

Algumas constantes úteis :

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad , \quad m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ Kg} \quad , \quad 1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \quad , \quad h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \times \text{s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \times \text{s}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \quad , \quad k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad , \quad c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s} \quad \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

$$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

[1] Um átomo de hidrogênio é excitado de um estado com $n=2$ até um com $n=4$.

(a) Calcule a energia e o módulo do momento do fóton que deve ser absorvida pelo átomo.

(b) Calcule a velocidade de recuo do átomo de hidrogênio, ao absorver o fóton do item (a) considerando que o átomo estava inicialmente parado.

(c) Calcule os valores de todos os possíveis comprimentos de onda dos diferentes fótons que poderão ser emitidos se o átomo voltar no estado $n=4$ para o estado fundamental $n=1$. Para isso, apresente o diagrama de níveis de energia.

[2] No chamado aniquilamento próton-antipróton, um próton colide com um antipróton (um próton com carga negativa porém com mesma massa) e ambos desaparecem produzindo radiação eletromagnética na forma de dois fótons de mesma energia e com momentos iguais e opostos. Supondo que esta partícula possua massa igual a $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ e que no referencial do centro de massa I , a velocidade do próton e do antipróton são respectivamente, $\vec{v}_p = 0,9c \hat{j}$ $\vec{v}_{\bar{p}} = -0,9c \hat{j}$ calcule:

a) A energia em Joules e em elétrons-volt e o módulo do momento linear de cada fóton.

b) Calcule a frequência e o comprimento de onda dos fótons.

c) Calcule os vetores de onda $\vec{k}'$ e a frequência angular ω' dos fótons num referencial I' que se move com velocidade $u=0,6c$ na direção do eixo x .

[3] O comprimento de onda de corte para o efeito fotoelétrico em uma superfície de tungstênio é 272 nm .

a) Calcule a energia cinética máxima dos elétrons emitidos por essa superfície de tungstênio quando ela é iluminada por uma radiação ultravioleta com frequência igual a $1,45 \times 10^{15} \text{ Hz}$. Expresse a resposta em elétrons-volt.

b) Calcule o momento linear máximo dos fotoelétrons e o respectivo comprimento de onda destes elétrons.

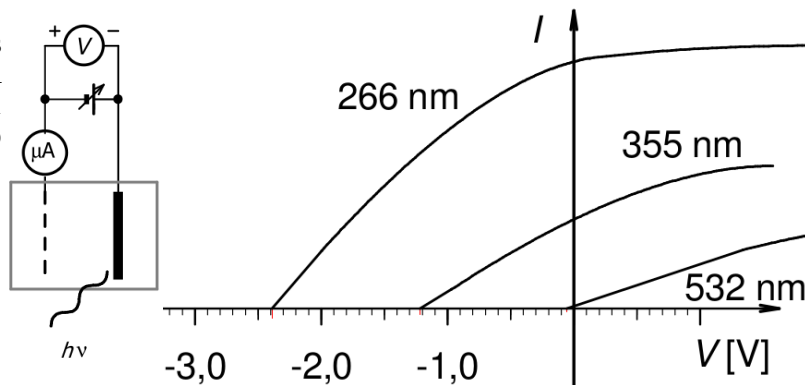
c) Quando esses elétrons passam por uma fenda de espessura $\Delta y = a = 4,0 \text{ nm}$ qual é valor do ângulo θ em radianos e do momento linear p_y , para o primeiro mínimo de figura de difração gerada pelos elétrons.

(d) Calcule o erro do momento Δp_y dos elétrons.

[4] Um foto-cátodo foi irradiado com luz com os seguintes comprimentos de onda: $\lambda_a = 532 \text{ nm}$, $\lambda_b = 355 \text{ nm}$ e $\lambda_c = 266 \text{ nm}$. A fotocorrente foi medida em função da diferença de potencial elétrico aplicado entre cátodo e ânodo. A figura mostra o resultado experimental. Use os dados para determinar:

(a) a função trabalho do material do foto-cátodo;

(b) o valor da constante de h de Planck.



[5] (a) Mostre que o comprimento de onda de de Broglie de uma partícula de carga q , massa de repouso m_0 , se movendo com velocidades relativísticas é dada como uma função do potencial acelerador V como:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 e V + \frac{e^2 V^2}{c^2}}}$$

(b) O acelerador de elétrons de 50GV (isto é, $50 \times 10^9 \text{ V}$) da Universidade de Stanford fornece um feixe de elétrons com comprimentos de onda muito pequenos, adequados para investigação dos detalhes da estrutura nuclear por meio de experiências de espalhamento. Qual é o comprimento de onda destes elétrons?

(c) Quando esses elétrons passam por uma fenda de espessura $\Delta y = a = 10^{-16} \text{ m}$ qual é valor do ângulo θ em radianos e do momento linear p_y , para o primeiro mínimo de figura de difração gerada pelos elétrons.

(d) Calcule o erro do momento Δp_y dos elétrons.

[6] Um próton de massa m_p e que está com velocidade v_x , possui uma incerteza na sua posição igual ao seu comprimento de onda de de Broglie. Qual será a incerteza Δv_x na velocidade do próton?

[7] Uma partícula de massa m_0 possui uma energia total igual ao triplo da energia de repouso.

a) Qual deve ser o momento linear desta partícula considerando que a partícula se move ao longo da direção $+x$?

b) Qual é o módulo da velocidade da partícula expressa como uma fração de c ?

c) Um observador em um sistema S' move-se no sentido $+x$ com $u=0,60c$, afastando-se de um observador em repouso no sistema S fixo na partícula. Qual é a velocidade v' que o observador no sistema S' mede para a velocidade da partícula.

d) Determine a energia total da partícula e seu momento linear no sistema de coordenadas S' .

e) Considerando que nos instantes $t'=t=0$ a origem dos dois referenciais S' e S coincidem e que a partícula partiu de $x=0$ em $t=0$, faça um diagrama espaço-tempo mostrando a linha do tempo da partícula até $t=10\text{anos}$ mostrando os eixos ct , x , ct' e x' .

[8] Um múon, com a carga $-e$ e a massa $m=270m_e$ (onde m_e é a massa do elétron) orbita em torno do núcleo de um átomo de hélio monoionizado (He^+ , $Z=2$).

a) Admitindo que o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio possa ser aplicado a esse sistema múon-hélio, obtenha uma expressão para os níveis de energia como função de n .

b) Obtenha o comprimento de onda do fóton emitido caso o múon passe do estado excitado $n=2$ para o estado fundamental $n=1$.

[9] Partindo da expressão do princípio da incerteza da energia-tempo, $\Delta E \Delta t \geq \hbar$. Mostre a partir da relação de Einstein para a energia do fóton que $\Delta f \Delta t \geq 1/2\pi$. Sabe-se que um átomo pode emitir radiação em qualquer momento após ter sido excitado. Um átomo de Sódio após excitado tem uma vida média de aproximadamente $1,6 \times 10^{-8} s$. Isto é, durante esse período ele emite um fóton e volta ao estado inicial. Qual é a incerteza mínima Δf na frequência do fóton?

[10] Uma espaçonave de outro planeta está voando a uma grande distância e passa sobre a vertical onde você está em repouso. Você vê o farol da espaçonave piscar durante $0,190 s$. O comandante da espaçonave verifica que o farol ficou aceso durante $12,0 ms$. Qual é o módulo da velocidade da espaçonave expressa como uma fração de c ?