

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 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 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

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

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

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

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

Dados

- $\Phi(\text{Zn}) = 4,3 \text{ eV}$

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 3,3 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 $1,3 \text{ MJ mol}^{-1}$ 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 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 $122,4 \text{ eV}$.

- 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.

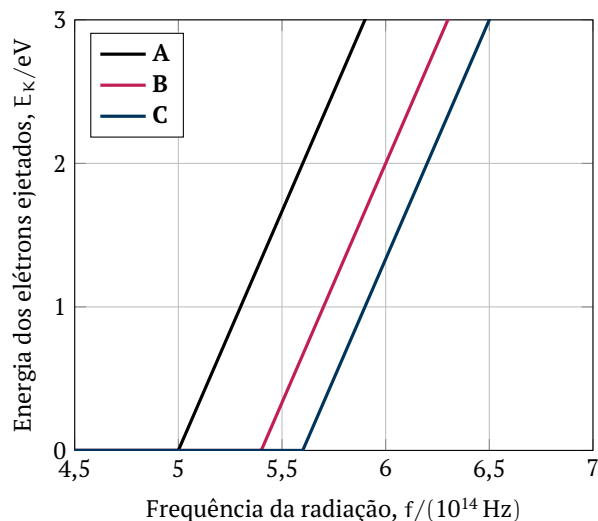
- A $n = 1 \rightarrow n = 2$ B $n = 1 \rightarrow n = 4$
 C $n = 2 \rightarrow n = 3$ D $n = 2 \rightarrow n = 4$
 E $n = 2 \rightarrow n = 5$

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 em que 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

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

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

- $\Delta H_c^\circ(\text{glicose}, \text{s}) = -2810,0 \text{ kJ mol}^{-1}$

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

- $\Delta H_L^\circ(\text{Cl}_2) = 242,0 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{AgCl}, \text{s}) = -127,0 \text{ kJ mol}^{-1}$

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.

- 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 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 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 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 .

- 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 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.

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

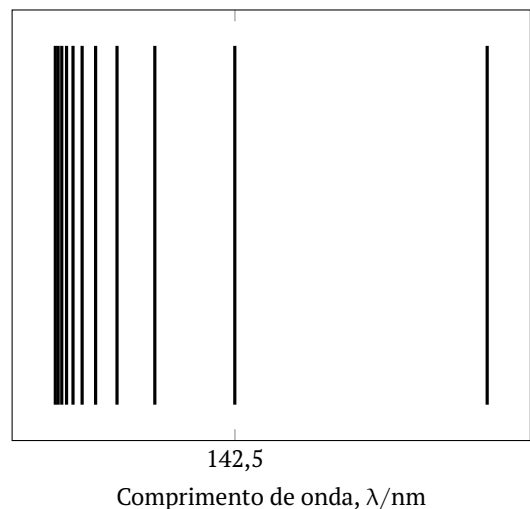
Assinale a alternativa com a razão entre a energia de ionização da impureza e a energia de ionização do átomo de hidrogênio.

- 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 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 2,5 s com luz UV ($\lambda = 250 \text{ nm}$) 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

- $\Delta H_L^\circ(\text{Cl}_2) = 242,0 \text{ kJ mol}^{-1}$

PROBLEMA 3.2

1A42

Um recipiente de quartzo é irradiado por um *laser* de 1,5 mW que emite luz UV ($\lambda = 330 \text{ nm}$). 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 $L = 1000 \text{ pm}$ 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 2,615 nm.

Determine a massa do múon.

PROBLEMA 3.6

1A46

O positrônio 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 na qual os elétrons π estão distribuídos. O comprimento da ligação entre os átomos de carbono é $a = 140 \text{ pm}$. 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).

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 $L = 25\text{ nm}$, 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.

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

- Mostre** que os níveis de energia para esse sistema estão de acordo com o comportamento ondulatório do elétron.
- 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

- 2,48 eV, 2,25 eV, 2,3 eV
 - $6,62 \times 10^{-34} \text{ J s}$
- Enxofre
- 79 kK
- C**
- 2080 kJmol⁻¹
 - 10 fótons
- 248 kJ mol⁻¹
 - 480 nm
- D**
- 2,85 eV
 - $n = 5 \rightarrow n = 2$
- D**
- B**
- D**
- B**
- D**
- 121,6 nm

Nível III

- 491 nm
 - 6×10^4
 - Reação em cadeia.
- $2,5 \times 10^{15}$ fótons por segundo
 - 8000
 - Reação em cadeia
- $\lambda = \frac{25}{24R} = 95 \text{ nm}$
 - $\lambda = \frac{16}{15R} = 97 \text{ nm}$
- E**
- $1,9 \times 10^{-28} \text{ kg}$
- 6,8 eV
 - 136 nm
- $\lambda = \frac{2a(N-1)}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$
 - $E = \frac{h^2 n^2}{8m_e a^2 (N-1)^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$
 - $\lambda_{\max} = \frac{8m_e c a^2 (N-1)^2}{h(N+1)}$
 - 10 átomos de carbono
- 24000
 - $1,5 \times 10^{-18} \text{ J}$
 - Diretamente proporcionais
- Demonstração.