Lista de Exercícios – Física Moderna

Questão 01 – (Prof. Matheus Pinheiro)

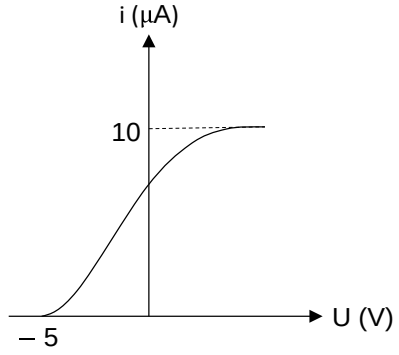
Com o intuito de estudar o efeito fotoelétrico, faz-se incidir luz de comprimento de onda λ sobre três placas metálicas diferentes, P_1, P_2 e P_3, de modo que em todas ocorre a emissão de fotoelétrons. Observa-se que as velocidades máximas V_{1m}, V_{2m} e V_{3m} dos fotoelétrons emitidos nas placas P_1, P_2 e P_3 respectivamente, satisfazem as relações $V_{2m} = 2 \cdot V_{1m}$ e $V_{3m} = 3 \cdot V_{1m}$. Determine o valor da grandeza $\kappa = (\phi_2 - \phi_3)/(\phi_1 - \phi_2)$, onde ϕ_n é a função trabalho da placa P_n, com $n = 1,2,3$.

Questão 02

Acima de qual potencial máximo uma esfera de cobre inicialmente neutra, afastada de todos os outros corpos, será carregada, quando irradiada por radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 140\,\text{nm}$? A função trabalho do cobre é $\varphi_{Cu} = 4,47\,\text{eV}$.

Questão 03

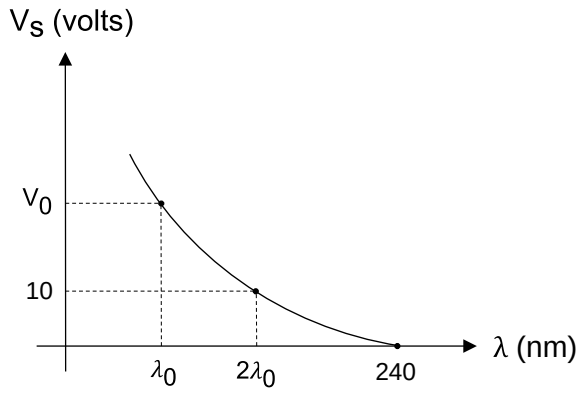
Em um experimento fotoelétrico, uma placa de metal de função trabalho $2,0\,\text{eV}$ é irradiada com feixe de luz monocromática. O gráfico da corrente fotoelétrica i, em μA, versus a diferença de potencial aplicada U, em volts, é mostrada na figura. Sabe-se que a eficiência da fotoemissão é de $10^{-3}\%$. Calcule a potência da luz incidente na placa de metal.



Questão 04

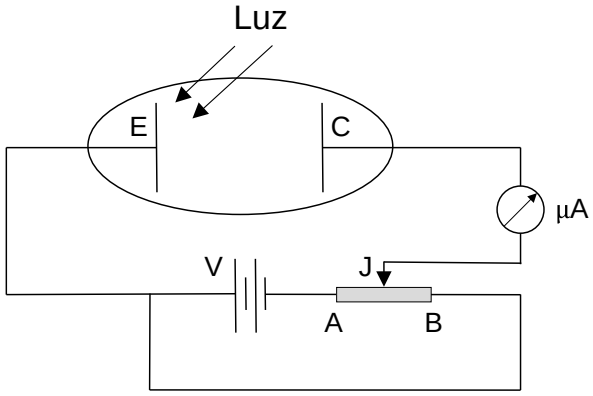
Em um experimento fotoelétrico luz de diferentes comprimentos de onda são utilizadas em uma superfície de um metal. Para cada comprimento de onda a diferença de potencial de corte é registrada. O gráfico dado mostra a variação da diferença de potencial de corte (V_s) versus o comprimento de onda (λ) da luz usada. Encontre o valor de V_0 mostrado no gráfico.

Dado: $h = 4 \cdot 10^{15}\,\text{eV} \cdot \text{s}$.



Questão 05

Considere o arranjo experimental mostrado abaixo.



Incide-se luz ultravioleta de comprimento de onda de $350\,\text{nm}$ na placa emissora (E) cuja a função trabalho é $2,2\,\text{eV}$. O trecho AB é um resistor de fio uniforme com comprimento $100\,\text{cm}$. A resistência do fio AB é $10\,\Omega$ e a força eletromotriz da bateria é $V = 10\,\text{volts}$. O contato deslizante J pode ser movido ao longo do fio AB. Quando o contato deslizante é colocado na extremidade B do resistor de fio, o microamperímetro mostra uma leitura de $i = 6\,\text{mA}$. Para responder os itens a seguir, assuma que a corrente fotoelétrica é pequena em comparação com a corrente através da célula.

a) Determine a leitura do microamperímetro quando o controle deslizante for movido para o final A do fio.

b) O deslizador é movido gradualmente para longe de A. Trace a variação da leitura do amperímetro versus a distância do deslizador medido de A.

c) Encontre a velocidade máxima com a qual um elétron atingirá a placa coletor (C) se o cursor J for colocado a uma distância de 95 cm de A.

Questão 06

Na montagem da experiência fotoelétrica, a energia cinética máxima $(K_{máx})$ dos fotoelétrons emitidos foi medida para diferentes comprimentos de onda (λ) da luz utilizada. O gráfico de $K_{máx}$ versus $\frac{1}{\lambda}$ foi obtido como mostrado na figura 1. Na mesma configuração, mantendo o comprimento de onda da luz incidente fixado em λ, a diferença de potencial U aplicada foi variada e a corrente fotoelétrica foi registrada. O resultado foi mostrado no gráfico da figura 2.

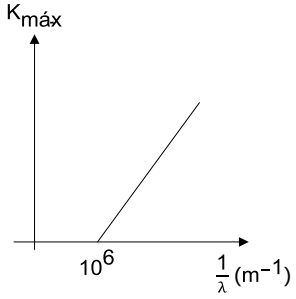


Figura 1

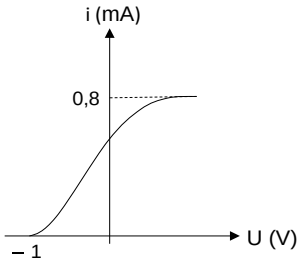


Figura 2

a) Determine λ em Å.
b) Considerando que 2% dos fótons incidentes ejetam fotoelétrons, determine a potência da luz incidente na placa emissora do experimento.

Questão 07

Explique os seguintes aspectos da dispersão de Compton da luz pela matéria:
a) o aumento no comprimento de onda $\Delta\lambda$ é independente da natureza da substância dispersora;
b) a intensidade da componente deslocada da luz dispersa, cresce com o aumento do ângulo de dispersão e com a diminuição do número atômico da substância;
c) a presença de uma componente não deslocada na radiação dispersa.
d) o motivo pelo qual não se evidencia efeito Compton para a luz visível.

Questão 08

Um fóton sofre espalhamento Compton por parte de um elétron livre estacionário. O ângulo de espalhamento é 90° em relação à direção inicial e o comprimento de onda inicial é $3{,}0\cdot10^{-12}\,m$. Determine a energia cinética do elétron, em MeV, após o espalhamento.

Questão 09

Um fóton, com momento $p = 1{,}02\,MeV/c$, onde c é a velocidade da luz, é disperso por um elétron livre estacionário mudando, no processo, seu momento para o valor $p' = 0{,}255\,MeV/c$. A energia de repouso do elétron é $0{,}511\,MeV$. A qual ângulo o fóton é disperso?

Questão 10

Um fóton, com energia excedendo $\eta = 2$ vezes a energia de repouso de um elétron, sofreu uma colisão de frente com um elétron livre estacionário. Encontre o raio de curvatura ρ da trajetória do elétron de Compton, num campo magnético $B = 0{,}12\,T$. Considera-se que o elétron de Compton move-se a ângulos retos em relação à direção do campo.

Questão 11

Em um espalhamento Compton entre um fóton, de frequência f, e um elétron, de massa m_e, o fóton é desviado de um ângulo θ, enquanto o elétron, que encontrava-se em repouso, passa a se mover em uma direção que faz um ângulo φ em relação à direção de incidência do fóton. Mostre que:

$$\cot g\left(\frac{\theta}{2}\right) = \left(1+\frac{h\cdot f}{m_e\cdot c^2}\right)\cdot tg\varphi$$

onde h é a constante de Planck e c a velocidade da luz.

Questão 12

Mostre que a razão entre a energia cinética K de recuo dos elétrons e a energia E do fóton incidente no efeito Compton é dado pela relação:

$$\frac{K}{E} = \frac{\alpha}{1+\alpha},\quad \text{com}\quad \alpha = \frac{2\cdot h\cdot f}{m_e\cdot c^2}\cdot sen^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

onde h é a constante de Planck, c a velocidade da luz no vácuo, m_e a massa de repouso do elétron, f a frequência do fóton incidente e θ o ângulo de espalhamento do fóton.

Questão 13

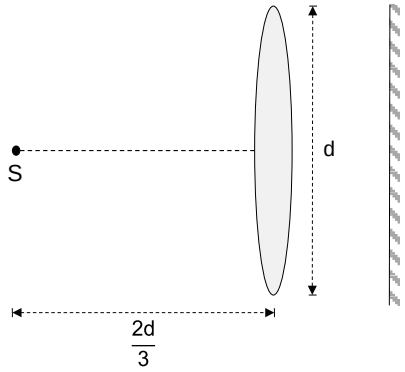
Um fóton de energia $200\,MeV$ é espalhado por um próton estacionário. Sabendo que a massa de repouso do próton é $938\,MeV/c^2$, a máxima energia transferida para o próton, após o espalhamento, vale aproximadamente
a) $40\,MeV$.
b) $50\,MeV$.
c) $55\,MeV$.
d) $60\,MeV$.
e) $65\,MeV$.

Questão 14

Um fóton com energia $1{,}00\,MeV$ é disperso por um elétron livre estacionário. Se o comprimento de onda do fóton mudou em 25% devido ao espalhamento Compton, a energia cinética do elétron, depois da dispersão, vale
a) $0{,}10\,MeV$.
b) $0{,}20\,MeV$.
c) $0{,}25\,MeV$.
d) $0{,}30\,MeV$.
e) $0{,}45\,MeV$.

Questão 15

Uma fonte pontual (S) de luz com potência de $500\,W$ é mantida no foco de uma lente de diâmetro de abertura d. A distância focal da lente é $\frac{2d}{3}$. Suponha que 40% da energia da luz incidente seja transmitida através da lente e que toda a luz transmitida incida normalmente em uma superfície perfeitamente refletora colocada atrás da lente. Calcule a força exercida pela luz na superfície refletora.



Questão 16

Coloca-se uma fonte de luz de frequência f inicialmente em repouso em frente a uma placa metálica, cuja função trabalho é φ, com o intento de fazer a placa emitir fotoelétrons. Contudo, nenhum elétron é emitido do metal. Qual deve ser o módulo V e o sentido (afastamento ou aproximação da placa) da velocidade mínima imposta a fonte para que ocorra a emissão de elétrons? Considere a velocidade da luz como sendo c.

a) $V = \left(\frac{\varphi^2 - h^2 \cdot f^2}{\varphi^2 + h^2 \cdot f^2}\right) \cdot c$ e afastamento da placa.

b) $V = \left(\frac{\varphi^2 - h^2 \cdot f^2}{\varphi^2 + h^2 \cdot f^2}\right) \cdot c$ e aproximação da placa.

c) $V = \left(\frac{\varphi^2 + h^2 \cdot f^2}{\varphi^2 - h^2 \cdot f^2}\right) \cdot c$ e aproximação da placa.

d) $V = \left(\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + h^2 \cdot f^2}\right) \cdot c$ e afastamento da placa.

e) $V = \left(\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + h^2 \cdot f^2}\right) \cdot c$ e aproximação da placa.

Questão 17

Iluminando-se sucessivamente a superfície de um metal com luz de dois comprimentos de ondas diferentes, λ_1 e λ_2, encontra-se que as velocidades máximas dos fotoelétrons emitidos estão relacionadas por: $V_{1máx} = \alpha \cdot V_{2máx}$. Demonstre que a função trabalho φ do material é dado pela expressão:

$$\varphi = \frac{\left(\alpha^2 \cdot \lambda_1 - \lambda_2\right) \cdot h \cdot c}{\left(\alpha^2 - 1\right) \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2}$$

Questão 18

Um campo magnético constante que possui módulo B é aplicado nas proximidades de uma placa metálica cuja função trabalho é igual a φ_0. Quando uma radiação eletromagnética incide sobre essa lâmina metálica, os elétrons que saem da placa descrevem circunferências de raio R devido ao efeito do campo magnético. Se a massa e a carga do elétron possuem módulos iguais a m e q, respectivamente, determine a frequência da radiação direcionada para a placa metálica. Considere a constante de Planck como sendo h.

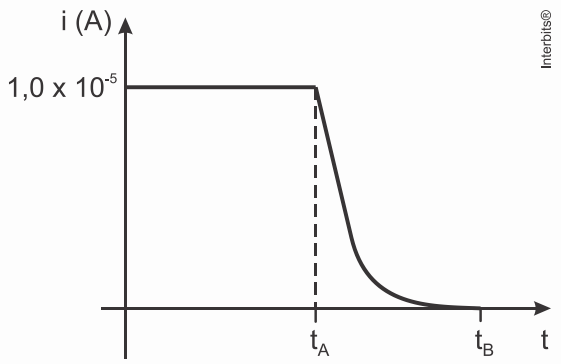
Questão 19

Faz-se incidir luz de comprimento de onda λ em duas superfícies metálicas diferentes, A e B, de funções trabalho ϕ_A e ϕ_B, respectivamente. Determine λ de modo que os elétrons mais enérgicos obtidos a partir do efeito fotoelétrico na superfície A tenham o dobro da velocidade dos que os obtidos na superfície B.

Dados:
- Constante de Planck: h;
- Velocidade da luz no vácuo: c.

Questão 20

Um capacitor de placas paralelas, de capacitância igual a $120{,}0\,\mu F$ e separação entre as placas de $1{,}0\,cm$, é carregado com uma bateria de $10{,}0\,V$. Após seu carregamento, a bateria é desconectada, e uma onda eletromagnética incide em $t = 0$ na placa carregada negativamente. Os elétrons emitidos por efeito fotoelétrico possuem energias cinéticas, que variam de zero até $1{,}5\,eV$. O gráfico a seguir ilustra o comportamento da corrente i que flui entre as placas do capacitor em função do tempo t, após o desligamento da bateria.



Então, o instante de tempo t_A e o potencial entre as placas do capacitor em t_B, respectivamente, valem

a) $1\,min$ e $1{,}0\,V$.

b) $1\,min$ e $1{,}5\,V$.

c) $2\,min$ e $1{,}0\,V$.

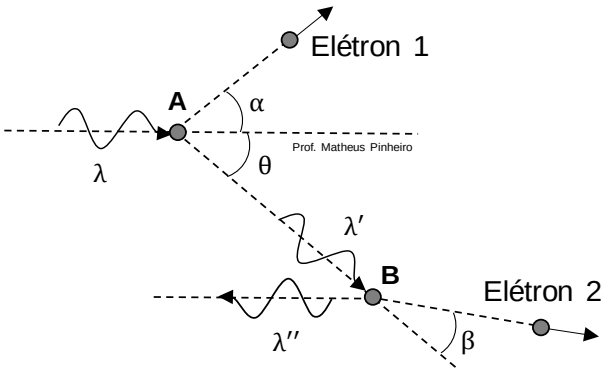
d) $2\,min$ e $1{,}5\,V$.

e) $3\,min$ e $1{,}0\,V$.

Questão 21

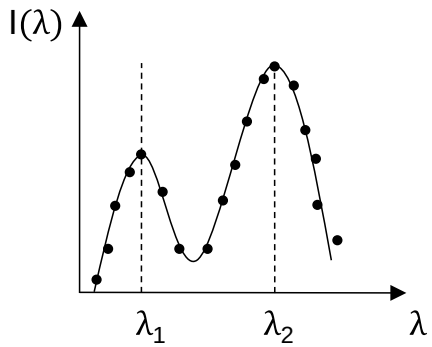
Um fóton com comprimento de onda λ se espalha de um elétron livre em A, veja figura, produzindo um segundo fóton com comprimento de onda λ'. Depois, esse fóton se espalha de outro elétron livre em B, produzindo um terceiro fóton com comprimento de onda λ'' deslocando-se no sentido oposto ao do fóton original, como mostrado na figura. Determine o valor de $\Delta\lambda = \lambda'' - \lambda$.

Dado: Comprimento de onda Compton: $\lambda_c = 2,43\,\text{pm}\ \left(1\,\text{pm} = 10^{-12}\,\text{m}\right)$.



Questão 22

A figura abaixo mostra a intensidade dos raios–X espelhados $I(\lambda)$ com comprimento de onda λ por um alvo de grafite no famoso experimento Compton de 1923. Os raios–X são detectados a um ângulo θ fixo em relação à direção de incidência do alvo. Parte dos fótons sofre espalhamento elástico (sem perda de energia) e outra parte sofre espalhamento Compton. Como resultado, nota-se que $I(\lambda)$ apresenta dois picos em comprimentos de onda λ_1 e $\lambda_2 (> \lambda_1)$.



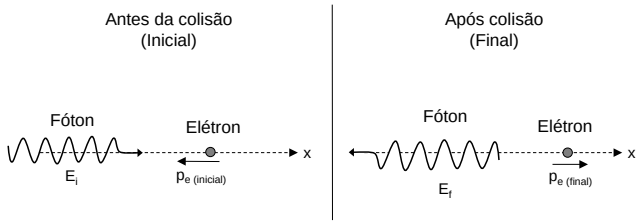
a) Qual o comprimento de onda dos raios–X incidentes e o dos raios–X que sofreram espalhamento Compton? Justique sua resposta.

Considere um evento de espalhamento Compton em que a energia do fóton incidente no alvo é de 23 keV o ângulo de espalhamento é $\theta = 60°$.

b) Calcule o comprimento de onda do fóton incidente.
c) Calcule o comprimento de onda do fóton espalhado.
d) Calcule a energia cinética do elétron após o espalhamento.

Questão 23 – (Desafio)

O processo de **espalhamento Compton inverso** é um dos mecanismos para a produção de fótons de alta energia a partir da colisão entre elétrons relativísticos e fótons de baixa energia. Um exemplo é o caso de elétrons de altas energias que se propagam pelo espaço e podem colidir com fótons da radiação cósmica de fundo, gerando fótons na região de raios–X.
Considere o processo de espalhamento Compton inverso entre um elétron e um fóton, conforme esquematizado na figura abaixo. A energia do fóton incidente é E_i. Após a colisão, o elétron (ainda em movimento) tem energia final menor do que a inicial enquanto o fóton resultante é mais energético $(E_f > E_i)$.



Mostre que a energia E_f do fóton após o espalhamento em termos de E_i, do fator γ relativístico do elétron incidente e da energia de repouso do elétron $m_e c^2$ é dada por:

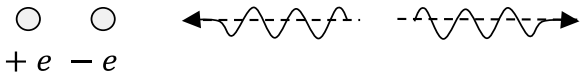
$$E_f = \frac{\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1}}{\left(\dfrac{2 \cdot E_i}{m_e \cdot c^2} + \gamma - \sqrt{\gamma^2 - 1}\right)} \cdot E_i$$

Questão 24 – (Prof. Matheus Pinheiro)

Além dos efeitos fotoelétricos e Compton há um outro processo no qual os fótons perdem sua energia na interação com a matéria, que é o processo de produção de pares. A produção de pares é também um ótimo exemplo da conservação de energia radiante em massa de repouso e energia cinética. Nesse processo, um fóton de alta energia perde toda sua energia em uma colisão com um núcleo, criando um par elétron-pósitron, com uma certa energia cinética. Um pósitron é uma partícula que tem todas as propriedades de um elétron, exceto o sinal de sua carga que é oposto ao do elétron; o pósitron é um elétron positivamente carregado.
Intimamente relacionado com a produção de pares está o processo inverso, chamado aniquilação de pares. Um elétron e um pósitron, estando essencialmente em repouso próximos um do outro, se unem e são aniquilados. A matéria desaparece e em seu lugar obtemos energia radiante. Já que o momento inicial do sistema é zero, e como o momento deve se conservar no processo, não podemos ter apenas um fóton criado, pois um único fóton não pode ter momento zero. O processo que tem maior probabilidade de ocorrer é a criação de dois fótons que se movem com o mesmo momento em sentidos opostos. Menos provável, mas possível, é a criação de três fótons.

Dados: h = constante de Planck e c = velocidade da luz no vácuo.

a) Suponha que a figura abaixo represente o processo de aniquilação em um sistema de referência S no qual o par elétron-pósitron esteja em repouso e os dois fótons resultantes da aniquilação movam-se ao longo do eixo x. Determine o comprimento de onda λ desses fótons em função de m_0, a massa de repouso de um elétron ou de um próton.



Antes Depois

b) Agora considere a mesma aniquilação sendo observada no referencial S', que se move com velocidade V para a esquerda de S. Que comprimento de onda este observador (em movimento) mede para os fótons?

Questão 25 – (Prof. Matheus Pinheiro)

Aplica-se uma diferença de potencial em um tubo de raios X de modo que os elétrons partem do cátodo, a partir do repouso, alcançando velocidades máximas de $V = \beta \cdot c$ (com $0 < \beta < 1$), imediatamente antes de atingirem o ânodo. Considerando o caso em que β é um número próximo de 1, determine uma expressão para a frequência dos fótons mais enérgicos liberados devido ao freamento desses elétrons no ânodo. Essa é a **radiação de frenagem** ou **Bremsstrahlung**. Explique possíveis aproximações ou considerações.

Dados:
– Massa de repouso do elétron: m_e;
– Constante de Planck: h;
– Velocidade da luz no vácuo: c.

Questão 26

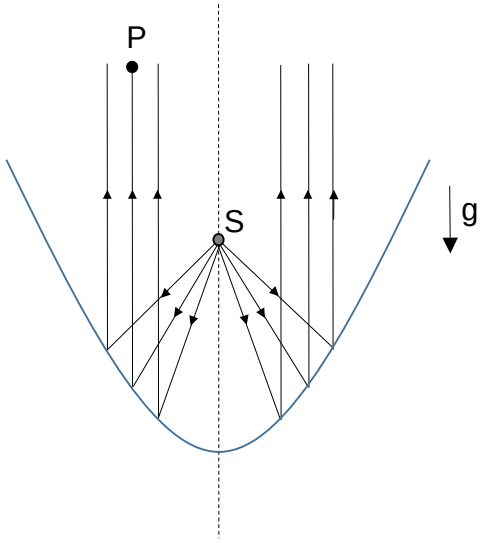
Um sensor exposto em um tempo t a uma lâmpada de potência P e distante L. O sensor quando aberto possui um diâmetro 4d. Assumindo que toda energia da lâmpada é luminosa, encontre o número N de fótons que podem entrar no sensor quando aberto nas condições citadas.

Dados:
– Comprimento de onda dos fótons incidentes: λ;
– Constante de Planck: h;
– Velocidade da luz no vácuo: c.

Questão 27 – (Prof. Matheus Pinheiro)

Coloca-se uma fonte pontual de luz S no foco de um espelho parabólico de modo a criar uma onda luminosa plana de intensidade I. Em seguida, lança-se um corpo esférico P, perfeitamente negro, de densidade ρ em uma direção paralela ao eixo principal do espelho, numa região atravessada pela onda plana descrita anteriormente; veja figura abaixo. Considere a gravidade local como sendo g. Sabendo que o corpo esférico fica em equilíbrio dinâmico, determine seu raio em termos dos parâmetros fornecidos.

Dado: velocidade da luz no vácuo = c.



Questão 28

Considere dois íons hidrogenóides, A e B, de massas atômicas diferentes e cada qual contendo um número igual de prótons e nêutrons. A diferença de energia entre a primeira linha de Balmer emitida por A e B é de $5{,}667\,eV$. Quando os átomos A e B se movem com a mesma velocidade, eles atacam um alvo pesado e voltam com a mesma velocidade. Nesse processo, o átomo B transmite o dobro de momento para o alvo do que o A transmite. Identifique os elementos A e B.

Questão 29

Duas partículas idênticas não relativísticas A e B movem-se perpendicularmente entre si, com comprimentos de ondas λ_A e λ_B, respectivamente. O comprimento de onda de De Broglie de cada partícula em seu centro de massa de referência é:

a) $\lambda_A + \lambda_B$.

b) $\dfrac{2 \cdot \lambda_A \cdot \lambda_B}{\sqrt{\lambda_A^2 + \lambda_B^2}}$.

c) $\dfrac{\lambda_A \cdot \lambda_B}{\sqrt{\lambda_A^2 + \lambda_B^2}}$.

d) $\dfrac{\lambda_A + \lambda_B}{2}$.

e) $\sqrt{\lambda_A^2 + \lambda_B^2}$.

Questão 30

Um elétron de massa m e carga e, que se encontrava inicialmente em repouso, é acelerado por um campo elétrico E constante. A taxa de variação do comprimento de onda de De Broglie no tempo t é:

Observação: Desconsidere os efeitos relativísticos.

a) $-\dfrac{h}{e \cdot E \cdot t^2}$.

b) $-\dfrac{e \cdot h \cdot t}{E}$.

c) $-\dfrac{m \cdot h}{e \cdot E \cdot t^2}$.

d) $-\dfrac{h}{e \cdot E}$.

e) $-\dfrac{e \cdot h}{E \cdot t}$.

Questão 31

Uma partícula instável de massa igual a 3 vezes a massa de um próton se origina devido ao choque de alta energia e a incerteza da massa é de 1% da sua própria massa. Encontre a incerteza do tempo de meia vida dessa partícula. Considere $m_p =$ massa do próton, h a constante de Planck e c a velocidade da luz no vácuo.

a) $\Delta t \geq \dfrac{100 \cdot h}{\pi \cdot m_p \cdot c^2}$.

b) $\Delta t \geq \dfrac{h}{m_p \cdot c^2}$.

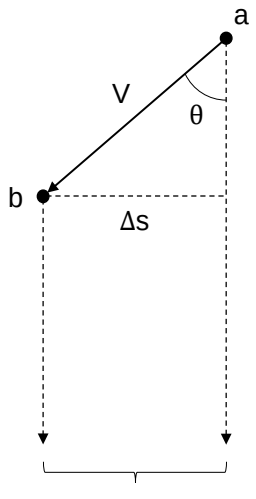
c) $\Delta t \geq \dfrac{100 \cdot h}{3 \cdot \pi \cdot m_p \cdot c^2}$.

d) $\Delta t \geq \dfrac{99 \cdot h}{3 \cdot \pi \cdot m_p \cdot c^2}$.

e) $\Delta t \geq \dfrac{25 \cdot h}{3 \cdot \pi \cdot m_p \cdot c^2}$.

Questão 32

A cada dois anos, mais ou menos, o The New York Times publica um artigo no qual algum astrônomo alega que encontrou um objeto viajando a uma velocidade maior que a da luz. Muitos desses relatos resultam da falha em distinguir o que é visto do que é observado – ou seja, da falha ao considerar o tempo de viagem da luz. Eis um exemplo: uma estrela está viajando à velocidade V com um ângulo θ em relação à linha de visão (veja figura abaixo).



a) Qual a sua velocidade aparente (chamemos de u) através do céu? (Suponha que o sinal de luz de b chega à Terra em um tempo Δt após o sinal de a, e a estrela, nesse meio tempo, avançou uma distância Δs através da esfera celeste; por "velocidade aparente" quero dizer $\Delta s/\Delta t$).

b) Que ângulo θ dá a máxima velocidade aparente?

c) Mostre que a velocidade aparente pode ser muito maior que c, mesmo que V seja menor do que c.

Questão 33

Suponha que um planeta extra-solar esteja a uma distância de $c \cdot T$ anos–luz da Terra (c é a velocidade da luz e T é o tempo, em anos, que esta leva para viajar da Terra até lá). Uma expedição é planejada para enviar astronautas ao planeta de tal forma que eles envelheçam $\dfrac{3 \cdot T}{4}$ anos durante a viagem de ida. A viagem é quase toda feita a uma velocidade constante. Por isso, desconsidere os pequenos trechos com movimento acelerado.

a) Qual deverá ser o módulo da velocidade constante dos astronautas, em relação à Terra, na ida?

b) De acordo com os astronautas, qual será a distância a ser percorrida na ida?

c) A cada ano (de acordo com o relógio da nave) os astronautas enviam um pulso de luz para a Terra. Qual é a periodicidade dos pulsos recebidos na Terra?

d) Na metade da jornada de ida um casal de astronautas decide retornar à Terra em um módulo espacial. De acordo com os astronautas que permanecem na nave, o módulo retorna em direção à Terra com velocidade $\dfrac{5 \cdot c}{6}$.

Calcule o tempo total (medido na Terra) que o casal de astronautas terá ficado fora do nosso planeta.

Questão 34

O acelerador de partículas LHC (*Large Hadron Collider*) produz feixes de prótons com velocidades relativísticas e energias (medidas no referencial do laboratório, S) da ordem de teraelétron-volts ($1{,}0\,\text{TeV} = 1{,}0 \cdot 10^{12}\,\text{eV}$).

a) Um próton possui energia relativística total igual a $5{,}0\,\text{TeV}$, medida no referencial S do laboratório. Calcule a velocidade desse próton (no referencial S) considerando-se que a sua energia de repouso é igual a $1{,}0\,\text{GeV} = 1{,}0 \cdot 10^9\,\text{eV}$.

Dica: Como a velocidade do próton é muito próxima à velocidade da luz no vácuo, c, use $V = (1 - \Delta) \cdot c$ e encontre o valor de Δ. Lembre-se que $(1 \pm \varepsilon)^n \approx 1 \pm n \cdot \varepsilon$ se $|\varepsilon| << 1$.

b) Um próton A, com energia relativística total E_A, colide frontalmente com outro próton B com a mesma energia viajando em sentido contrário no referencial S. Suponha que está colisão produza uma partícula X não vista anteriormente através da reação $A + B \Rightarrow X$. Calcule a massa de repouso da partícula X em termos de E_A.

c) Em um outro experimento, um próton C, com fator relativístico γ (medido no referencial do laboratório S) e massa de repouso m_0, colide frontalmente com outro próton D inicialmente em repouso. Suponha que esta colisão produza uma partícula Y através da reação $C + D \Rightarrow Y$. Calcule a massa de repouso de Y em termos de γ e m_0.

Questão 35

Um próton cuja o fator de Lorentz é γ, colide elasticamente com um outro próton em repouso. Se após a colisão os prótons saem com energias iguais, o ângulo θ entre eles é dado pela expressão:

a) $\text{arcsen}\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-3}\right)$.

b) $\text{arcsen}\left(\frac{\gamma-1}{\gamma+3}\right)$.

c) $\arccos\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-3}\right)$.

d) $\arccos\left(\frac{\gamma-1}{\gamma+3}\right)$.

e) $\text{arctg}\left(\frac{\gamma-2}{\gamma+3}\right)$.

Questão 36

Um átomo em seu estado fundamental possui massa M. Ele fica inicialmente em repouso em um estado excitado de energia de excitação $\Delta\varepsilon$, em seguida, faz uma transição para o estado fundamental emitindo um fóton. Encontre a frequência do fóton, levando em consideração o recuo relativístico do átomo. Expresse sua resposta também em termos da massa M do átomo excitado.

Dados: $h =$ constante de Planck; $c =$ velocidade da luz.

Questão 37

Um disco horizontal está girando com velocidade angular ω. Existe um relógio no centro do disco e outro a uma distância r do centro. Em um referencial inercial em relação ao qual o centro do disco está em repouso, o relógio fora do centro está se movimento com velocidade $u = \omega \cdot r$. Mostre que, de acordo com o fenômeno da dilatação dos tempos da relatividade restrita, a relação entre o intervalo de tempo medido pelo relógio em repouso, Δt_0, e o intervalo de tempo medido pelo relógio em movimento, Δt, é dada por:

$$\frac{\Delta t - \Delta t_0}{\Delta t_0} \cong \frac{r^2 \cdot \omega^2}{2 \cdot c^2} \quad \text{se} \quad r \cdot \omega << c$$

Questão 38

Um veleiro é fabricado de modo que o mastro se incline em um ângulo θ em relação ao convés. Um observador parado em uma doca vê o barco passar na velocidade $V = \beta \cdot c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. Que ângulo esse observador diz que o mastro faz em relação ao convés?

Questão 39

Uma partícula de massa m cuja energia total é o dobro da sua energia de repouso colide com uma partícula idêntica que está em repouso. Se elas aderirem uma á outra, (a) qual será a massa da partícula composta resultante? (b) Qual a sua velocidade?

Questão 40

Um píon em repouso decai em um múon e um neutrino. (a) Encontre a energia do múon emitido em termos das duas massas, m_π (massa do píon) e m_μ (massa do múon) (assuma que a massa do neutrino é $m_\nu = 0$). (b) Encontre a velocidade do múon. Considere a velocidade da luz como sendo c.

Gabarito:

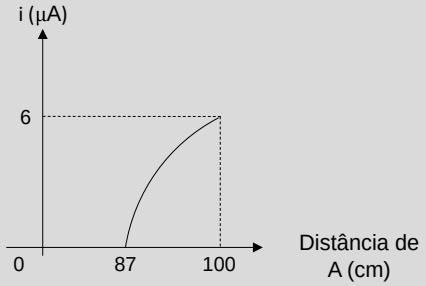
01. Resposta: $\kappa = \frac{5}{3}$

02. Resposta: $\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e} - \varphi_{Cu} = 4{,}39\,\text{volts}$.

03. Resposta: $\text{Pot} = 7\,\text{W}$.

04. Resposta: $V_0 = 25\,\text{volts}$.

05. Resposta: a) Zero,
b)



c) $0{,}8\,\text{eV}$.

06. Resposta: a) $5536\,\text{Å}$, b) $0{,}089\,\text{W}$.

07. Resposta a) A dispersão de Compton é a dispersão de luz pelos elétrons livres. Por elétrons livres quero dizer elétrons cuja a energia de ligação com o átomo é muito menor do que as energias envolvidas no processo de dispersão. Por essa razão, o aumento no comprimento de onda $\Delta\lambda$ é independente da natureza da substância dispersa.
b) Isso ocorre porque o número efetivo de elétrons livres aumenta em ambos os casos. Com o aumento do ângulo de dispersão, a energia transferida para os elétrons aumenta. Com a diminuição do número atômico da substância, a energia de ligação dos elétrons diminui.
c) A presença de um componente não deslocado é a radiação espalhada é devido à dispersão de elétrons (internos) fortemente vinculados, bem como núcleos. Para dispersar por estes, o átomo essencialmente recua como um todo e há muito pouca transferência de energia.
d) Os comprimentos de onda associados a luz vísivel são da mesma ordem de grandeza das energias de ligação dos elétrons com o átomo.

08. Resposta: $\text{Ecin}_{\text{elétron}} = 18{,}5\,\text{MeV}$.

09. Resposta: $\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = \sqrt{\frac{m \cdot c \cdot (p - p')}{2 \cdot p \cdot p'}} = 120{,}2°$.

10. Resposta: $\rho = \frac{2 \cdot \eta \cdot (1 + \eta)}{(1 + 2 \cdot \eta) \cdot \frac{m \cdot c}{B \cdot e}} = 3{,}412\,\text{cm}$.

11. Resposta: Demonstração.

12. Resposta: Demonstração.

13. Resposta: item D.

14. Resposta: item B.

15. Resposta: $1{,}33 \cdot 10^{-7}\,\text{N}$.

16. Resposta: item B.

17. Resposta: Demonstração.

18. Resposta: $f = \frac{\varphi_0}{h} + \frac{q^2 \cdot B^2 \cdot R^2}{2 \cdot m \cdot h}$.

19. Resposta: $\lambda = \frac{3 \cdot h \cdot c}{4 \cdot \phi_B - \phi_A}$.

20. Resposta: item D.

21. Resposta: $\Delta\lambda = 4{,}86\,\text{pm}$.

22. Resposta: a) A energia dos fótons $E_{\text{fóton}} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Portanto, os fótons espalhados, que transferiram parte de sua energia aos elétrons, têm comprimento de onda maior que os incidentes. Segue que o comprimento de onda dos raios–X incidentes é λ_1 e o comprimento de onda dos fótons espalhados é $\lambda_2 > \lambda_1$.
b) $\lambda_{\text{incidente}} = 0{,}54\,\text{Å}$, c) $\lambda_{\text{espalhado}} = 0{,}55\,\text{Å}$,
d) $0{,}5\,\text{keV}$.

23. Resposta: a) Demonstração.

24. Resposta: a) $\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c}$, b) $\lambda'_1 = \lambda \cdot \sqrt{\frac{c - V}{c + V}}$ e $\lambda'_2 = \lambda \cdot \sqrt{\frac{c + V}{c - V}}$.

25. Resposta: $f = \frac{m_e \cdot c^2}{h} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right)$.

26. Resposta: $N = \frac{P \cdot \lambda \cdot d^2 \cdot t}{h \cdot c \cdot L^2}$.

27. Resposta: $r = \frac{3 \cdot I}{4 \cdot \rho \cdot c \cdot g}$.

28. Resposta: O elemento A é o deutério $\left({}^2H\right)$ e o átomo B é o He^+.

29. Resposta: item B.

30. Resposta: item A.

31. Resposta: item E.

32. Resposta: a) $u = \frac{V \cdot \text{sen}\theta}{\left(1 - \frac{V}{c}\right) \cdot \cos\theta}$;

b) $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{V}{c}\right)$;

c) Demonstração.

33. Resposta: a) $\frac{4 \cdot c}{5}$, b) $\frac{3 \cdot c \cdot T}{5}$, c) $3\,\text{anos}$,
d) $\frac{45 \cdot T}{8}$.

34. Resposta: a) $\Delta = 2 \cdot 10^{-8}$, b) $m_x = \frac{2 \cdot E_A}{c^2}$,
c) $m_y = \sqrt{2 \cdot (\gamma + 1)} \cdot m_0$.

35. Resposta: item D.

36. Resposta: $f = \frac{\Delta\varepsilon}{h} \cdot \left(1 - \frac{\Delta\varepsilon}{2 \cdot M \cdot c^2}\right)$.

37. Resposta: Demonstração.

38. Resposta: $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\theta}{\sqrt{1 + \beta^2}}\right)$.

39. Resposta: a) $M = \sqrt{6} \cdot m$, b) $V = \frac{c}{\sqrt{3}}$.

40. Resposta: a) $E_\mu = \frac{\left(m_\pi^2 + m_\mu^2\right)}{2 \cdot m_\pi} \cdot c^2$,

b) $V_\mu = \left(\frac{m_\pi^2 - m_\mu^2}{m_\pi^2 + m_\mu^2}\right) \cdot c$

Críticas, sugestões ou comentários:

matheus@fisica.ufc.br