de $4,5 \times 10^{-6}$ µg.

SOLUÇÃO

Na equação (41.42) v é a velocidade de queda e v' a de ascensão.

Vamos chamar de “ d ” a distância de queda ou ascensão e de “ s ” a separação entre as placas do capacitor. U é a diferença de potencial entre suas placas.

Desse modo, podemos escrever $v = d/t_q$; $v' = d/t_a$; $E = U/s$.

A equação (41.42) fica com um novo aspecto

$$q = \frac{m g \left(\frac{v'}{v} + 1 \right)}{E} = \frac{m g \left(\frac{t_q}{t_a} + 1 \right)}{\frac{U}{s}}$$

$$q = \frac{m g s}{U} \left(\frac{t_q}{t_a} + 1 \right)$$

Colocando todas as unidades no SI, obtemos:

$$m = 4,5 \times 10^{-15} \text{ kg};$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2;$$

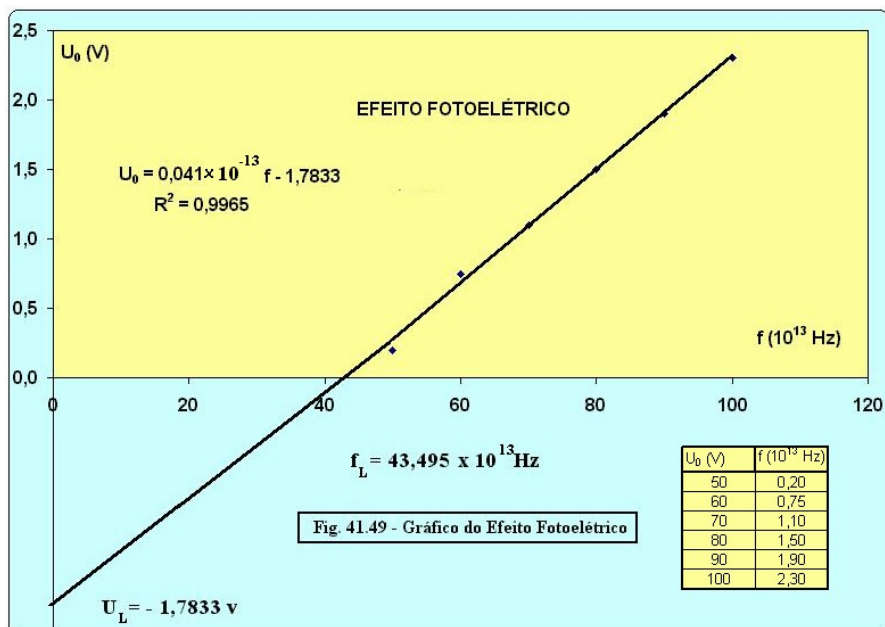
$$s = 0,0016 \text{ m}.$$

Substituindo na equação, chegamos a $q = 1,67 \times 10^{-19} \text{ C}$.

RESPOSTA: $1,67 \times 10^{-19} \text{ C}$.

10. Experiência do efeito fotoelétrico.

A figura (41.49) apresenta resultados de medidas do potencial de freamento em função da frequência para uma experiência com determinada célula fotoelétrica. Determine a constante de Planck.



SOLUÇÃO

A figura mostra o gráfico traçado. O coeficiente angular é igual ao valor da constante de Planck dividido pela carga do elétron.

$$\text{Assim: } 0,041 \times 10^{-13} = \frac{h}{1,6 \times 10^{-19}} \rightarrow h = 0,041 \times 10^{-13} \times 1,6 \times 10^{-19} = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Outro processo (Equação 41.48):

$$h = \frac{U_L q_e}{f_L} = \frac{1,7833 \times 1,6 \times 10^{-19}}{43,495 \times 10^{13}} = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

RESPOSTA: $6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}$.

II - PROBLEMAS PROPOSTOS

1. Dilatação do tempo: o ponto de vista do observador S.

Determine a equação (41.9) do ponto de vista do observador S.

RESPOSTA: $\Delta t = \gamma \Delta t'$

2. A contração de Lorentz

Determine a “contração de Lorentz” resultante da interpretação da experiência de Michelson-Morley.

RESPOSTA: $d = \gamma d_p$

3. O problema do méson- μ .

Interpretar o problema do méson- μ (exemplo 41.3) do ponto de vista do observador terrestre. Qual seria o tempo do movimento da partícula para esse observador?

RESPOSTA: $\Delta t = 31,64 \times 10^{-6}$ s.

4. Determinação da diferença de tempo na viagem para alfa centauri.

Nas cogitações sobre vida extraterrestre um dos argumentos usados para concluir pela impossibilidade de estarmos recebendo visitantes alienígenas é a distância. A estrela mais próxima da Sol, na via Láctea, é a estrela Alfa da constelação de Centauro. Sua distância em relação à Terra é de 4,5 anos-luz. Esse seria o tempo da viagem com a velocidade da luz. Imagine que nossa tecnologia permitisse viagens a 80 % da velocidade da luz. Considerando essa possibilidade calcule:

- (a) o tempo da viagem do ponto de vista do observador terrestre;
- (b) o tempo da viagem do ponto de vista dos astronautas;
- (c) a distância percorrida, do ponto de vista dos astronautas;
- (d) a diferença entre os relógios da nave e da Terra, no retorno.

RESPOSTAS: (a) $4,257 \times 10^{16}$ m; (b) 3,375 anos; (c) 2,554 $\times 10^{16}$ m; (d) 5 anos.

5. Um problema na viagem para Vega.

Numa viagem para Vega (25 anos-luz) uma nave está a uma velocidade de 0,8 c e apresenta problemas de manutenção quando está a 10 anos-luz da Terra. O centro de controle da missão resolve mandar uma outra nave com velocidade 0,9 c ao seu encontro.

- (a) Qual a velocidade de aproximação, do ponto de vista da nave defeituosa?
- (b) Qual o tempo para o encontro, do ponto de vista da Terra e do ponto de vista da nave defeituosa?
- (c) O encontro ocorrerá mesmo antes da nave chegar a Vega?

RESPOSTAS: (a) 0,357 c; (b) 100 anos e 60 anos; (c) não.

6. Desvio para o vermelho (estrelas distantes).

Na captação do espectro de uma estrela distante, feita pelo observatório Hubble (em órbita fora da atmosfera terrestre) uma raia correspondente ao amarelo 5889,97 Å, típica da emissão de sódio, apresenta o valor 5900 Å. Qual a velocidade dessa estrela em relação ao observatório orbital?

RESPOSTA: $5,104 \times 10^5$ m/s.

7. Desvio para o azul (radar rodoviário)

Determine a relação entre as frequências emitida e recebida quando o radar rodoviário detecta um automóvel que está a 120 km/h.

RESPOSTA: 0,999999888

8. A viagem frustrada para Vega.

No filme “Contato”, de Carl Sagan, uma viagem de 3 segundos da personagem interpretada por Jodie Foster é detetada pelas câmeras e gravadores de bordo como 18 horas de “estática”. Qual a velocidade da nave?

RESPOSTA: $2,99999999678498 \times 10^8$ m/s

9. Aceleração de partículas.

Uma partícula alfa (núcleo do átomo de Hélio) é acelerada pela diferença de potencial aplicada a partir de um gerador Van de Graaff, cerca de um milhão de volts.

- (a) Determine a velocidade adquirida de acordo com a Mecânica de Newton
- (b) Determine a velocidade adquirida de acordo com a Mecânica de Einstein.
- (c) Compare esses resultados.

RESPOSTAS: (a) $9,8176 \times 10^6$ m/s; (b) $9,8124 \times 10^6$ m/s; (c) A diferença é pequena porque a velocidade adquirida pela partícula alfa é muito pequena em relação à da luz.

10. Efeito Compton

Determine o comprimento de onda Compton para o elétron.

RESPOSTA: $0,0243 \text{ \AA}$

11. Experiência de Franck-Hertz

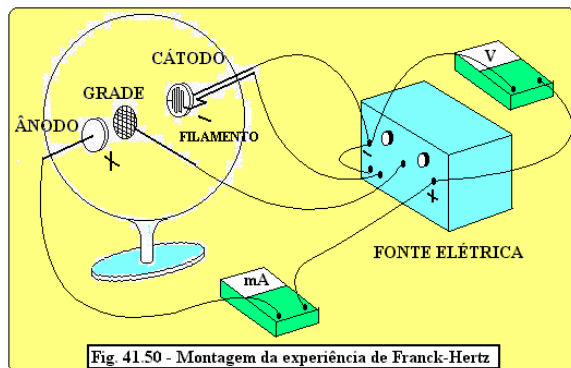
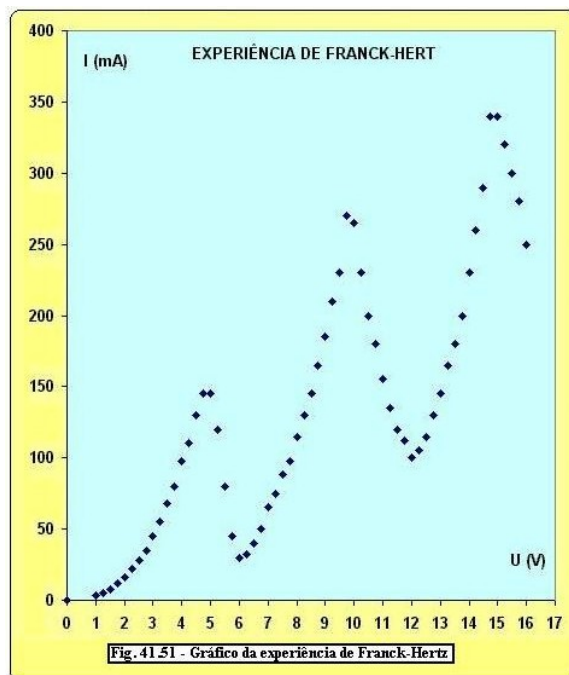


Figura (41.50): Uma válvula eletrônica conhecida como tríodo contém uma pequena quantidade de mercúrio que evapora quando o filamento é ligado e aquece todo o ambiente. Os elétrons do filamento são arrancados e acelerados pela diferença de potencial aplicada entre o cátodo (negativo) e o ânodo (positivo). A grade tem um potencial ligeiramente positivo. Se os elétrons tiverem energia suficiente poderão atravessar a grade e atingir o ânodo fechando o circuito e formando uma corrente que é indicada no amperímetro. A tensão aplicada entre o cátodo e ânodo é medida pelo voltímetro. A figura (41.51) apresenta as medidas da corrente em função da tensão. Por que esse gráfico apresenta picos de corrente à medida que a tensão aumenta?



RESPOSTA: Os picos correspondem a quedas de corrente provocadas por transições permitidas nos átomos de vapor de mercúrio.

12. Determine os níveis de energia indicados na figura (41.31) para o átomo de hidrogênio, de acordo com a hipótese de Bohr.

RESPOSTAS: $-13,6$; $-3,4$; $-1,51$; $-0,85 \text{ eV}$.

13. Transição de energia na experiência de Franck-Hertz.

É possível, usando a teoria de Bohr, determinar a transição de energia ao átomo de mercúrio na experiência de Franck-Hertz?

RESPOSTA: Não. A teoria de Bohr falha para átomos de grande número atômico.

14. Parâmetros de desintegração radioativa

Usando informações do item 41.12.1 determinar a constante de desintegração e a vida média do Carbono 14 e do Potássio 40.

RESPOSTAS: $1,2 \times 10^{-4} (\text{ano})^{-1}$; $5,54 \times 10^{-10} (\text{ano})^{-1}$; 8.333 anos; $1,8 \times 10^9$ anos.

15. Retificação de onda completa

A fonte de energia contínua que é usada nos autoramas geralmente possui um retificador de meia-onda.

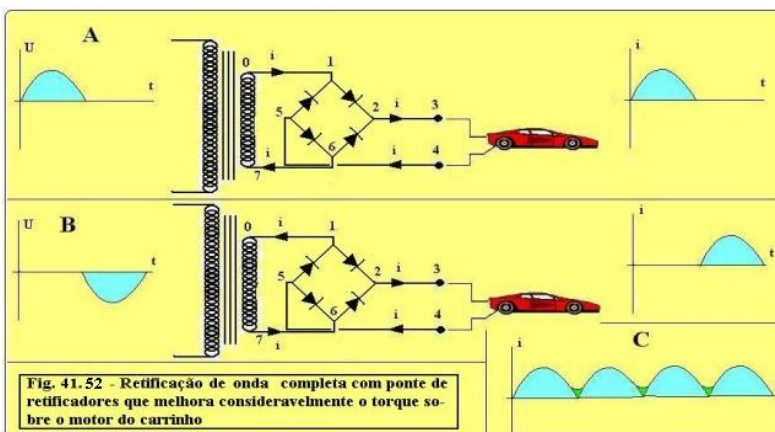
(a) Mostre que um retificador de onda-completa levaria o carro a uma maior velocidade.

(b) Mostre como fazer essa adaptação numa fonte já existente (sugestão: usar uma ponte de retificadores).

RESPOSTAS: (a) Na retificação de onda completa o motor recebe mais impulsos a cada ciclo. (b) Figuras (41.52 e 53)

16. Energia envolvida na produção de raios-X, na televisão.

Num aparelho de TV, em cores, a tensão de aceleração dos elétrons é de 24.500 volts. Esses elétrons atingem a tela e, parte deles, passa por um processo de freamento. Devido a isso se recomenda que a televisão seja assistida de uma distância superior a 3 metros. Há razão para essa precaução?

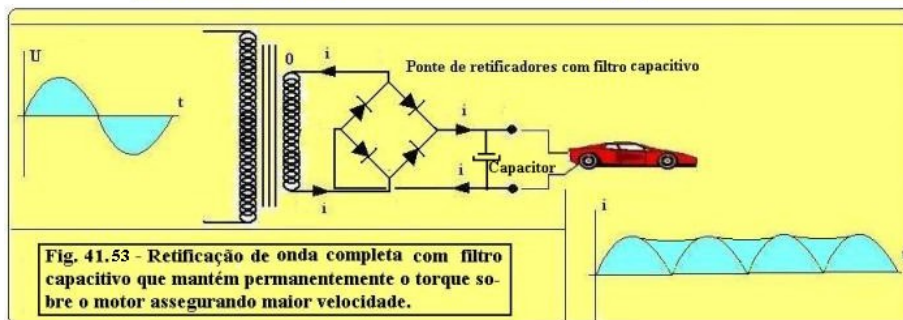


RESPOSTA: Sim.

17. Medidas de comprimento de onda de elétrons.

Na figura (41.27), experiência de Davidson e Germer, a intensidade do feixe de elétrons (acelerados por uma diferença de potencial de 100 volts) difratados pela superfície do cristal é determinada em função de α . Os resultados experimentais mostraram que o primeiro máximo ocorreu para $\alpha = 33^\circ$.

- (a) Determine o comprimento de onda associado ao elétron sabendo que o espaçamento entre os planos de cristalização da substância usada era de $2,25 \text{ \AA}$.
 (b) Verifique se esse comprimento de onda está de acordo com aquele determinado pela hipótese de De Broglie.



RESPOSTA: (a) $1,23 \text{ \AA}$; (b) Os dois resultados concordam.

18. Energia liberada numa reação de fusão

Uma possível reação de fusão de átomos de Hidrogênio produzindo Hélio é: $^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n + \Delta E$. ΔE representa a energia liberada nessa reação.

- (a) Determine ΔE .
 (b) Determine a energia liberada na fusão do Hidrogênio para produzir uma molécula grama de Hélio.
 (c) Compare essa energia com aquela gerada por uma grande hidroelétrica.

RESPOSTAS: (a) $17,6 \text{ MeV}$; (b) $1,06 \times 10^{24} \text{ MeV}$; (c) A produção, por fusão de 4 g de Hélio libera o equivalente a toda a energia produzida por Itaipu, durante 13,4 segundos.

19. A massa da luz.

- (a) Determine, a massa que se pode associar a um raio de luz de $6000 \text{ \AA}$.
 (b) Calcule a queda vertical de um raio de luz lançado horizontalmente após um percurso de 1 Km, no campo gravitacional terrestre. Podemos perceber a curvatura de luz no campo gravitacional terrestre?

RESPOSTAS: (a) $3,68 \times 10^{-36} \text{ Kg}$; (b) $0,545 \text{ \AA}$, muito difícil de determinar.

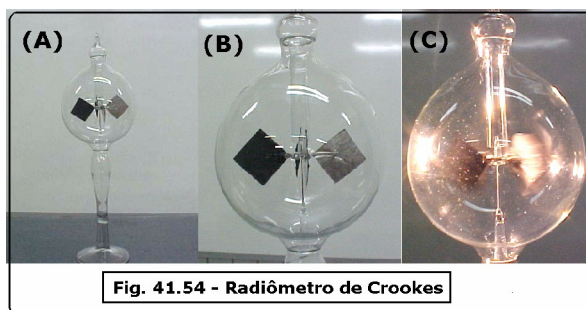
20. Radiômetro de Crookes.

Interprete o funcionamento do “Radiômetro de Crookes”, apresentado na figura (41.54).

Na parte (A) vemos que as lâminas têm uma face escura e uma brilhante.

Isto está mais evidente na parte (B).

Na parte (C) um forte feixe de luz foi jogado sobre as lâminas e essas passam a girar.



RESPOSTA: Na experiência fica evidenciada que a luz pode exercer pressão e apresenta um comportamento corpuscular.

III - PROBLEMAS DE VESTIBULARES

Nessa coleção de problemas de vestibular usamos a seleção do livro Física Moderna, um notável trabalho dos Professores Carlos Chesman (Departamento de Física – CCET – UFRN), Carlos André e Augusto Macêdo (Ensino Médio, Natal – RN). Este capítulo apresenta uma quantidade maior de problemas de vestibular, tendo em vista, pela novidade do assunto, dar maior suporte aos professores.

1. (UFMG 1999) Modelo de Bohr do átomo de hidrogênio

No modelo de Bohr para o átomo de Hidrogênio, a energia do átomo

- (a) pode ter qualquer valor.
- (b) tem um único valor fixo.
- (c) independe da órbita do elétron.
- (d) tem alguns valores possíveis.

RESPOSTA: letra (d).

2. (UFMG 2000) Energia de fótons emitidos por aquecimento.

A presença de um elemento atômico em um gás pode ser determinada verificando-se as energias dos fótons que são emitidos pelo gás, quando este é aquecido. No modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio as energias dos dois níveis de menor valor são: $-13,6 \text{ eV}$ e $-3,4 \text{ eV}$. Considerando-se essas informações, um valor possível para a energia dos fótons emitidos pelo hidrogênio aquecido é

- (a) $-17,0 \text{ eV}$
- (b) $-3,4 \text{ eV}$
- (c) $8,5 \text{ eV}$
- (d) $10,2 \text{ eV}$

RESPOSTA: letra (d).

3. (UFRGS 1994) Quantização de Max Planck

“De acordo com a teoria formulada em 1900, pelo físico alemão Max Planck, a matéria emite ou absorve energia eletromagnética de maneira _____ emitindo ou absorvendo _____, cuja energia é proporcional à _____ da radiação eletromagnética envolvida nessa troca de energia.”

Assinale a alternativa que, pela ordem, preenche corretamente as lacunas:

- (a) contínua - quanta - amplitude
- (b) descontínua - prótons - frequência
- (c) descontínua - fótons - frequência
- (d) contínua - elétrons - intensidade
- (e) contínua - nêutrons - amplitude

RESPOSTA: letra (c)

4. (UFRGS 1991) A velha Mecânica Quântica

Considere as duas colunas, colocando no espaço entre parênteses o número do enunciado da primeira coluna que mais relação tem com o da segunda coluna.

1	Existência do núcleo atômico	()	Hipótese de De Broglie
2	Determinação da carga do elétron	()	Efeito Fotoelétrico

3	Caráter corpuscular da luz	()	Experimento de Milikan
4	Caráter ondulatório das partículas	()	Experimento de Rutherford

A relação numérica correta, de cima para baixo, na coluna da direita, que estabelece a associação proposta, é:

- (a) 4 3 2 1 (b) 1 3 2 4 (c) 4 2 3 1 (d) 4 3 1 2 (e) 4 1 2 3

RESPOSTA: letra (a).

5. (PUCMG 1998) A experiência de Rutherford

A experiência de espalhamento de partículas alfa por uma folha fina de ouro pareceu indicar que:

- I. os átomos devem estar concentrados.
 II. as cargas negativas dos átomos devem estar concentradas.
 III. as cargas positivas dos átomos devem estar concentradas.

Analizando essas constatações podemos concluir que:

- (a) I e II são falsas; (b) II e III são falsas; (c) I e III são falsas; (d) Todas são verdadeiras; (e) Todas são falsas.

RESPOSTA: letra (a).

6. (PUCMG 1998) Natureza dual da luz.

Complete as lacunas do trecho com as palavras que, na mesma ordem estão relacionadas nas opções a seguir.

“A luz, quando atravessa uma fenda muito estreita, apresenta um fenômeno chamado de _____ e isto é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz. Porém quando a luz incide sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser emitidos da superfície sendo este fenômeno chamado _____ que é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz”.

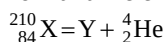
Assinale a opção correta.

- (a) difração, ondulatório, efeito fotoelétrico, corpuscular.
 (b) difração, corpuscular, efeito fotoelétrico, ondulatório.
 (c) interferência, ondulatório, efeito Compton, corpuscular.
 (d) efeito fotoelétrico, corpuscular, difração, ondulatório.
 (e) ondas, magnético, fótons, elétrico.

RESPOSTA: letra (a)

7. (UFRGS-1985) Desintegração radioativa

Um elemento radioativo X desintegrou-se para formar um elemento Y, de acordo com a seguinte reação:



O número de massa do elemento Y é:

- (a) 82 (b) 86 (c) 206 (d) 212 (e) 214.

RESPOSTA: letra (c).

8. (UFRGS-1989) Radiações ionizantes.

Selecione a alternativa que completa corretamente a lacuna nas afirmações seguintes:

I – Raios X apresentam um poder de penetração no corpo humano maior do que _____.

II – Numa transformação radioativa natural, o número de átomos radioativos da amostra _____ com o passar do tempo.

- (a) raios gama – permanecem constantes
 (b) raios gama – diminuem
 (c) microondas – diminuem
 (d) raios gama – aumentam
 (e) microondas – permanecem constantes

RESPOSTA: letra (c).

9. (UFRGS-1989) Reatores nucleares

Num reator, núcleos de ${}^{235}\text{U}$ capturam nêutrons e, então, sofrem um processo de fragmentação em núcleos mais leves, liberando energia e emitindo nêutrons. Esse processo é conhecido como:

- (a) fusão. (b) fissão. (c) espalhamento. (d) reação termonuclear. (e) aniquilação.

RESPOSTA: letra (b)

10. (UFRGS-1990) Três radiações ionizantes.

Partículas alfa, partículas beta e raios gama podem ser emitidos por átomos radioativos. As partículas alfa são íons de hélio carregados positivamente. As partículas beta são elétrons. Os raios gama são ondas eletromagnéticas de frequência muito alta.

Na desintegração de $^{226}_{88}\text{Ra}$ resultando na formação de um núcleo $^{222}_{86}\text{Ra}$ pode-se inferir que houve a emissão de

- (a) apenas raios gama. (b) de uma partícula alfa. (c) de uma partícula beta
(d) de duas partículas beta e duas partículas alfa (e) de raios gama e de duas partículas beta.

RESPOSTA: letra (b).

11. (UFRGS-1991) O fiasco da fusão a frio.

Em 1989, os noticiários destacaram, por um certo período, a realização de pesquisas sobre maneiras alternativas de obter a fusão nuclear. Tais alternativas, contudo, não se confirmaram. O que se sabe comprovadamente, hoje, é o que já se sabia até aquela época: a fusão nuclear é obtida a temperaturas tão altas quanto as existentes _____. E, ao contrário da fissão nuclear utilizada nas centrais nucleares, _____dejetos nucleares.

Assinale a alternativa que preenche de forma correta as duas lacunas, respectivamente.

- (a) na superfície da Terra – produz. (b) na superfície da Lua – produz
(c) na superfície da Lua – não produz (d) no centro do Sol – não produz (e) no centro do Sol – produz.

RESPOSTA: letra (d).

11. (UFRGS-1992) Radiações perigosas.

Analise cada uma das seguintes afirmações e indique se são verdadeiras (V) ou falsas (F).

- () O poder de penetração dos raios gama em metais é menor do que o dos raios X.
() Um dos principais temores sobre danos pessoais decorrentes de acidentes em usinas nucleares reside no fato de que a fissão nuclear produz, além da energia liberada imediatamente, fragmentos radioativos que continuam irradiando por bastante tempo.
() Admite-se presentemente, que a manutenção da camada de ozônio (O_3) que se concentra na alta atmosfera é importante, especialmente, porque funciona como um filtro que serve para absorver raios ultravioleta provenientes do Sol, evitando que cheguem em excesso à superfície terrestre.

Quais são, pela ordem as indicações corretas?

- (a) V V F (b) V F V (c) V F F (d) F V V (e) F F V.

RESPOSTA: letra (d).

12. (UFRGS-1995) Boatos sobre reatores nucleares.

Dentre as afirmações sobre reações nucleares apresentadas nas alternativas, qual está correta?

- (a) Fusão nuclear e fissão nuclear são duas maneiras diferentes de denominar a mesma reação nuclear.
(b) A fusão nuclear é um fenômeno comum que ocorre no dia-a-dia, podendo ser observado ao derreter-se um pedaço de gelo.
(c) As fissões nucleares, utilizadas nas centrais nucleares, produzem fragmentos radioativos.
(d) No processo de fusão nuclear não há liberação de energia.
(e) Uma reação nuclear em cadeia (seqüência de fissões nucleares) não pode ser iniciada nem controlada em um reator nuclear.

RESPOSTA: letra (d)

13. (UFRGS-1985) Características de microondas.

Comparadas com a luz visível as microondas têm:

- (a) velocidade de propagação menor no vácuo.
(b) fótons de energia maior.
(c) frequência menor
(d) comprimento de onda igual
(e) comprimento de onda menor.

RESPOSTA: letra (c).

14. (UFRGS-1985) Transições de energia no Modelo de Bohr.

Segundo o modelo de Bohr, o átomo pode absorver e emitir pacotes quantizados de energia, chamados fótons. O diagrama ao lado apresenta as energias de alguns estados estacionários do átomo de hidrogênio.

Selecione a alternativa que completa corretamente as lacunas abaixo:

Um fóton emitido quando o átomo de hidrogênio faz a transição do estado estacionário $n = 3$ para o $n = 2$ tem uma energia _____, uma frequência _____ e um comprimento de onda _____ do que um fóton emitido na transição do estado $n = 4$ para o $n = 3$.

- (a) maior – maior – menor (b) maior – menor – maior (c) menor – menor – maior
(d) menor – maior – menor (e) maior – maior – maior.

$n = \infty$	-----	0 eV
4	-----	- 0,5
3	-----	- 1,5
2	-----	- 3,4
1	-----	- 13,6

RESPOSTA: letra (a).

15. (UFRGS-1987) Características de fótons.

A tabela mostra as frequências de três ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo. Comparando-se essas três ondas, verifica-se que:

- (a) a energia de um fóton associado à onda X é maior do que a energia de um fóton associado à onda Y.
(b) o comprimento de onda da onda Y é igual ao dobro do da onda Z.
(c) à onda Z estão associados os fótons de maior energia e de menor quantidade de movimento.
(d) a energia do fóton associado à onda X é igual à associada à onda Y.
(e) as três ondas possuem o mesmo comprimento de onda.

Ondas	f (Hz)
X	3×10^{17}
Y	6×10^{14}
Z	3×10^{14}

RESPOSTA: letra (a)

16. (UFRGS-1990) Efeito fotoelétrico.

Quando a luz incide sobre uma fotocélula ocorre o evento conhecido como efeito fotoelétrico. Nesse evento,

- (a) é necessária uma energia mínima dos fótons da luz incidente para arrancar os elétrons do metal.
(b) os elétrons arrancados do metal saem todos com a mesma energia cinética.
(c) a quantidade de elétrons emitidos por unidade de tempo depende do quantum de energia da luz incidente.
(d) a quantidade de elétrons emitidos por unidade de tempo depende da frequência da luz incidente.
(e) o quantum de energia de um fóton da luz incidente é diretamente proporcional à sua intensidade.

RESPOSTA: letra (a).

17. (UFRGS-1995) Observação de cores.

A visualização de cores é a maneira de o olho humano identificar ou distinguir diferentes comprimentos de onda da luz. A tabela apresenta alguns comprimentos de onda da luz do espectro de emissão de uma lâmpada de vapor de mercúrio e as respectivas cores que podem ser visualizadas.

Considerando os dados da tabela, pode-se afirmar que no vácuo:

- (a) as frequências da luz identificada por cada uma das quatro cores são iguais.
(b) a quantidade de movimento linear associada a um fóton da luz visualizada como cor vermelha é maior do que a de um fóton da luz violeta.
(c) a energia associada a um fóton da luz visualizada como de cor violeta é maior do que a de um fóton da luz verde.
(d) a velocidade da luz visualizada como de cor anil é menor que a de cor verde.
(e) a frequência da luz visualizada como de cor vermelha é maior do que a de cor violeta.

RESPOSTA: letra (c)

18. (PUCRS-1973) Curiosidades da Física Moderna

- I. - Robert Andrews Millikan determinou, com grande precisão, a carga do elétron.
II – O efeito Compton demonstra que a radiação tem comportamento corpuscular,
III – Uma descarga elétrica num gás é capaz de ionizá-lo tornando-o condutor de eletricidade.

- (a) Somente a afirmação I é correta.
(b) Somente as afirmações I e II são corretas.
(c) Somente as afirmações II e III estão corretas.
(d) Somente as afirmações I e III estão corretas.
(e) Todas as afirmações estão corretas.

λ (10^{-10} m)	Cor visualizada
4047	violeta
4358	anil
5461	Verde
6232	vermelha

RESPOSTA: letra (e)

19. (PUCRS-1973) Um quantum de radiação.

Um quantum de radiação X de comprimento de onda igual a $3,0 \text{ \AA}$ possui uma energia aproximadamente igual a:

- (a) 2,30 KeV (b) $3,31 \times 10^{-15} \text{ J}$ (c) 4,13 KeV (d) 6362 KeV (e) $2,24 \times 10^{-12} \text{ J}$

RESPOSTA: letra (c)

20. (PUCRS-1974) Detalhes da Física Moderna.

Assinalar a afirmação correta:

- (a) a experiência de espalhamento de partículas alfa pela matéria realizada por Rutherford, revelou que o átomo é composto de elétrons.
(b) o efeito fotoelétrico nos revela a descontinuidade da radiação.
(c) quando um elemento emite uma partícula beta, o seu núcleo atômico decresce de uma unidade.
(d) os raios X mais penetrantes são aqueles de maior comprimento de onda.
(e) n.d.a.

RESPOSTA: letra (b).

21. (PUCRS-1974) Mosaico de Física Moderna

I – elétron-Volt é uma unidade de energia.

II – Os raios gama são radiações eletromagnéticas de comprimento de onda maior que o da luz.

III – A energia equivalente à massa de repouso de uma partícula é obtida pelo produto da massa (em repouso) da partícula pelo quadrado da velocidade da luz

- (a) somente a afirmação I é a correta.
(b) somente as afirmação I e II são corretas.
(c) somente as afirmações I e III são corretas.
(d) somente as afirmações II e III são corretas.
(e) todas as afirmações são corretas.

RESPOSTA:letra (c)

22. (UFSC-1990) Seleções de Física Moderna.

Obtenha a soma dos valores numéricos associados às opções CORRETAS.

01. A experiência de Thomson consistiu em efetuar medidas precisas para determinar-se a razão entre a carga (e) e a massa (m) das partículas dos raios catódicos e foi crucial para a correta identificação das mesmas. Modernamente elas são conhecidas como elétrons.

02. A experiência de Millikan, da gota de óleo, permitiu calcular-se pela primeira vez, o valor do “quantum” elementar de carga elétrica na natureza, isto é, a carga do elétron.

04. A radioatividade natural consiste na emissão de radiação por parte de núcleos instáveis. A radiação que é observada pode ser de três tipos: partículas alfa (núcleos de hélio), partículas beta (elétrons) e raios gama (ondas eletromagnéticas).

08. Os raios X são ondas eletromagnéticas transversais de mesmo tipo que as ondas luminosas, porém o seu comprimento de onda situa-se num intervalo inferior ao da radiação luminosa.

16. O efeito eletromagnético consiste na emissão de elétrons de uma superfície fotossensível, quando radiação luminosa de frequência suficientemente elevada incidir na mesma.

RESPOSTA: 31

23. (UFSC-1991) O efeito fotoelétrico.

Assinale as afirmativas corretas, some os valores respectivos.

Com relação ao efeito fotoelétrico é correto afirmar que:

01. Em uma célula fotoelétrica, a velocidade dos fotoelétrons emitidos aumenta, quando diminuirmos o comprimento de onda da radiação luminosa utilizada para provocar o mesmo.

02. Em uma célula fotoelétrica, a velocidade dos fotoelétrons emitidos aumenta, quando aumentamos o comprimento de onda da radiação luminosa utilizada para provocar o fenômeno.

04. Em uma célula fotoelétrica, a velocidade dos fotoelétrons emitidos será maior, se utilizarmos, para provocar o fenômeno luz vermelha forte, em vez de empregarmos luz violeta fraca.

08. Numa célula fotoelétrica, a energia cinética dos elétrons arrancados da superfície do metal depende da frequência da luz incidente.

16. Numa célula fotoelétrica, a energia cinética dos elétrons arrancados da superfície do metal depende da intensidade da luz incidente.

32. A emissão de fotoelétrons por uma placa fotossensível só pode ocorrer quando a luz incidente tem menor comprimento de onda que certo comprimento de onda crítico e característico para cada metal.

RESPOSTA: 09.

24. (UFSC-1994) Elétrons.

Com relação aos fenômenos físicos, envolvendo elétrons, é correto afirmar:

01. Podem ser chamados de raios catódicos.

02. Na célebre experiência de Thomson, conseguiu-se determinar a sua carga.

04. A razão entre a sua carga e a sua massa foi possível determinar, devido aos trabalhos do físico Roberto A. Millikan, na famosa experiência da gota de óleo.

08. O “quantum” de carga elétrica elementar na natureza é igual à carga do elétron que vale, no SI, aproximadamente:

$1,6 \times 10^{-19}$ C. Isto é, em módulo, toda e qualquer carga elétrica é um múltiplo inteiro da carga do elétron.

16. Um outro modo de designarmos os elétrons é pelo nome de raios canais, pois são obtidos a partir da canalização dos elétrons oriundos do ânodo de um tubo gerador.

32. Uma superfície de potássio metálico é capaz de emitir elétrons, quando submetida a uma radiação violeta monocromática. Esse fenômeno é conhecido com o nome de efeito fotoelétrico.

64. No efeito Compton, são emitidos elétrons a partir de uma superfície metálica, desde que a radiação seja monocromática, de grande intensidade e grande comprimento de onda.

RESPOSTA: 40.

25. (UFMG-1999) Comparação entre raios X e ondas de rádio.

Raios X e ondas de rádio estão se propagando no vácuo. Os raios X têm comprimento de onda igual a $7,2 \times 10^{-11}$ m e as ondas de rádio, comprimento de onda igual a 3,0 m. Seja E_x a energia dos fótons de raios X, E_R a energia dos fótons de da onda de rádio e v_x e v_R , respectivamente, as suas velocidades de propagação. Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que:

(a) $E_x > E_R$ e $v_x = v_R$. (b) $E_x = E_R$ e $v_x = v_R$. (c) $E_x > E_R$ e $v_x > v_R$. (d) $E_x = E_R$ e $v_x > v_R$.

RESPOSTA: letra (a)

26. (PUCMG-1999) Partículas alfa, beta e gama.

Analise as afirmativas abaixo sobre as partículas alfa, beta e gama, considerando a natureza dessas partículas:

I – Uma partícula alfa em movimento pode ser desviada por um campo magnético perpendicular à sua velocidade.

II- Uma partícula beta em movimento pode ser desviada por um campo magnético perpendicular à sua velocidade.

III – Uma partícula gama em movimento pode ser desviada por um campo magnético perpendicular à sua velocidade.

Assinale:

(a) se apenas as afirmativas I e II são corretas.

(b) se apenas as afirmativas II e III são corretas.

(c) se apenas as afirmativas I e III são corretas.

(d) se todas as afirmativas são falsas.

(e) se todas as afirmativas são corretas.

RESPOSTA: letra (a)

27. (PUCMG-1999) Efeito fotoelétrico.

O efeito fotoelétrico consiste:

(a) na existência de elétrons em uma onda eletromagnética que se propaga em um meio uniforme e contínuo.

(b) na possibilidade de se obter uma foto do campo elétrico quando esse campo interage com a matéria.

(c) na emissão de elétrons quando uma onda eletromagnética incide em certas superfícies.

(d) no fato de que a corrente elétrica em metais é formada por fótons de determinada energia.

(e) na idéia de que a matéria é uma forma de energia, podendo transformar-se em fótons ou em calor.

RESPOSTA: letra (c).

28. (PUCMG-2001) O primeiro modelo planetário do átomo.

A existência de um núcleo atômico que concentra a carga positiva do átomo, e de dimensões diminutas em relação às dimensões dele, foi reconhecida pela primeira vez com a apresentação do modelo atômico de:

- (a) Bohr. (b) Rutherford. (c) Thomson. (d) Demócrito.

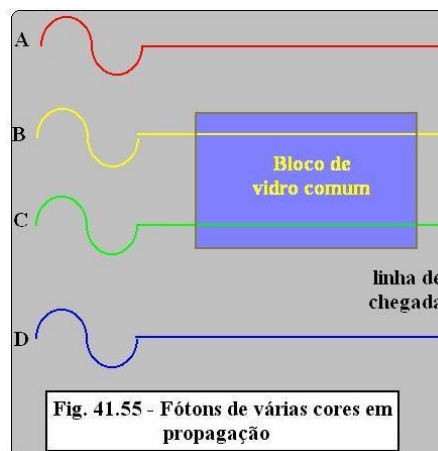
RESPOSTA: letra (b).

29. (PUCMG-2001) Fótons em propagação

Utilizando as propriedades dos fótons e o conceito de índice de refração, vamos imaginar a corrida de fótons da figura (41.55). Quatro fontes de cores diferentes emitem quatro fótons. A de cor vermelha, B de cor amarela, C de cor verde e D de cor azul. Inicialmente eles se movem no ar, seguindo as trajetórias indicadas pelas linhas tracejadas. Logo a seguir, B e C atravessam um bloco transparente de vidro comum, em forma de paralelepípedo, com duas faces perpendiculares às trajetórias dos fótons. Após o bloco, está a linha de chegada.

Com relação à ordem de chegada, é CORRETO afirmar que:

- (a) A, B, C e D chegam juntos.
(b) D chega primeiro seguido de C, B e A, nessa ordem.
(c) A e D chegam juntos e, logo após, chegam juntos B e C.
(d) A e D chegam juntos, seguidos por B, e C chega por último.



RESPOSTA: letra (c)

Comentário do autor: Nos meios materiais as ondas de menor comprimento de onda sofrem maior variação quando passam de um meio para outro. No ar, o vermelho de maior comprimento de onda que o azul e é mais rápido que ele. O amarelo tem maior comprimento de onda que o verde. O verde será mais retardado que o amarelo: ele é o último a chegar. A ordem de chegada é: A, D, B e C. A questão poderia ser mais realista.

30. (PUCMG-1998) Energia originada do Sol.

Todas as formas de energia mencionadas a seguir são originadas da energia que o Sol transmite à Terra, EXCETO a energia proveniente:

- (a) da fissão do núcleo do átomo de urânio.
(b) da combustão da madeira.
(c) da combustão da gasolina.
(d) do movimento de um curso d'água de um nível mais elevado para um nível mais baixo.
(e) dos ventos que ocorrem no nosso planeta.

RESPOSTA: letra (a).