



פתרון הבחינה

בפיזיקה

קיץ תשפ"ו, 2026,

שאלון קרינה וחומר 36282

מוגש ע"י צוות מורי הפיזיקה של "יואל גבע"

הערות:

1. התשובות המוצגות כאן הן בגדר הצעה לפתרון השאלון.
2. תיתכנה תשובות נוספות, שאינן מוזכרות כאן, לחלק מהשאלות.
הנבחנים נדרשו לענות על שלוש מהשאלות 1-5

שאלה 1:

א.

על מנת שייוצר גל עומד במקרה זה, המקורות צריכים לחולל גלים בעלי תדירות ומשערת זהים. ואורך המיתר צריך להיות כפולה שלמה של חצי אורך גל.

ב.

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים: $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$.

מהירות גל מחזורי: $v = \lambda f$.

$$v = \frac{2L}{n} \cdot f \Rightarrow v = \frac{2 \cdot 1}{1} \cdot 12.5 \Rightarrow v = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{מכאן:}$$

ג.

מהירות התפשטות הגל במיתר לא השתנתה.

מהירות ההתפשטות של הגל תלויה בתווך בו הגל מתפשט, והתווך נותר ללא שינוי.

ד.

מהנסיחאות המפורטות בסעיף א' והשיקול בסעיף ג', מתקבל הביטוי עבור התדירות וכן ערך המהירות ואורך המיתר הנתון:

$$f_n = \frac{v}{2L} \cdot n$$

במקרה זה $n=3$ (שלושה חצאי אורך גל):

$$f_3 = \frac{25}{2 \cdot 1} \cdot 3 \Rightarrow f_3 = 37.5 \text{Hz}$$

ה.

נבדוק האם עבור תדירות זו מתקבלת כפולה שלמה של אורך גל במיתר.

נבודד את n מהביטוי בסעיף הקודם: $n = \frac{2Lf}{v}$. נציב ערכים מספריים:

$$n = \frac{2 \cdot 1 \cdot 60}{25} = 4.8$$

לא התקבלה כפולה שלמה של חצי אורך גל.

מסקנה: כאשר ישנו את תדירות המחולל ל-60Hz, לא ייווצר גל עומד במיתר.

ו.

מיתר א' קצר ממיתר ב'.

המיתרים עשויים מאותו החומר ומתיחותם זהה, לכן התווך בו מתפשטים הגלים בשני המיתרים זהה, ומהירות ההתפשטות בשניהם זהה.

עבור גל עומד במיתר, תדירות הגל הינה ביחס הפוך לאורך המיתר ($f_n = \frac{v}{2L} \cdot n$).

עבור אותם ערכים של n נקבל תדירויות גדולות יותר במיתר שאורכו קצר יותר.

כלומר ככל שהמיתר קצר יותר תדירותו גדולה יותר.

ככל שהתדירות גדולה יותר, הצליל מוגדר גבוה יותר.

שאלה מספר 2 :

סעיף א'

היגד 4 לא נכון. תדירות הגל נקבעת על ידי המקור. מהירות הגל נקבעת על ידי התווך. אורך הגל נקבע על ידי שניהם.

$$V = \lambda \cdot f$$

סעיף ב'

$$V = C = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ לפי הקשר } V = \lambda \cdot f \text{ ומהירות האור בריק}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ : נקבל}$$

אורך גל מזערי מתאים לתדירות מירבית :

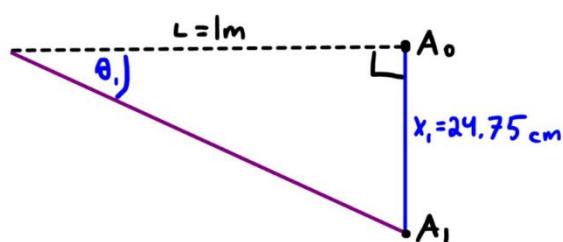
$$\lambda_{\min} = \frac{c}{f_{\max}} = \frac{3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^9} = 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

סעיף ג'

בנקודה C יש בכל רגע התאבכות בונה של הגלים שהגיעו משני הסדקים, זאת כיוון שמרחק נקודה זו משני הסדקים זהה, ולכן בכל רגע הגלים משני הסדקים מגיעים לנקודה C כשהם מופע זהה.

סעיף ד'

נחשב את הזווית :



$$\tan(\theta) = \frac{x_1}{L}$$

$$\tan(\theta) = \frac{24.75 \cdot 10^{-2}}{1}$$

ולכן הזווית למקסימום מסדר $n = 1$ היא $\theta_1 = 13.9^\circ$

הנוסחה לקווי מקסימום משני מקורות : $\sin(\theta_1) = n \frac{\lambda}{d}$

עבור $n = 1$ נקבל : $\sin(\theta_1) = \frac{\lambda}{d}$

ולכן אורך הגל מקיים :

$$\lambda = d \cdot \sin(\theta_1)$$

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(13.9^\circ)$$

$$\lambda = 0.012_m = 12_{mm}$$

סעיף ה'

$$\sin(\theta_n) = n \frac{\lambda}{d} : \text{הנוסחה לקווי מקסימום משני מקורות}$$

$$\sin(\theta_n) \leq 1 : \text{מקסימלי 1} \quad \text{ולכן } n \frac{\lambda}{d} \leq 1 \quad \text{נבודד את } n : n \leq \frac{d}{\lambda}$$

ומען נובע שהסדר המקסימלי להתאבכות בונה הוא המספר השלם הגדול ביותר שאינו גדול מ- $\frac{d}{\lambda}$:

$$n_{\max} \leq \frac{d}{\lambda}$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{0.05_m}{0.012_m} = 4.16$$

מכאן נסיק שהסדר המקסימלי להתאבכות בונה הוא $n_{\max} = 4$

תמונת ההתאבכות היא סימטרית משני צידי A_0 ולכן מספר נקודות המקסימום שווה ל :

$$2 \cdot n_{\max} + 1 = 2 \cdot 4 + 1 = 9$$

לכן נסיק שהמספר המירבי של נקודות מקסימום לאורך המסילה הוא 9.

שאלה 3 :

א.

נשתמש בנוסחת אינשטיין לאפקט הפוטואלקטרי: $E_{ph} = B + E_{k_{max}}$.

משימור אנרגיה (שדה אלקטרוסטטי הוא שדה משמר), קשר בין מתח העצירה, האנרגיה הקינטית המקסימלית של הפוטואלקטרונים המהירים ביותר בתא הפוטואלקטרי, ומטען האלקטרון: $E_{k_{max}} = eV$

קשר בין מהירות גל אלקטרומגנטי לתדירותו ואורכו: $c = \lambda f$.

מהשערת פלאנק: $E_{ph} = hf$.

מהנייל: $h \cdot \frac{c}{\lambda} = B + eV$

$$\boxed{V = \frac{h \cdot c}{e} \cdot \frac{1}{\lambda} - \frac{B}{e}}$$

נבודד את מתח העצירה V:

ב.

נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי מתאימה לאורך גל של פוטונים בעלי **תדירות הסף** – התדירות שמתחתיה לא מתקיים האפקט – הפוטונים לא מספיק אנרגטיים על מנת לעקור אלקטרונים מהפולט.

ג.

נשווה את שיפוע הגרף הנתון למקדם של המשתנה הבלתי תלוי $\frac{1}{\lambda}$ בקשר הלינארי התאורטי שפיתחנו:

$$\text{Slope} = \frac{\Delta V}{\Delta \frac{1}{\lambda}} = \frac{1.00 - 0.00}{2.5 - 1.7} = 1.25 (10^{-6} \text{ V} \cdot \text{m}) \quad \text{מהגרף:}$$

נשווה לקשר התאורטי ונציב קבועים פיזיקליים ידועים:

$$\frac{h \cdot c}{e} = 1.25 \cdot 10^{-6} \Rightarrow h = 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{e}{c} = 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1.6 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^8} \Rightarrow \boxed{h = 6.67 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}$$

ד.

מהגרף, עבור $\frac{1}{\lambda} = 1.7 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$, אורך הגל המתאים לתדירות הסף.

$$\lambda = \frac{1}{1.7} \cdot 10^{-6} \text{ m} = 588.2 \text{ nm}$$

נציב בנוסחת אינשטיין לאפקט הפוטואלקטרי. מתקבל: $E_{\text{ph}} = B$.

$$E_{\text{ph}} (\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda (\text{nm})} : \text{פוטון של אנרגיה של פוטון}$$

$$B = \frac{1240}{588.2} \Rightarrow \boxed{B = 2.11 \text{ eV}}$$

ה.

עבור $\lambda = 400 \text{ nm}$, מתקבל: $\frac{1}{\lambda} = 2.5 (10^6 \text{ m}^{-1})$.

מהגרף הנתון, לערך זה בציר האופקי מתאים מתח עצירה $\boxed{V = 1 \text{ V}}$ בציר האנכי.

ו.

המודל הגלי לא מסביר את התופעה שקיימת תדירות סף והאפקט מתרחש באופן מיידי.

לפי המודל הגלי, האנרגיה נמסרת באופן רציף וכעבור מספיק זמן תימסר מספיק אנרגיה לאלקטרונים החופשיים במתכת על מנת לעקור אותם. ללא קשר לתדירות.

בנוסף, הגדלת ההספק של האור הפוגע במתכת מגדילה את כמות האלקטרונים העקורים אך לא מגדילה את האנרגיה הקינטית שלהם. האנרגיה הקינטית מושפעת מהתדירות של האור המוקרן (וסוג המתכת).

תופעות אלו יכולות להיות מוסברות רק אם האור מוסר את האנרגיה שלו במנות בדידות המכונות פוטונים. האנרגיה של כל פוטון פרופורציונלית לתדירותו.

שאלה מספר 4:

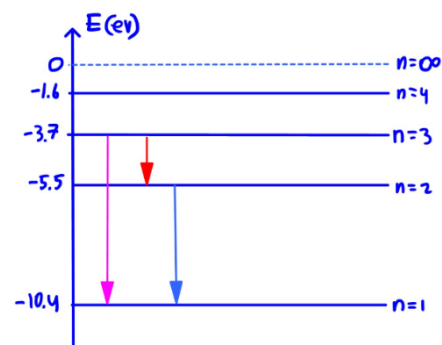
סעיף א'

לפי דיאגרמת רמות האנרגיה הנתונה של אטום הכספית ישן אנרגיות מסויימת אפשריות לאטום. בנוסף, לפי מול האטום של בוהר, יש מסלולים מסויימים המותם לאלקטרונים סביב הגרעין. לכל מסלול כזה אנרגיה מסויימת. בין האנרגיות הללו יש הפרשים מסויימים של אנרגיה שיכולה לצאת עם פוטונים מסויימים בלבד.

סעיף ב'

אלטרונים שהואצו במתח עד $7V$ קיבלו אנרגיה בשיעור של $7eV$ ולכן יוכלו לעורר עד רמה $n = 3$

$$\Delta E = E_3 - E_1 = -3.7 - (-10.4) = 6.7eV : \text{ תוך השקעת אנרגיה בשיעור}$$



סעיף ג'

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda(\text{nm})} \text{ אורך הגל המירבימתאים להפרש האנרגיה הקטן ביותר}$$

$$E_{\text{Pho}(eV)} = \frac{1240}{\lambda_{(\text{nm})}} \text{ לפי הנוסחה}$$

$$\lambda_{(\text{nm})} = \frac{1240}{\Delta E_{(eV)}} \text{ נקבל את הקשר}$$

$$\lambda_{5 \rightarrow 2} = \frac{1240}{E_3 - E_2} = \frac{1240}{-3.7 - (-5.3)} = 688.9 \text{ nm} \text{ אורך הגל המירבי בספקטרום הפליטה}$$

סעיף ד'

(1) פוטון בעל אורך גל $\lambda = 185 \text{ nm}$ מתאים בקירוב טוב להפרש בין האנריה ברמת היסוד $n = 1$ לרמה המעוררת $n = 3$

$$\lambda_{1 \rightarrow 3} = \frac{1240}{E_3 - E_1} = \frac{1240}{-3.7 + 10.4} = 185.07 \text{ nm} \text{ ולכן יתקיים עירור מרמת היסוד.}$$

(2) פוטון בעל אורך גל של 170 nm לא יוכל לגרום לעירור כיוון שפוטון יכול למסור את האנרגיה שלו כולה, או לא למסר

בכלל. העירור הבא אחרי תת סעיף (1) הוא עירור מרמת היסוד $n = 1$ לרמה המעוררת $n = 4$ ורק פוטון בעל אורך גל

$$\lambda_{1 \rightarrow 4} = \frac{1240}{E_4 - E_1} = \frac{1240}{-1.6 + 10.4} = 140.9 \text{ nm} \text{ קצר יותר יוכל לגרום לעירור.}$$

$$E_{\text{Pho}} = \frac{1240}{82} = 15.12 \text{ [eV]}$$

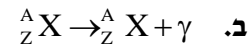
האנרגיה של הפוטונים $[eV]$

נחסר את אנרגיית הינון מאנרגיית הפוטון ונקבל את האנרגיה הקינטית שנותרה לאלקטרונים שנפלטו :

$$E_k = \Delta E = 15.12 - 10.4 = 4.72 \text{ [eV]}$$

שאלה 5

א. קרינת γ . קרינה זו היא קרינה אלקטרומגנטית ואינה מושפעת משדה מגנטי.



ג. גרף $N(t)$:



ד. זמן מחצית החיים כאשר $N(T_{1/2}) = \frac{1}{2} N_0 = 4 \cdot 10^{18}$ ולפי הגרף $T_{1/2} = 8 \text{ day}$

לפי $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ נקבל $\lambda = 0.0866 \frac{1}{\text{day}}$

ה. לפי $R_2 = R_1 \cdot e^{-\lambda \cdot \Delta t}$ נקבל $\Delta t = \frac{\ln(R_2/R_1)}{-\lambda}$ ומהצבת הערכים $\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{10}$

נקבל $\Delta t = 26.6 \text{ day}$

ו. שווה לו. זמן מחצית החיים אינו תלוי בכמות הגרעינים ההתחלתית, אלא שהוא הזמן שכמות זו פוחתת למחציתה שלה.