



פתרון הבחינה

בפיזיקה - חשמל

קיץ תשפ"ו, 2026, שאלון 36371:
מוגש ע"י צוות מורי הפיזיקה של "יואל גבע"

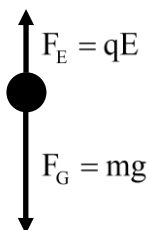
הערות:

1. התשובות המוצגות כאן הן בגדר הצעה לפתרון השאלון.
2. תיתכנה תשובות נוספות, שאינן מוזכרות כאן, לחלק מהשאלות.

הנבחנים נדרשו לענות על שלוש מהשאלות 6-1

שאלה 1

א. (1) תרשים הכוחות הפועלים על הטיפה :
 כוח חשמלי מהשדה הנגרם ע"י הלוחות.
 וכוח הכובד מכדה"א.



(2) לפי חוק II של ניוטון : $\Sigma F = ma$: נציב ונבודד את התאוצה :

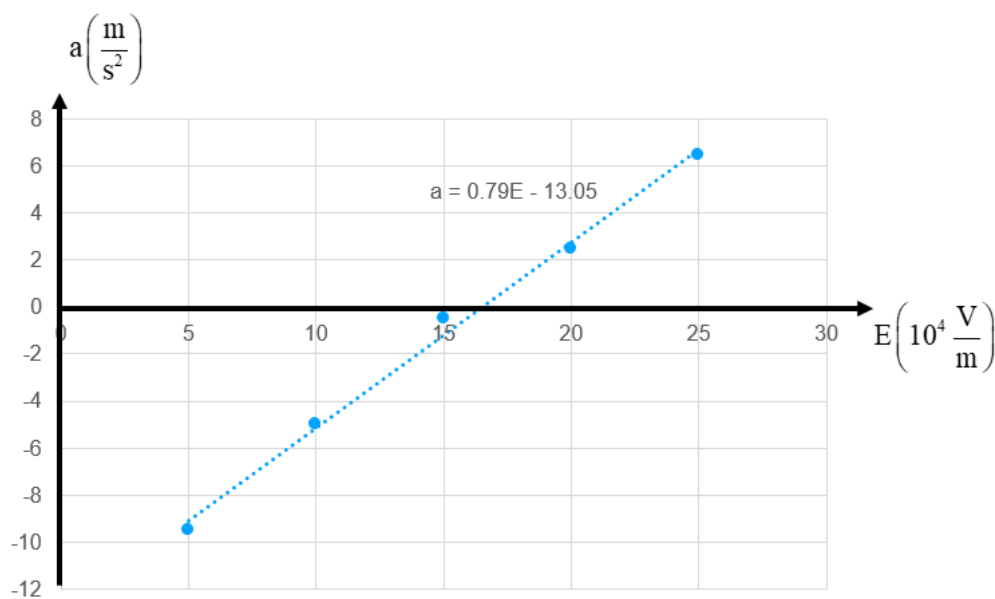
$$F_E - F_G = ma$$

$$qE - mg = ma$$

$$a = \frac{q}{m}E - g$$

מש"ל בסעיף א. (2)

ב. (1) דיאגרמת פיזור של התאוצה a כתלות בגודל השדה החשמלי E.
 (2) קו מגמה.



ג. היחס $\frac{q}{m}$ של טיפת שמן :

נשווה את שיפוע הגרף למקדם של הביטוי הלינארי שהתקבל בפיתוח התאורטי בסעיף א. (2)

$$\text{Slope} = \frac{q}{m}$$

$$\boxed{\frac{q}{m} = 0.79 \cdot 10^{-4} \frac{C}{kg}}$$

ד. נשווה את הידע הפיזיקלי המקובל, לתוצאות ההדמיה : לפי השוואת נקודת חיתוך הגרף עם ציר התאוצה, למקדם החופשי בביטוי הלינארי שהתקבל בפיתוח התאורטי בסעיף

ב. (2), מתקבל בהדמיה : $g = 13.05 \frac{m}{s^2}$

הערך שונה מתאוצת הכובד הידועה על פני כדה"א : $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

כלומר בהדמיה זו הבינה המלאכותית נתנה תוצאות שאינן תואמות את הידע הפיזיקלי המקובל.

ה. עובדות פיזיקליות :

מטענים זהו סימן נדחים זה מזה ומטענים שוני סימן מושכים זה את זה. ככל שמטענים קרובים יותר הם מפעילים זה על זה כוחות חשמליים חזקים יותר, לפי חוק הריבוע ההופכי.

לפיכך :

הטיפות הטעונות במטען חיובי נדחות מהמטען החיובי הנמצא על הכדור.

בטיפות הניטרליות נוצר קיטוב מטענים,

המטענים השליליים על גבי הטיפות הצטברו קרוב יותר לכדור הטעון חיובית,

ובשל ההבדל בעוצמת כוחות הדחייה והמשיכה החשמליים, הטיפות הניטרליות נמשכו לכדור.

שאלה 2

א. לפי ביטוי לפוטנציאל של מעטפת כדורית הטעונה בצפיפות מטען אחידה (פוטנציאל של מטען נקודתי): $V = k \frac{Q_1}{r}$.

אם נסמן את המרחק 5 ס"מ מפני הכדור ב-d: מתקבל הביטוי: $V = k \cdot \frac{Q_1}{R_1 + d}$

$$Q_1 = \frac{V \cdot (R_1 + d)}{k} \quad : \quad Q_1 \text{ נבודד את המטען}$$

$$Q_1 = \frac{120 \cdot (0.1 + 0.05)}{9 \cdot 10^9} \quad : \quad \text{נציב נתונים מספריים ונחשב}$$

$$\boxed{Q_1 = 2 \text{ nC}}$$

ב. משימור אנרגיה, השדה האלקטרוסטטי הוא שדה משמר:

$$E_{\text{init}} = E_{\text{fin}}$$

$$E_k = E_{U_p}$$

נציב את הביטויים לאנרגיה פוטנציאלית חשמלית ושל אנרגיה קינטית:

$$\frac{1}{2} m_p v_0^2 = e \cdot k \cdot \frac{Q_1}{R_1}$$

V_1 הפוטנציאל על פני הכדור

נבודד את המהירות ההתחלתית:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2ekQ_1}{m_p R_1}}$$

נציב נתונים מספריים ונחשב:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{1.67 \cdot 10^{-27} \cdot 0.1}}$$

$$\boxed{v_0 = 185.7 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

ג. נשתמש בשיקולים: שימור מטען והשוואת פוטנציאלים על מנת לבנות מערכת משוואות גוף מוליך במצב אלקטרוסטטי (זמן רב לאחר החיבור...) הינו גוף שווה פוטנציאל.

נסמן את המטענים על הכדורים זמן רב לאחר החיבור ב- q_1 ו- q_2 בהתאמה למספרי הכדורים.

ואת הפוטנציאלים על גבי כל כדור במצב זה ב: V_1^* ו- V_2^*

$$\begin{cases} q_1 + q_2 = Q_1 + Q_2 \\ V_1^* = V_2^* \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_1 + q_2 = Q_1 + Q_2 \\ k \frac{q_1}{R_1} = k \frac{q_2}{R_2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_1 + q_2 = Q_1 + Q_2 \\ q_2 = \frac{R_2}{R_1} q_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_1 + q_2 = 12 \cdot 10^{-9} \\ q_2 = 6q_1 \end{cases}$$

$$\boxed{q_2 = 10.29 \text{ nC}} \quad \text{ו-} \quad \boxed{q_1 = 1.71 \text{ nC}} \quad \text{ומכאן}$$

ד. אלקטרונים עברו ממעטפת ב' אל מעטפת א'.

זאת מכיוון שמטען האלקטרון הינו שלילי והמטען החיובי על גבי מעטפת ב' גדל והמטען החיובי על גבי מעטפת א' קטן.

מספר האלקטרונים שעברו שווה להפרש המטענים על מעטפת חלקי המטען היסודי:

$$n = \frac{\Delta Q}{e} = \frac{0.29 \cdot 10^{-9}}{1.6 \cdot 10^{-19}}$$

$$\boxed{n = 1.81 \cdot 10^9}$$

ה. ההנחה נדרשת על מנת שלא תהיה השפעה הדדית על הפיזור האחיד של המטענים על גבי הכדורים, והביטוי לפוטנציאל על פני כדור יהא כשל מטען נקודתי המרוכז כולו במרכז כל כדור.

שאלה 3

א. לרכיב A יש התנגדות קבועה. לפי חוק אוהם $V = I \cdot R$ נקבל גרף זרם כתלות במתח ליניארי עבור R קבוע:

$$I = \frac{1}{R} \cdot V$$

ב. נחשב התנגדותו בערת שיפוע הגרף: $S = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{0.8 - 0}{4 - 0} = 0.2 \left[\frac{1}{\Omega} \right]$

$$R = \frac{1}{S} = \frac{1}{0.2} = 5 \Omega \quad S = \frac{1}{R} \quad 5 \text{ V}$$

שטח החתך: $A = 0.45(\text{mm})^2 = 0.45(10^{-3} \text{ m})^2 = 0.45 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

התנגדות של תיל: $R = \rho = \frac{\ell}{A}$ נבודד את ההתנגדות הסגולית: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ נציב

$$\rho = \frac{5 \cdot 0.45 \cdot 10^{-6}}{2} = 1.125 \cdot 10^{-6} [\Omega \cdot \text{m}]$$

ג. A ו-B מחוברים טורית ולכן עובר בשניהם זרם זהה. לפי הנתון גם המתח זהה. הנקודה היחידה בגרף זב הזרם והמתח שווים היא עבור מתח $V = 2.3 [\text{V}]$ (זרם $I = 0.46 \text{ A}$) אם על כל אחד משניהם נופל מתח זהה של 2.3 V מתח ההדקים יהיה הסכום

$$V = V_A + V_B = 2.3 + 2.3 = 4.6 [\text{V}]$$

ד. הרכיבים מחוברים במקביל ולכן המתח על שניהם זהה $V_A = V_B = 3.5 [\text{V}]$

לפי גרף הזרם דרך A הוא $I_A = 0.7 \text{ A}$ והזרם דרך B הוא $V_B = 0.52 \text{ A}$

לפי חוק הצומת הזרם דרך מקור במתח הוא סכום הזרמים $I = I_A + I_B$

$$I = 0.7 + 0.52 = 1.22 [\text{A}]$$

ה. מתח ההדקים $V = \varepsilon - Ir$

$$3.5 = \varepsilon - 1.22r$$

$$4.6 = \varepsilon - 0.46r$$

$$1.1 = 0.76r \quad 4.6 - 3.5 = \varepsilon - 0.46r - (\varepsilon - 1.22r)$$

$$r = \frac{55}{38} \Omega = 1.447 [\Omega]$$

$$\varepsilon = 4.6 + 4.6 \cdot \frac{55}{38} \quad \varepsilon = 4.6 + 4.6r \quad 4.6 = \varepsilon - 0.46r$$

$$\varepsilon = 5.266 [\text{V}]$$

ו. המתח הנמדד על רכיב A באמצעות הוולטמטר הלא אידיאלי יהיה קטן יותר מאשר המתח שיימדד באמצעות וולטמטר אידיאלי.

נימוק: לוולטמטר אידיאלי התנגדות אינסופית ולכן הזרם דרכו אפסי. לוולטמטר לא אידיאלי התנגדות לא אינסופית ולכן הזרם דרכו כבר לא אפסי. הוספת ערוץ מקביל ל-A דרכו יעבור זרם, יקטין את ההתנגדות השקולה במעגל ולכן לפי חוק אוהם הזרם הראשי יגדל, אם הזרם יגדל, יגדל גם הנתח מתוך הכא"מ שנופל על רכיב B ועל ההתנגדות הפנימית של מקור המתח, ולכן ישאר מתח קטן יותר מהכא"מ ל-A ולוולטמטר המחובר במקביל אליו.

שאלה 4

א. לפי חוק אוהם $R_{ms} = \frac{V}{I}$

המתח על R_{ms} הוא מתח ההדקים : $V = \varepsilon - Ir$

נציב בחוק אוהם : $R_{ms} = \frac{\varepsilon - Ir}{I} = \frac{\varepsilon}{I} - r$

ננסח מחדש : $R_{ms} = \varepsilon \cdot \frac{1}{I} - r$

ב. הציר האופקי הוא של משתנה $\frac{1}{I}$ ההופכי של הזרם ויחידותיו הן $\left[\frac{1}{A}\right]$. נזהה את הקשר הליניארי בו המשתנה התלוי

R_{ms} שווה לכא"מ הקבוע ε כפול הופכי הזרם $\frac{1}{I}$ פחות ההתנגדות הפנימית הקבועה r לפי הקשר שפיתחנו בסעיף א' ולפי

התבנית הקשר הליניארי $y = s \cdot x + b$ $R_{ms} = \varepsilon \cdot \frac{1}{I} - r$

ג. (1+2) לפי תבנית הקשר הליניארי נהה את הקבועים :

שיפוע הגרף $S = \varepsilon$

נקודת חיתוך עם ציר אנכי $b = -r$

חיתוך שיפוע הגרף $S = \frac{\Delta R}{\Delta \left(\frac{1}{I}\right)} = \frac{16-4}{0.76-0.24} = \frac{300}{13} \cdot \frac{\Omega}{\left(\frac{1}{A}\right)} = 23.08 [\Omega \cdot A]$

ולכן כא"מ מקור המתח : $\varepsilon = 23.08 [V]$

לחיושב ההתנגדות הפנימית נציב נקודה מהישר $\left(\frac{1}{I} = 0.5 \frac{1}{A}, R_{ms} = 10\Omega\right)$

בביטוי מסעיף א' נבודד את r : $R_{ms} = \varepsilon \cdot \frac{1}{I} - r$

$r = \varepsilon \cdot \frac{1}{I} - R_{ms}$

$r = \frac{300}{13} \cdot 0.5 - 10 = \frac{20}{13} \Omega$

$r = 1.538 \Omega$

ההתנגדות הפנימית :

ד. לפי הגרף, הזרם מתאים ל- $R_{ms} = 10\Omega$ הוא $\frac{1}{I} = 0.5 \frac{1}{A} \rightarrow I = 2 [A]$

נחשב את ההספק : $P = V \cdot I = I^2 \cdot R$ $P = 2^2 \cdot 10 = 40 [W]$

ה. נבטא את נצילות המעגל :

$$\eta = \frac{P_{EFF}}{P_{IN}} = \frac{(\varepsilon - Ir) \cdot I}{\varepsilon \cdot I} = \frac{\varepsilon - Ir}{\varepsilon}$$

ניתן לראות לפי הביטוי הנצילות גדולה יותר ככל ש הזרם קטן יותר. נימוק פיזיקלי : η ככל שהזרם דרך המקור המתח גדול

יותר כך ההפסק המבוזבז על ההתנגדות הפנימית (ימם מקור המתח) גדול יותר : $P = I^2 \cdot r$

שאלה 5

א. הכוח המגנטי מקיים: $F = q v B \sin \alpha$

נתונים: $v = 10^6 \frac{m}{s}$ בכיוון אופקי שמאלה, $B_1 = 0.02T$ בכיוון מטה. $\alpha = 90^\circ$. $q = 1.6 \cdot 10^{-19} C$ מטען הפרוטון.

מהצבת הערכים הנתונים ולפי חוק יד ימין נקבל כי

גודל הכוח המגנטי הוא $F = 3.2 \cdot 10^{-15} N$ וכיוונו החוצה מן הדף.

ב. (1) בתנועה המעגלית $\sum F_r = q v B = m \frac{v^2}{R}$ ומכן $R = \frac{m v}{q B}$

נציב את הערכים הנתונים ואת מסת הפרוטון $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$

ומתקבלת התוצאה $R_1 = 0.522m$

ב. (2) ניקח את המשוואה $q B R = m v$ ונציב $v = \frac{2 \pi R}{T}$

נקבל את זמן המחזור $T = \frac{2 \pi m}{q B}$ ומהצבת הערכים הנתונים נקבל את הערך $T_1 = 3.28 \cdot 10^{-6} sec$

ג. במצב של התמדה מתקיים שוויון גודל הכוחות $q v B = q E$ ולכן $E = v \cdot B$

מהצבת הערכים הנתונים נקבל: $E = 20,000 \frac{N}{C}$ וכיוונו אל תוך הדף.

ד. על הפרוטון פועל כוח מגנטי רק בניצב לכיוון קווי השדה המגנטי ובניצב לכיוון מהירות.

כוח מגנטי זה מביא לתנועה מעגלית קצובה של הפרוטון, במישור הניצב לכיוון השדה המגנטי, במהירות שגודלה הוא גודל רכיב המהירות המאונך לשדה.

בכיוון המקביל לשדה לא פועל כוח מגנטי ולכן אין תאוצה בכיוון זה והתנועה המעגלית "נסחפת" במהירות קבועה שגודלה הוא גודל רכיב המהירות המקביל לשדה.

ה. גודל השדה המגנטי הוא הערך המקסימלי המתקבל בחיישן- $50mT$, הוא מתקבל בזווית 48° שזוהי הזווית של

השדה המגנטי $\alpha_{B_2} = 48^\circ$ $|\vec{B}_2| = 50mT$

שאלה 6

א. כיוון השדה המגנטי הוא אנכי כלפי מטה, במאונך למסילה האופקית.

במוט זרם מ- C ל- D (לפי מיקום ההדק החיובי של הסוללה). הכוח המגנטי פועל בכיוון מנוגד לכיוון המתיחות בחוט, כדי שהמוט יישאר במנוחה. לכן, כיוון הכוח המגנטי הוא שמאלה (במישור האופקי של המסגרת, לכיוון הסוללה, מנוגד לכיוון החוט).
על פי חוק יד ימין, כיוון השדה המגנטי המתאים לכיוון הזרם ולכיוון הכוח המגנטי הוא הכיוון האנכי כלפי מטה.

ב. על פי החוק הראשון של ניוטון, כאשר המוט נמצא במנוחה מתקיים שוויון בין גודל הכוח המגנטי $F = BI\ell$ לבין גודל כוח הכובד הפועל על המשקולת (השווה לגודל המתיחות בחוט) ולכן מתקיימת המשוואה $mg = BI\ell$.

$$m = \frac{B \varepsilon \ell}{r g} \quad \text{הזרם מקיים את חוק אוהם } \varepsilon = I \cdot r \quad \text{ומכן הפתרון}$$

ג. הסבר 1: עם תנועת המוט פועל כוח מגנטי על האלקטרונים החופשיים שבמוט ומניע אותם (מ- D ל- C) וכך נוצר הזרם החשמלי.

הסבר 2: עם תנועת המוט משתנה השטף המגנטי במסגרת (המסילות, המוט, המוליכים והנורה) ולפי חוק פארדיי-לנץ נוצר כא"מ מושרה וזרם מושרה במוליכים וכך נוצר הזרם.

$$\text{נתונים: } R = 7.2 \Omega, \ell = 0.8 \text{ m}, m = 0.05 \text{ kg}, B = 1.8 \text{ T}$$

ד. במצב של התמדה מתקיים שוויון בין גודל הכוח המגנטי הפועל על המוט לבין המתיחות ומכאן שוויון בין גודל הכוח

המגנטי לבין גודל כוח הכובד הפועל על המשקולת, כלומר $mg = BI\ell$. הזרם מקיים את חוק אוהם $I = \frac{\varepsilon}{R}$,

הכא"מ המושרה הוא $\varepsilon = B \ell v$. מכך מתקבלת המהירות $v = \frac{mgR}{B^2 \ell^2}$ ומהצבת הערכים הנתונים

$$v = 1.736 \text{ m/s}$$

ה. כיוון הזרם המוט הוא מ- C ל- D.

נימוק 1: כפי שהיה לפני שהחליפו את הסוללה בנורה, כיוון הכוח המגנטי עדיין מנוגד לכיוון המתיחות ולכן כיוונו שמאלה במישור האופקי, כיוון השדה המגנטי הוא אנכי כלפי מטה ולפי חוק יד ימין כיוון הזרם במוט הוא מ- C ל- D.

נימוק 2: השטף המגנטי כלפי מטה גדל ולפי חוק לנץ הזרם המושרה יצור שדה מגנטי מושרה שמתנגד לשינוי בשטף המגנטי ולכן כיוונו יהיה כלפי מעלה. על פי חוק יד ימין כיוון זה של שדה מגנטי מתאים לזרם שכיוונו מ- C ל- D.