

Teoria Quântica

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensi, Coordenação de Química



Radiação Eletromagnética

1. Relação entre frequência e comprimento de onda da radiação eletromagnética:

$$c = \lambda f$$

2. Energia da radiação eletromagnética:

$$E = hf = (6,62 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg s}^{-1}) f$$

3. Espectro eletromagnético (IV, Vis, UV).

1.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** o comprimento de onda, a energia e a frequência da radiação.

Radiação de Corpo Negro

1. Espectro de emissão do corpo negro.
2. Lei de Stefan-Boltzmann.
3. Lei de Wien:

$$T\lambda_{\text{max}} = 2,9 \text{ mm K}$$

2.0.2 Habilidades

- a. **Calcular** a temperatura de um corpo a partir da Lei de Wien.

Efeito Fotoelétrico

1. Função trabalho.
2. Conservação de Energia no Efeito Fotoelétrico:

$$hf = \frac{1}{2} m_e v^2 + \Phi$$

3.0.3 Habilidades

- a. **Calcular** a função trabalho de um metal.
- b. **Comparar** a função trabalho de diferentes metais.

Dualidade Onda-Partícula

1. Relação de De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

2. Princípio da Incerteza de Heisenberg.
3. Partícula na caixa unidimensional:

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

4.0.4 Habilidades

- a. **Calcular** o comprimento de onda associado a uma partícula.
- b. **Determinar** os níveis de energia para um sistema quântico utilizando a Relação de De Broglie.

Espectros Atômicos e Teoria de Bohr

1. Espectros atômicos.
2. Limitações do modelo de Rutherford.
3. Quantização do momento angular.
4. Níveis de energia no átomo de Bohr:

$$E = - \left(\frac{e^4 \mu}{8 \epsilon_0^2 h^2} \right) \frac{Z^2}{n^2} = -(13,6 \text{ eV}) \frac{Z^2}{n^2}$$

5. Equação de Rydberg:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

6. Energia de ionização.
7. Efeito da massa nuclear nos níveis de energia e átomos exóticos.
8. Átomo de Sommerfeld.

5.0.5 Habilidades

- a. **Determinar** a expressão para a energia e raio do átomo hidrogenoide.
- b. **Calcular** a energia, frequência e comprimento de onda de uma transição eletrônica a partir da Equação de Rydberg.

Nível I

PROBLEMA 5.1

1A01

Assinale a alternativa que mais se aproxima da energia liberada por 5 g de sódio em uma lâmpada que produz luz amarela com comprimento de onda 590 nm.

- A** 100 kJ
- B** 200 kJ
- C** 300 kJ
- D** 400 kJ
- E** 500 kJ

PROBLEMA 5.2

1A02

Assinale a alternativa que mais se aproxima do número de fótons emitidos em 2 s por uma lâmpada de 40 W que produz luz azul com comprimento de onda 470 nm.

- A 2×10^{17}
- B 2×10^{18}
- C 2×10^{19}
- D 2×10^{20}
- E 2×10^{11}

PROBLEMA 5.3

1A03

A exposição de uma amostra de iodo gasoso à luz com comprimentos de onda inferiores a 500 nm leva a formação de iodo atômico.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da entalpia de ligação I—I.

- A 120 kJ mol^{-1}
- B 160 kJ mol^{-1}
- C 200 kJ mol^{-1}
- D 240 kJ mol^{-1}
- E 280 kJ mol^{-1}

PROBLEMA 5.4

1A04

A mensuração da eficiência quântica da fotossíntese em plantas revelou que 8 quanta de luz vermelha a 685 nm são necessários para liberar uma molécula de oxigênio. A quantidade média de energia armazenada no processo fotoquímico é 469 kJ por mol de oxigênio liberado.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da eficiência da fotossíntese.

- A 10 %
- B 30 %
- C 50 %
- D 70 %
- E 90 %

PROBLEMA 5.5

1A05

Assinale a alternativa *correta*.

- A A intensidade total da radiação emitida por um corpo negro é diretamente proporcional à temperatura.
- B O comprimento de onda emitido com maior intensidade por um corpo negro aumenta com o aumento da temperatura.
- C Fótons de ondas de rádio são mais energéticos que fótons de radiação ultravioleta.
- D Fótons radiação infravermelha são menos energéticos que fótons de radiação ultravioleta.
- E A energia de um fóton é diretamente proporcional ao comprimento de onda da radiação.

PROBLEMA 5.6

1A06

Cinco amostras idênticas de um mesmo metal são aquecidas a diferentes temperaturas até a incandescência.

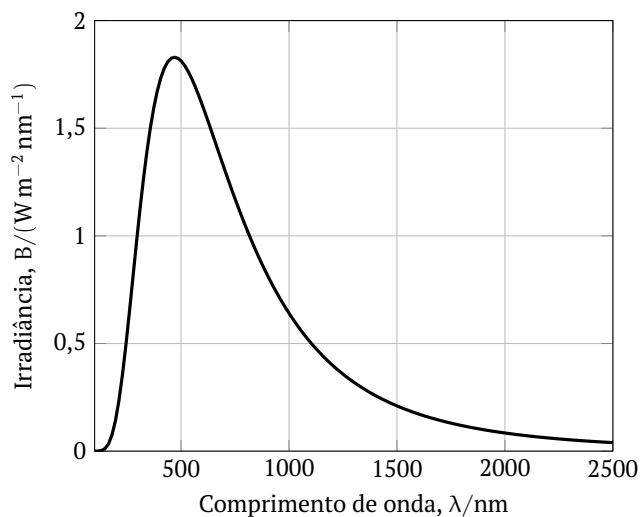
Assinale a alternativa com a cor da amostra submetida a uma maior temperatura.

- A Vermelho
- B Laranja
- C Amarelo
- D Verde
- E Branco

PROBLEMA 5.7

1A08

Considere o espectro de emissão da radiação solar.



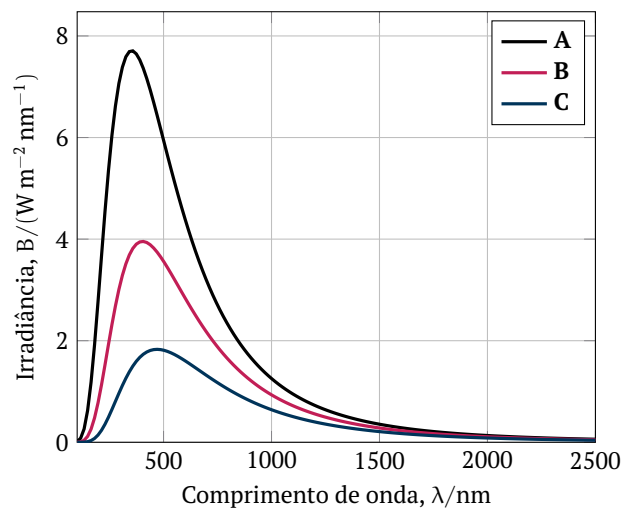
Assinale a alternativa que mais se aproxima da temperatura do sol.

- A** 3 kK
- B** 4 kK
- C** 5 kK
- D** 6 kK
- E** 7 kK

PROBLEMA 5.8

1A09

Considere o espectro de emissão da radiação de três estrelas.



Assinale a alternativa que relaciona as estrelas em ordem crescente de temperatura.

- A** A, B, C
- B** A, C, B
- C** B, A, C
- D** C, A, B
- E** C, B, A

PROBLEMA 5.9

1A07

Assinale a alternativa que mais se aproxima do comprimento de onda correspondente à emissão de maior intensidade de uma amostra de ferro em fusão.

- A** 130 nm
- B** 260 nm
- C** 390 nm
- D** 520 nm
- E** 650 nm

Dados

- $T_{\text{fus}}(\text{Fe}) = 1540$

PROBLEMA 5.10
1A10

Uma placa é feita de um metal, cuja função trabalho é menor que a energia dos fótons da luz visível, é exposta ao sol.

Assinale a alternativa *correta*.

- A** Os elétrons não são ejetados instantaneamente, já que precisam de um tempo mínimo para acúmulo de energia.
- B** Os elétrons podem ser ejetados instantaneamente com uma mesma energia cinética para qualquer elétron.
- C** Os elétrons não podem ser ejetados já que a placa metálica apenas reflete a radiação.
- D** Os elétrons podem ser ejetados instantaneamente, com energia que depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.
- E** Os elétrons não podem ser ejetados instantaneamente e a energia cinética após a ejeção depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.

PROBLEMA 5.11
1A11

A superfície de uma amostra de potássio é irradiada, emitindo elétrons a 668 km s^{-1} .

Assinale a alternativa que mais se aproxima do comprimento de onda da radiação incidente.

- A** 300 nm
- B** 350 nm
- C** 400 nm
- D** 450 nm
- E** 500 nm

Dados

- $\Phi(K)=2.3$

PROBLEMA 5.12
1A12

Assinale a alternativa que mais se aproxima da energia cinética máxima para os elétrons emitidos quando luz de comprimento de onda 140 nm atinge a superfície do zinco.

- A** $1,4 \times 10^{-19} \text{ J}$
- B** $8,4 \times 10^{-19} \text{ J}$
- C** $1,4 \times 10^{-18} \text{ J}$
- D** $8,4 \times 10^{-18} \text{ J}$
- E** $1,4 \times 10^{-17} \text{ J}$

Dados

- $\Phi(\text{Zn})=4.3$

PROBLEMA 5.13
1A13

A superfície de um metal é irradiada com luz de dois comprimentos de onda, λ_1 e λ_2 . As velocidades máximas dos fotoelétrons emitidos são, respectivamente, v_1 e v_2 , sendo $v_1 = 2v_2$.

Assinale a alternativa com a função trabalho desse metal.

- A** $\frac{(2\lambda_1 - \lambda_2)hc}{\lambda_1\lambda_2}$
- B** $\frac{(\lambda_2 - 2\lambda_1)hc}{\lambda_1\lambda_2}$
- C** $\frac{(\lambda_2 - 4\lambda_1)hc}{3\lambda_1\lambda_2}$
- D** $\frac{(4\lambda_1 - \lambda_2)hc}{3\lambda_1\lambda_2}$
- E** $\frac{(2\lambda_1 - \lambda_2)hc}{3\lambda_1\lambda_2}$

PROBLEMA 5.14
1A14

O comprimento de onda crítico para a verificação do efeito fotoelétrico no tungstênio é 260 nm.

Assinale a alternativa que mais se aproxima do comprimento de onda necessário para produzir fotoelétrons do tungstênio com o dobro da energia cinética daqueles produzidos a 220 nm.

- A** 110 nm
- B** 130 nm
- C** 150 nm
- D** 170 nm
- E** 190 nm

PROBLEMA 5.15

1A15

Assinale a alternativa que mais se aproxima do comprimento de onda de uma partícula de 1 g viajando a 1 m s^{-1} .

- A 7×10^{-34}
- B 7×10^{-33}
- C 7×10^{-32}
- D 7×10^{-31}
- E 7×10^{-30}

PROBLEMA 5.16

1A16

Assinale a alternativa com a identidade do átomo que possui comprimento de onda 3,3 fm quando viaja a 1% da velocidade da luz.

- A Be
- B Mg
- C Ca
- D Sr
- E Ba

PROBLEMA 5.17

1A17

Assinale a alternativa com o momento angular do elétron na quinta órbita do átomo de hidrogênio, considerando o modelo atômico de Bohr.

- A $1 \times 10^{-34} \text{ J s}$
- B $2 \times 10^{-34} \text{ J s}$
- C $5 \times 10^{-34} \text{ J s}$
- D $7 \times 10^{-34} \text{ J s}$
- E $1 \times 10^{-33} \text{ J s}$

PROBLEMA 5.18

1A18

Considere a excitação de um átomo de hidrogênio do estado fundamental até o segundo estado excitado.

Assinale a alternativa *correta*.

- A Esse estado excitado é o primeiro permitido para o átomo de hidrogênio.
- B A distância média do elétron ao núcleo será menor no estado excitado do que no estado fundamental.
- C Será necessário fornecer mais energia para ionizar o átomo a partir desse estado excitado do que do estado fundamental.
- D A energia de excitação é a mesma do que a necessária para excitar um elétron do segundo para o quarto estado excitado.
- E O comprimento de onda da radiação emitida quando o elétron retornar para o estado fundamental será igual ao comprimento de onda da radiação absorvida para a excitação.

PROBLEMA 5.19

1A19

Assinale a alternativa que mais se aproxima do comprimento de onda da radiação emitida quando um átomo de hidrogênio decai do segundo para o primeiro estado excitado.

- A 460 nm
- B 560 nm
- C 660 nm
- D 760 nm
- E 860 nm

PROBLEMA 5.20

1A20

Assinale a alternativa com o decaimento para o átomo de hidrogênio que leva à emissão de um fóton com maior comprimento de onda.

- A $n = 2 \rightarrow n = 1$
- B $n = 3 \rightarrow n = 2$
- C $n = 4 \rightarrow n = 3$
- D $n = 5 \rightarrow n = 4$
- E $n = 6 \rightarrow n = 5$

PROBLEMA 5.21

1A21

Um elétron em um estado excitado do átomo de hidrogênio decai para o estado fundamental emitindo dois fótons cujos comprimentos de onda são λ_1 e λ_2 .

Assinale a alternativa com o comprimento de onda do fóton emitido caso o decaimento ocorresse em uma única etapa.

- A $\lambda_1 + \lambda_2$
- B $\lambda_1 - \lambda_2$
- C $\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$
- D $\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$
- E $\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$

PROBLEMA 5.22

1A22

Assinale a alternativa que mais se aproxima da energia de ionização do hidrogênio.

- A $1,3 \text{ MJ mol}^{-1}$
- B $2,6 \text{ MJ mol}^{-1}$
- C $3,9 \text{ MJ mol}^{-1}$
- D $4,2 \text{ MJ mol}^{-1}$
- E $6,5 \text{ MJ mol}^{-1}$

PROBLEMA 5.23

1A23

A energia de ionização um átomo com apenas um elétron é 412 kJ mol^{-1} . Quando os átomos desse elemento estão no primeiro estado excitado, a energia de ionização é 126 kJ mol^{-1} .

Assinale a alternativa que mais se aproxima do comprimento de onda emitido por esse átomo em uma transição do primeiro estado excitado para o estado fundamental.

- A 210 nm
- B 420 nm
- C 340 nm
- D 450 nm
- E 560 nm

PROBLEMA 5.24

1A24

Assinale a alternativa com o átomo cuja última energia de ionização é 122,4 eV.

- A He
- B Li
- C Be
- D B
- E C

PROBLEMA 5.25

1A25

Lasers funcionam pela colisão de átomos excitados com espécies no estado fundamental. A transferência de energia é mais eficiente quando as diferenças energéticas dos níveis são próximas.

Assinale a alternativa com a transição do cátion He^+ que pode ser excitada por colisão com átomos de hidrogênio no primeiro estado excitado.

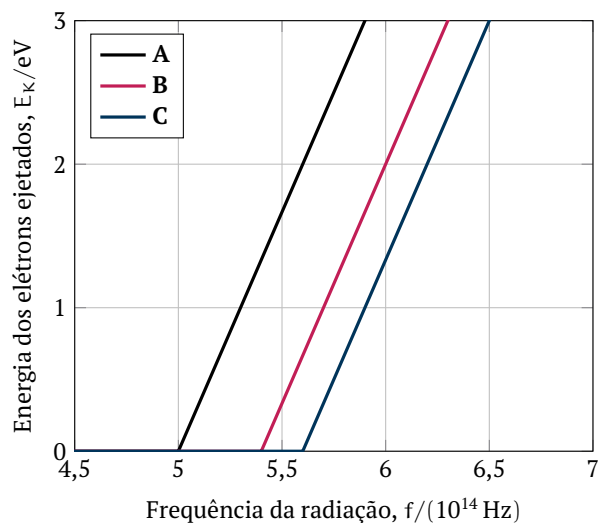
- A $n = 1 \rightarrow n = 2$
- B $n = 1 \rightarrow n = 4$
- C $n = 2 \rightarrow n = 3$
- D $n = 2 \rightarrow n = 4$
- E $n = 2 \rightarrow n = 5$

Nível II

PROBLEMA 5.26

1A38

Considere os dados obtidos em um experimento de efeito fotoelétrico com três metais, A, B, e C.



- Determine a função trabalho dos metais A, B, e C.
- Determine o valor da constante de Planck.

PROBLEMA 5.27

1A26

Determine a identidade de um átomo que, movendo-se com sua velocidade média quadrática a 100°C , possui comprimento de onda 23 pm.

PROBLEMA 5.28

1A27

Quando átomos colidem, parte de sua energia cinética pode ser convertida em energia eletrônica. O processo é mais eficiente quando a energia cinética é próxima da energia necessária para a excitação.

Determine a temperatura em que a excitação de átomos de hidrogênio ao primeiro estado excitado é mais eficiente

PROBLEMA 5.29

1A28

Uma amostra com 586 g de água, inicialmente a 25°C , é colocada em um forno de micro-ondas que emite radiação eletromagnética com frequência de 2,45 GHz e aquecida até 91°C . Assinale a alternativa que mais se aproxima do número de fótons absorvidos pela água.

- A 3×10^{27}
- B 4×10^{28}
- C 1×10^{29}
- D 5×10^{30}
- E 2×10^{31}

Dados

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, l) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

PROBLEMA 5.30

1A29

Radiação de comprimento de onda 427 nm é utilizada no processo de fotossíntese para a produção de glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) a partir do CO_2 .

- Determine a entalpia da reação de fotossíntese.
- Determine o número de fótons necessários para produzir uma molécula de glicose.

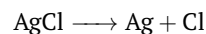
Dados

- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6, s) = -2810 \text{ kJ mol}^{-1}$

PROBLEMA 5.31

1A30

Cristais de cloreto de prata podem ser incorporados em lentes. Quando expostos à luz ocorre a reação:



- Determine a entalpia de decomposição do cloreto de prata.
- Determine o comprimento de onda máximo para esse processo.

Dados

- $\Delta H_f^\circ(\text{AgCl}, s) = -127 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{Cl}_2) = 242 \text{ kJ mol}^{-1}$

PROBLEMA 5.32
1A31

A superfície de um metal é irradiada com luz proveniente de uma amostra de gás de hidrogênio cujos átomos sofrem transições do estado n para o estado fundamental. A função trabalho do metal é metade da energia de ionização do átomo de hidrogênio.

1. A energia cinética máxima dos elétrons emitidos pelo metal é $E_k = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{2}$
2. A função trabalho do metal é $\Phi = \frac{E_1}{2}$
3. A energia cinética máxima dos elétrons emitidos aumenta com o aumento da frequência da luz incidente no metal a partir da frequência mínima de emissão.
4. A energia cinética máxima dos elétrons emitidos aumenta com o aumento da pressão da amostra de hidrogênio.

Assinale a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

PROBLEMA 5.33
1A32

Uma linha violeta é observada em 434 nm no espectro de emissão do átomo de hidrogênio.

- a. **Determine** a energia do fóton dessa emissão.
- b. **Determine** a transição eletrônica correspondente a essa emissão.

PROBLEMA 5.34
1A33

Um feixe de luz solar passa atravessar um filtro de radiação ultravioleta, o qual não permite passar fótons de comprimento de onda menor que 300 nm, sendo direcionado para uma amostra de hidrogênio atômico gasoso. A amostra é mantida em um recipiente transparente à luz visível e opaco ao infravermelho (com comprimento de onda superior a 663 nm). Após passarem pela amostra, os fótons são detectados por sensores posicionados ortogonalmente ao feixe de luz.

Assinale a alternativa que mais se aproxima das energias dos fótons detectados.

- A 0,7 eV, 1,9 eV, 3,3 eV, 10,2 eV
- B 0,9 eV, 1,4 eV, 1,9 eV, 3,3 eV
- C 1,0 eV, 1,5 eV, 3,4 eV, 13,6 eV
- D 1,9 eV, 2,6 eV, 2,9 eV, 3,0 eV
- E 2,1 eV, 2,4 eV, 3,4 eV, 3,8 eV

PROBLEMA 5.35
1A34

Considere o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio. O raio da órbita do estado fundamental é 53 pm, sendo 2200 km s^{-1} a velocidade do elétron nessa órbita. O tempo de vida médio de um elétron no primeiro estado excitado é de 10 ns.

Assinale a alternativa que mais se aproxima do número médio de revoluções efetuadas por um elétron no primeiro estado excitado do átomo de hidrogênio.

- A 1×10^6
- B 8×10^6
- C 9×10^6
- D 4×10^7
- E 5×10^7

PROBLEMA 5.36
1A35

Considere o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio. Seja a_0 o raio da órbita do estado fundamental, m a massa do elétron, e a carga do elétron e ϵ_0 a permissividade do vácuo.

Assinale a alternativa com o período orbital para do n .

- A $\frac{e}{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0}}$
- B $\frac{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0}}{e}$
- C $\frac{\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0}}{e}$
- D $\frac{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0}}{e}$
- E $\frac{e}{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0}}$

PROBLEMA 5.37
1A36

Um átomo de hidrogênio emite um fóton de energia 2,55 eV na transição entre dois estados estacionários. A razão entre as velocidades do elétron nesses estados é $1/2$.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da energia potencial do elétron no estado final.

- A -13,6 eV
- B -6,8 eV
- C -4,5 eV
- D -3,4 eV
- E -1,5 eV

PROBLEMA 5.38

1A37

Considere um semiconductor com uma impureza de carga +1 atraindo um elétron. Devido a interações com os átomos da rede cristalina, o elétron no semiconductor possui massa igual a $m_r m_e$ sendo m_e a massa de repouso do elétron e m_r uma constante adimensional. A permissividade relativa no meio semiconductor é ϵ_r .

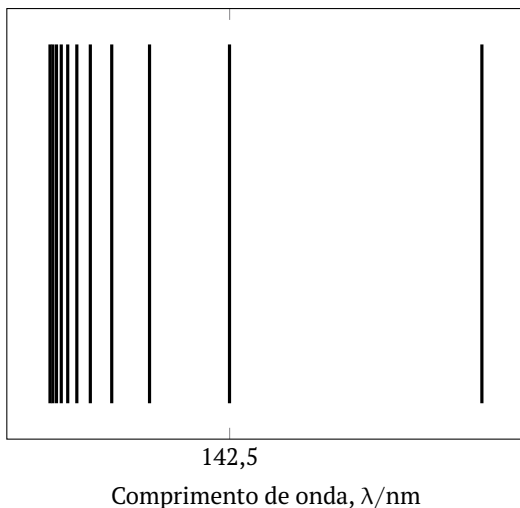
Assinale a alternativa com a razão entre a energia de ionização da impureza e a energia de ionização do átomo de hidrogênio.

- A 1
- B $\frac{m_r}{\epsilon_r}$
- C $\frac{\epsilon_r}{m_r}$
- D $\frac{m_r}{\epsilon_r^2}$
- E $\frac{m \epsilon_r^2}{m_r}$

PROBLEMA 5.39

1A39

Considere parte do espectro de emissão para um íon monoelétrico em fase gasosa. Todas as linhas resultam de transições eletrônicas para o segundo estado excitado.



Determine o comprimento de onda para a linha de menor energia.

PROBLEMA 5.40

1A41

Um recipiente de 10 L contendo gás cloro e gás hidrogênio é irradiado durante 2,5 s com luz UV ($\lambda = 250$ nm) proveniente de uma lâmpada de mercúrio com potência de 10 W. A mistura gasosa absorve 2% da energia fornecida, levando à formação de 65 mmol de ácido clorídrico.

- a. **Determine** os possíveis valores de comprimento de onda da luz em que se espera que ocorra a dissociação do cloro molecular.
- b. **Determine** o rendimento quântico para a formação de ácido clorídrico.
- c. **Explique**, qualitativamente, o valor obtido para o rendimento quântico.

Dados

$$\bullet \Delta H_L(\text{Cl}_2) = 242 \text{ kJ mol}^{-1}$$

PROBLEMA 5.41

1A42

Um recipiente de quartzo é irradiado por um *laser* de 1,5 mW que emite luz UV ($\lambda = 330$ nm). O recipiente contém propanal gasoso que absorve 6% da radiação incidente decompondo-se em etano e monóxido de carbono. São formados 56 μg de monóxido de carbono por segundo.

- a. **Determine** a taxa de incidência de fótons no recipiente.
- b. **Determine** o rendimento quântico para a decomposição do propanal.
- c. **Explique**, qualitativamente, o valor obtido para o rendimento quântico.

PROBLEMA 5.42

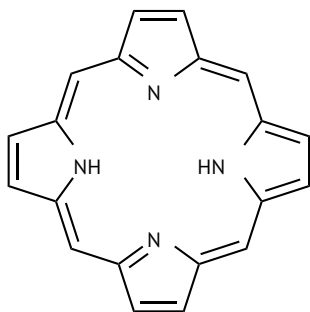
1A40

Um tubo contendo átomos de hidrogênio no estado fundamental é irradiado com luz monocromática e o espectro de emissão é analisado.

- a. **Determine** o comprimento de onda da radiação incidente para serem observadas dez linhas espectrais de emissão.
- b. **Determine** o comprimento de onda da radiação incidente para serem observadas duas linhas espectrais de emissão no visível (400 nm a 750 nm).

Nível III

Considere a estrutura da porfirina.



O sistema eletrônico π desse composto, com 26 elétrons, pode ser modelado como uma caixa bidimensional quadrada, com $L = 1000$ pm de comprimento. Nesse sistema os orbitais têm energia dada por:

$$E(n_1, n_2) = \frac{h^2}{8m_e L^2} (n_1^2 + n_2^2)$$

Em que dois elétrons ocupam um mesmo nível de energia.

Assinale a alternativa que apresenta a transição eletrônica de menor energia da porfirina, em termos dos números quânticos (n_1, n_2) .

- A $(1, 1) \rightarrow (1, 2)$
- B $(2, 1) \rightarrow (2, 2)$
- C $(3, 3) \rightarrow (4, 3)$
- D $(3, 2) \rightarrow (4, 2)$
- E $(4, 2) \rightarrow (4, 3)$

A transição do terceiro para o primeiro estado excitado de um átomo constituído de um núcleo de hidrogênio e um múon foi observada em um comprimento de onda de 2,615 nm.

Determine a massa do múon.

O positrônio é um sistema em que um elétron e um pósitron orbitam em torno de seu centro de massa.

- a. **Determine** a energia de seu estado fundamental.
- b. **Determine** o menor comprimento de onda emitido por uma transição entre estados eletrônicos adjacentes.

Considere uma cadeia linear conjugada de carbono, modelada como uma caixa unidimensional na qual os elétrons π estão distribuídos. O comprimento da ligação entre os átomos de carbono é $a = 140$ pm. Dois elétrons podem ocupar um mesmo nível de energia.

- a. **Determine** os possíveis comprimentos de onda para os elétrons nesse sistema.
- b. **Determine** os possíveis valores de energia para os elétrons nesse sistema.
- c. **Determine** o maior comprimento de onda que esse sistema pode emitir, em função do número de carbonos.
- d. **Determine** o número de átomos de carbono que esse sistema deve possuir para emitir radiação no visível (400 nm a 750 nm).

Em sistemas contendo um grande número de elétrons, não existe um único estado ocupado mais energético, já que vários estados possuem a mesma energia. O nível de Fermi corresponde aos estados ocupados que possuem maior energia. Considere uma folha quadrada, de lado $L = 25$ nm, de grafeno. Os elétrons π desse sistema podem ser modelados como partículas em uma caixa bidimensional, cujos níveis de energia são dados por:

$$E(n_1, n_2) = \frac{h^2}{8m_e L^2} (n_1^2 + n_2^2)$$

Em que dois elétrons ocupam um mesmo nível de energia.

- a. **Determine** o número de elétrons π nesse sistema.
- b. **Determine** a energia do nível de Fermi desse sistema.
- c. **Correlacione** a condutividade e o tamanho da folha de grafeno.

Os elétrons π em hidrocarbonetos cíclicos conjugados podem ser modelados como partículas em um anel que circunscreve os átomos de carbono. Os níveis de energia para esse sistema são dados por:

$$E(n) = \frac{n^2 h^2}{2m_e R^2}$$

Sendo $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

- a. **Mostre** que os níveis de energia para esse sistema estão de acordo com o comportamento ondulatório do elétron.
- b. **Prove** que esse sistema é mais estável quando o número de elétrons é $N = 4k + 2$ sendo $k = 0, 1, 2, 3, \dots$. Esse resultado é conhecido como *Regra de Hückel*.

Gabarito

Nível I

1. **E**
2. **D**
3. **D**
4. **B**
5. **D**
6. **E**
7. **D**
8. **E**
9. **A**
10. **D**
11. **B**
12. **B**
13. **C**
14. **E**
15. **D**
16. **C**
17. **C**
18. **E**
19. **C**
20. **E**
21. **C**
22. **A**
23. **B**
24. **B**
25. **D**

Nível II

1. a. 2,48 eV, 2,25 eV, 2,3 eV
b. $6,62 \times 10^{-34} \text{ J s}$
2. Enxofre
3. 79 kK
4. **C**
5. a. 2080 kJ mol^{-1}
b. 10 fótons
6. a. 248 kJ mol^{-1}
b. 480 nm
7. -
8. a. 2,85 eV
b. $n = 5 \rightarrow n = 2$
9. **D**
10. **B**
11. **D**
12. **B**
13. **D**
14. 121,6 nm

Nível III

1. a. 491 nm
b. 6×10^4
c. Reação em cadeia.
2. a. $2,5 \times 10^{15}$ fótons por segundo
b. 8000
c. Reação em cadeia
3. a. $\lambda = \frac{25}{24R} = 95 \text{ nm}$
b. $\lambda = \frac{16}{15R} = 97 \text{ nm}$
4. **E**
5. $1,9 \times 10^{-28} \text{ kg}$
6. a. -6,8 eV
b. 136 nm
7. a. $\lambda = \frac{2a(N-1)}{n}$, $n = 1, 2, 3, \dots$
b. $E = \frac{h^2 n^2}{8m_e a^2 (N-1)^2}$, $n = 1, 2, 3, \dots$
c. $\lambda_{\max} = \frac{8m_e c a^2 (N-1)^2}{h(N+1)}$
d. 10 átomos de carbono
8. a. 24 000
b. $1,5 \times 10^{-18} \text{ J}$
c. Diretamente proporcionais
9. Demonstração.