

פרק ד - הדואליות של חלקיקים חומריים

$$1. \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 100 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}} = 1.23 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0.123 \text{ nm} \quad \text{א.}$$

$$2. \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 10^4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}} = 1.23 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 1.23 \cdot 10^{-2} \text{ nm} \quad \text{ב.}$$

$$3. \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot 100 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}} = 2.87 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 2.87 \cdot 10^{-3} \text{ nm} \quad \text{ג.}$$

$$2. \text{א. אורך המסלול: } 2\pi r_1 = 2\pi \cdot 0.529 \cdot 10^{-10} = 3.32 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$(1) \quad \lambda = \frac{h}{mv} \quad \text{ב. אורך הגל:}$$

$$\text{החוק השני של ניוטון לגבי האלקטרון:} \quad k \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = e \sqrt{\frac{k}{mr}} = 1.6 \cdot 10^{-19} \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9}{9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 0.529 \cdot 10^{-10}}} = 2.19 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 2.19 \cdot 10^6} = 3.32 \cdot 10^{-10} \text{ m} \quad (1) \quad \text{נציב זאת בקשר}$$

ג. אורך המסלול כולל אורך גל דה-ברויי אחד.

$$3. \text{א.} \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \Rightarrow E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot \lambda^2}$$

כדי להציב את λ ביחידה nm נחלק את אגף ימין ב- $(10^{-9})^2$, כדי שהאנרגיה תתקבל ב-eV נחלק את אגף ימין ב- $1.6 \cdot 10^{-19}$ לכן:

$$E_k (\text{eV}) = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot [\lambda (\text{nm}) \cdot 10^{-9}]^2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}$$

$$E_k (\text{eV}) = \frac{1.51}{(\lambda (\text{nm}))^2} \quad \text{כך שעבור אלקטרונים:}$$

$$1. \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \Rightarrow E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot \lambda^2} \quad \text{ב.}$$

שוב נחלק ב- $(10^{-9})^2$ וב- $1.6 \cdot 10^{-19}$ כדי שנוכל להציב את λ ב-nm ואת E_k ב-eV.

$$E_k (\text{eV}) = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot [\lambda (\text{nm}) \cdot 10^{-9}]^2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}$$

$$E_k (\text{eV}) = \frac{8.23 \cdot 10^{-4}}{(\lambda (\text{nm}))^2} \quad \text{כך שעבור פרוטונים:}$$

4. א. כדי לעבור את הרמה $n=2$ נחוצה אנרגיה $E_2 - E_1 = (-2.3) - (-3.87) = 1.57 \text{ eV}$, וכדי לעבור את הרמה $n=3$ נחוצה אנרגיה $E_3 - E_1 = (-1.38) - (-3.87) = 2.49 \text{ eV}$. מכאן שהאלקטרונים יעזרו את הרמה $n=2$, וישארו עם אנרגיה: $2 - 1.57 = 0.43 \text{ eV}$

ב. (1) אורך הגל, λ_- , של האלקטרונים, לפני מעברם דרך האדים:

$$\lambda_- = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}} = 0.868 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0.868 \text{ nm}$$

(2) אורך הגל, λ_+ , של האלקטרונים אחרי מעברם דרך האדים:

$$\lambda_+ = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 0.43 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}} = 1.87 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 1.87 \text{ nm}$$

5. א. נחשב את האנרגיה של פוטון פוגע: $E(\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})} = \frac{1240}{310} = 4 \text{ eV}$

האנרגיה הקינטית של אלקטרון שנעקר, על פי נוסחת איינשטיין:

$$E_k = E_{\text{פוטון}} - B = 4 - 2.5 = 1.5 \text{ eV}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.5 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{9.11 \cdot 10^{-31}}} = 7.3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

ב. נחשב את אורך הגל של אלקטרון שנעקר:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 1.5 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}} \approx 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm}$$

6. א. חישוב האנרגיה הקינטית של האלקטרונים הנפלטים:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \Rightarrow E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot (0.65 \cdot 10^{-9})^2}$$

נחלק ב- $1.6 \cdot 10^{-19}$ כדי שהאנרגיה תבוטא ב-eV:

$$E_k = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot (0.65 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 3.57 \text{ eV}$$

$$E_{\text{פוטון}} = E_k + B = 3.57 + 3.5 = 7.07 \text{ eV} \quad \text{ב.}$$

$$\lambda(\text{nm}) = \frac{1240}{E(\text{eV})} = \frac{1240}{7.07} = 175.4 \text{ nm}$$

7. א. חישוב האנרגיה הקינטית של האלקטרון:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \Rightarrow E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

נציב בקשר האחרון ונחלק ב- $1.6 \cdot 10^{-19}$ כדי שהתשובה תהיה ב-eV:

$$E_k = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot (10^{-9})^2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 1.51 \text{ eV}$$

ב. חישוב אנרגיית פוטון:

$$E (\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda (\text{nm})} = \frac{1240}{1} = 1240 \text{ eV}$$

8. תכונות משותפות לפוטונים ולאלקטרונים:

1. לשניהם תכונות גליות.

ניסויים: שניהם יוצרים תבנית התאבכות לאחר מעברם דרך סריג מתאים.

2. לשניהם תכונות חלקיקיות.

ניסויים: שניהם יוצרים על סרט צילום נקודות פגיעה כאשר מטילים על סרט הצילום אלומות מספיק דלילות.

תכונות שבהם פוטונים ואלקטרונים שונים:

1. לאלקטרון מטען חשמלי, ופוטון חסר מטען חשמלי.

ניסויים: מעבירים אלומת אלקטרונים ואלומת פוטונים בשדה חשמלי או בשדה מגנטי - אלומת האלקטרונים

מושפעת, ואלומת הפוטונים אינה מושפעת.

2. פוטון נע בריק במהירות 300,000 ק"מ לשנייה. מהירות אלקטרון בריק גדולה או שווה לאפס, וקטנה מ-300,000

ק"מ לשנייה.

9. כאשר אלקטרון מואץ ממנוחה על ידי מתח בן 2,000 וולט, הוא מגיע לאנרגיה קינטית של 2,000 eV.

התנע של האלקטרון:

$$p = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 2000 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 24.15 \cdot 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

נחשב את אורך הגל של הפוטון:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{24.1 \cdot 10^{-24}} = 2.75 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 2.75 \cdot 10^{-2} \text{ nm}$$

אנרגיית הפוטון:

$$E (\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda (\text{nm})} = \frac{1240}{2.75 \cdot 10^{-2}} = 4.51 \cdot 10^4 \text{ eV} = 45.1 \text{ keV}$$