

Teoria Quântica

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensi, Coordenação de Química



Nível I

PROBLEMA 1.1

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 1.2

1A02

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

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| A 7×10^{15} | B 7×10^{16} |
| C 7×10^{17} | D 7×10^{18} |
| E 7×10^{19} | |

PROBLEMA 1.3

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 1.4

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 1.5

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 1.6

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 1.7

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 1.8

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 1.9

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

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

PROBLEMA 1.10

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 1.11

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

- $\Phi(\text{K}) = 2,20 \text{ eV}$

PROBLEMA 1.12

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 $1,40 \times 10^{-19} \text{ J}$ | B $8,40 \times 10^{-19} \text{ J}$ |
| C $1,40 \times 10^{-18} \text{ J}$ | D $8,40 \times 10^{-18} \text{ J}$ |
| E $1,40 \times 10^{-17} \text{ J}$ | |

Dados

- $\Phi(\text{Zn}) = 4,30 \text{ eV}$

PROBLEMA 1.13

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 1.14

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 1.15

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 1.16

1A16

Assinale a alternativa com a identidade do átomo que possui comprimento de onda 3,30 fm quando viaja a 1 % da velocidade da luz.

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

PROBLEMA 1.17

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 1.18

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 1.19

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 1.20

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 1.21

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 1.22

1A22

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

- A $1,30 \text{ MJ mol}^{-1}$ B $2,60 \text{ MJ mol}^{-1}$
 C $3,90 \text{ MJ mol}^{-1}$ D $4,20 \text{ MJ mol}^{-1}$
 E $6,50 \text{ MJ mol}^{-1}$

PROBLEMA 1.23

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 1.24

1A24

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

- A He B Li C Be
 D B E C

PROBLEMA 1.25

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.

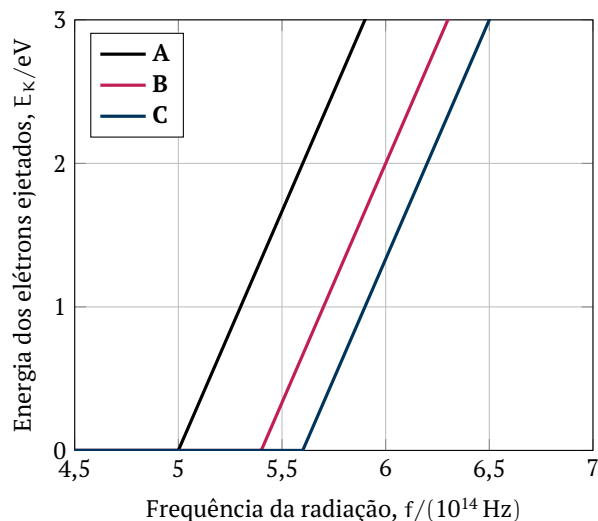
- A $n = 1 \rightarrow n = 2$ B $n = 1 \rightarrow n = 4$
 C $n = 2 \rightarrow n = 3$ D $n = 2 \rightarrow n = 4$
 E $n = 2 \rightarrow n = 5$

Nível II

PROBLEMA 2.1

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 2.2

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 2.3

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 onde a excitação de átomos de hidrogênio ao primeiro estado excitado é mais eficiente

PROBLEMA 2.4

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 2.5

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

$$\Delta H_c^\circ(\text{glicose}, s) = -2810 \text{ kJ mol}^{-1}$$

PROBLEMA 2.6

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

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

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

PROBLEMA 2.7

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.

- A energia cinética máxima dos elétrons emitidos pelo metal é $E_K = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{2}$
- A função trabalho do metal é $\Phi = \frac{E_1}{2}$
- 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.
- 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.

- | | |
|---------------|------------|
| A 1 e 2 | B 1 e 3 |
| C 2 e 3 | D 1, 2 e 3 |
| E 1, 2, 3 e 4 | |

PROBLEMA 2.8

1A32

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

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

PROBLEMA 2.9

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.

- 0,700 eV, 1,90 eV, 3,30 eV, 10,2 eV
- 0,900 eV, 1,40 eV, 1,90 eV, 3,30 eV
- 1 eV, 1,50 eV, 3,40 eV, 13,6 eV
- 1,90 eV, 2,60 eV, 2,90 eV, 3 eV
- 2,10 eV, 2,40 eV, 3,40 eV, 3,80 eV

PROBLEMA 2.10

1A34

Considere o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio. O raio da órbita do estado fundamental é 53 pm, sendo 2200 kms^{-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.

- 1×10^6
- 8×10^6
- 9×10^6
- 4×10^7
- 5×10^7

PROBLEMA 2.11

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 .

- $\frac{e}{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0}}$
- $\frac{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0}}{e}$
- $\frac{\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0}}{e}$
- $\frac{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0}}{e}$
- $\frac{e}{4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0}}$

PROBLEMA 2.12

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.

- 13,6 eV
- 6,80 eV
- 4,50 eV
- 3,40 eV
- 1,50 eV

PROBLEMA 2.13

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 é a massa de repouso do elétron e m_r uma constante adimensional. A permissividade relativa no meio semiconductor é ϵ_r .

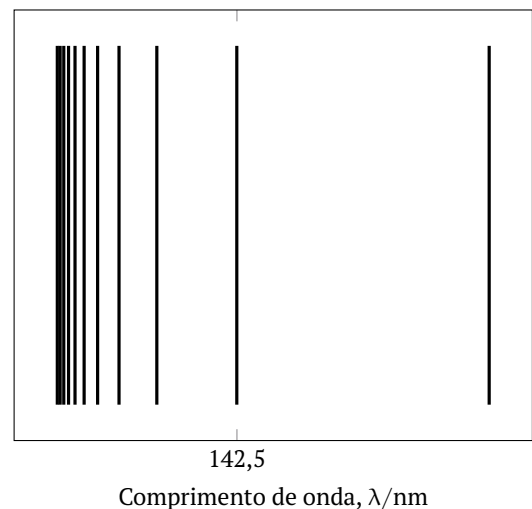
Assinale a alternativa com a razão entre a energia de ionização da impureza e a energia de ionização do átomo de hidrogênio.

- 1
- $\frac{m_r}{\epsilon_r}$
- $\frac{\epsilon_r}{m_r}$
- $\frac{m_r}{\epsilon_r^2}$
- $\frac{m \epsilon_r^2}{m_r}$

PROBLEMA 2.14

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.

Nível III

PROBLEMA 3.1

1A41

Um recipiente de 10 L contendo gás cloro e gás hidrogênio é irradiado durante 2,50 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.

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

Dados

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

PROBLEMA 3.2

1A42

Um recipiente de quartzo é irradiado por um *laser* de 1,50 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.

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

PROBLEMA 3.3

1A40

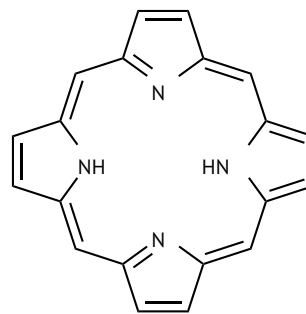
Um tubo contendo átomos de hidrogênio no estado fundamental é irradiado com luz monocromática e o espectro de emissão é analisado.

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

PROBLEMA 3.4

1A44

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 $(4, 2) \rightarrow (4, 3)$ | |

PROBLEMA 3.5

1A45

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 2,62 nm.

Determine a massa do múon.

PROBLEMA 3.6

1A46

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

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

PROBLEMA 3.7

1A43

Considere uma cadeia linear conjugada de carbono, modelada como uma caixa unidimensional onde 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.

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

PROBLEMA 3.8

1A47

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.

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

PROBLEMA 3.9

1A48

Os elétrons π em hidrocarbonetos cíclicos conjugados podem ser modelados como partículas em um anel que circunscreve os átomos de carbono.

- Prove** que os níveis de energia para esse sistema são dados por $E(n) = \frac{n^2 h^2}{2m_e R^2}$, onde $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$
- Prove** que esse sistema é mais estável quando o número de elétrons é $N = 4k + 2$ onde $k = 0, 1, 2, 3, \dots$. Esse resultado é conhecido como *Regra de Hückel*.

Gabarito
Nível I

- | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. B | 2. B | 3. D | 4. B | 5. D |
| 6. E | 7. D | 8. E | 9. A | 10. D |
| 11. B | 12. B | 13. D | 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

- 2,48 eV, 2,25 eV, 2,30 eV
 - $6,62 \times 10^{-34}$ J s
- Enxofre
- 79 kK
- C**
- 2080 kJ mol⁻¹
 - 10 fótons
- 248 kJ mol⁻¹
 - 480 nm
- D**
- 2,85 eV
 - $n = 5 \rightarrow n = 2$
- D**
- B**
- E**
- B**
- D**
- 122 nm

Nível III

- 491 nm
 - 6×10^4
 - Reação em cadeia.
- $2,50 \times 10^{15}$ fótons por segundo
 - 8000
 - Reação em cadeia
- $\lambda = \frac{25}{24R} = 45$ nm
 - $\lambda = \frac{16}{15R} = 97$ nm
- E**
- $1,90 \times 10^{-28}$ kg
- 6,80 eV
 - 136 nm
- $\lambda = \frac{2a(N-1)}{n}$, $n = 1, 2, 3, \dots$
 - $E = \frac{h^2 n^2}{8m_e a^2 (N-1)^2}$, $n = 1, 2, 3, \dots$
 - $\lambda_{\max} = \frac{8m_e c a^2 (N-1)^2}{h(N+1)}$
 - 10 átomos de carbono
- 24000
 - $1,50 \times 10^{-18}$ J
 - Diretamente proporcionais
- Demonstração.