

# Teoria Quântica

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, 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.

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 100 kJ | <b>B</b> 200 kJ |
| <b>C</b> 300 kJ | <b>D</b> 400 kJ |
| <b>E</b> 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.

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b> $2 \times 10^{17}$ | <b>B</b> $2 \times 10^{18}$ |
| <b>C</b> $2 \times 10^{19}$ | <b>D</b> $2 \times 10^{20}$ |
| <b>E</b> $2 \times 10^{11}$ |                             |

**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.

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>A</b> 120 kJ mol <sup>-1</sup> | <b>B</b> 160 kJ mol <sup>-1</sup> |
| <b>C</b> 200 kJ mol <sup>-1</sup> | <b>D</b> 240 kJ mol <sup>-1</sup> |
| <b>E</b> 280 kJ mol <sup>-1</sup> |                                   |

**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.

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>A</b> 10 % | <b>B</b> 30 % | <b>C</b> 50 % |
| <b>D</b> 70 % | <b>E</b> 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.

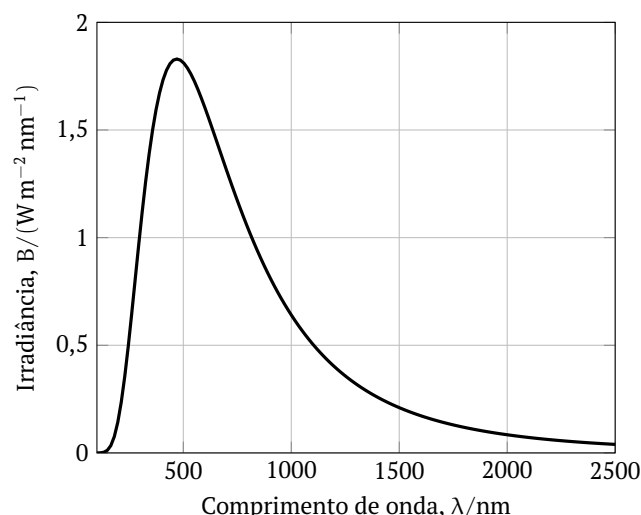
**Assinale** a alternativa com a cor da amostra submetida a uma maior temperatura.

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| <b>A</b> Vermelho | <b>B</b> Laranja |
| <b>C</b> Amarelo  | <b>D</b> Verde   |
| <b>E</b> Branco   |                  |

**PROBLEMA 5.7**

1A08

Considere o espectro de emissão da radiação solar.



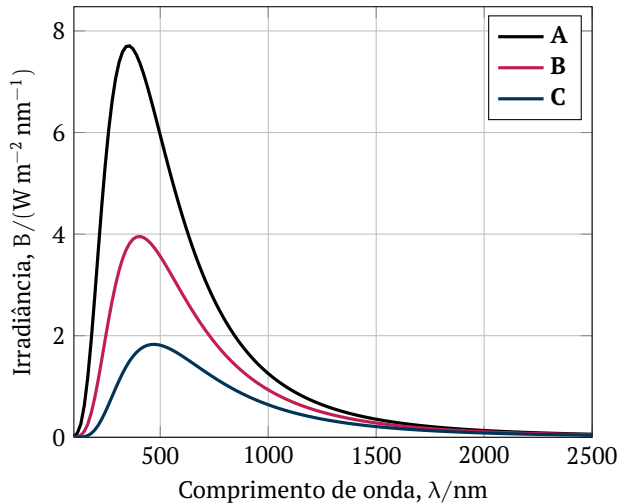
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da temperatura do sol.

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>A</b> 3 kK | <b>B</b> 4 kK | <b>C</b> 5 kK |
| <b>D</b> 6 kK | <b>E</b> 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.

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| <b>A</b> A, B, C | <b>B</b> A, C, B |
| <b>C</b> B, A, C | <b>D</b> C, A, B |
| <b>E</b> 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.

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 130 nm | <b>B</b> 260 nm |
| <b>C</b> 390 nm | <b>D</b> 520 nm |
| <b>E</b> 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  $668 \text{ km s}^{-1}$ .

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

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 300 nm | <b>B</b> 350 nm |
| <b>C</b> 400 nm | <b>D</b> 450 nm |
| <b>E</b> 500 nm |                 |

**Dados**

- $\Phi(\text{K}) = 2.3$

**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.

- |  |  |
|--|--|
| <b>A</b> $1,4 \times 10^{-19} \text{ J}$ | <b>B</b> $8,4 \times 10^{-19} \text{ J}$ |
| <b>C</b> $1,4 \times 10^{-18} \text{ J}$ | <b>D</b> $8,4 \times 10^{-18} \text{ J}$ |
| <b>E</b> $1,4 \times 10^{-17} \text{ J}$ |  |

**Dados**

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

**PROBLEMA 5.13**

1A13

A superfície de um metal é irradiada com luz de dois comprimentos de onda,  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ . 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.

- |   |   |
|---|---|
| <b>A</b> $\frac{(2\lambda_1 - \lambda_2)hc}{\lambda_1\lambda_2}$  | <b>B</b> $\frac{(\lambda_2 - 2\lambda_1)hc}{\lambda_1\lambda_2}$  |
| <b>C</b> $\frac{(\lambda_2 - 4\lambda_1)hc}{3\lambda_1\lambda_2}$ | <b>D</b> $\frac{(4\lambda_1 - \lambda_2)hc}{3\lambda_1\lambda_2}$ |
| <b>E</b> $\frac{(2\lambda_1 - \lambda_2)hc}{3\lambda_1\lambda_2}$ |   |

**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.

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 110 nm | <b>B</b> 130 nm |
| <b>C</b> 150 nm | <b>D</b> 170 nm |
| <b>E</b> 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  $1 \text{ m s}^{-1}$ .

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| <b>A</b> $7 \times 10^{-34}$ | <b>B</b> $7 \times 10^{-33}$ |
| <b>C</b> $7 \times 10^{-32}$ | <b>D</b> $7 \times 10^{-31}$ |
| <b>E</b> $7 \times 10^{-30}$ |                              |

**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.

- |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|
| <b>A</b> Be | <b>B</b> Mg | <b>C</b> Ca |
| <b>D</b> Sr | <b>E</b> 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.

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

**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.

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 460 nm | <b>B</b> 560 nm |
| <b>C</b> 660 nm | <b>D</b> 760 nm |
| <b>E</b> 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.

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>A</b> $n = 2 \rightarrow n = 1$ | <b>B</b> $n = 3 \rightarrow n = 2$ |
| <b>C</b> $n = 4 \rightarrow n = 3$ | <b>D</b> $n = 5 \rightarrow n = 4$ |
| <b>E</b> $n = 6 \rightarrow n = 5$ |                                    |

**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  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ .

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

- |  |  |
|--|--|
| <b>A</b> $\lambda_1 + \lambda_2$                             | <b>B</b> $\lambda_1 - \lambda_2$                             |
| <b>C</b> $\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | <b>D</b> $\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$ |
| <b>E</b> $\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ |  |

**PROBLEMA 5.22**

1A22

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

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

**PROBLEMA 5.23**

1A23

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

**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.

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 210 nm | <b>B</b> 420 nm |
| <b>C</b> 340 nm | <b>D</b> 450 nm |
| <b>E</b> 560 nm |                 |

**PROBLEMA 5.24**

1A24

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

- |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|
| <b>A</b> He | <b>B</b> Li | <b>C</b> Be |
| <b>D</b> B  | <b>E</b> 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.

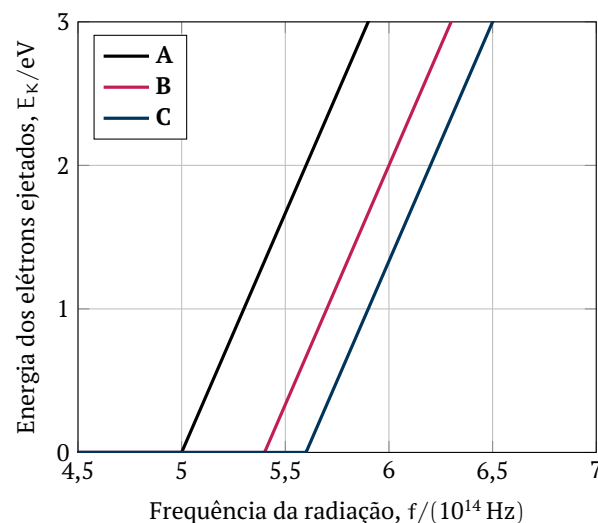
**Assinale** a alternativa com a transição do cátion  $\text{He}^+$  que pode ser excitada por colisão com átomos de hidrogênio no primeiro estado excitado.

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>A</b> $n = 1 \rightarrow n = 2$ | <b>B</b> $n = 1 \rightarrow n = 4$ |
| <b>C</b> $n = 2 \rightarrow n = 3$ | <b>D</b> $n = 2 \rightarrow n = 4$ |
| <b>E</b> $n = 2 \rightarrow n = 5$ |                                    |

**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  $100^\circ\text{C}$ , 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  $25^\circ\text{C}$ , é colocada em um forno de micro-ondas que emite radiação eletromagnética com frequência de 2,45 GHz e aquecida até  $91^\circ\text{C}$ . **Assinale** a alternativa que mais se aproxima do número de fótons absorvidos pela água.

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b> $3 \times 10^{27}$ | <b>B</b> $4 \times 10^{28}$ |
| <b>C</b> $1 \times 10^{29}$ | <b>D</b> $5 \times 10^{30}$ |
| <b>E</b> $2 \times 10^{31}$ |                             |

**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 ( $C_6H_{12}O_6$ ) a partir do  $CO_2$ .

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

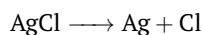
**Dados**

$$\bullet \Delta H_c^\circ (C_6H_{12}O_6, s) = -2810 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**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**

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

$$\bullet \Delta H_L (Cl_2) = 242 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**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.

- 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 5.33**

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 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  $2200 \text{ km s}^{-1}$  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**  $1 \times 10^6$

**B**  $8 \times 10^6$

**C**  $9 \times 10^6$

**D**  $4 \times 10^7$

**E**  $5 \times 10^7$

**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  $\epsilon_0$  a permissividade do vácuo.

**Assinale** a alternativa com o período orbital para o  $n$ .

**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  $\epsilon_r$ .

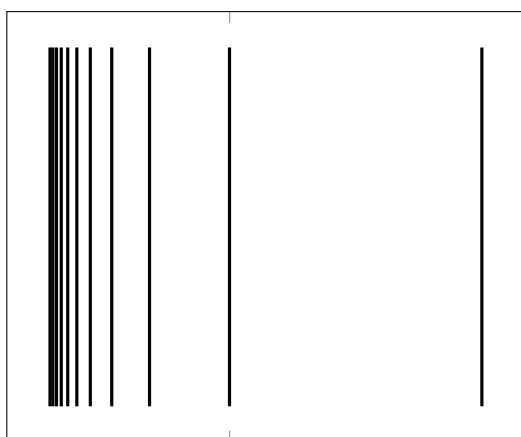
**Assinale** a alternativa com a razão entre a energia de ionização da impureza e a energia de ionização do átomo de hidrogênio.

- 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.



Comprimento de onda,  $\lambda/\text{nm}$

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

**Nível III**
**PROBLEMA 5.40**

1A41

Um recipiente de 10 L contendo gás cloro e gás hidrogênio é irradiado durante 2,5 s com luz UV ( $\lambda = 250 \text{ nm}$ ) 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**

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

**PROBLEMA 5.41**

1A42

Um recipiente de quartzo é irradiado por um *laser* de 1,5 mW que emite luz UV ( $\lambda = 330 \text{ nm}$ ). O recipiente contém propanal gasoso que absorve 6% da radiação incidente decompondo-se em etano e monóxido de carbono. São formados 56  $\mu\text{g}$  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 5.42**

1A40

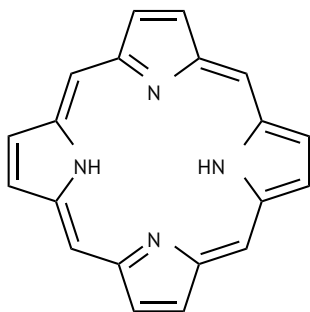
Um tubo contendo átomos de hidrogênio no estado fundamental é irradiado com luz monocromática e o espectro de emissão é analisado.

- 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 5.43**

1A44

Considere a estrutura da porfirina.



O sistema eletrônico  $\pi$  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  $(n_1, n_2)$ .

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>A</b> $(1, 1) \rightarrow (1, 2)$ | <b>B</b> $(2, 1) \rightarrow (2, 2)$ |
| <b>C</b> $(3, 3) \rightarrow (4, 3)$ | <b>D</b> $(3, 2) \rightarrow (4, 2)$ |
| <b>E</b> $(4, 2) \rightarrow (4, 3)$ |                                      |

**PROBLEMA 5.44**

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 5.45**

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 5.46**

1A43

Considere uma cadeia linear conjugada de carbono, modelada como uma caixa unidimensional na qual os elétrons  $\pi$  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 5.47**

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  $\pi$  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  $\pi$  nesse sistema.
- Determine** a energia do nível de Fermi desse sistema.
- Correlacione** a condutividade e o tamanho da folha de grafeno.

**PROBLEMA 5.48**

1A48

Os elétrons  $\pi$  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. <b>E</b>  | 2. <b>D</b>  | 3. <b>D</b>  | 4. <b>B</b>  | 5. <b>D</b>  |
| 6. <b>E</b>  | 7. <b>D</b>  | 8. <b>E</b>  | 9. <b>A</b>  | 10. <b>D</b> |
| 11. <b>B</b> | 12. <b>B</b> | 13. <b>C</b> | 14. <b>E</b> | 15. <b>D</b> |
| 16. <b>C</b> | 17. <b>C</b> | 18. <b>E</b> | 19. <b>C</b> | 20. <b>E</b> |
| 21. <b>C</b> | 22. <b>A</b> | 23. <b>B</b> | 24. <b>B</b> | 25. <b>D</b> |

## Nível II

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

## Nível III

- a. 491 nm  
b.  $6 \times 10^4$   
c. Reação em cadeia.
- a.  $2,5 \times 10^{15}$  fótons por segundo  
b. 8000  
c. Reação em cadeia
- a.  $\lambda = \frac{25}{24R} = 95 \text{ nm}$   
b.  $\lambda = \frac{16}{15R} = 97 \text{ nm}$
- E**
- $1,9 \times 10^{-28} \text{ kg}$
- a. -6,8 eV  
b. 136 nm
- 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

- a. 24 000  
b.  $1,5 \times 10^{-18} \text{ J}$   
c. Diretamente proporcionais
- Demonstração.