יסודות הפיזיקה 2

תוכן העניינים

1. מבוא למבנה החומר ..... (ללא ספר)
2. הכוח החשמלי- חוק קולון 1
3. השדה החשמלי 5
4. חוק גאוס 9
5. תנועה בשדה חשמלי אחיד 12
6. מוליכים 14
7. חומרים דיאלקטריים 17
8. מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית 20
9. זרם מתח ותנגדות 36
10. אנרגיה והספק במעגל החשמלי 44
11. חיבור נגדים וחוקי קירכהוף 49
12. קבלים 55
13. השדה המגנטי 72
14. חוק אמפר 75
15. הכוח המגנטי (חוק לורנץ) 76
16. חוק פארדיי 83
17. פתרון בגרויות בחשמל ומגנטיות 86

יסודות הפיזיקה 2

פרק 1 - מבוא למבנה החומר

תוכן העניינים

1. מבוא למבנה החומר ..... (ללא ספר)

יסודות הפיזיקה 2

פרק 2 - הכוח החשמלי- חוק קולון

תוכן העניינים

1. חוק קולון 1
2. תרגילים 2

חוק קולון:

שאלות:

1) אלקטרון ופרוטון

אלקטרון ופרוטון נמצאים במרחק של 3A אחד מהשני.
מהו הכוח הפועל על כל אחד מהם? (גודל וכיוון).

2) שני מטענים על ציר ה-X

שני גופים טעונים במטענים: $q_1 = 0.2mc, q_2 = 0.3mc$.

מיקום הגוף הראשון הוא: $\vec{r}_1(3m,0)$ ומיקום הגוף השני הוא: $\vec{r}_1(8m,0)$.

א. חשב את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן: $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$.

3) שני מטענים במישור

שני גופים טעונים במטענים: $q_1 = 15\mu c, q_2 = -20\mu c$.

מיקום הגוף הראשון הוא: $\vec{r}_1(0,0)$ ומיקום הגוף השני הוא: $\vec{r}_1(5m,3m)$.

א. חשב את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

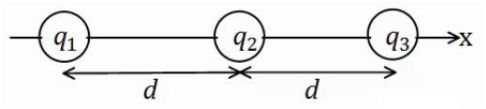
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן: $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$.

4) 3 מטענים על ציר ה-X

שלושה מטענים מונחים על ציר ה- x במרווחים של $d = 10cm$ אחד מהשני.

גודל המטענים הוא: $q_1 = 2\mu c, q_2 = -10\mu c, q_3 = 5\mu c$.

מצא את הכוח הפועל על כל מטען גודל וכיוון.



תשובות סופיות:

1) $F = -2.56 \cdot 10^9 N$, כוח המשיכה.

2) א. שניהם נעים בכיוונים הפוכים, ב- $F = 21.6N$. ב. $a_1 = -7.2\frac{m}{sec^2}\hat{x}$, $a_2 = 2.7\frac{m}{sec^2}\hat{x}$

3) א. $|F_1| = |F_2| = 7.94 \cdot 10^{-2} N, \theta_1 = 30.96°, \theta_2 = 210.96°$ ב. $a_1 \approx 2.65 \cdot 10^{-2}\frac{m}{sec}$

4) $\sum \vec{F}_1 = 15.75N\hat{x}$, $\sum \vec{F}_2 = 27N\hat{x}$, $\sum \vec{F}_1 = 42.75N\hat{x}$

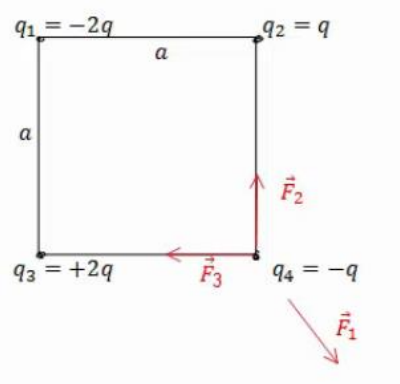
תרגילים:

שאלות:

1) מטען בפינת ריבוע

חשב את הכוח הפועל על המטען בפינה הימנית התחתונה של הריבוע.

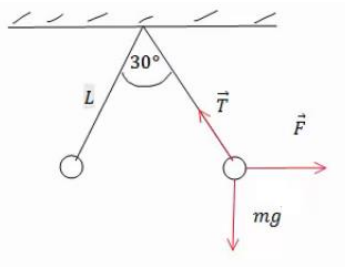
q ו- a נתונים.



2) שני כדורים תלויים

שני כדורים בעלי מסה m ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך L, הזווית בין החוטים היא 30 מעלות.

מצא את מטען הכדורים.



3) מהירות זוויתית באטום המימן

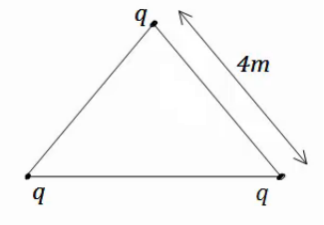
אטום המימן מורכב מפרוטון בגרעין ואלקטרון הסובב סביב הגרעין בתנועה מעגלית ברדיוס של 0.53 אנגסטרום.

מצא את המהירות הזוויתית של האלקטרון, אם ידוע כי מסת האלקטרון היא: $m_e=9.1\cdot10^{-31}kg$ ומטען האלקטרון והפרוטון הוא: $q_e=-1.6\cdot10^{-19}c=-q_p$.

4) מטענים בקודקודי משולש

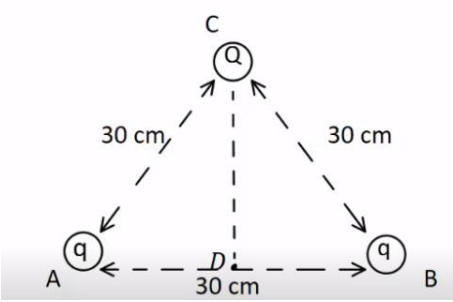
שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של משולש שווה צלעות.

גודל כל מטען הוא $q=2\mu c$ ואורך צלע המשולש היא 4m.



מצא את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהמטענים האחרים.

5) כוח על כדור בקצה משולש



שני כדורים קטנים, שמטען כל אחד מהם הוא: $q=10^{-5}c$, קבועים בנקודות A ו-B באויר.

המרחק בין הנקודות הוא $30cm$.

בנקודה C הנמצאת במרחק של $30cm$ מכל אחד מהמטענים האלה, נמצא כדור מוליך קטן שמסתו $20gr$ והוא טעון במטען של: $Q=-2\cdot10^{-5}c$.

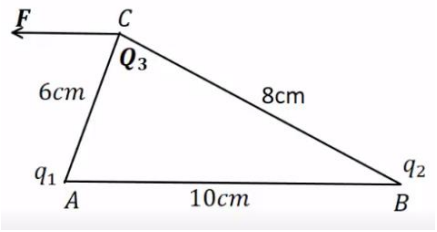
משחררים את הכדור הנמצא בנקודה C.

א. חשב את הגודל ואת הכיוון של הכוח על הכדור ברגע בו שוחרר.

ב. חשב את גודלה ואת כיוונה של תאוצת הכדור ברגע בו שוחרר.

ג. חשב את תאוצת הכדור בנקודה D.

6) נחש את סימן המטענים



שני מטענים נקודתיים ממוקמים בקודקודי משולש ישר זווית, בקצוות המיתר AB.

נתון כי: $Q_3=3\mu c$ $|q_1|=3\mu c$ והכוח השקול F הפועל על Q_3 פועל בכיוון אופקי שמאלה במקביל לצלע AB.

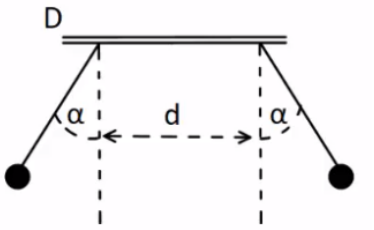
בהזנחת כוח הכובד:

א. מהם סימני המטענים q_1 ו- q_2? נמק.

ב. חשב את מטען q_2 אם הזווית $\measuredangle ACB$ היא זווית ישרה.

ג. מהו גודלו של הכוח השקול F?

7) שני מטענים תלויים



שני כדורים שמסתם זהות $m=8gr$ ומטען זהה q, תלויים באמצעות חוטים משתי נקודות שהמרחק ביניהם הוא $d=2cm$.

נתון: $\alpha=30°$ ו- $l=3cm$.

בטא את גודל המטען q באמצעות α , m , l , d וחשב את גודל המטען q.

תשובות סופיות:

1) $\sum F_y = \frac{kq^2}{a^2}\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$

2) $q = \sqrt{\frac{mg}{k}\tan(15)L^2\left(2-\sqrt{3}\right)}$

3) $\omega = \sqrt{17}\cdot 10^{16}\frac{1}{\sec}$

4) $\sum F = 3.897\cdot 10^{-3}N$

5) א. $34.6N$ ב. $a_y = 1,732\frac{m}{\sec^2}$ ג. $a = 0$

6) א. q_1: שלילי, q_2: חיובי. ב. $q_2 = 7.11\mu c$ ג. $\sum F_x = 37.5N$

7) $q = \sqrt{\frac{mg\tan\alpha}{k}}\left(d+2l\sin\alpha\right)$, $q \approx 5.2\cdot 10^{-8}c$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 3 - השדה החשמלי

תוכן העניינים

1. שדה חשמלי של מטענים נקודתיים..... 5

שדה חשמלי של מטענים נקודתיים:

שאלות:

1) שדה בשתי נקודות

מטען q נמצא בראשית הצירים.

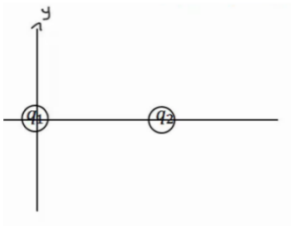
א. חשב את השדה בנקודות $(1m,3m),(0,2m)$, אם נתון ש- $q=5c$ (גודל וכיוון).

ב. חזור על סעיף א' אם $q=-7c$.

ג. מצא מה יהיה הכוח על מטען $q_2=3c$ המגיע לנקודה $(1m,3m)$ עבור סעיף א'.

ד. מצא מה יהיה הכוח על מטען $q_3=-4c$ המגיע לנקודה $(1m,3m)$ עבור סעיף א' ללא q_2.

2) חישוב שדה שקול בשלוש נקודות



מטען $q_1=5\mu c$ נמצא בראשית הצירים.

מטען $q_2=4\mu c$ נמצא במיקום $(3cm,0)$.

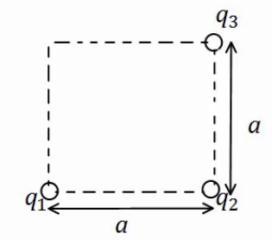
מצא את השדה בנקודות הבאות:

א. $(5cm,0)$.

ב. $(2cm,0)$.

ג. $(2cm,1cm)$.

3) חישוב שדה שקול בפינה של ריבוע



מטענים q_1 , q_2 , q_3 נמצאים בשלוש פינותיו של ריבוע בעל צלע a.

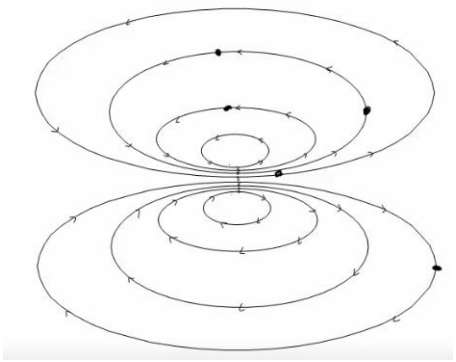
מהו השדה בפינה הרביעית?

a , q_3 , q_2 , q_1 נתונים.

4) קווי שדה

באיור הבא מתוארים קווי שדה במרחב.

צייר איכותית את וקטור השדה החשמלי בכל הנקודות המסומנות.



5) חלקיק על קו שדה

חלקיק מתחיל לנוע ממנוחה במרחב בו קיים שדה חשמלי.
האם החלקיק ימשיך לנוע לאורך קו השדה עליו היה בתחילת התנועה לעד?

6) יחידות של השדה

תלמיד טען שניתן לרשום את היחידות של השדה החשמלי גם כג׳אול לקולון למטר. האם התלמיד צודק?

7) קווי שדה חוצים זה את זה

תלמיד טען שקווי השדה של שני מטענים במרחב חוצים זה את זה? האם הדבר אפשרי? אם כן, אילו מטענים יקיימו טענה זו?

8) שדה מתאפס

בתוך אזור מבודד נמצאים שני מטענים במיקומים שונים. גודל המטענים זהה וסימנם אינו ידוע. קבעו האם המטענים בעלי סימן זהה או סימן הפוך אם ידוע שקיימת נקודה במרחב שבה השדה מתאפס. הניחו שאין עוד מטענים במרחב.

9) גוף מרגיש שדה

גוף קטן הנושא מטען של $-5\cdot10^{-9}\text{C}$ חשב בכוח חשמלי שגודלו $4\cdot10^{-8}\text{N}$ כלפי מטה. הניחו שכוח הכובד זניח.

א. מהו השדה החשמלי בנקודה בה נמצא הגוף?

ב. מסירים את הגוף ושמים במקומו פרוטון, מה יהיה הכוח על הפרוטון? הניחו שהשדה לא השתנה.

10) שדה מתאפס בין שני מטענים

שני מטענים $q_1=3\cdot10^{-9}\text{C}$ ו-$q_2=-5\cdot10^{-9}\text{C}$ מרוחקים 1.8m זה מזה.
באיזו נקודה מתאפס השדה החשמלי על הקו המחבר בין המטענים?

11) שדה בכמה נקודות

מטען $q_1=4\cdot10^{-6}\text{C}$ נמצא בראשית. מטען אחר של $q_2=-2\cdot10^{-9}\text{C}$ נמצא בנקודה $(1,2)$ במטרים.
חשבו את השדה השקול בנקודות הבאות:

א. $(0,2)$

ב. $(-1,-2)$

ג. $(-1,-4)$*

12) שני כדורים תלויים בשדה חיצוני

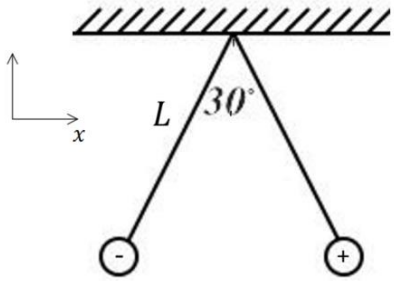
שני כדורים קטנים תלויים מהתקרה באמצעות חוטים זהים באורך: $L = 8cm$.

מסת הכדורים זהה ושווה ל- $4gr$, מטעני הכדורים הם: $6 \cdot 10^{-8} C$

ו- $-6 \cdot 10^{-8} C$, המטען החיובי על הכדור הימני באיור.

בכל המרחב יש שדה חשמלי אחיד בכיוון ציר x.

מה צריך להיות גודל השדה כך שהכדורים יהיו במצב שיווי משקל בזווית של 30 מעלות בינהם?



תשובות סופיות:

1) א. $\vec{E}=1.42\cdot10^{9}\hat{x}+4.27\cdot10^{9}\hat{y}$ ב. $\vec{E}=6.3\cdot10^{9}\hat{x}+15.75\cdot10^{9}\left(-\hat{y}\right)$

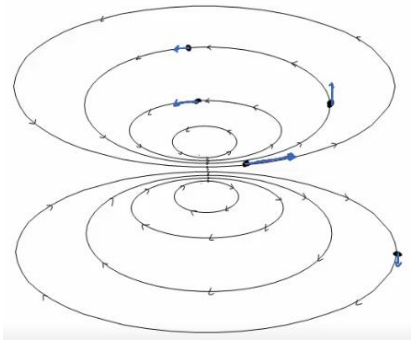
ג. $\vec{F}=4.26\cdot10^{9}\hat{x}+12.81\cdot10^{9}\hat{y}$ ד. $\vec{F}_3=-4\cdot\left(1.42\cdot10^{9}\hat{x}+4.27\cdot10^{9}\hat{y}\right)$

2) $E_{1_x}=8.05\cdot10^{7}$, $E_{1_y}=4.03\cdot10^{7}$, $E_{2_x}=-12.73\cdot10^{7}$, $E_{2_y}=12.73\cdot10^{7}$

$E_{T_x}=-4.68\cdot10^{7}$, $E_{T_y}=16.77\cdot10^{7}$

3) $E_{T_y}=\frac{kq_1}{a^2}+\frac{kq_2}{2a^2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}$, $E_{T_x}=\frac{kq_3}{a^2}-\frac{kq_2}{2a^2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}$

4)



5) לא.

6) כן.

7) לא.

8) זהה.

9) א. $8\frac{N}{C}$, למעלה. ב. $1.28\cdot10^{-18}N$, כלפי מעלה.

10) .

11) $x_2=-6.19$

12) א. $\vec{E}=18\hat{x}+9\hat{y}$ ב. $\vec{E}=-2.82\hat{x}-5.63\hat{y}\frac{N}{C}$

ג. $\vec{E}=-0.37\hat{x}-1.63\hat{y}$

13) $4.94\cdot10^{5}\frac{N}{C}$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 4 - חוק גאוס

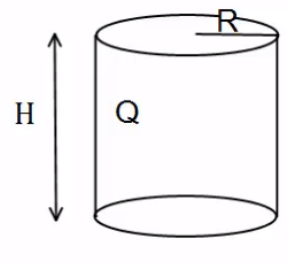
תוכן העניינים

1. צפיפות מטען 9
2. חוק גאוס 10
3. תרגילים נוספים 11
4. סיכום חוק גאוס ..... (ללא ספר)

צפיפות מטען:

שאלות:

1) גליל עם חור



גליל בעל רדיוס R וגובה H, טעון במטען Q המתפלג בצורה אחידה.
קודחים בגליל חור ברדיוס $r < R$, לכל אורכו.
מהו המטען שיצא מהגליל?
(נוסחה לנפח גליל: $\pi r^2 h$).

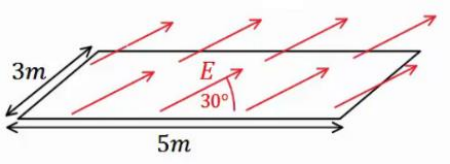
תשובות סופיות:

1) $q = \frac{Qr^2}{R^2}$

חוק גאוס:

שאלות:

1) שדה באלכסון



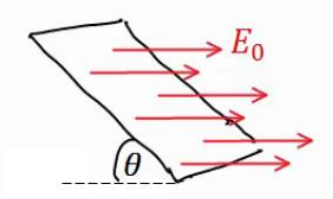
באיור הבא נתון כי השדה החשמלי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).

גודלו הוא $E = 2\frac{N}{c}$ והזווית בינו למשטח היא $30°$.

אורך המשטח הוא $5m$ ורוחבו הוא $3m$.

מצא מהו השטף דרך המשטח.

2) משטח באלכסון



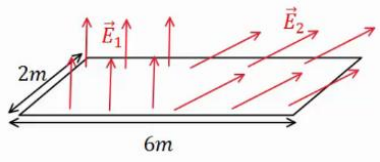
שדה חשמלי אחיד נמצא בכל המרחב בכיוון ציר ה- x,

גודלו הוא E_0.

מצא מה השטף דרך משטח המונח בזווית θ ביחס לציר ה- x.

אורך המשטח הוא a ורוחבו הוא b.

3) שדה מפוצל



באיור הבא נתון כי השדה החשמלי על המשטח,

בחציו השמאלי, הוא: $\vec{E}_1 = 2\frac{N}{c}\hat{y}$ (שדה אחיד).

בחציו הימני של המשטח, השדה הוא: $\vec{E}_2 = 7\frac{N}{c}\hat{x} + 3\frac{N}{c}\hat{y}$.

אורך המשטח הוא $6m$ ורוחבו הוא $2m$.

מצא מהו השטף דרך המשטח.

תשובות סופיות:

1) $\Phi_E = 15 \cdot \frac{m^2 N}{C}$

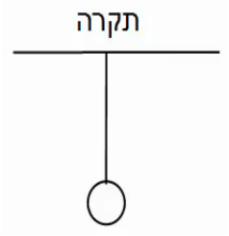
2) $\Phi_E = E_0 \sin\theta \cdot a \cdot b$

3) $\Phi_E = 30\frac{N \cdot m^2}{C}$

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) מישור מתחת לכדור תלוי



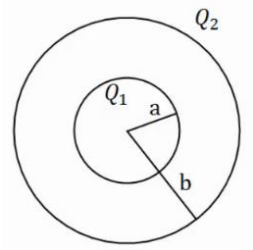
כדור בעל מסה $m=5kg$ ומטען $Q=20\mu c$ תלוי באמצעות חוט מהתקרה. מתחת לכדור ישנו מישור אינסופי בעל צפיפות מטען משטחית: $\sigma=-\frac{30\mu c}{m^3}$.

א. מצא את המתיחות בחוט.

ב. מצא את המתיחות בחוט אם $\sigma=+\frac{5\mu c}{m^3}$.

2) שתי קליפות כדוריות

במערכת הבאה שתי קליפות (חלולות) בעלות מרכז משותף (קונצנטריות). רדיוס הקליפה הפנימי הוא a והמטען עליה הוא Q_1, רדיוס הקליפה החיצונית הוא b והמטען עליה הוא Q_2.



א. חשב את פונקציית השדה החשמלי בכל המרחב.

ב. מה הכוח (גודל וכיוון) שירגיש מטען בגודל Q_3, הנמצא במרחק $3b$ ממרכז הכדור.

תשובות סופיות:

1) א. $T=83.93N$ ב. $T\approx 44.35N$

2) א. $E=\begin{cases}0 & r<a\\ \frac{kQ_1}{r^2} & a<r<b\\ \frac{k(Q_1+Q_2)}{r^2} & b<r\end{cases}$ ב. $\vec{F}=Q_3\frac{k(Q_1+Q_2)}{(3b)^2}$, כיוון: כלפי חוץ.

יסודות הפיזיקה 2

פרק 5 - תנועה בשדה חשמלי אחיד

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים 12

הסבר ותרגילים:

שאלות:

1) מלוח אל לוח

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך כל צלע היא 6 ס״מ, והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ״מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה; המטען הכולל על הלוח התחתון הוא: $Q=6\cdot10^{-6}c$ והמטען הכולל על הלוח העליון זהה והפוך בסימנו.

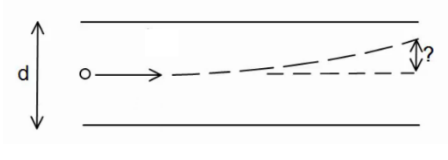
משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון: $\begin{pmatrix} q_e=-1.6\cdot10^{-19}c \\ m_e=9.1\cdot10^{-31}kg \end{pmatrix}$.

א. כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?

ב. מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?

ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון באותו הרגע?

2) חישוב סטייה



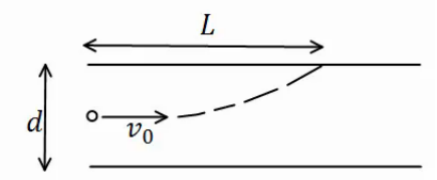
שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 5 ס״מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ״מ.
הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה.
המטען הכולל על הלוח העליון הוא: $Q=3\cdot10^{-11}c$, והמטען הכולל על הלוח התחתון זהה והפוך בסימנו.

אלקטרון נע במהירות: $v_0=2\cdot10^7\frac{m}{sec}$ במקביל ללוחות: $\begin{pmatrix} q_e=-1.6\cdot10^{-19}c \\ m_e=9.1\cdot10^{-31}kg \end{pmatrix}$.

א. מצא את הסטייה של האלקטרון (כמה זז בציר ה- y) ברגע צאתו מן הלוחות.

ב. מהו כיוון מהירותו של האלקטרון בצאתו מן הלוחות?

3) מטען לא מזוהה



שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. המרחק בין הלוחות הוא d ואורך הצלע של כל לוח גדולה בהרבה מהמרחק בין הלוחות.
הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה, צפיפות המטען המשטחית על הלוח העליון היא σ והצפיפות על הלוח התחתון זהה והפוכה בסימנה. מטען לא מזוהה נכנס בדיוק במרכז בין הלוחות במהירות v_0 בכיוון מקביל ללוחות. המטען פוגע בלוח העליון במרחק L.

א. מצא את סימנו של המטען, בהנחה שהצפיפות הנתונה חיובית.

ב. מצא את היחס בין גודל המטען למסה שלו.

תשובות סופיות:

1) א. $t \approx 1.1 \cdot 10^{-10}\,\text{sec}$ ב. $v(t) = 3.65 \cdot 10^{7}\,\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ג. $E_k = 6.06 \cdot 10^{-16}\,\text{J}$

2) א. $y_x = 0.747\text{mm}$ ב. $\theta \approx 1.72°$

3) א. סימן המטען שלילי.

ב. $\frac{q}{m} = \frac{dv_0^2}{4\pi k \sigma L^2}$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 6 - מוליכים

תוכן העניינים

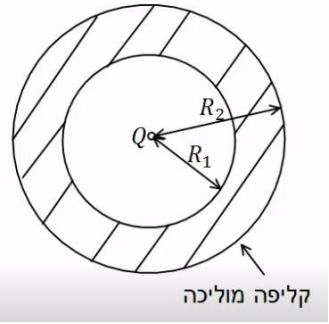
1. הסבר על מוליכים ..... (ללא ספר)
2. תרגילים 14

תרגילים:

שאלות:

1) מטען נקודתי וקליפה עבה

מטען נקודתי Q נמצא במרכזה של קליפה כדורית מוליכה ועבה. לקליפה רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2.



א. מצא את השדה בכל המרחב אם הקליפה ניטרלית.

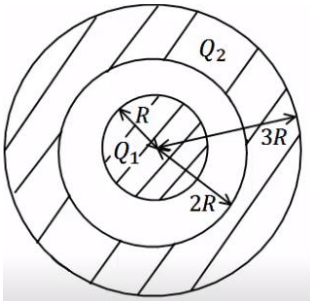
ב. מהי התפלגות המטען על שפת הקליפה?

2) כדור מוליך וקליפה עבה טעונה

כדור מוליך ברדיוס R טעון במטען Q_1.

הכדור נמצא בתוך ובמרכזה של קליפה כדורית מוליכה עם רדיוס פנימי 2R ורדיוס חיצוני 3R.

הקליפה טעונה, וסך המטען על הקליפה הוא Q_2.



א. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

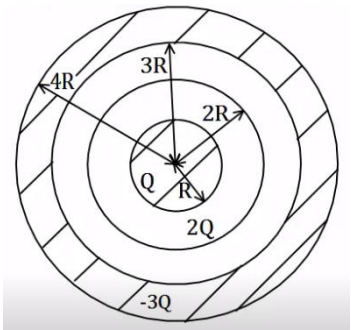
ב. מהי התפלגות המטען על שפת הכדור ושפת הקליפה?

ג. מטען נקודתי q מונח ב- $r=1.5R$.

מהו הכוח הפועל על המטען אם ניתן להניח שההשפעה שלו על המערכת זניחה.

3) כדור מוליך קליפה דקה וקליפה עבה

במערכת הבאה ישנו כדור מוליך ברדיוס R הטעון במטען Q. מסביב לכדור ישנה קליפה כדורית דקה ברדיוס 2R הטעונה במטען 2Q. את הכדור והקליפה מקיפה קליפה כדורית עבה ומוליכה בעלת רדיוס פנימי 3R ורדיוס חיצוני 4R הטעונה במטען כולל -3Q.

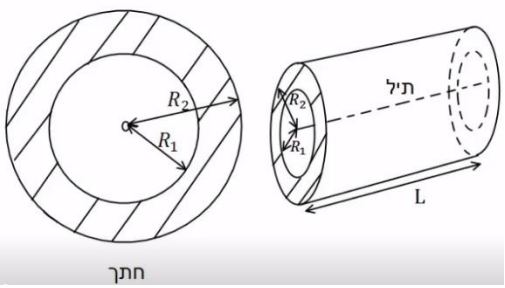


הכדורים והקליפות קוצנטריים (בעלי מרכז משותף).

א. מצא את השדה בכל המרחב.

ב. מצא את התפלגות המטען בכל המרחב.

4) תיל וקליפה גלילית עבה



במערכת הבאה ישנו תיל באורך L הטעון במטען כולל Q. התיל נמצא במרכזה של קליפה גלילית עבה ומוליכה בעלת רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2.

אורך הקליפה הוא L גם כן והיא ניטרלית. הנח שאורך התיל והקליפה גדול בהרבה מהרדיוסים.

א. מהי צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל?

ב. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

ג. מהי צפיפות המטען על שפת הקליפה?

תשובות סופיות:

1) א. $E=\begin{cases}\frac{kQ}{r^2} & r<R_1\\ 0 & R_1<r<R_2\\ \frac{kQ}{r^2} & R_2<r\end{cases}$

ב. $\sigma_1=\frac{q_1}{4\pi R_1}\ ,\ \sigma_2=\frac{q_2}{4\pi R_2}$

2) א. $E=\begin{cases}0 & r<R\\ \frac{kQ_1}{r^2} & R<r<2R\\ \frac{k\left(Q_1+Q_2\right)}{r^2} & 3R<r\end{cases}$

ב. $\sigma_1=\frac{Q_1}{4\pi R^2}\ ,\ \sigma_2=\frac{-Q_1}{4\pi 4R^2}\ ,\ \sigma_3=\frac{q_3}{4\pi\left(3R\right)^2}$

ג. $F=q\frac{kQ_1}{\left(1.5R\right)^2}$

3) א. $E=\begin{cases}0 & r<R\\ \frac{kQ}{r^2} & R<r<2R\\ \frac{k3Q}{r^2} & 2R<r<3R\\ 0 & 3R<r<4R\\ 0 & 4R<r\end{cases}$

ב. $\sigma_1=\frac{Q}{4\pi R^2}\ ,\ \sigma_2=\frac{Q}{8\pi R^2}\ ,\ \sigma_3=\frac{-3Q}{4\pi 9R^2}$

4) א. $\lambda=\frac{Q}{L}$

ב. $E=\begin{cases}\frac{2k\lambda}{r} & r<R_1\\ 0 & R_1<r<R_2\\ \frac{2k\lambda}{r} & R_2<r\end{cases}$

ג. $\sigma_1=-\frac{\lambda}{2\pi R_1}$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 7 - חומרים דיאלקטריים

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים 17

הסברים ותרגילים:

רקע:

חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)

בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.

השדה השקול בתוך החומר (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה):

$$\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r}$$

$\vec{E}_T$ - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר.

$\vec{E}_0$ - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר).

ε_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.

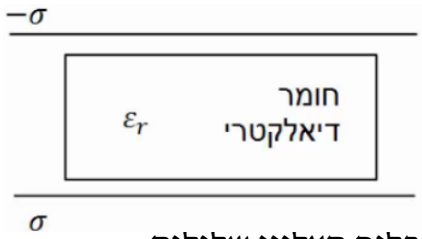
לפעמים נתון המקדם הדיאלקטרי (הלא יחסי) והקשר הוא:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

כאשר $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85\frac{c^2}{N\cdot m^2}$ הוא המקדם הדיאלקטרי של הריק

שאלות:

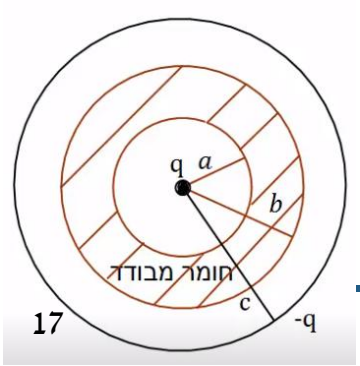
1) חומר דיאלקטרי בין שני לוחות



חומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_r = 2$ מוכנס בין שני לוחות גדולים מאוד, הטעונים בצפיפות מטען משטחית: $\sigma = 3\cdot 10^{-3}\frac{\text{c}}{\text{m}^2}$.

מהו השדה החשמלי בתוך החומר, אם הצפיפות בלוח העליון שלילית ובתחתון חיובית.

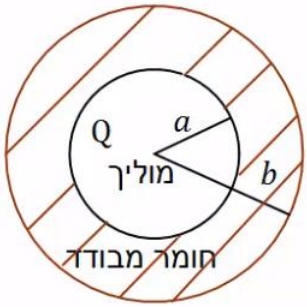
2) מטען נקודתי בתוך מעטפת דיאלקטרית



מטען נקודתי $q = 2\cdot 10^{-6}\text{c}$ מוקף במעטפת כדורית מבודדת בעלת רדיוס פנימי $a = 5\text{c.m}$ ורדיוס חיצוני $b = 8\text{c.m}$. המקדם הדיאלקטרי של המעטפת המבודדת הוא: $\varepsilon_r = 3$. את כל המערכת עוטפת

קליפה מוליכה דקה ברדיוס $c=10c.m$ הטעונה במטען $-q=-2\cdot10^{-6}c$.
מהו השדה החשמלי בכל המרחב אם הקליפה המבודדת אינה טעונה?

3) כדור מוליך בתוך מעטפת דיאלקטרית



כדור מוליך ברדיוס a טעון במטען Q.
הכדור מוקף במעטפת עבה העשויה חומר דיאלקטרי בעל מקדם ε_r. הרדיוס הפנימי של המעטפת הדיאלקטרית צמוד לרדיוס הכדור a והרדיוס החיצוני שווה ל- b.
הבא את השדה החשמלי בכל המרחב באמצעות הפרמטרים של הבעיה.

תשובות סופיות:

1) $E=1.7\cdot10^{8}\frac{N}{C}$

2)
$$E=\begin{cases}\frac{kq}{r^2} & r<a\\ \frac{kq}{\varepsilon_r r^2} & a<r<b\\ \frac{kq}{r^2} & b<r<c\\ 0 & c<r\end{cases}$$

3)
$$E=\begin{cases}0 & r<a\\ \frac{kQ}{\varepsilon_r^{\,2}} & a<r<b\\ \frac{kQ}{r^2} & b<r\end{cases}$$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 8 - מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית

תוכן העניינים

1. עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי 20
2. פוטנציאל ומתח 22
3. פוטנציאל במוליכים 26
4. תרגילים נוספים 28

עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי:

שאלות:

1) עבודה להביא מטען מהאינסוף

מהי העבודה הדרושה להביא מטען $Q_1 = 2\cdot10^{-6}c$ מהאינסוף למרחק $r = 50cm$ ממטען $Q_2 = 3\cdot10^{-6}c$ המקובע במקום?

2) מטען מגיע עם מהירות מהאינסוף

מטען $Q_1 = 4\cdot10^{-5}c$ בעל מסה $m = 10^{-3}kg$ נע מהאינסוף במהירות $v_0 = 20\frac{m}{sec}$ כלפי מטען $Q_2 = 5\cdot10^{-5}c$ המקובע למקום.

א. מהו המרחק בו ייעצר רגעית המטען?

ב. מהי מהירות המטען כאשר מרחקו $100m$?

3) עבודה להרחיק שני מטענים

חשב את העבודה הדרושה להרחיק שני מטענים: $Q_1 = 3\cdot10^{-6}c$, $Q_2 = -4\cdot10^{-6}c$ ממרחק $r_1 = 20cm$ למרחק $r_2 = 40cm$.

בדוק האם הסימן הגיוני.

4) עבודה להכניס מטען לתוך קליפה טעונה

חשב את העבודה הדרושה להביא מטען של $Q_1 = 3\cdot10^{-5}c$ לתוך קליפה כדורית ברדיוס $R = 0.8m$ הטעונה בצפיפות מטען משטחית $\sigma = 2\cdot10^{-3}\frac{c}{m^2}$.

5) עבודה של לוח אינסופי

מטען $Q = 2\cdot10^{-6}C$ נמצא במרחק $d = 30c.m$ מלוח אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח $\sigma = 5\cdot10^{-3}\frac{c}{m^2}$.

חשב את העבודה הדרושה להביא את המטען אל הלוח.

6) מטען זז בין שני לוחות

שני לוחות גדולים מאוד טעונים בצפיפויות מטען משטחיות הפוכות $\sigma = \pm 3\cdot 10^{-3}\frac{c}{m^2}$.

המרחק בין הלוחות הוא $d = 5cm$.

מצא את העבודה הדרושה להעביר מטען של $Q = 2\cdot 10^{-6}c$ מהלוח השלילי אל הלוח החיובי. הזנח את השפעת המטען על השדה של הלוחות.

תשובות סופיות:

1) $W = 108\cdot 10^{-3}J$

2) א. $r = 90m$ ב. $v_F \approx 6.32\frac{m}{sec}$

3) $W = 0.27J$, כן.

4) $W = 5.43\cdot 10^{3} - 0$

5) $W = 170J$

6) $W = 33.9J$

פוטנציאל ומתח:

שאלות:

1) פוטנציאל שיוצר מטען בשתי נקודות

חשב את הפוטנציאל שיוצר המטען $Q_1 = 2\cdot10^{-6}c$ במרחק $r_1 = 0.8m$

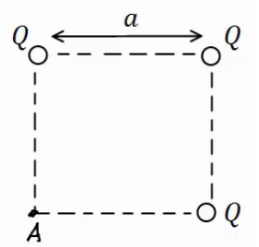
ובמרחק $r_2 = 0.3m$ מהמטען.

מהי העבודה הדרושה להזיז את המטען $Q_2 = 5\cdot10^{-6}c$ מהמרחק הראשון למרחק השני?

2) 3 מטענים בפינות של ריבוע

בשלוש פינות של ריבוע מקובעים שלושה מטענים זהים $Q = 2\cdot10^{-5}c$.

אורך צלע הריבוע היא $a = 3cm$.

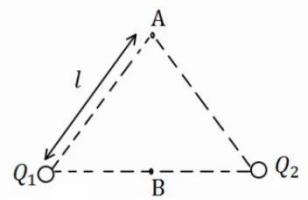


א. חשב את הפוטנציאל בפינה הרביעית של הריבוע.

ב. חשב את הפוטנציאל במרכז הריבוע.

ג. חשב את העבודה הדרושה להזיז את המטען $q = 3\cdot10^{-6}c$ ממרכז הריבוע לקצה הריבוע.

3) שני מטענים על משולש שווה צלעות



שני מטענים זהים $Q_1 = Q_2 = 10^{-6}c$ נמצאים על קדקודיו של משולש שווה צלעות בעל אורך צלע $l = 5cm$.

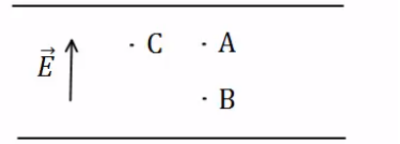
א. מצא את המתח בין הנקודה A הנמצאת בקודקוד השלישי של המשולש לבין הנקודה B הנמצאת באמצע הצלע המחברת את שני המטענים.

ב. חשב את העבודה הדרושה להביא מטען של $q = 5\cdot10^{-6}c$ מהקדקוד אל אמצע הצלע.

4) פוטנציאל בין לוחות

שני לוחות גדולים מאוד טעונים במטענים בעלי סימן הפוך.

ידוע כי כיוון השדה בין הלוחות הוא מהלוח התחתון ללוח העליון.



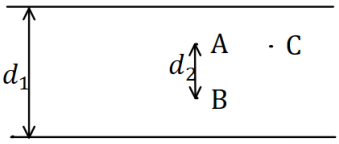
א. איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?

ב. איזה מהלוחות נמצא בפוטנציאל יותר גבוה?

ג. איזו מהנקודות A ו-B נמצאת בפוטנציאל יותר גבוה?

ד. איזה מהנקודות A ו-C, הנמצאות באותו גובה, נמצאת בפוטנציאל גבוה יותר?

5) מתח בין לוחות



שני לוחות גדולים מאוד נמצאים במרחק $d_1 = 40cm$ זה מזה. המתח בין הלוחות הוא $\Delta V = 20V$ וידוע כי הלוח העליון נמצא בפוטנציאל גבוה יותר.

א. איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?

ב. מהו השדה בין הלוחות (גודל וכיוון)?

ג. מהו המתח V_{BA} אם ידוע שהמרחק בין הנקודות A ו Bהוא $d_2 = 5cm$?

ד. מהי העבודה הדרושה להזיז מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6} c$ מ-A ל-B?

ה. מהי העבודה הדרושה להזיז מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6} c$ מ-A ל-C - הנמצאת באותו הגובה של A?

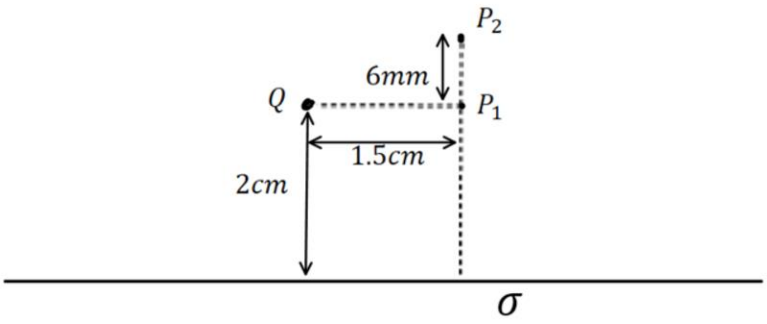
6) פוטנציאל של לוח ומטען נקודתי

מטען נקודתי $Q = 3\mu C$ נמצא בגובה $2cm$ מעל לוח אינסופי הטעון בצפיפות אחידה: $\sigma = 8 \cdot 10^{-4} \frac{C}{m^2}$.

א. מצאו את הפוטנציאל בנקודות שבאיור (הניחו שהפוטנציאל של הלוח הוא אפס על הלוח).

ב. מהי העבודה הדרושה להזיז מטען: $q = 10^{-10} C$ מ- P_1 ל- P_2.

הניחו שהמטען Q והלוח אינם משנים את מיקומם.



7) חישוב שדה ותנועה בין 3 לוחות

שלושה לוחות גדולים מאוד נמצאים אחד אחרי השני ומקביל כפי שמתואר באיור 1. הלוחות טעונים בצפיפויות מטען (אחידות) שונות.
הפוטנציאל כתלות במיקום נתון באיור 2 .

א. חשבו את השדה החשמלי בתחומים:

$0 < x < 15\ cm$ ו- $-15cm < x < 25cm$

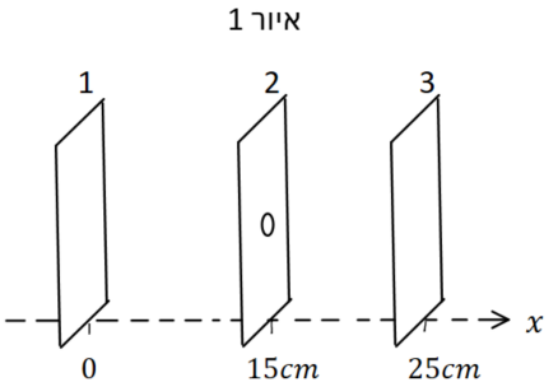
נתון כי צפיפות המטען המשטחית של לוח 1 היא: $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-8}\ {}^{C}/_{m^2}$
וכי צפיפות המטען המשטחית של לוח 3 חיובית.

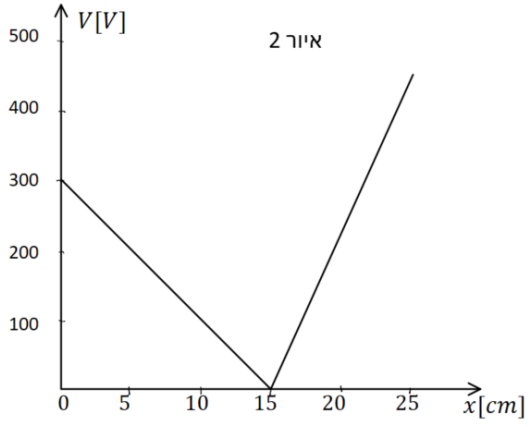
ב. חשבו את σ_2 ו- σ_3.

חלקיק קטן בעל מסה $5 \cdot 10^{-16}kg$ שמטענו q אינו ידוע משוחרר ממנוחה בסמוך ומימין ללוח 1. החלקיק נע לעבר לוח 2 ועובר דרך חור קטן בלוח במהירות: $3 \cdot 10^{6}\ {}^{m}/_{s}$.

ג. מהו מטען החלקיק (כולל הסימן)?

ד. האם החלקיק יגיע ללוח 3? אם כן, מהי תהיה מהירותו? אם לא, היכן ייעצר?





תשובות סופיות:

1) $W = 18.75 \cdot 10^{-2}\,J$

2) א. $V_A = 16.24 \cdot 10^{6}\,V$ ב. $V_B = 25.46 \cdot 10^{6}\,V$

ג. $W = -27.65J$

3) א. $V_{BA} = 3.6 \cdot 10^{5}\,V$ ב. $W_{A\to B} = 1.8J$

4) א. הלוח הטעון במטען חיובי נמצא למטה, והשלילי למעלה.

ב. התחתון. ג. B ד. הפוטנציאל שווה.

5) א. הלוח הטעון במטען חיובי נמצא למעלה, והשלילי למטה.

ב. $E = 50\frac{N}{m}$ ג. $-2.5V$ ד. $-5 \cdot 10^{-6}\,J$ ה. 0

6) א. $V(P_1) = 8.95 \cdot 10^{5}\,V, V(P_2) = 4.90 \cdot 10^{5}\,V$ ב. $-4.05 \cdot 10^{5} J$

7) א.
$$E = \begin{cases} 2000\frac{V}{m} & 0 < x < 15 \\ -4500\frac{V}{m} & 15 < x < 25 \end{cases}$$

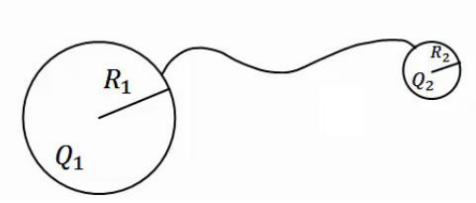
ב. $\sigma_2 = -5.75 \cdot 10^{-8\frac{C}{m^2}}$, $\sigma_3 = 4.21 \cdot 10^{-8\frac{C}{m^2}}$ ג. $q = 7.5\mu C$

ד. לא ב- $x \approx 22_{cm}$

פוטנציאל במוליכים:

שאלות:

1) שני כדורים מוליכים מחוברים



שני כדורים מוליכים בעלי רדיוסים R_1 , R_2 נמצאים במרחק גדול מאוד אחד מהשני.
הכדורים טעונים במטענים Q_1 , Q_2 בהתאמה.
מחברים את הכדורים באמצעות חוט מוליך.
מה היה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

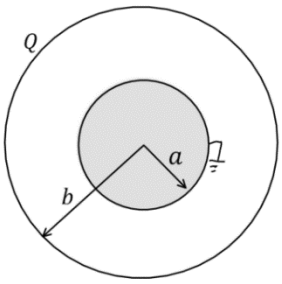
2) מטען נקודתי במרכז קליפה מוארקת

מטען נקודתי Q נמצא במרכזה של קליפה (חלולה) כדורית דקה ומוליה ברדיוס R.
מהו המטען על הקליפה אם ידוע שהיא מוארקת?

3) כדור בתוך קליפה

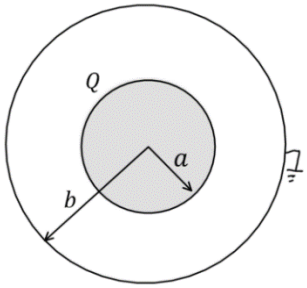
קליפה כדורית מוליכה ודקה בעלת רדיוס b טעונה במטען Q.
במרכז הקליפה נמצא כדור מוליך בעל רדיוס a המוארק לאדמה.

א. מהו המטען על הכדור?



כעת הכדור טעון במטען Q (ואינו מוארק), והקליפה החיצונית מוארקת.

ב. מהו מטענה של הקליפה המוארקת?



תשובות סופיות:

1) $q_1' = (Q_2 + Q_1)\frac{R_1}{R_1 + R_2}$, $q_2' = (Q_2 + Q_1)\frac{R_2}{R_1 + R_2}$

2) $q = Q$

3) א. $-\frac{a}{b}Q$ ב. $-Q$

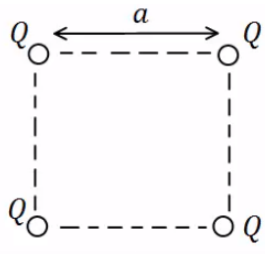
תרגילים נוספים:

שאלות:

1) אנרגיה חשמלית של מערכת

מצא את האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של שני מטענים זהים: $Q_1 = Q_2 = 3\cdot10^{-6}\text{c}$ הנמצאים במרחק 80 ס״מ זה מזה.

2) מטענים בפינות ריבוע



בארבעת הפינות של ריבוע בעל צלע $a = 0.5\text{m}$ ישנם מטענים זהים שגודלם הוא: $Q = 2\cdot10^{-7}\text{c}$.

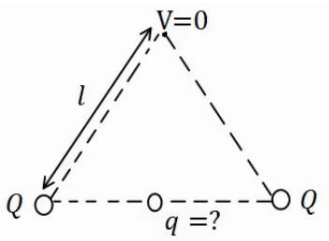
א. מהי העבודה הדרושה לבניית המערכת?

ב. מהו הפוטנציאל בנקודה הנמצאת באמצע אחת מצלעות הריבוע?

ג. מהי העבודה הדרושה להבאת מטען $q = 3\cdot10^{-8}\text{c}$ לנקודה מסעיף ב׳?

ד. מהי האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של המערכת לאחר סעיף ג׳?

3) מטען שמאפס פוטנציאל בקודקוד



בשני קודקודיו של משולש שווה צלעות נמצאים מטענים זהים שגודלם הוא: $Q = 2\cdot10^{-5}\text{c}$.

מטען נוסף, q, מונח במרכז הצלע שביניהם.

אורך הצלע של המשולש הוא: $l = 20\text{cm}$.

א. מצא את גודלו של המטען q כך שהפוטנציאל בקודקוד השלישי יתאפס.

ב. חזור על סעיף א׳ אם המטען q נמצא במרכזה של צלע אחרת במשולש.

4) פוטנציאל בנקודה מסוימת

בנקודה מסוימת קיים פוטנציאל של 15V.

א. מהי העבודה להביא מטען שגודלו $1c$ מהאינסוף לנקודה זו?

ב. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של $Q = 2\cdot10^{-6}c$ לנקודה זו?

ג. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של $Q = -3\cdot10^{-6}\text{c}$ מפוטנציאל של $V = 5\text{V}$ לנקודה זו?

ד. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של $Q = 2\cdot10^{-6}\text{c}$ מנקודה זו לפוטנציאל של 10V?

5) עבודה לא תלויה במסלול

מטען נקודתי $Q_1 = 10^{-5}c$ ממוקם בראשית הצירים.

מטען נקודתי נוסף $Q_2 = 2\cdot10^{-5}c$ ממוקם ב-$(0.8m, 0)$.

א. מצא את הפוטנציאל בנקודות: $C(0.8m,1m)$, $B(1.5m,1m)$, $A(1.5m,0)$.

ב. מהי העבודה הדרושה להעביר את המטען $q = 3\cdot10^{-6}c$ מנקודה A ל-B?

ג. מהי העבודה הדרושה להעביר את אותו המטען מנקודה B אל נקודה C?

ד. מהי העבודה הדרושה להעביר את אותו המטען מנקודה A לנקודה C, דרך הקו הישר בין הנקודות?

6) אלקטרון מואץ בהפרש פוטנציאלים

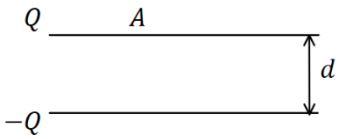
אלקטרון מואץ בהפרש פוטנציאלים של $300V$.
האלקטרון מתחיל תנועתו ממנוחה.

א. מהו ההפרש בין האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של האלקטרון בתחילת התנועה לסוף התנועה, ביחידות של אלקטרון וולט וביחידות של ג'אול?

ב. מהי מהירות האלקטרון בסוף התהליך?

$m_e = 9.11\cdot10^{-31}kg$, $q_e = -1.6\cdot10^{-19}c$.

7) פרוטון נע בין לוחות



שני לוחות גדולים בעלי שטח $A = 2m^2$ נמצאים במרחק $d = 10cm$ אחד מהשני.
טוענים את אחד הלוחות במטען $Q = 6\cdot10^{-3}c$,
ואת הלוח השני במטען זהה והפוך בסימנו.

א. חשב את צפיפות המטען ליחידת שטח על כל לוח.

ב. מהו השדה בין הלוחות?

ג. מהו המתח בין הלוחות?

ד. פרוטון משוחרר ממנוחה קרוב מאוד ללוח החיובי.
מהי מהירות הפרוטון בהגיעו ללוח השלילי?

$m_p = 1.67\cdot10^{-27}kg$, $q_p = 1.6\cdot10^{-19}c$

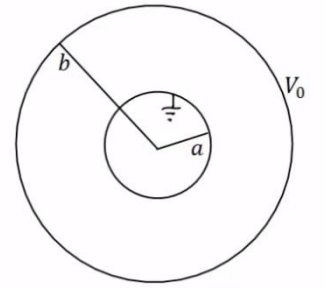
8) פוטנציאל של כדור מוליך

כדור מוליך שרדיוסו $R = 20cm$ טעון במטען $Q = 3\cdot10^{-6}c$.

א. מהו השדה החשמלי במרחק $r_1 = 25cm$ ובמרחק $r_2 = 15cm$ ממרכז הכדור?

ב. מהו הפוטנציאל באותם מרחקים?

9) מטענים על קליפות



במערכת הבאה ישנם שתי קליפות כדוריות מוליכות, דקות, ברדיוסים a , b. הקליפה החיצונית מוחזקת במתח V_0 והקליפה הפנימית מוארקת.
השתמש בפוטנציאל של קליפה כדורית בודדת ובעקרון הסופרפוזיציה וחשב את המטען על כל קליפה.

10) מתח בין שני כדורים מוליכים

שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים: $R_1 = 1m$ ו- $R_2 = 1.4m$,
טעונים במטענים: $Q_1 = 2\cdot10^{-6}c$ ו- $Q_2 = 6\cdot10^{-6}c$.

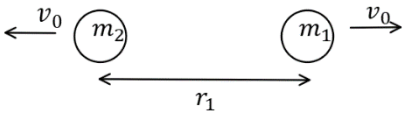
א. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שפות הכדורים, אם הם מרוחקים מאוד זה מזה.
ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שתי הנקודות הכי קרובות של הכדורים, אם המרחק בין מרכזיהם הוא $d = 5m$.
הנח שהתפלגות המטען על כל כדור עדיין אחידה.

11) שני מטענים מתרחקים

שני גופים בעלי מסות $m_1 = 20gr$ ו- $m_2 = 60gr$ ומטענים ו- $Q_2 = 6\cdot10^{-6}c$
נמצאים במרחק $r_1 = 80cm$ זה מזה, ובמנוחה.

א. מה תהיה מהירות הגופים כאשר המרחק ביניהם הוא $r_2 = 1.2m$?
ב. מה תהיה מהירות הגופים לאחר זמן רב מאוד?

12) שני מטענים מתרחקים ומתקרבים



שני גופים בעלי מסות $m_1 = 25gr$ ו- $m_2 = 50gr$
ומטענים $Q_1 = 4\cdot10^{-6}c$ ו- $Q_2 = -5\cdot10^{-6}c$ נמצאים
במרחק $r_1 = 1m$ זה מזה.
לגופים מהירות התחלתית כך שאחד מתרחק מהשני.
גודל המהירות ההתחלתית של שני הגופים הוא $v_0 = 5\frac{m}{sec}$.

א. מה תהיה מהירות הגופים כאשר המרחק ביניהם הוא $r_2 = 5m$?
ב. מהו v_0 המינימאלי עבורו הגופים לא יפגשו לעולם?
ג. כעת ננית כי v_0 שווה לחצי מהערך שחישבת בסעיף ב'.
מהו המרחק המקסימאלי אליו יגיעו הגופים?
ד. מצא את מהירות הגופים כאשר $r_3 = 0.5m$.

13) 1000 טיפות שמן

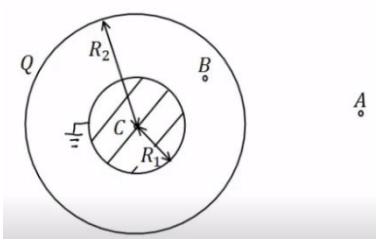
1000 טיפות שמן זהות טעונות במטען זהה ונמצאות בפוטנציאל זהה v_1.

הטיפות מתחברות לטיפה אחת גדולה. מהו הפוטנציאל של הטיפה הגדולה (v_1 נתון)?

רמז: ניתן להתייחס לכל טיפה ככדור מוליך.

14) כדור מוליך מוארק בתוך קליפה כדורית

כדור מוליך ברדיוס $R_1 = 5c.m.$ נמצא בתוך ובמרכזה של קליפה כדורית דקה.



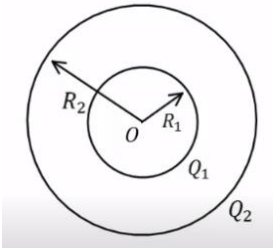
רדיוס הקליפה הוא: $R_2 = 10c.m.$ והמטען עליה הוא: $Q = 3\cdot10^{-7}c$. מאריקים את הכדור.

א. מצא את המטען על שפת הכדור.

ב. מהו הפוטנציאל בנקודות: $r_C = 0$, $r_B = 7c.m.$, $r_A = 20c.m.$?

ג. מהי העבודה הדרושה להזיז את המטען $Q = 10^{-10}c$ מ- r_A ל- r_C?

15) שתי קליפות קוצנטריות מחוברות בחוט



קליפה כדורית (כדור חלול) שהרדיוס שלה R_1 נמצאת בתוך קליפה כדורית שהרדיוס שלה R_2, ולשתי הקליפות מרכז משותף O (ראה תרשים). הקליפה הפנימית טעונה במטען חשמלי חיובי Q_1, והקליפה החיצונית טעונה במטען חשמלי חיובי Q_2. שתי הקליפות עשויות מחומר מוליך.

א. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הגודל של השדה החשמלי ששתי הקליפות יוצרות בכל אחת מהנקודות הבאות:

i. הנקודה O.

ii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה הפנימית, אך קרובה אליה מאוד, מרחקה מ-O ייחשב ל- $-R_1$.

iii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה החיצונית, אך קרובה אליה מאוד, מרחקה מ-O ייחשב ל- R_2.

ב. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הפוטנציאל החשמלי הכולל ששתי הקליפות יוצרות בכל אחת משלוש הנקודות הבאות:

i. הנקודה O.

ii. נקודה על פני הקליפה הפנימית.

iii. נקודה על פני הקליפה החיצונית.

ג. מחברים את שתי הקליפות באמצעות תיל מוליך דק שהתנגדותו זניחה, ולכן חלקיקים טעונים יכולים לעבור ביניהן.
בטא, באמצעות נתוני השאלה, את המטען החשמלי על כל אחת משתי הקליפות לאחר שנפסק הזרם בתיל.

16) כדור טעון מבודד מול מישור טעון מבודד*

כדור בעל רדיוס $R=3m$, מבודד מבחינה חשמלית, טעון על פניו בצפיפות מטען אחידה: $\sigma_1=5\cdot10^{-9}\frac{C}{m^2}$. במרחק $d=6m$ ממרכז הכדור נמצא משטח מישורי גדול מבודד, הטעון בצפיפות מטען אחידה: $\sigma_2=15\cdot10^{-9}\frac{C}{m^2}$.

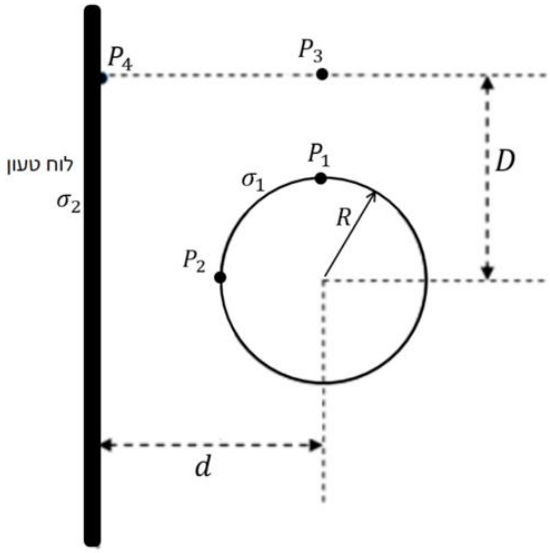
הנקודות P_1 ו-P_2 שבציור נמצאות מחוץ לכדור, אך קרוב מאד לשפתו. הישר המחבר את הנקודות P_3 ו-P_4 ניצב למשטח ומרוחק $D=4m$ ממרכז הכדור. P_4 היא נקודה מימין למשטח, אך מאוד קרובה אליו. הנקודות P_1 ו-P_3 נמצאות בדיוק מעל מרכז הכדור. לעזרתכם: שטח פנים של כדור בעל רדיוס R נתון ע"י $4\pi R^2$.

א. מה ערכו של השדה החשמלי השקול בנקודה P_2?

ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות P_1 ו-P_2 בהתאמה?

ג. מטען קטן: $q=10^{-9}C$ נמצא בנקודה P_3.
מהו ערכו של הכוח החשמלי הפועל על המטען בנקודה זו?

ד. מהי העבודה הדרושה, כדי להעביר את q מהנקודה P_3 לנקודה P_1?



17) כדור בתוך קליפה מוליכה עבה**

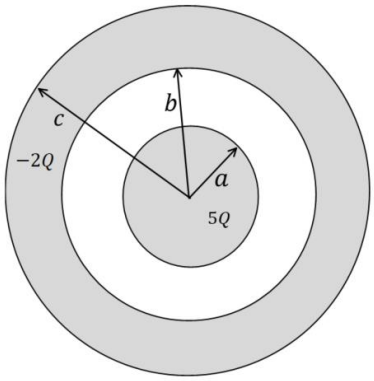
כדור מוליך בעל רדיוס a טעון במטען חיובי 5Q ונמצא בתוך קליפה כדורית מוליכה בעלת רדיוס פנימי b ורדיוס חיצוני c, הטעונה במטען $-2Q$.

לכדור ולקליפה הכדורית יש מרכז משותף.

א. מהו המטען על השפה הפנימית ($r=b$) והחיצונית ($r=c$) של הקליפה הכדורית?

ב. מהו הפוטנציאל החשמלי על השפה הפנימית ($r=b$) והחיצונית ($r=c$) של הקליפה הכדורית? הניחו שהפוטנציאל באינסוף הוא אפס.

ג. מהו הפוטנציאל החשמלי במרכז הכדור ($r=0$)?



תשובות סופיות:

1) $U \approx 0.101J$

2) א. $W \approx 3.9 \cdot 10^{-3} J$ ב. $V_A = 20.84 \cdot 10^3 V$ ג. $W \approx 6.25 \cdot 10^{-4} J$

ד. $W = 4.53 \cdot 10^{-3} J$

3) א. $q = -3.46 \cdot 10^{-5} c$ ב. $q = -2 \cdot 10^{-5} c$

4) א. $W = 15J$ ב. $W = 3 \cdot 10^{-7} J$ ג. $W = -3 \cdot 10^{-5} J$

ד. $W = -10^{-5} J$

5) א. $V_A = 3.17 \cdot 10^5 V$, $V_B \approx 1.97 \cdot 10^5 V$, $V_C = 2.5 \cdot 10^5 V$

ב. $W_{AB} = -3.6 \cdot 10^{-1} J$ ג. $W_{B \to C} = 1.59 \cdot 10^{-1} J$ ד. $W_{AC} = -2.01 \cdot 10^{-1} J$

6) א. $\Delta U = -300eV \ / = 4.8 \cdot 10^{-17} J$ ב. $V_F \approx 1.02 \cdot 10^7 \frac{m}{sec}$

7) א. $\sigma = 3 \cdot 10^{-6} \frac{c}{m^2}$ ב. $E \approx 3.39 \cdot 10^5 \frac{N}{C}$ ג. $V = 3.39 \cdot 10^4 V$

ד. $v = 2.55 \cdot 10^6 \frac{m}{sec}$

8) א. $E(r_1) = 4.32 \cdot 10^5 \frac{N}{C}$, $E(r_2) = 0$

ב. $V(r_1) = 1.08 \cdot 10^5 V$, $V(r_2) = 1.35 \cdot 10^5 V$

9) $q_1 = \frac{bv_0}{k} \cdot \frac{a}{(a-b)}$, $q_2 = -\frac{bv_0}{ka\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right)}$

10) א. $V_{21} \approx 2.06 \cdot 10^4 V$ ב. $V_{ba} = 7.6 \cdot 10^3 V$

11) א. $u_1 \approx -1.84 \frac{m}{sec}$, $u_2 = 0.612 \frac{m}{sec}$ ב. $u_1 = -3.18 \frac{m}{sec}$, $u_2 = 1.06 \frac{m}{sec}$

12) א. $u_1 = 4.62 \frac{m}{sec}$, $u_2 = -4.81 \frac{m}{sec}$ / $u_1 = -7.96 \frac{m}{sec}$, $u_2 = 1.48 \frac{m}{sec}$

ב. $v_{0_{min}} \approx 2.18 \frac{m}{sec}$ ג. $r_{max} = 1.29m$ ד. $u_1 = -3.79 \frac{m}{sec}$, $u_2 = 1.35 \frac{m}{sec}$

13) $V_{1000} = 100 V_1$

14) א. $q = -1.5 \cdot 10^{-7} c$ ב. $V_A = 6.75 \cdot 10^3 V$, $V_B \approx 7.71 \cdot 10^3 V$, $V_C = 0$

ג. $W_{A \to C} = -6.75 \cdot 10^{-7} J$

15) א. i. $E_T = 0$ ii. $E_T = \frac{kQ_1}{R_1^2}$ iii. $E_T = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2^2}$

ב. i. $V_T = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2}$ ii. $V_T(R_1) = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2}$ iii. $V_T(R_2) = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2}$

ג. $q_1' = 0$, $q_2' = Q_1 + Q_2$

16) א. $90\cdot\pi\frac{N}{C}\hat{x}$ ב. $810\pi\text{V}$

ג. $270\cdot\pi\cdot10^{-9}N\hat{x}+101\cdot\pi\cdot10^{-9}N\hat{y}$ ד. $-3.375\cdot10^{-6}\text{J}$

17) א. $q(r=b)=-5Q\ ,\ q(r=c)=3Q$ ב. $V(b)=V(c)=\frac{3KQ}{c}$

ג. $\frac{5KQ}{a}-\frac{5KQ}{b}+\frac{3KQ}{c}$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 9 - זרם מתח ותנגדות

תוכן העניינים

1. הזרם החשמלי 36
2. המתח החשמלי וחוק אוהם 38
3. התנגדות 39
4. כאמ ומתח הדקים 41
5. סיכום הפרק ..... (ללא ספר)
6. תרגילים 42

הזרם החשמלי:

שאלות:

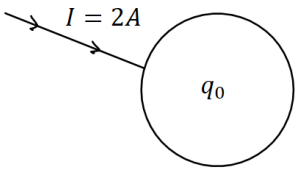
1) פלאפון מחובר למטען

פלאפון המחובר למטען נטען בזרם קבוע של 1 אמפר במשך שעה אחת.

א. מהי כמות המטען שעברה בחוט?

ב. מהו מספר האלקטרונים שעברו בחוט?

2) זרם לתוך כדור מוליך



כדור מוליך טעון במטען של $q_0 = 5c$.

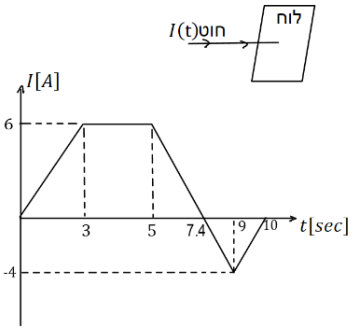
מחברים את הכדור לחוט מוליך והחוט מעביר זרם של 2 אמפר לתוך הכדור.

א. רשום נוסחה המתארת את המטען על הכדור כתלות בזמן.

ב. צייר גרף של המטען על הכדור כתלות בזמן.

ג. צייר גרף של הזרם כתלות בזמן.

3) חוט מחובר ללוח



חוט מוליך מחובר ללוח מוליך שאינו טעון ב-$t = 0$.

בחוט מתחיל לזרום זרם והתלות של הזרם בזמן נתונה לפי הגרף הבא:

א. מהו המטען הכולל בלוח אחרי עשר שניות?

ב. מהו המטען על הלוח אחרי 5 שניות?

4) זרם בנורת להט

הזרם העובר בנורת להט ביתית הוא בערך 1 אמפר.

נניח כי חוטי החשמל בבית עשויים נחושת בקוטר של 0.2 ס"מ.

מספר האלקטרונים החופשיים ליחידת נפח בנחושת הוא: $8.5 \cdot 10^{22} \frac{1}{cm^3}$.

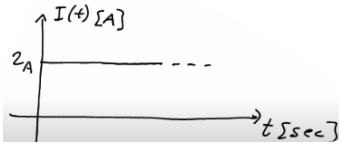
מצא מהי מהירות האלקטרונים בחוטים.

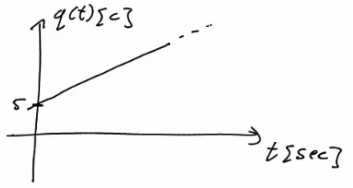
תשובות סופיות:

1) א. $\Delta q = 3600c$ ב. $N_e = 2.25 \cdot 10^{22}$

2) א. $q(t) = 5 + 2 \cdot t$ ב.

ג.





3) א. $\Delta q = 23c$ ב. $q(t=5) = 21c$

4) $v_d = 2.341 \cdot 10^{-5} \frac{m}{sec}$

המתח החשמלי וחוק אוהם:

שאלות:

1) חוק אוהם

על מוליך מסוים הופעל מתח של 5 וולט.
כתוצאה מכך נוצר זרם במוליך של 10mA.

א. מהי ההתנגדות של המוליך?

ב. נניח כי התנגדות המוליך קבועה.
מה יהיה הזרם במוליך אם יופעל עליו מתח של 10 וולט?

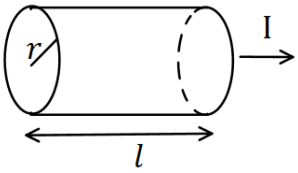
תשובות סופיות:

1) א. $R = 500\Omega$ ב. $I = 20mA$

התנגדות:

שאלות:

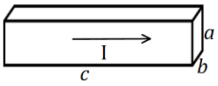
1) נגד גלילי



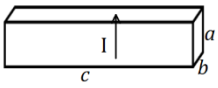
חשב את ההתנגדות של נגד בצורת גליל באורך $l=1m$ ורדיוס בסיס של $r=2mm$. הנגד עשוי מנחושת בעלת התנגדות סגולית $\rho=1.72\cdot10^{-8}\Omega\cdot m$ (הזרם זורם לאורך ציר הסימטריה של הגליל).

2) נגד בצורת תיבה

א)



ב)

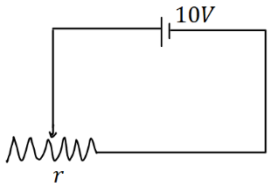


מוליך בנוי בצורת תיבה עם צלעות שאורכן a,b,c.
התייחס לגודל הצלעות ולהתנגדות הסגולית ρ כנתונים.
חשב את התנגדות המוליך בכל אחד מהמקרים הבאים.
שים לב: בכל מקרה הזרם זורם במוליך בכיוון אחר!

3) נגד

מקור מתח בעל מתח של 10 וולט מחובר דרך חוטים אידיאליים (בעלי התנגדות זניחה) לנגד בעל התנגדות $R=2\Omega$.
צייר איור של המעגל וחשב את הזרם בנגד.

4) נגד משתנה



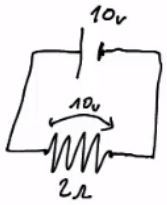
במעגל הבא ישנו מקור מתח בעל מתח של 10 וולט.
המקור מחובר לנגד משתנה בעל התנגדות ליחידת אורך $r=50\frac{\Omega}{m}$.
מה צריך להיות אורך הנגד על מנת שהזרם במעגל יהיה 2A?

תשובות סופיות:

1) $R = 0.00137\Omega$

2) א. $R = \rho \cdot \frac{c}{a \cdot b}$ ב. $R = \rho \cdot \frac{a}{b \cdot c}$

3) $I = 5A$,



4) $x = 10cm$

כאם ומתח הדקים:

שאלות:

1) כאם ומתח הדקים

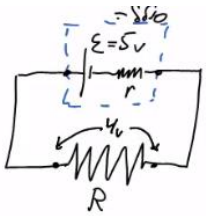
סוללה מייצרת כא"מ של $5V$. לסוללה התנגדות פנימית של $r = 2\Omega$.
מחברים את הסוללה לנגד חיצוני R שהתנגדותו אינה ידועה.
נתון כי הזרם בכל רכיב במעגל זהה ושווה ל- $I = 0.5A$.

א. שרטט תרשים המתאר את המעגל.

ב. חשב את מתח ההדקים שמספקת הסוללה.

ג. מהי ההתנגדות של הנגד?

תשובות סופיות:

1) א. 

ב. $V = 4V$

ג. $R = 8\Omega$

תרגילים:

שאלות:

1) תרגיל 1

מהו הזרם במוליך אם עובר בו מטען של 50 קולון ב 10 שניות?

2) תרגיל 2

כמה אלקטרונים עוברים במוליך בשניה אחת אם זורם בו זרם קבוע של 2 אמפר?

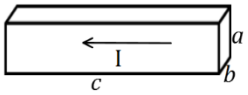
3) תרגיל 3

מהי ההתנגדות של גליל ניקל בעל התנגדות סגולית של $\rho = 7.8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$,
שאורכו 20 ס"מ ורדיוסו 3 מ"מ?

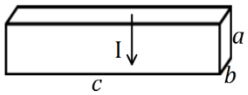
4) תרגיל 4

תיבה בעלת צלעות: $a = 3mm, b = 2mm, c = 4cm$
עשויה מחומר בעל התנגדות סגולית $\rho = 10^{-8} \Omega \cdot m$.
מצא את התנגדות התיבה בשני המקרים הבאים:

א)



ב)



5) תרגיל 5

בנגד גלילי בעל שטח חתך $A = 2mm^2$ זורם זרם של $I = 20mA$.
צפיפות האלקטרונים החופשיים בנגד היא: $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{m^3}$.
מהי מהירות האלקטרונים בנגד?

6) תרגיל 6

נגד בעל שטח חתך $A = 2cm^2$ ואורך $l = 4cm$ עשוי מחומר בעל התנגדות סגולית $\rho = 10^{-2} \Omega \cdot m$. מחברים את הנגד באמצעות חוטים בעלי התנגדות זניחה למקור מתח אידיאלי של $5V$.

א. מהו הזרם בנגד?

ב. מהי מהירות המטענים בנגד, אם מספר האלקטרונים החופשיים הוא: $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{m^3}$?

7) תרגיל 7

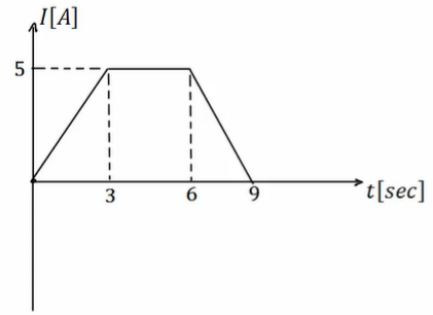
סוללה בעלת מתח $6V$ מחוברת לנגד משתנה.
כאשר אורך הנגד הוא $l=6cm$ הזרם במעגל הוא $1A$.
מהי ההתנגדות ליחידת אורך של הנגד?

8) תרגיל 8

סוללה עם כא"מ של $4V$ מחוברת למעגל חשמלי.
במעגל זורם זרם $I=0.5A$.
ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא $r=0.5\Omega$.
מהו מתח ההדקים של הסוללה?

9) תרגיל 9

בגרף הבא נתון הזרם במוליך כתלות בזמן.
כמה מטען עבר במוליך?



תשובות סופיות:

1) $I=5A$

2) $N=1.25\cdot10^{19}$

3) $R=5.51\cdot10^{-4}\Omega$

4) א. $R\approx6.67\cdot10^{-5}\Omega$ ב. $R=3.75\cdot10^{-7}\Omega$

5) $v_d=7.35\cdot10^{-7}\frac{m}{sec}$

6) א. $I=2.5A$ ב. $v_d\approx9.19\cdot10^{-7}\frac{m}{sec}$

7) $r=100\frac{\Omega}{m}$

8) $V=3.75V$

9) $\Delta q=30c$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 10 - אנרגיה והספק במעגל החשמלי

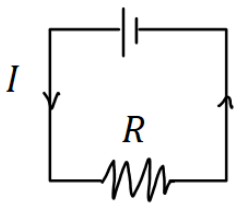
תוכן העניינים

1. עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים 44
2. הספק חשמלי 45
3. תרגילים נוספים 47

עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים:

שאלות:

1) חישובי עבודה ואנרגיה בנגד



בנגד בעל התנגדות $R = 30\Omega$ זורם זרם $I = 0.3A$.

א. כמה מטען עובר בנגד במשך 3 שניות?

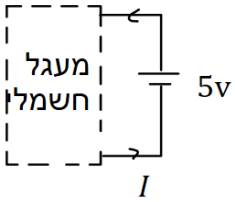
ב. מהו המתח על הנגד?

ג. מהי העבודה שמתבצעת על המטען?

ד. כמה חום נוצר בנגד במשך הזמן הנתון?

ה. כמה אנרגיה איבדה הסוללה במשך הזמן הנתון?

2) חישובי עבודה של סוללה



סוללה מחוברת למעגל חשמלי כלשהו.

המתח בסוללה הוא $V = 5\ Volt$

והזרם במעגל (וגם בסוללה) הוא $I = 0.4A$.

א. כמה מטען עובר דרך הסוללה במשך 2 שניות?

ב. כמה עבודה ביצעה הסוללה במשך הזמן הנתון?

תשובות סופיות:

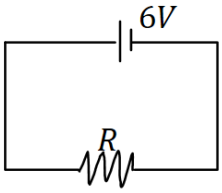
1) א. $\Delta q = 0.9c$ ב. $V = 9V$ ג. $W = 8.1J$ ד. $Q = 8.1J$ ה. $W = 8.1J$

2) א. $\Delta q = 0.8c$ ב. $W = 4J$

הספק חשמלי:

שאלות:

1) הספק של מקור ושל נגד

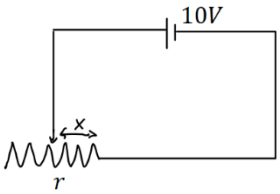


במעגל הבא מקור מתח של 6 וולט מחובר לנגד שהתנגדותו $R = 12\Omega$.

א. מהו ההספק של מקור המתח?

ב. מהו ההספק של הנגד וכמה חום נוצר בנגד כל שניה?

2) הספק בנגד משתנה



במעגל הבא סוללה בעלת מתח של 10 וולט מחוברת לנגד משתנה שהתנגדותו ליחידת אורך היא $r = 100\frac{\Omega}{m}$.

א. מהו ההספק של הנגד כאשר אורכו 5 ס״מ?

ב. מהו ההספק בנגד כאשר אורכו 10 ס״מ?

ג. מהו ההספק בנגד כפונקציה של האורך?

3) נורה במתח אחר

נורה שההספק שלה הוא 100W במתח של 220V חוברה למתח של 110V .
הנח שהתנגדות הנורה קבועה וחשב מה ההספק של הנורה במתח החדש.

4) כמה עולה להפעיל מזגן כל הלילה

מזגן של 1.5 כוח סוס פועל בהספק מרבי.

א. מהי כמות האנרגיה שצורך המזגן בשעה אחת ביחידות של קוט״ש (קילו וואט שעה), כאשר היחס : $1hp = 746Watt$?

ב. תעריף חברת החשמל לצריכת ביתית הוא בערך חצי שקל לקוט״ש.
כמה עולה להפעיל את המזגן כל הלילה (8שעות)?

5) חום שנוצר בנגד

בנגד של 10 אוהם זורם זרם של 0.5 אמפר במשך 4 דקות.
כמה חום נוצר במשך הזמן שבו זרם זרם בנגד?

תשובות סופיות:

1) א. $\rho = 3W$ ב. $\rho = 3W$

2) א. $\rho = 20W$ ב. $\rho = 10W$ ג. $\rho = \frac{1}{x}$

3) $\rho = 25W$

4) א. $W = 1.119kWhr$ ב. 4 ₪.

5) $Q = 600J$

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) תרגיל 1

מקור מתח אידיאלי בעל מתח של 5V מחובר לנגד בעל התנגדות של 10 אוהם.

א. מהו הזרם בנגד?

ב. מהו ההספק בנגד?

ג. כמה חום מיוצר בנגד בעשר שניות?

2) תרגיל 2

על נורה רשום 60W/220V.

א. מהי התנגדות הנורה?

ב. מהי כמות המטען שעברה בנורה במשך דקה אחת?

ג. מהו הספק הנורה במתח של 110V בהנחה שההתנגדות שלה לא משתנה.

3) תרגיל 3

למזגן שני מצבי קירור, במצב הראשון הספקו 1000W ובמצב השני הספקו 1500W. מצא את היחס בין ההתנגדויות בשני המצבים.

4) תרגיל 4

נורה של 60W דולקת במשך שעה כל יום.

מהי צריכת האנרגיה של הנורה במשך חודש ביחידות של kWh?

תשובות סופיות:

1) א. $I=0.5A$ ב. $\rho=2.5W$ ג. $Q=25j \ / \ \approx 5.9cal.$

2) א. $R=807\Omega$ ב. $\Delta q\approx 16.4c$ ג. $\rho\approx 15W$

3) $\frac{R_1}{R_2}=\frac{\rho_2}{\rho_1}=1.5$

4) $E=1.8kWh$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 11 - חיבור נגדים וחוקי קירכהוף

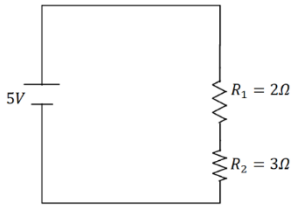
תוכן העניינים

1. חיבור נגדים במעגל 49
2. חוקי קירכהוף 52
3. תרגילים נוספים 53
4. טעינה ופריקה של קבל ..... (ללא ספר)

חיבור נגדים במעגל

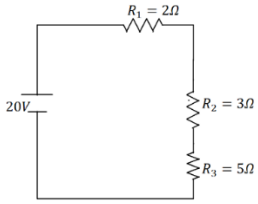
שאלות

1) דוגמה 1



חשב את הזרם במעגל הבא וחשב את ערך הפוטנציאל בין הנגדים (הנח שההדק השלילי נמצא בפוטנציאל אפס).

2) דוגמה 2



חשב את הזרם במעגל הבא ומצא את המתח על כל נגד.

3) דוגמה 3

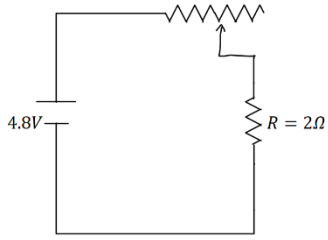
סוללה עם כא"מ של $3V$ והתנגדות פנימית $r = 2\Omega$ מחוברת לנגד $R = 10\Omega$.

א. סרטט איור של המעגל.

ב. מהו הזרם במעגל?

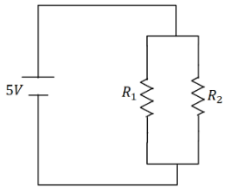
ג. מהו מתח ההדקים של הסוללה?

4) דוגמה 4



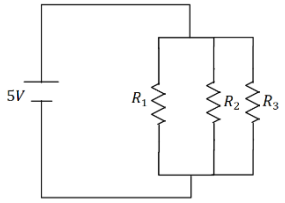
במעגל הבא ישנו מקור מתח אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) המחובר לנגד רגיל ונגד משתנה.
אורך הנגד המשתנה הוא 20 ס"מ והתנגדותו ליחידת אורך היא: $r = 2\frac{\Omega}{m}$.
מהו הזרם במעגל ומהו המתח על כל נגד?

5) דוגמה 5



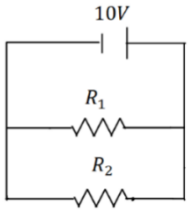
במעגל הבא: $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 2\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

6) דוגמה 6



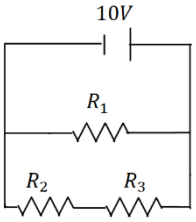
במעגל הבא: $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 4\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

7) דוגמה 7



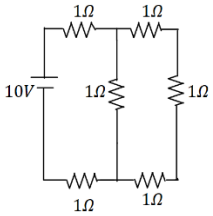
במעגל הבא: $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

8) דוגמה 8



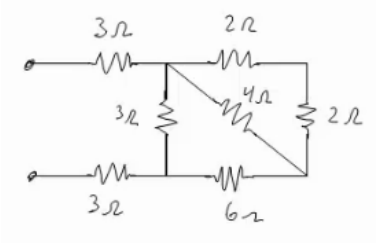
במעגל הבא: $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 1\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

9) דוגמה 9



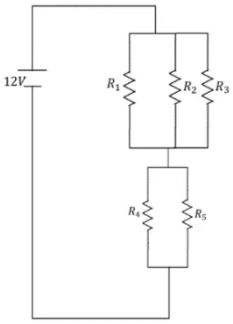
מצא את כל הזרמים במעגל הבא:

10) דוגמה 10



חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני ההדקים.

11) חישוב הספק מעגל



נתון המעגל הבא $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega,\quad R_5 = R_4 = 8\Omega$.

א. מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

ב. חשבו את הספק המעגל והראו כי הוא שווה להספק הסוללה.

ג. מוסיפים נגד כלשהו המחובר בטור לסוללה.

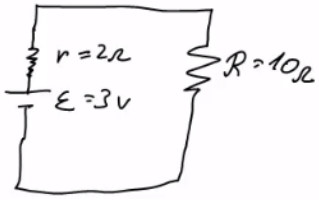
האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

תשובות סופיות

1) $I=1A\ ,\ V_3=3V$

2) $I=2A\ ,\ V_1=4V\ ,\ V_2=6V\ ,\ V_3=10V$

3) א. ב. $I=0.25A$ ג. $V=2.5V$



4) $I=2A\ ,V_r=0.8V\ ,\ V_R=4V$

5) $I=\frac{10}{3}A\ ,\ V_1=\frac{5}{6}A\ ,\ V_2=\frac{5}{2}A$

6) $I=24.5A\ ,\ I_1=14A\ ,\ I_2=7A\ ,\ I_3=3.5A$

7) $I=5.33A\ ,\ I_1=2A\ ,\ I_2=\frac{10}{3}A$

8) $I=5A\ ,\ I_1=2.5A\ ,\ I_2=2.5A$

9) $I=\frac{40}{11}A\ ,\ I_1=\frac{10}{11}A\ ,\ I_2=\frac{30}{11}A$

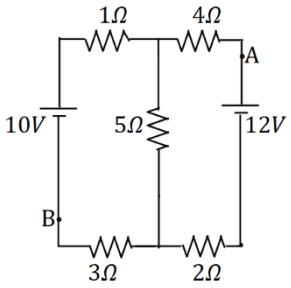
10) $R_T=\frac{66+24}{11}$

11) א. $I_T=2A,\ I_1=I_2=I_3=\frac{2}{3}A,\ I_4=I_5=1A$ ב. $24w$ ג. יקטן.

חוקי קירכהוף:

שאלות:

1) קירכהוף תרגיל 1

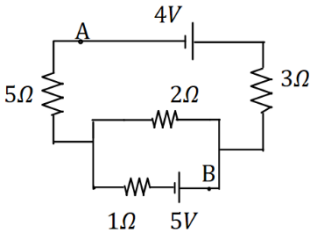


במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

ב. מצא את V_{AB} באמצעות שני מסלולים שונים.

2) קירכהוף תרגיל 2

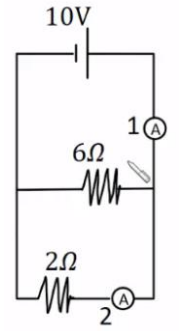


במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

ב. מצא את V_{AB}.

3) דוגמה



מה יראה כל אמפרמטר במעגל הבא בהנחה שהם אידיאליים?

תשובות סופיות:

1) א. $I_1 = 0.67A\ ,\ I_2 \approx 1.46A\ ,\ I_3 \approx 0.79A$ ב. $V_{AB} = 12.49V$

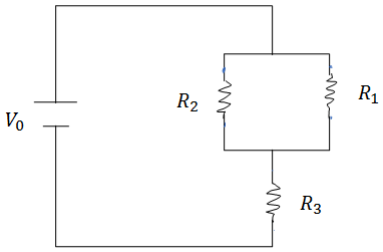
2) א. $I_1 = 0.08A\ ,\ I_2 \approx 1.69A\ ,\ I_3 \approx -1.61A$ ב. $V_{AB} = -3.79V$

3) $A_1 = \frac{20}{3}A\ ,\ A_2 = 5A$

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) תרגיל 1



במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור: $V_0 = 31V$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 5\Omega$.

א. מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל.

ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.

חשב את הזרם והמתח על כל אחד מהנגדים.

2) תרגיל 2

נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R.

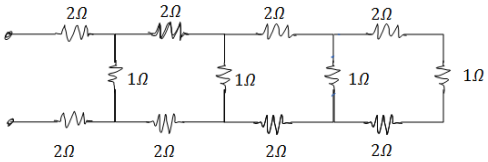
מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.

מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

3) תרגיל 3

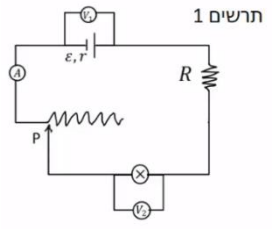
חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:

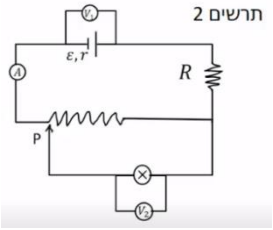
4) תרגיל 4



מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים:

5) תרגיל 5





במעגל הבא (תרשים 1) כל מכשירי המדידה אידיאליים $\varepsilon = 5V$, $R = 2\Omega$, התנגדות הנגד המשתנה היא 8 אוהם. כאשר הגררה P נמצאת בנקודה הכי שמאלית של הנגד המשתנה מדידת האמפרמטר היא 0.2A והוולטמטר $V_1 = 4V$.

א. מהי ההתנגדות הפנימית של הסוללה ומהי התנגדות הנורה?

ב. מהי נצילות המעגל במצב הנתון?

ג. משנים את מיקום הגררה בצורה רציפה, האם הנצילות תגדל/תקטן/לא תשתנה?

מחברים את הקצה השני של הנגד המשתנה כפי שנראה בתרשים 2 כאשר הגררה נשארת בקצה השמאלי של הנגד.

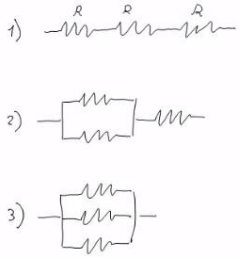
ד. האם הספק הסוללה גדל/קטן או לא השתנה? נמק ללא חישוב.

ה. באיזה מעגל הנורה מאירה בעוצה חזקה יותר? הסבר ללא חישוב.

תשובות סופיות:

1) א. $R_T=\frac{31}{5}\Omega$ ב. $V_3=25V\ ,\ V_{1,2}=6V\ ,\ I_1=3A\ ,\ I_2=2A$

2) $R_{T_1}=3R\ ,\ R_{T_2}=\frac{3}{2}R\ ,\ R_{T_3}=\frac{R}{3}$,



3) $I_1=2A\ ,\ I_2=4A\ ,\ I_3=9A\ ,\ V_1=2V\ ,\ V_2=8V\ ,\ V_3=27V$

4) $R_T=\frac{169}{204}+4$

5) א. התנגדות פנימית: $r=5\Omega$, התנגדות הנורה: $R=18\Omega$

ב. $n=72\%$ ג. תקטן. ד. גדל. ה. ראה סרטון.

יסודות הפיזיקה 2

פרק 12 - קבלים

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 55
2. תרגילים נוספים 65

הרצאות ותרגילים:

רקע:

קבל הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען
קיבול הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא
הנוסחה הבסיסית של קבל:

$$C = \frac{Q}{V}$$

C - הקיבול של הרכיב
V - המתח בין שני החלקים
Q - המטען על הלוח החיובי

יחידות הקיבול הן Farad

$$1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$$

סוגי קבלים נפוצים- קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי. בדר״כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות)

הקיבול של קבל לוחות: $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$

A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.

תכונת הקיבול - הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו) לכן הוא תמיד קבוע במעגל.

סימון הקבל במעגל הוא

כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען , תהליך זה נקרא טעינה.
התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפוך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא יזרום זרם דרך הקבל.
לכן נהוג לומר ש**לאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נתק** במעגל .

חיבור קבלים במקביל:

תנאי- המתח על הקבלים שווה וזהה למתח על הקבל השקול
נוסחה לקבל השקול:

$$C_T = C_1 + C_2$$

המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

חיבור קבלים בטור:
תנאי: המטען על כל הקבלים זהה
נוסחה לקבל השקול:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים

אנרגיה האגורה בקבל:

$$U_c = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$$W = QV = 2U_c$$

חומרים דיאלקטרים בקבל:
הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול

נוסחה לקבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:

$$C' = \varepsilon_r C_0$$

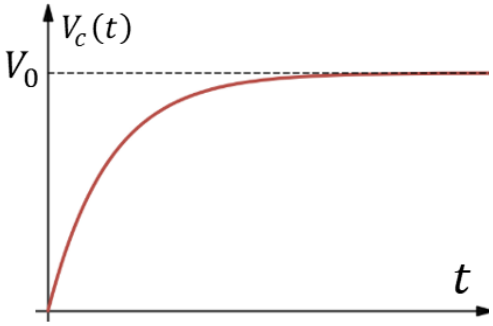
במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד , ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.

טעינה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

$$V_c(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

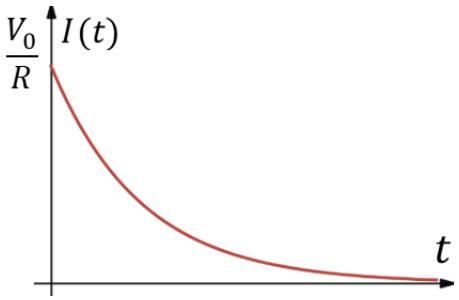
$$q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

V_0 - המתח של הסוללה
R - התנגדות המעגל



הזרם כתלות בזמן:

$$I(t)=\frac{V_0}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$$



פריקה של קבל:

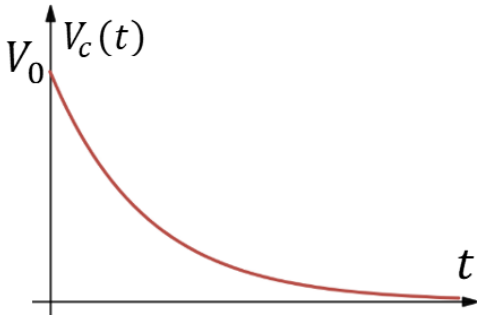
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

$$V_c(t)=V_0e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q_c(t)=CV_0e^{-\frac{t}{RC}}$$

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי $Q_0=CV_0$)

הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה

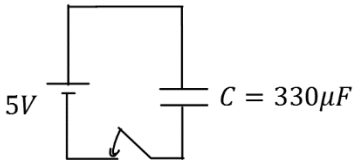


זמן אופייני $\tau=RC$ נהוג להגיד שלאחר זמן של 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

שאלות:

1) קבל ומקור דוגמה בסיסית

קבל בעל קיבול $C=330\mu F$ מחובר לסוללה במתח $V=5V$. סוגרים את המפסק במעגל ומחכים זמן רב.



א. מה יהיה הזרם במעגל?

ב. מה יהיה המתח בין לוחות הקבל?

ג. מה יהיה המטען על הלוחות? ציין איפה יהיה המטען החיובי ואיפה השלילי.

ד. חזור על הסעיפים במקרה שבו מחובר גם נגד בטור במעגל

2) מוציאים מטען מהקבל

קבל טעון במטען של $5\mu c$. מד מתח שמחובר לקבל מראה קריאה של 3 וולט.

א. מצא את הקיבול של הקבל.

כעת מוציאים $2\mu c$ מהמטען על הקבל (ו- $-2\mu c$ מהצד השלילי).

ב. מה יראה מד המתח?

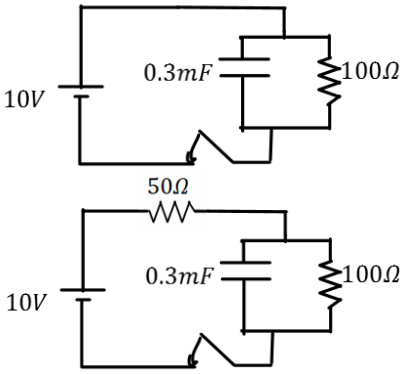
3) קבל במקביל לנגד

במעגל הבא סוגרים את המפסק ומחכים זמן רב.

א. מצא את המתח והמטען על הקבל .

ב. האם יזרום זרם במעגל?
אם כן, מצא את גודלו וכיוונו.

ג. חזור על הסעיפים עבור המקרה בו יש נגד נוסף במערכת (ראה תרשים).



4) חישוב קיבול של קבל לוחות

קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח $2cm^2$ ומרחק בין הלוחות $0.3mm$.

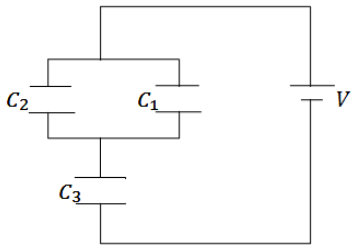
א. חשב את הקיבול של הקבל.

ב. מה יהיה המטען על הקבל אם נחבר אותו למקור מתח $V = 3V$ (לאחר זמן רב)?

5) חיבור במקביל ובטור

במעגל הבא נתון מתח הסוללה $V = 3V$ והקיבול של כל קבל: $C_1 = 2\mu F$, $C_2 = 3\mu F$, $C_3 = 5\mu F$.

מצא את המטען על כל קבל.



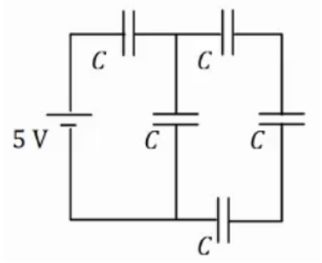
6) חיבור 5 קבלים

במעגל הבא לכל הקבלים קיבול זהה $C = 200\mu F$.

המתח של הסוללה הוא $V = 5V$.

א. מצא את הקיבול השקול של המעגל.

ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל זמן רב לאחר סגירת המעגל.



7) מרחיקים לוחות בקבל

קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח $3cm^3$ ומרחק בין הלוחות $0.4mm$.

א. חשב את הקיבול של הקבל

ב. מה יהיה המטען על הקבל אם נחבר אותו למקור מתח $V = 3V$ (לאחר זמן רב).

כעת מנתקים את הקבל ממקור המתח ומגדלים את המרחק בין הלוחות פי 2.

ג. מצא את הקיבול החדש.

ד. מצא את המטען והמתח על הקבל החדש.

ה. חזור על סעיפים ג' ו-ד', אם היינו מרחיקים את הלוחות מבלי לנתק את מקור המתח.

8) אנרגיה של קבל לוחות

קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח $5cm^2$ ומרחק בין הלוחות $2mm$.

א. חשב את הקיבול של הקבל.

מחברים את הקבל לסוללה במתח 4 וולט.

ב. מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?

9) מקרבים את הלוחות

קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח $6cm^2$ ומרחק בין הלוחות $3mm$.

א. חשב את הקיבול של הקבל.

מחברים את הקבל לסוללה במתח 5 וולט.

ב. מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?

מקרבים את לוחות הקבל למרחק $1mm$.

ג. מצא את האנרגיה החדשה אם הקבל מחובר לסוללה במשך כל התהליך. רשום גם את שינוי האנרגיה בקבל.

ד. חזור על ג' עבור המקרה שבו מנתקים את הקבל מהסוללה לפני שמקרבים את הלוחות.

10) מכניסים חומר לקבל בשתי דרכים

קבל בעל קיבול של $5\mu F$ מחובר למקור מתח של $12V$.

א. חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור.

מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי $\varepsilon_r = 1.2$ הממלא את כל הרווח בין לוחות הקבל.

ב. בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך.
חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב.

ג. חשב את השינוי במטען ובאנרגיה בעקבות הכנסת החומר.

ד. חזור על סעיף ב' אם מנתקים את הקבל מהמקור לפני שמכניסים את החומר הדיאלקטרי.

11) מכניסים ומוציאים חומר מקבל

קבל בעל קיבול של $8\mu F$ מחובר למקור מתח של $12V$.

א. חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור.

מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי $\varepsilon_r = 1.4$ הממלא את כל הרווח בין לוחות הקבל.

ב. בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך.

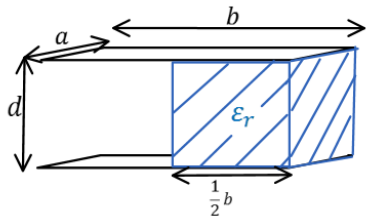
חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב.

כעת מנתקים את הקבל מהמקור ומוציאים את החומר הדיאלקטרי.

ג. מה יהיה המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב?

ד. חשב את שינוי האנרגיה בכל שלב בתהליך.

12) קבל עם חצי ימין מלא



קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$,

ומרחק d בין הלוחות. $a = 3cm$, $b = 4cm$, $d = 2mm$.

א. מצא את הקיבול של הקבל.

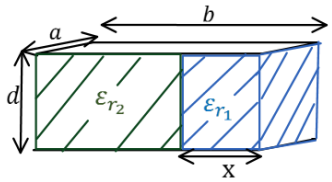
ממלאים את חציו הימיני של הקבל בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_r = 3$ וחציו השמאלי נשאר ריק (ראה איור).

ב. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ג. מחברים את הקבל למקור מתח $V_0 = 5V$.

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

13) קבל עם חלק ימין שונה מחלק שמאל



קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$,

ומרחק d בין הלוחות. $a = 5cm$, $b = 6cm$, $d = 1mm$.

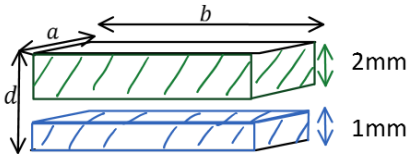
ממלאים את חלק של הקבל ברוחב $x = 1cm$ בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_{r_1} = 4$, ואת החלק הנותר בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_{r_2} = 2$ (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח $V_0 = 5V$.

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

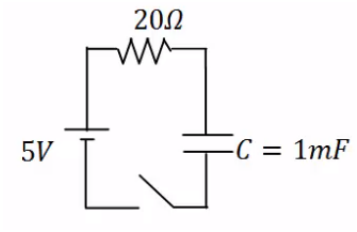
14) קבל עם שלושה חלקים אחד מעל השני



קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$, ומרחק d בין הלוחות. $a = 5\text{cm},\ b = 6\text{cm},\ d = 4\text{mm}$.
ממלאים חלק של הקבל בגובה 1mm ולכל הרוחב בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_{r_1} = 4$.
את החלק מגובה 2mm ועד הלוח העליון ממלאים בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_{r_2} = 2$ (ראה איור).

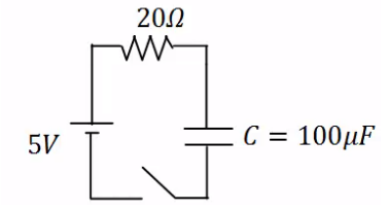
א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.
ב. מחברים את הקבל למקור מתח $V_0 = 5\text{V}$.
כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

15) טעינה



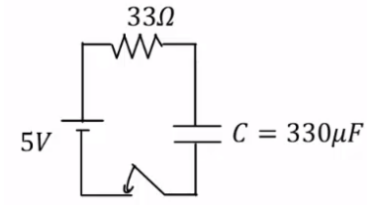
במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 1\text{mF}$,
התנגדות הנגד היא: $R = 20\Omega$ ומתח המקור
הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב-$t = 0$.
א. מהו המטען על הקבל לאחר 0.01 שניות?
ב. המתח על הקבל באותו הרגע?
ג. מהם המטען והמתח על הקבל לאחר 0.1 שניות?

16) זמן אופייני



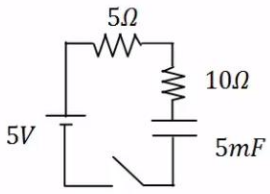
במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 100\mu\text{F}$,
התנגדות הנגד היא: $R = 100\Omega$ ומתח המקור
הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב-$t = 0$.
מהו המטען והמתח על הקבל לאחר 0.3 שניות?

17) חישוב זרם



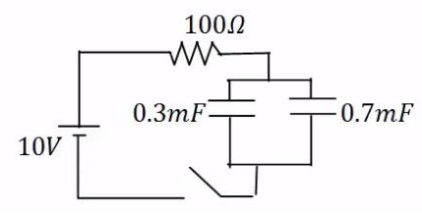
במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 330\mu\text{F}$,
התנגדות הנגד היא: $R = 33\Omega$ ומתח המקור
הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב-$t = 0$.
א. מהו הזרם במעגל ב-$t = 0.005\,\text{sec}$?
ב. מהו ההספק בנגד באותו הרגע?

18) שני נגדים



במעגל הבא סוגרים את המפסק ב-$t = 0$.
א. מהו הזמן האופייני במעגל?
ב. מצא את המתח והזרם בקבל בזמנים: $t = 0.01\ ,\ 0.6\,\text{sec}$.

19) שני קבלים

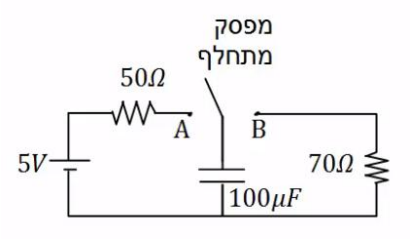


במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$.

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והמטען בכל קבל בזמנים: $t=0.2\ ,\ 0.8\sec$.

20) דוגמה מסכמת



במעגל הבא מחברים את המפסק המתחלף לנקודה A ומחכים זמן רב.

א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.
מהו "זמן רב"?

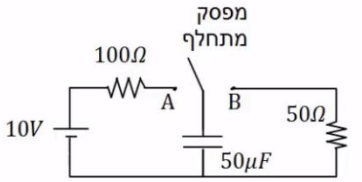
לאחר מכן מעבירים את המפסק לנקודה B.

ב. רשום שוב את המתח על הקבל כתלות בזמן.

21) מתג מתחלף

במעגל הבא מחברים ב- $t=0$ את המפסק המתחלף לנקודה A.

ב- $t=0.01$ מעבירים את המפסק לנקודה B.



א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.

ב. מה המטען על הקבל ב- $t=0.02$?

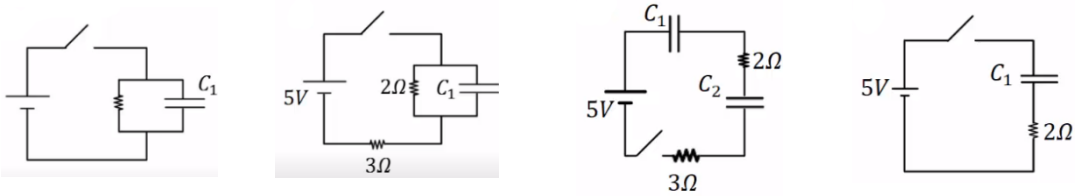
ג. רשום את הזרם כתלות בזמן.

ד. צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

22) מציאת זרם במספר מעגלים

מצא את הזרם, בכל נגד, במעגלים הבאים. ברגע סגירת המתג הנח שהקבלים אינם טעונים לפני הסגירה של המתג וכי הסוללה והחוטים אידיאלים.

א. ב. ג. ד.



23) קבלים במעגל בהתחלה ולאחר זמן רב

נתוני הרכיבים במעגל הבא הם:

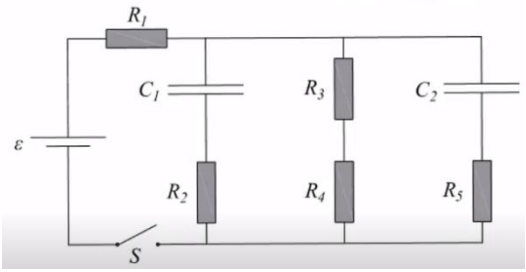
$R_1 = 4\Omega \ , R_2 = 3\Omega \ , R_3 = 2\Omega \ , R_4 = 1\Omega \ , R_5 = 6\Omega \ , \varepsilon = 24V \ , C_1 = 2\mu F \ , C_2 = 4\mu F$

לפני סגירת המפסק הקבלים אינם טעונים.

א. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל ברגע סגירת המפסק?

ב. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל זמן רב לאחר סגירת המפסק?

ג. מהו המטען על כל אחד מהקבלים זמן רב לאחר סגירת המפסק?



תשובות סופיות:

1) א. $I = 0$ ב. $|V_c| = 5V$ ג. $1.65mc$ ד. ללא שינוי.

2) א. $1.67\mu F$ ב. $1.8V$

3) א. $V_c = V_0 = 10V, Q = 3mc$ ב. $I = 0.1A$

ג. $I = 0.067A \ , V_c = 6.7 \ , \ Q = 2.01mc$

4) א. $C \approx 5.9 \cdot 10^{-12} F$ ב. $Q = 17.7pC$

5) $q_1 = 3\mu C \ , \ q_2 = 4.5\mu C \ , \ q_3 = 7.5\mu C$

6) א. $C_{T_1} = \frac{C}{3} \ , \ C_{T_2} = \frac{4C}{3} \ , C_T = 114\mu F$

ב. $q_1 = q_T = 571\mu c \ , q_2 = q_3 = q_4 = q_{T_1} = 143\mu c$

$V_1 = 2.86V \ , \ V_5 = 2.14V \ , \ V_2 = V_3 = V_4 = 0.715V$

7) א. $C = 6.64pF$ ב. $Q = 19.9pc$ ג. $C' = 3.32pF$ ד. $Q' = 19.9pc \ , V' = 6V$

ה. (ג) $C' = 3.32pF$ (ד) $V' = 3V \ , Q' = 9.96pc$

8) א. $C = 2.21pF$ ב. $U_c = 17.68 \cdot 10^{-12} J$

9) א. $C = 1.77pF$ ב. $U_c = 22.13pJ$ ג. $U_c' = 66.375 \ , \ \Delta U = 44.245pJ$

ד. $U_c' \approx 7.38pJ \ , \ \Delta U = -14.76pJ$

10) א. $V_c = 12V \ , Q = 60\mu c \ , U_c = 3.6 \cdot 10^{-4} J$ ב. $C' = 6\mu F \ , \ U_c' = 432\mu J \ , Q' = 72\mu c$

ג. $\Delta Q = 12\mu c \ , \Delta U = 72\mu J$ ד. $V' = 10V \ , U_c = 300\mu J$

11) א. $V_c = 12V \ , Q = 96\mu F \ , U_c = 576\mu J$ ב. $V_c' = 12V \ , Q' = 134.4\mu F \ , U_c' = 806.4\mu J$

ג. $V_c'' = 16.8V \ , Q'' = 134.4\mu F \ , U_c'' \approx 1129\mu J$

ד. במעבר מסעיף א' ל-ב': $\Delta U = 230.4\mu J$, במעבר מסעיף ב' ל-ג': $\Delta U \approx 323\mu J$

12) א. $C=5.31\text{pF}$ ב. $C_T=10.62\text{pF}$ ג. $U_c=132.75\text{pJ}$

13) א. $C_T=61.95\text{pF}$ ב. $Q=309.75\text{pc}\ ,\ U_c=1548.75\text{pJ}$

14) א. $C_T 11.8\text{pF}$ ב. $q=59\cdot10^{-9}\text{c}\ ,\ U_c=1.475\cdot10^{-7}\text{J}$

15) א. $q_C(t)\approx1.97\cdot10^{-3}\text{C}$ ב. $V_C=1.97\text{V}$

ג. $q_C(t=0.1)=4.97\cdot10^{-3}\text{C}\ ,\ V_C=4.97\text{V}$

16) $q_C=5\cdot10^{-4}\text{C}\ ,\ V_C=V_0=5\text{V}$

17) א. $I(0.005)\approx0.096\text{A}$ ב. $P\approx0.305\text{W}$

18) א. $\tau=0.075\,\text{sec}$

ב. $V_C(t=0.01)=0.624\text{V}\ ,\ I(t=0.01)\approx0.292\text{A}\ ,\ V_C(t=\infty)=5\text{V}\ ,\ I(t=\infty)=0$

19) א. $\tau=0.1\text{sec}$

ב. $V_T(t=0.2)=8.65\text{V}\ ,\ q_1(t=0.2)=2.60\cdot10^{-3}\text{C}\ ,\ q_2(t=0.2)=6.01\cdot10^{-3}\text{C}$

20) א. $V_C(t)=5\text{V}\left(1-e^{-\frac{t}{5\cdot10^{-3}}}\right)$ ב. $V_C(t)=5\cdot e^{-\frac{t^*}{7\cdot10^{-3}}}$

21) א.
$$V_C(t)=\begin{cases}10\left(1-e^{-\frac{t}{0.005}}\right) & 0<t<0.01\\ 8.65\cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.01<t\end{cases}$$

ב. $q_C(t=0.02)\approx7.92\cdot10^{-6}\text{C}$

ג.
$$I(t)=\begin{cases}\frac{10}{100}\cdot e^{-\frac{t}{0.005}} & 0<t<0.01\\ \frac{8.65}{50}\cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1<t\end{cases}$$

ד. ראה סרטון.

22) א. $I(t=0)=2.5\text{A}$ ב. $I=1\text{A}$ ג. $I=\frac{5}{3}\text{A}$ ד. $I(t=0)=\infty$

23) א. $I_T=I_1\approx4.62\text{A}\ ,\ I_2\approx1.85\text{A}\ ,\ I_{3,4}=1.85\text{A}\ ,\ I_5\approx0.92\text{A}$

ב. $I_{1,3,4}=3.43\text{A}\ ,\ I_{2,5}=0$

ג. $q_1\approx20.58\cdot10^{-6}\text{C}\ ,\ q_2\approx41.16\cdot10^{-6}\text{C}$

תרגילים נוספים:

שאלות:

תרגילים ברמה א':

1) תרגיל 1 - מציאת מטען

מה המטען המצטבר על קבל של $C=30\mu F$ לאחר זמן רב, אם נחבר אותו למתח של $10V$?

2) תרגיל 2 - קבל לוחות

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A=4cm^2$, שביניהם מרחק של $d=1mm$.

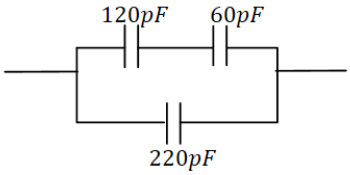
א. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות ריק?

ב. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות מלא בחומר דיאלקטרי אחיד בעל מקדם $\varepsilon_r=2.5$?

ג. מצא את המטען על הקבל, עבור כל אחד מהמקרים בסעיפים הקודמים, אם מחברים את הקבל למקור מתח של $5V$.

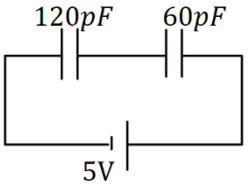
3) תרגיל 3 - חיבור קבלים

מצא את הקיבול השקול של החיבור הבא.



4) תרגיל 4 - חיבור קבלים

מה המטען והמתח על כל קבל במערכת הבאה (זמן רב לאחר חיבור הסוללה)?
ציין איפה המטען החיובי והיכן המטען השלילי בכל קבל.

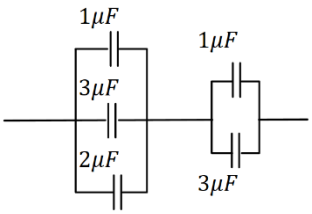


5) תרגיל 5 - חיבור קבלים

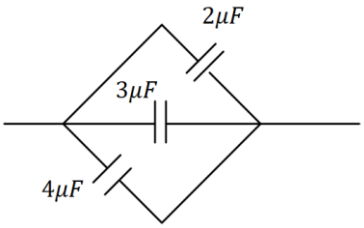
נתונה מערכת הקבלים הבאה:

א. מצא את הקיבול השקול בין שני הקצוות של החוט.

ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של $10V$.



6) תרגיל 6 - יהלום

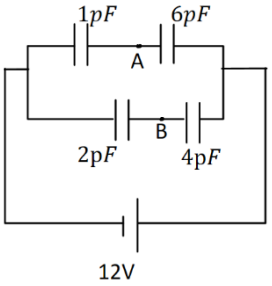


נתונה מערכת הקבלים הבאה:

א. מצא את הקיבול השקול במקרה הבא.

ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של 10V.

7) תרגיל 7 - חיבור קבלים ומציאת מתח

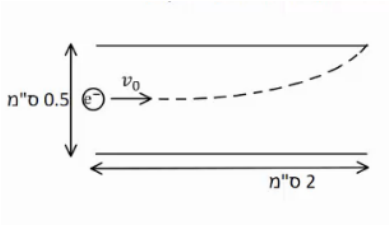


במעגל הבא נתון הקיבול של כל קבל ומתח הסוללה:

א. מצא את המתח על כל קבל והמטען על כל קבל. סמן על כל קבל היכן המטען החיובי.

ב. מהו V_{AB} המתח בין הנקודות A ל-B?

8) תרגיל 8 - אלקטרון נכנס לקבל לוחות



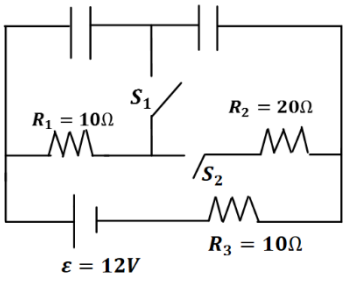
קבל לוחות מורכב משני לוחות ריבועיים בעלי אורך צלע של 2 ס"מ ומרחק בין הלוחות של 0.5 ס"מ.
אלקטרון נכנס במרכז הלוחות עם מהירות, המקבילה ללוחות, שגודלה $v_0 = 10^7 \frac{m}{sec}$ (ראה איור).
האלקטרון פוגע בדיוק בקצה הלוח העליון.

א. חשב את השדה בין הלוחות (גודל וכיוון).

ב. חשב את המתח אליו מחובר הקבל.

תרגילים ברמה ב':

9) תרגיל 1 - מעגלים חשמליים



ענה על הסעיפים הבאים עבור המעגל שבציור, זמן רב לאחר סגירת או פתיחת המתגים.

א. מהו המתח והמטען על כל קבל, כאשר שני המפסקים פתוחים?

ב. סוגרים את S_1. S_2 פתוח.
מהו המתח והמטען של כל קבל?

ג. סוגרים את S_2 ופותחים את S_1. מהו המתח על כל קבל?

ד. הפעם שניהם סגורים. מהו המתח והמטען על כל קבל?

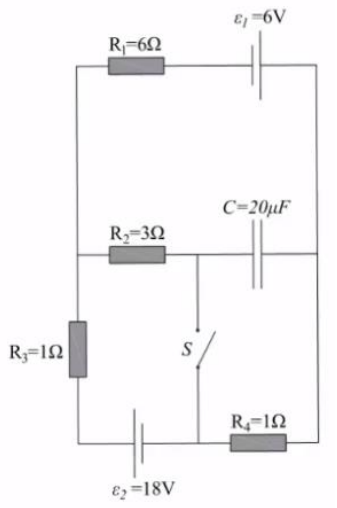
10) תרגיל 2 - מעגלים חשמליים

שני קבלים, האחד של $10\mu F$ והשני של $15\mu F$, חוברו בנפרד למקורות מתח של $6V$ ו-$8V$, בהתאמה. לאחר מכן נותקו ממקורות המתח וחוברו זה לזה.

א. מה יהיה המתח והמטען הסופי על כל קבל, אם הקבלים חוברו כאשר הדקים שווי סימן מחוברים זה לזה?

ב. ללא קשר לסעיף א', מה יהיה המתח והמטען הסופי על כל קבל, אם הקבלים חוברו כאשר הדקים שוני סימן מחוברים זה לזה.

11) תרגיל 3 - מעגלים חשמליים



נתון המעגל החשמלי המופיע בתרשים.
ההתנגדויות הפנימיות של מקורות המתח זניחות.
כאשר המפסק S פתוח והמעגל במצבו היציב:

א. מהו הזרם החשמלי העובר דרך כל אחד מהנגדים?

ב. מהו המטען על לוחות הקבל?

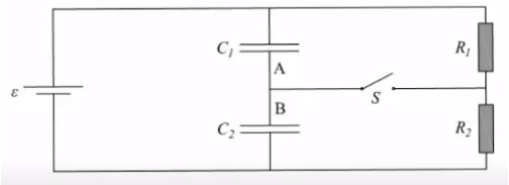
ג. מהו גודל המתח בין הדקי המפסק הפתוח?

סוגרים את המפסק S ומחכים להתייצבות המערכת.

ד. מהו הזרם החשמלי העובר דרך כל אחד מהנגדים?

ה. מהו המטען על לוחות הקבל?

12) תרגיל 4 - מעגלים חשמליים



נתונים שני קבלי לוחות C_1 ו-C_2, ששטח כל לוח הוא $0.02m^2$. המרחק בין לוחות קבל C_1 הוא $1mm$ והמרחק בין לוחות קבל C_2 הוא $3mm$.

א. חשבו את הקיבול של כל אחד מהקבלים.

חיברו את שני הקבלים למעגל הנתון בשרטוט.

נתון: $R_1=5\Omega$, $R_2=10\Omega$, $V,\varepsilon=12$.

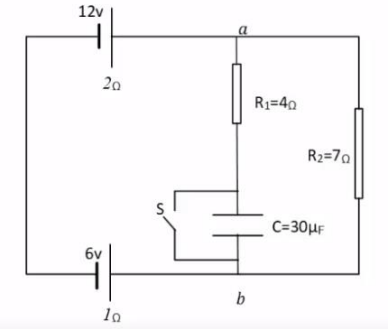
פתור את כל הסעיפים לאחר זמן רב.

ב. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים כאשר המספר S פתוח?

ג. כאשר המפסק S סגור, מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים?

ד. מהו סכום המטען שהצטבר על שני הלוחות A ו-B?

13) תרגיל 5 - מעגלים חשמליים (עם מקור לא אידיאלי)



נתון המעגל החשמלי שבאיור, לכל מקור יש התנגדות פנימית המצוינת מתחת לסימון המקור. כאשר המפסק סגור.

א. מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?

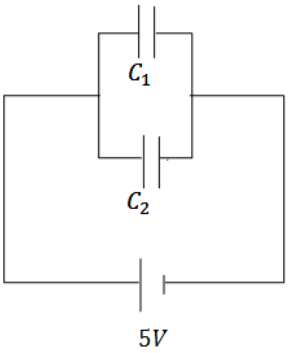
ב. מהו המתח בין הנקודות a ו- b?

כעת פותחים את המפסק ומחכים זמן רב.

ג. מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?

ד. מהו המטען על לוחות הקבל, וכמה אנרגיה אגורה בו?

14) תרגיל 6 - שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי



במעגל הבא קיבול הקבלים הוא: $C_1 = 3\mu F$, $C_2 = 2\mu F$,
והמתח בסוללה הוא $5V$.
לאחר שהקבלים נטענים מנתקים את המקור
ומחליפים אותו בקבל של $C_3 = 5\mu F$.
מצא את המטען המתח והאנרגיה של הקבל החדש,
לאחר שהמערכת מתייצבת.

15) תרגיל 7 - מרחיקים לוחות בקבל לוחות

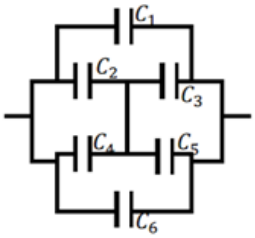
קבל לוחות בעל אורך צלע $a = 2cm$ ומרחק בין הלוחות $d = 1mm$, נטען ע"י סוללה במתח $3V$. אחרי שהקבל נטען במלואו מנתקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק $3d$.

א. מצא את הפרש הפוטנציאל החדש על הקבל.

ב. מצא את האנרגיה ההתחלתית והסופית האגורה בקבל.

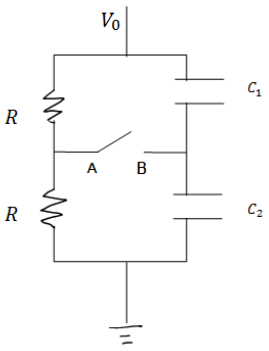
ג. מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.

16) תרגיל 8 - חיבור קונפיגורציית קבלים



נתונה מערכת קבלים המחוברים על פי השרטוט.
מצא את הקיבול השקול של המערכת.

17) תרגיל 9 - קבלים עם מפסק



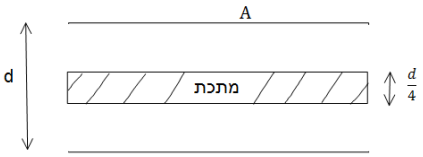
במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע, ונתון V_0 הקצה התחתון מוארק.
נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזהה של הנגדים.

א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין הנקודה A לנקודה B.

ב. סוגרים את המפסק AB. כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת התייצבה?

18) תרגיל 10 - קבל עם פיסת מתכת

קבל לוחות מחובר למקור מתח V. שטח כל לוח בקבל הוא A, והמרחק בין הלוחות הוא d $\left(d \ll \sqrt{A}\right)$.

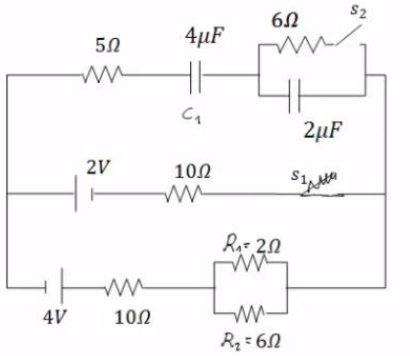


א. מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.

ב. כעת מכניסים לקבל פיסת מתכת בעובי $\frac{d}{4}$ עם שטח A ממרכז הקבל. חזור על סעיף א.

ג. כעת מוציאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את מקור המתח. לאחר הניתוק מכניסים את המתכת חזרה פעם שניה. חזור על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').

19) תרגיל 11



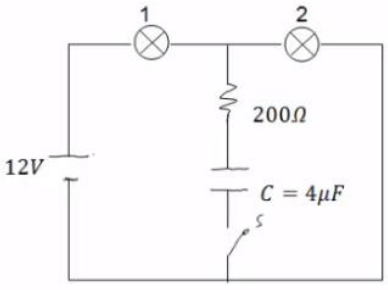
חשב את כל הזרמים במעגל ואת המטען על כל קבל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

א. S_1 פתוח ו-S_2 סגור.

ב. S_2 פתוח ו-S_1 סגור.

ג. שני המפסקים סגורים.

20) תרגיל 12 - שתי נורות



במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של $10V$ הוא $0.5W$. ההספק של נורה מס' 2 באותו המתח הוא $0.4W$. התנגדות הנגד היא 200Ω.

א. חשב את התנגדות המתח וההספק החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.

ב. חשב את המתח על הקבל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.

תשובות סופיות:

1) $Q = 0.3mF$

2) א. $C = 3.54pF$ ב. $C' = 8.85pF$ ג. $Q_A = 17.7pc\ ,\ Q_B = 44.25pc$

3) $C_T = 260pF$

4) $Q_1 = Q_2 = 200pc\ ,\ V_{C_1} = 1.67V\ ,\ V_{C_2} = 3.33V$

5) א. $C_T = 2.4\mu F$

ב. $V_{4,5} = 6V\ ,\ V_{1,2,3} = 4V\ ,\ Q_1 = 4\mu C\ ,\ Q_2 = 12\mu C\ ,\ Q_3 = 8\mu C\ ,\ Q_4 = 6\mu C\ ,\ Q_5 = 18\mu C$

6) א. $C_T = 9\mu F$ ב. $V_T = 10V\ ,\ Q_1 = 20\mu C\ ,\ Q_2 = 30\mu C\ ,\ Q_3 = 40\mu C$

7) א. $Q_{1,2} = 10.29\mu C\ ,\ Q_{3,4} = 16\mu C\ ,\ V_1 = 10.29V\ ,\ V_2 = 1.71V\ ,\ V_3 = 8V\ ,\ V_4 = 4V$

ב. $V_{AB} = -2.28V$

8) א. $\vec{E} \approx -7.12 \cdot 10^3 \frac{N}{C} \hat{y}$ ב. $V \approx 35.5V$

9) א. $Q_1 = Q_2 = 24\mu C\ ,\ V_1 = 8V\ ,\ V_2 = 4V$ ב. $V_{C_2} = 0\ ,\ V_{C_1} = 12V\ ,\ Q_1 = 36\mu C$

ג. $Q_{1,2} = 18\mu C\ ,\ V_1 = 6V\ ,\ V_2 = 3V$

ד. $V_{C_1} = 6V\ ,\ Q_{C_1} = 18\mu C\ ,\ V_{C_2} = 3V\ ,\ Q_2 = 18\mu C$

10) א. $q_2 = 108\mu C\ ,\ q_1 = 72\mu C\ ,\ V_1 = V_2 = 10.8V$ ב. $q_2 = 36\mu C\ ,\ q_1 = 24\mu C\ ,\ V_1 = V_2 = 2.4V$

11) א. $I = 3A$ ב. $q_C = 240\mu C$ ג. $|V_S| = 15V$

ד. $I_1 = 2.52A\ ,\ I_2 = -3.87A\ ,\ I_3 = 6.39A$ ה. $q = 40.4\mu C$

12) א. $C_1 = 1.77 \cdot 10^{-10} F\ ,\ C_2 = 0.59 \cdot 10^{-10} F$ ב. $I = 0.8A$ ג. $I = 0.8A$

ד. $q_1 = 7.08 \cdot 10^{-10} C\ ,\ q_2 = 4.72 \cdot 10^{-10} C$

13) א. $I_1 = 0.689A\ ,\ I_2 = 0.393A$ ב. $V_{ab} = 2.756V$

ג. כלפי מטה, $I_1 = 0\ ,\ I = 0.6A$ ד. $q = 1.26 \cdot 10^{-4} C$

14) $q'_3 = 12.5\mu C\ ,\ V'_3 = 2.5V\ ,\ U = 15.625J$

15) א. $V' = 9V$ ב. $U_{C_i} = 15.93 \cdot 10^{-12} J\ ,\ U_{C_F} = 47.79 \cdot 10^{-12} J$

ג. $|W| = 31.86 \cdot 10^{-12} J$

16) $C_T = C_1 + C_6 + C_{2,3,4,5}$

17) א. $V_{AB} = \frac{V_0}{2} - \frac{V_0 C_2}{C_1 + C_2}$ ב. $q_1 = \frac{C_1 V_0}{2}\ ,\ q_2 = \frac{C_2 V_0}{2}\ ,\ \Delta q = \frac{V_0}{2}(C_2 - C_1)$

18) א. $q = CV = \frac{\varepsilon_0 A}{d} V$, $E = \frac{V}{d}$, $U = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon_0 A}{d} V$

ב. $q_1 = q_2 = \frac{4\varepsilon_0 AV}{3d}$, $E_1 = E_2 = \frac{4V}{3d}$, $U = \frac{1}{2} C_T V^2 = \frac{2\varepsilon_0 A}{3d} V^2$

ג. $E_1 = E_2 = \frac{V}{d}$, $U = \frac{3\varepsilon_0 AV^2}{8d}$

19) א. $16\mu F$ ב. $\frac{12}{43} A$ ג. $\frac{136}{129}\mu C$

20) א. $R_1 = 200\Omega$, $R_2 = 250\Omega$, $V_1 = 5.34V$, $V_2 = 6.68V$, $P_1 = 0.143W$, $P_2 = 0.178W$

ב. $V_C = 6.68V$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 13 - השדה המגנטי

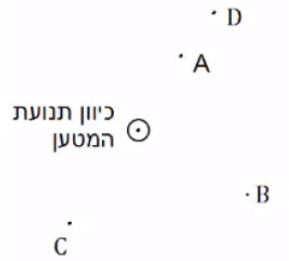
תוכן העניינים

1. הסברים ודוגמאות 72
2. סיכום ותרגילים נוספים 74

הסברים ודוגמאות:

שאלות:

1) דוגמה 1

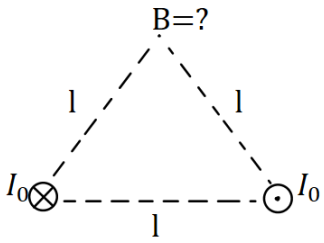


מטען נע מהדף אלינו.
צייר את כיוון השדה המגנטי בנקודות: A , B , C , D.

2) דוגמה 2

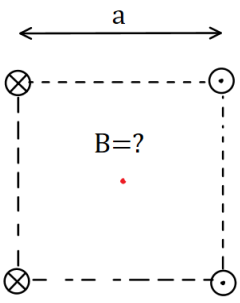
מטען נע במישור הדף כלפי מעלה.
מה כיוון השדה המגנטי שיוצר המטען משני הצדדים של הקו עליו נע המטען?

3) דוגמה 3 - שדה בפינת משולש



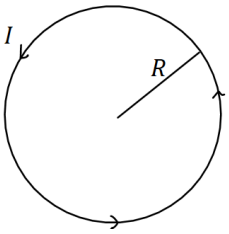
במערכת הבאה ישנם שני תיילים אינסופיים הנושאים זרם $I_0 = 2A$.
התיילים מונחים בקודקודי הבסיס של משולש שווה צלעות בעל אורך צלע $l = 20_{c.m}$.
התיילים מונחים במקביל כך שבאחד הזרם נכנס לתוך הדף ובשני הזרם יוצא מן הדף.
חשב את השדה המגנטי בקודקוד השלישי של המשולש (גודל וכיוון).

4) דוגמה 4 - שדה במרכז ריבוע



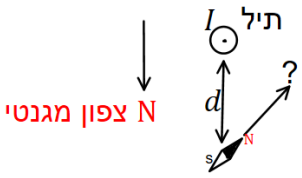
במערכת הבאה ישנם ארבעה תיילים אינסופיים בפינותיו של ריבוע בעל אורך צלע $a = 10_{c.m}$.
גודל הזרם בכל התיילים זהה ושווה ל-$I = 3A$.
כיוון הזרם מתואר באיור.
מהו השדה המגנטי במרכז הריבוע?

5) דוגמה 5 - שדה במרכז טבעת



מצא את גודל וכיוון השדה המגנטי במרכז הטבעת שבאיור.
רדיוס הטבעת הוא $R = 5c.m$ והזרם בה הוא $I = 0.2A$
בכיוון השעון.

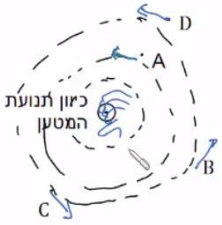
6) דוגמה 6 - שדה של תיל וכדה"א



תיל ארוך מונח במאונך לפני כדור הארץ
ונושא זרם $I = 5A$ במרחק $d = 5c.m$.
מהתיל לכיוון הצפון המגנטי של כדור הארץ נמצא מצפן,
המוחזק אופקית לכדור הארץ.
מצא את הכיוון אליו תצביע המחט.
(רכיב השדה המגנטי המקביל לפני כדה"א הוא: $B_t = 2.9\cdot10^{-5}T$).

תשובות סופיות:

1)



2) מצד ימין השדה נכנס, מצד שמאל השדה יוצא.

3) $\vec{B} = -2\cdot10^{-6}\,\hat{y}$

4) $\vec{B} = -24.24\cdot10^{-6}T\,\hat{y}$

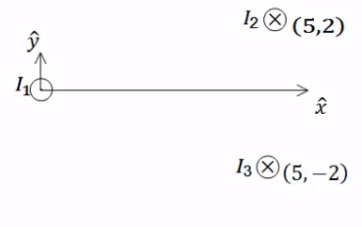
5) $B = 8\pi\cdot10^{-7}T$

6) $\theta \approx 55.4°$

סיכום ותרגילים נוספים:

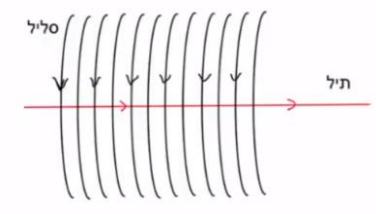
שאלות:

1) שדה של שלושה תילים אינסופיים



שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- z מונחים במיקומים הבאים: $\vec{r}_3(5,-2)$, $\vec{r}_2(5,2)$, $\vec{r}_1(0,0)$.
הזרמים בתילים הם: $I_1=3A$ החוצה מהדף, $I_2=5A$
לתוך הדף, $I_3=4A$ גם כן לתוך הדף.
מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה- x מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון y ?

2) תיל בתוך סליל



סליל ארוך מאוד מונח כך שהציר המרכזי שלו לאורך ציר z. צפיפות הליפופים בסליל היא 15 ליפופים לס"מ והזרם בו הוא $2.5mA$.
מניחים תיל ארוך מאוד בתוך הסליל ולאורך הציר המרכזי. הזרם בתיל הוא $0.8A$.
כיווני הזרמים מתוארים בתרשים.

א. מהו המרחק הרדיאלי מהציר בו השדה המגנטי שנוצר יהיה בזווית 30 מעלות עם ציר ה- z ?

ב. מהו גודלו של השדה בנקודה זו?

תשובות סופיות:

1) $x_1=-2.76$, $x_2=5.26$

2) א. $r=5.9c.m.$ ב. $B_T\approx 5.4\cdot 10^{-6}T$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 14 - חוק אמפר

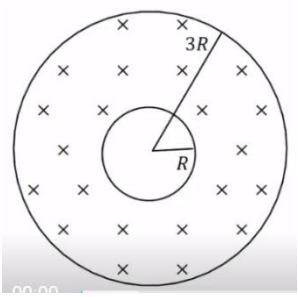
תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים 75

הסבר ותרגילים:

שאלות:

1) שדה בתוך מעטפת גלילית עבה



נתונה מעטפת גלילית עבה ואינסופית בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני 3R.
במעטפת זורם זרם I בהתפלגות (צפיפות) אחידה לתוך הדף.

א. מצא את השדה המגנטי במרחק 2R ממרכז הקליפה.

ב. מוסיפים תיל אינסופי במרכז המעטפת, מה צריך להיות הזרם בתיל (גודל וכיוון) כך שהשדה ב-2R יתאפס?

ג. מה השדה במרחק 5R של המערכת (גליל + תיל שחישבת בסעיף הקודם)?

תשובות סופיות:

1) א. $B=\frac{3\mu I}{32\pi R}$ ב. $I'=\frac{3}{8}I$, החוצה מהדף. ג. $B=\frac{\mu I}{16\pi R}$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 15 - הכוח המגנטי (חוק לורנץ)

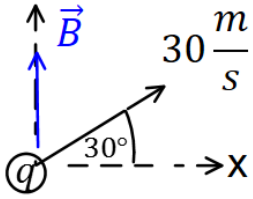
תוכן העניינים

1. הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה 76
2. יישומים של הכוח המגנטי ..... (ללא ספר)
3. כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים 78
4. סיכום ..... (ללא ספר)
5. תרגילים נוספים 80

הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה:

שאלות:

1) דוגמה 1



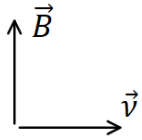
מטען $q=2c$ נע במהירות $v=30\frac{m}{sec}$ בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה- x החיובי.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B}=4T\,\hat{y}$.
מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

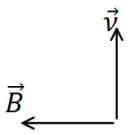
2) דוגמה 2

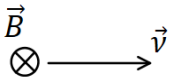
מטען $q=3c$ נע במהירות $\vec{v}=2\frac{m}{sec}\hat{x}+4\frac{m}{sec}\hat{y}$.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B}=5T\,\hat{y}$.
מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

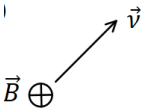
3) דוגמה 3

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

א. 

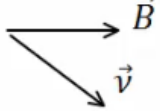
ב. 

ג. 

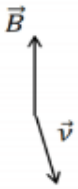
ד. 

4) דוגמה 4

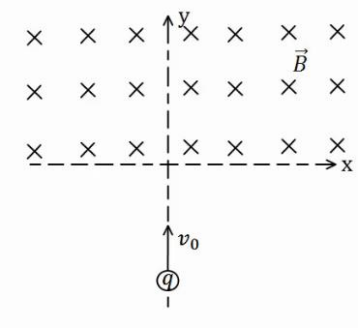
מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

א. 

ב.

ג. 

5) דוגמה 5



מטען $q=4c$ נע מ- $y=-\infty$ לאורך הכיוון החיובי של ציר ה- y. בכל התחום $y>0$ קיים שדה מגנטי אחיד $B=5T$ לתוך הדף.
מסת המטען היא $m=10gr$ ומהירותו היא $v_0=20\frac{m}{sec}$.

א. שרטט את תנועת המטען.

ב. מצא את המיקום בו יצא המטען מהתחום בו נמצא השדה המגנטי.

תשובות סופיות:

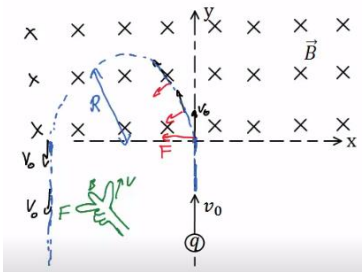
1) $F_B\approx 207.8N$

2) $F_B=30N$

3) א. $\vec{F}\odot$ ב. $\vec{F}\odot$ ג. $\vec{F}\uparrow$ ד. $\vec{F}\nwarrow$

4) א. $\vec{F}\odot$ ב. $\vec{F}\otimes$ ג. $\vec{F}\odot$

5) א.

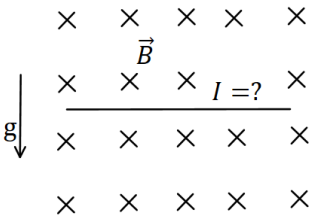


ב. $x=-2cm\ ,\ y=0$

כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים:

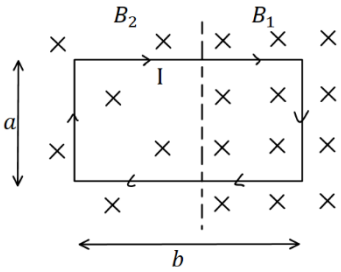
שאלות:

1) דוגמה 7



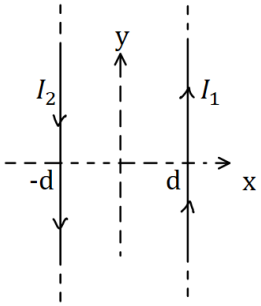
תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד $B=10^{-2}T$ לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך היא $\lambda=20\frac{gr}{cm}$.
מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל, כך שהתיל ירחף באוויר.

2) דוגמה 8



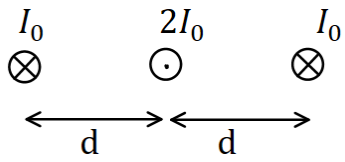
מסגרת מלבנית בעל צלעות a,b נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף.
גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.
המסגרת מונחת כך, שחלק מהמסגרת נמצא בשדה $B_1=4T$, והחלק השני נמצא בשדה $B_2=3T$.
במסגרת זורם זרם $I=2A$ עם כיוון השעון.
מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת $(a=0.5m)$.

3) דוגמה 9



תיל ארוך מאוד מונח במקביל לציר ה- y ובו- $x=d$.
בתיל זורם זרם $I_1=1A$ בכיוון.
תיל ארוך נוסף מונח גם כן במקביל לציר ה- y ובו- $x=d$.
הזרם בתיל זה הוא $I_2=2A$ בכיוון הפוך לציר ה- y.
מהו הכוח ליחידת אורך על כל תיל, אם $d=20cm$?

4) דוגמה 10



שלושה תיילים אינסופיים מונחים במקביל, כמתואר באיור.
המרחקים בין התיילים קבועים ושווים ל- d.
הזרם בתיל האמצעי הוא $2I_0$ החוצה מהדף,
והזרם בתיילים האחרים הוא I_0 לתוך הדף.
מהו הכוח על כל תיל?

תשובות סופיות:

1) כיוון: ימינה , גודל: $I = 2\cdot 10^{3}\,A$.

2) $\sum F = 1N$, ימינה.

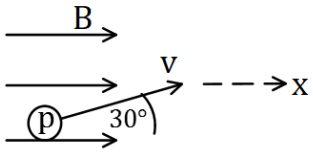
3) $F_1 = 10^{-6}\,\hat{x}$, $F_2 = -10^{-6}\,\hat{x}$

4) $\sum F_1 = \frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d}\,\hat{x}$, $\sum F_2 = 0$, $\sum F_3 = -\frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d}\,\hat{x}$

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) תרגיל 1



פרוטון נכנס לאזור בו ישנו שדה מגנטי אחיד שעוצמתו $10T$ בכיוון ציר ה-x. מהירות הפרוטון היא $10^6\frac{m}{sec}$ וכיוונה בזווית 30 מעלות ביחס לשדה.

א. מהו גודל וכיוון הכוח הפועל על הפרוטון?

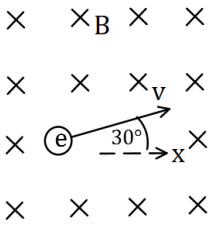
ב. מהי תאוצת הפרוטון?

נתון: $q_p=1.6\cdot10^{-19}c$, $m_p=1.67\cdot10^{-27}kg$

2) תרגיל 2

אלקטרון נמצא בשדה מגנטי אחיד שגודלו $5T$ וכיוונו לתוך הדף.

לאלקטרון מהירות $v_0=10^5\frac{m}{sec}$ בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה-x.

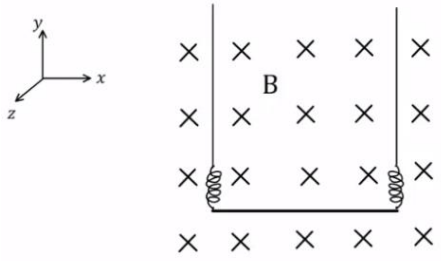


א. מהו הכוח הפועל על האלקטרון ברגע זה (גודל וכיוון)?

ב. צייר את תנועת האלקטרון בשדה.
מהו רדיוס הסיבוב?

נתון: $q_e=-1.6\cdot10^{-19}c$, $m_e=9.1\cdot10^{-31}kg$

3) תיל תלוי על שני קפיצים-ביולוגיה תא

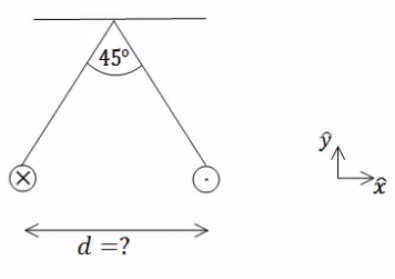


תחל מוליך נושא זרם תלוי לאורך ציר x על ידי שני תילים דקים ושני קפיצים זהים.
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד לתוך הדף.
אורך התיל המוליך הוא $0.4m$ ומסתו היא $0.03kg$. גודל השדה המגנטי הוא $B=0.2T$
וקבוע הקפיץ הוא $k=10\frac{N}{m}$, ניתן להזניח את השדות שיוצרים התילים האנכיים ואת הכוחות שהם מפעילים על התיל האופקי.

א. מהו גודל וכיוון הזרם בתיל אם ידוע שהתיל בשיווי משקל כאשר הקפיצים רפויים (לא מפעילים כוח)?

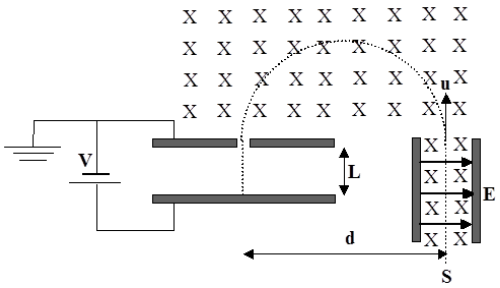
ב. בכמה יתארכו הקפיצים אם יהפכו את הזרם בתיל? תזכורת: גודל הכוח שמפעיל קפיץ הוא $F=k\Delta l$ כאשר Δl היא ההתארכות של הקפיץ מהמצב הרפוי.

4) שני תילים תלויים



שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקרה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע.
בתילים זורם זרם של 100 אמפר בכיוונים מנוגדים.
הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת אורך היא $\mu = 2\frac{gr}{m}$.
מצא את המרחק בין התילים.

5) בורר מהירויות ומתח עצירה



חלקיקים, בעלי מטען $+q$ ומסה m, נפלטים ממקור S במהירויות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל.
בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד $\vec{E}$ שכיוונו ימינה, ושדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ המכוון אל תוך הדף, כמו בתרשים.
השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל.
במרחק d מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל נמצא נקב קטן, דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני, אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי.
על הקבל השני מופעל מתח עצירה V. ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו L. ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על חלקיקים.
נתונים: $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$.

א. באיזו מהירות u יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?
ב. מהו המרחק d (ראה ציור)?
ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?
ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V, המופעל על הקבל השני, כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?
ה. מחברים את הקבל השני לסוללה, שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבת בסעיף ד'.
תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

תשובות סופיות:

1) א. $F=8\cdot10^{-13}\text{N}$, כיוון: לתוך הדף. ב. $a=4.79\cdot10^{14}\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

2) א. $F=8\cdot10^{-11}\text{N}$, כיוון $60°$ מתחת לציר ה-x. ב. $R=1.14\cdot10^{-7}\text{m}$

3) א. $I=3.75\text{A}$, כיוון: חיובי של ציר x. ב. $\Delta l=0.03\text{m}$

4) $d=0.241\text{m}$

5) א. $u=\frac{E}{B}$ ב. $d=\frac{2mE}{qB^2}$ ג. $t=\frac{\pi}{qB}\text{m}$ ד. $V=\frac{mE^2}{2qB^2}$ ה. $t=\frac{BL}{E}$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 16 - חוק פארדיי

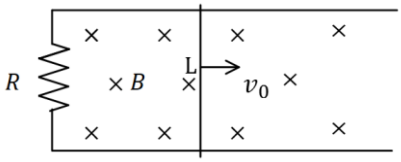
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 83

הרצאות ותרגילים:

שאלות:

1) מוט נע על מסילה



מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן.
בקצה המסילה ישנו נגד R. מהירות המוט היא v_0
ואורכו L. במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף B.

א. מהו הכא"מ במוט?

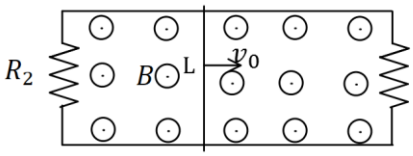
ב. מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?

ג. מהו הכוח המגנטי הפועל על המוט?

ד. מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

2) המסילה מחוברת משני הצדדים

מוט מוליך נע על מסילה, העשויה ממוליכים גם כן.
בשני קצוות המסילה ישנם נגדים: $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$.



מהירות המוט היא: $v_0 = 5\frac{m}{sec}$ ואורכו: $L = 20cm$.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד החוצה מהדף $B = 1T$.

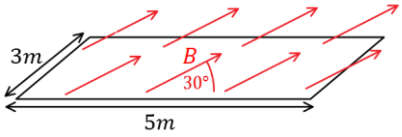
א. מהו הכא"מ במוט?

ב. מהו הזרם בכל נגד ובמוט (גודל וכיוון)?

ג. מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

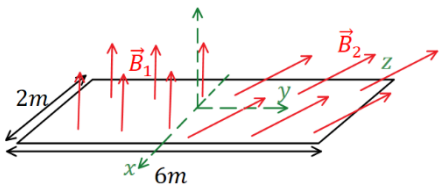
3) חישוב שטף אחיד

באיור הבא נתון כי השדה המגנטי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).
גודלו הוא $B = 2T$ והזווית בינו למשטח היא $30°$.
אורך המשטח הוא $5m$ ורוחבו הוא $3m$.
מצא מהו השטף דרך המשטח.



4) חישוב שטף מפוצל

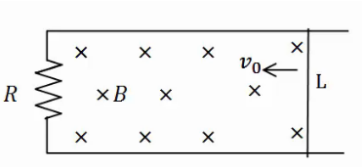
באיור הבא נתון משטח המונח על מישור xy.
אורך המשטח הוא $6m$ ורוחבו הוא $2m$.
השדה המגנטי בחציו השמאלי של המשטח
הוא: $\vec{B}_1 = 2T\hat{z}$, שדה אחיד.



בחציו הימני של המשטח השדה הוא: $\vec{B}_2 = 7T\hat{y} + 3T\hat{z}$.
מצא מהו השטף דרך המשטח.

5) עוד מוט ומסילה

מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן. בקצה המסילה ישנו נגד R, מהירות המוט היא v_0 ואורכו L. במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף B.

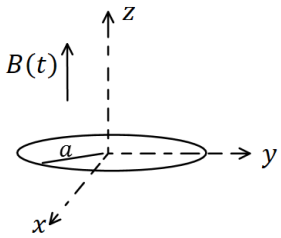


א. מהו הכא"מ במעגל לפי חוק פארדיי (גודל וכיוון)?

ב. מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?

ג. חשב את הכא"מ לפי הנוסחה של כא"מ במוט ומצא את כיוון הזרם. הראה שהתוצאה זהה.

6) טבעת ושדה משתנה בזמן



טבעת עשויה מחומר מוליך מונחת על מישור xy.

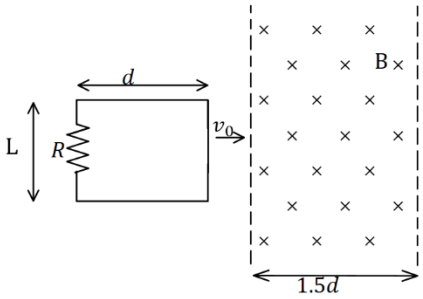
רדיוס הטבעת הוא a והתנגדותה הכוללת R.

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד בכיוון z, המשתנה בזמן לפי הנוסחה $B(t)=\alpha t$ כאשר α קבועה.

א. מצא את הכא"מ בטבעת.

ב. מהו הזרם בטבעת גודל וכיוון.

7) מסגרת נכנסת לשדה



מסגרת מלבנית בעלת אורך d ורוחב L, נעה במהירות קבועה v_0, לכיוון אזור בו שורר שדה מגנטי אחיד B. אורך האזור הוא 1.5d ורוחבו ארוך מאוד.

למסגרת התנגדות כוללת R.

הנח כי ב-$t=0$ הצלע הימנית של המסגרת נכנסת לאזור עם השדה.

א. מצא את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).

ב. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון(כתלות בזמן).

ג. מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת, על מנת שתנוע במהירות קבועה.

ד. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?

תשובות סופיות:

1) א. $\varepsilon = BLv_0$ ב. נגד כיוון השעון, $I = \frac{BLv_0}{R}$. ג. $F = \frac{B^2L^2v_0}{R}$

ד. $F = \frac{B^2L^2v_0}{R}$

2) א. $\varepsilon = 1V$ ב. $I_1 = 0.5A$, $I_2 = \frac{1}{3}A$, $I_3 = \frac{5}{6}A$ ג. $F = \frac{1}{6}N$

3) $\phi_B = 15T \cdot m^2$

4) $\phi_B = 30T \cdot m^2$

5) א. עם כיוון השעון, $|\varepsilon| = |BLv_0|$ ב. $I = \frac{BLv_0}{R}$ ג. $\varepsilon = BLv_0$

6) א. $|\varepsilon| = \alpha\pi a^2$ ב. $I = \frac{\alpha\pi a^2}{R}$

7) א.
$$\varepsilon = \begin{cases} -BLv_0 & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ BLv_0 & 1.5d < x < 2.5d \end{cases}$$

ב.
$$I = \begin{cases} \frac{BLv_0}{R} \quad anticlockwise & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{BLv_0}{R} \quad clockwise & 1.5d < x < 2.5d \end{cases}$$

ג.
$$\vec{F} = \begin{cases} \frac{B^2L^2v_0}{R}\hat{x} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{B^2L^2v_0}{R}\hat{x} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases}$$

ד.
$$P = I^2R = \begin{cases} \frac{B^2L^2v_0}{R} \\ \frac{B^2L^2v_0}{R^2} \end{cases}$$

יסודות הפיזיקה 2

פרק 17 - פתרון בגרויות בחשמל ומגנטיות

תוכן העניינים

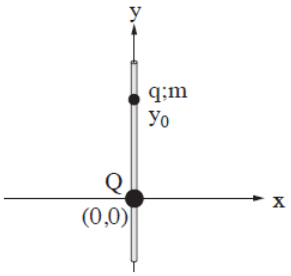
1. פתרון בגרויות בחשמל ומגנטיות 86

פתרון בגרויות בחשמל ומגנטיות:

שאלות:

קיץ 2012:

1) בתרשים א' מוצגת מערכת צירים x ו- y. בראשית הצירים מוחזק במנוחה גוף קטן בעל מטען חשמלי חיובי Q. מוט דק וחלק, שעשוי מחומר מבודד, מוחזק בכיוון אנכי לאורך ציר ה- y.



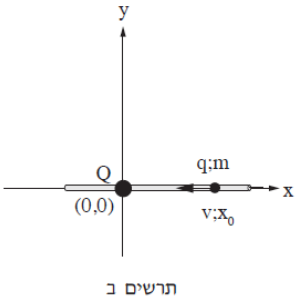
תרשים א

משחילים חרוז קטן, בעל מטען חשמלי חיובי q ומסה m על המוט האנכי מעל המטען Q, ומביאים אותו לנקודה ששיעורה y_0. לאחר שמרפים מהחרוז, הוא נשאר במנוחה.

א. סרטט את תרשים הכוחות הפועלים על החרוז, ורשום ליד כל וקטור את שם הכוח.

ב. בטא באמצעות Q, q ו-m את המרחק y_0 בין שני המטענים.

מחזיקים את המוט בכיוון אופקי לאורך ציר ה- x, כשהמטען Q נשאר בראשית הצירים. משחילים את החרוז על המוט מימין למטען Q, מעניקים לחרוז מהירות התחלתית שמאלה לכיוון המטען Q, ומשחררים אותו (ראה תרשים ב').



תרשים ב

כאשר החרוז מגיע לנקודה ששיעורה x_0, גודל מהירותו הוא v וכיוון המהירות שמאלה.

ג. בטא באמצעות נתוני השאלה את האנרגיה הכוללת של החרוז כאשר הוא עובר בנקודה ששיעורה x_0. (הנח שהאנרגיה הפוטנציאלית החשמלית ב"אין-סוף" היא אפס, ושהאנרגיה הפוטנציאלית הכבידתית לאורך ציר ה-x גם היא אפס).

ד. בטא באמצעות נתוני השאלה את המרחק המינימלי, x_{min}, מהמטען Q שאליו יגיע החרוז.

ה. כיצד משתנה כל אחד מן הגדלים: גודל המהירות וגודל התאוצה בתנועת החרוז מ-x_0 ל-x_{min} (גדל, קטן, נשאר קבוע)? נמק.

2) תלמיד רצה למדוד את ההתנגדות של תיל מוליך (תיל א'). נתונה טבלה המתארת את הזרם כפונקציה של המתח על התיל.

V(V)	I(A)
0	0
1	0.19
2	0.39
3	0.57
4	0.79
5	0.96

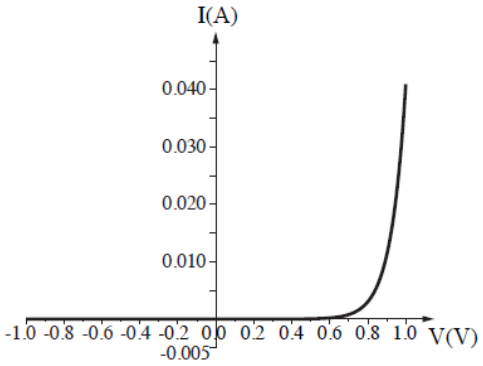
א. על פי הנתונים המוצגים בטבלה, סרטט גרף המתאר את המתח כפונקציה של הזרם, וקבע אם בתחום הנתונים בטבלה התיל מקיים את חוק אוהם. אם כן – חשב את התנגדות התיל. אם לא – הסבר מדוע.

ב. בהנחה שאורך התיל הוא 1m והחתך שלו הוא עיגול בקוטר 0.5mm, חשב את ההתנגדות הסגולית ρ של החומר שממנו התיל עשוי.
בטא את ההתנגדות הסגולית ביחידות $\Omega\times\text{m}$ (אוהם מטר).

לתלמיד תיל נוסף (תיל ב') העשוי מאותו חומר שממנו עשוי תיל א', וזהה באורכו לתיל א', אבל שטח החתך שלו גדול יותר.

ג. קבע אם ההתנגדות של תיל ב' קטנה מההתנגדות של תיל א', גדולה ממנה או שווה לה. הסבר את תשובתך.
הוסף במערכת הצירים של הגרף שסרטטת בסעיף א' גרף איכותי המתאים לתיל ב'.

ד. בתרשים שלפניך מוצג גרף מקורב של הזרם כפונקציה של המתח (אופיין) של רכיב חשמלי הנקרא דיודה. המתחים משתנים בתחום שבין -1V ל-1V.



לפניך ארבעה היגדים i-iv. העתק למחברתך את ההיגדים המתאימים לגרף המתואר, ונמק את קביעותיך.

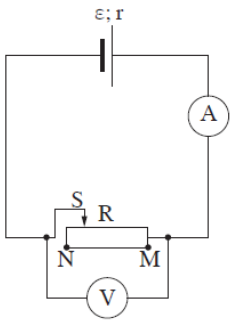
i. הזרם משתנה ביחס ישר למתח.

ii. הזרם קבוע בלי תלות במתח בין הדקי הדיודה.

iii. כדי שיזרום זרם בדיודה, חשוב לאיזה משני הדקי הדיודה מחובר הפוטנציאל הגבוה של מקור המתח.

iv. כאשר זרם זורם דרך הדיודה, ההתנגדות קטנה ככל שעולה המתח בין הדקי הדיודה.

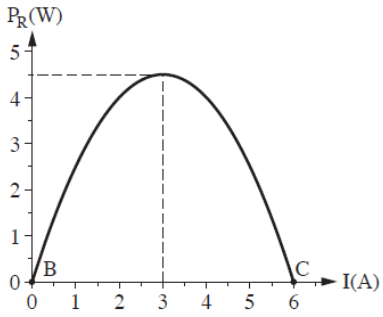
3) לתלמיד יש סוללה שהכא"מ שלה ε וההתנגדות הפנימית שלה r.
התלמיד חיבר את הסוללה לנגד משתנה R. אפשר לשנות את ההתנגדות של הנגד R מ-0 (בנקודה M) עד "אין-סוף" (ערך גדול מאוד) בנקודה N.
הנח כי מכשירי המדידה אידאליים.



תרשים א

א. הסבר מדוע האנרגיה שהסוללה מספקת למעגל אינה עוברת במלואה לנגד המשתנה.

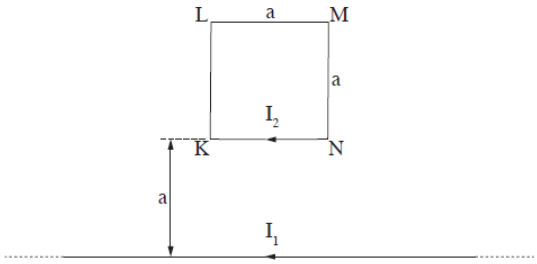
התלמיד מדד את הזרם, I, במעגל עבור התנגדויות שונות של הנגד המשתנה, וחישב את ההספק, P, המתפתח בנגד המשתנה לפי הנוסחה: $P_R = (\varepsilon - I \cdot r) \cdot I$.
בתרשים ב' מוצג ההספק המתפתח בנגד המשתנה כפונקציה של הזרם במעגל.



תרשים ב

ב. איזה גודל פיזיקלי מייצג הביטוי: $\varepsilon - Ir$ שבנוסחת ההספק?
ג. באיזו נקודה (M או N) הוצב המגע הנייד S כאשר התקבלה הנקודה C בתרשים ב' שלפניך, ובאיזו נקודה הוצב הנייד S כאשר התקבלה הנקודה B בתרשים ב'? הסבר את תשובתך.
ד. חשב את הכא"מ ε של הסוללה, ואת ההתנגדות הפנימית שלה r.
ה. מצא את ההתנגדות החיצונית R כאשר ההספק הוא מרבי.

4) על שולחן אופקי מונחים כריכה ריבועית KLMN שאורך צלעה: $a = 0.1\text{m}$, ותיל שאורכו גדול מאוד ביחס לצלע a. התיל הארוך מקביל לצלע KN, ונמצא במרחק $y = a$ ממנה (ראה תרשים).

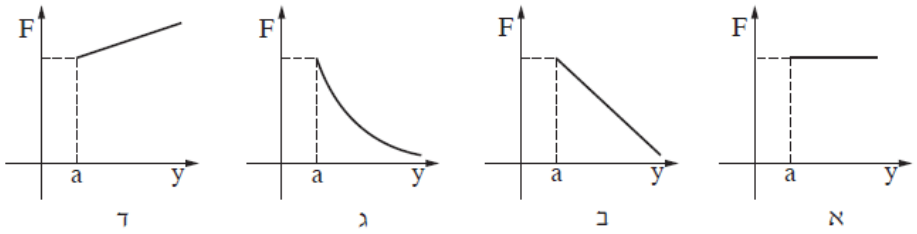


בתיל הארוך עובר זרם שעוצמתו: $I_1 = 8\text{A}$, ודרך הכריכה הריבועית עובר זרם שעוצמתו: $I_2 = 5\text{A}$. כיווני הזרמים מוצגים בתרשים.

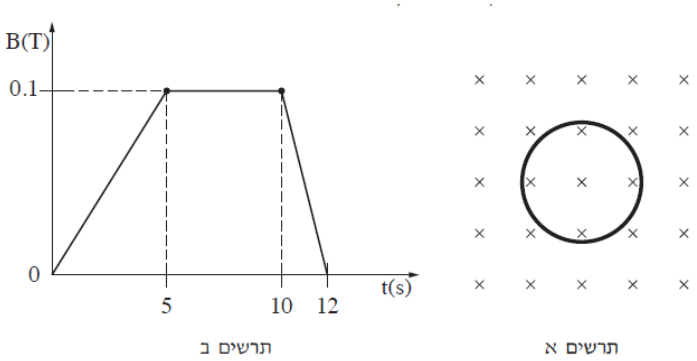
א. מצא את הכוח (גודל וכיוון) שהתיל הארוך מפעיל על הצלע KN של הכריכה.
ב. מצא את הכוח (גודל וכיוון) שהתיל הארוך מפעיל על הכריכה הריבועית כולה.
ג. מצא את הכוח (גודל וכיוון) שהכריכה מפעילה על התיל. הסבר את תשובתך.
ד. קבע בלי לחשב, אם גודל הכוח שמפעיל התיל הארוך על הצלע האנכית KL גדול מגודל הכוח שמפעיל התיל הארוך על הצלע KN, קטן ממנו או שווה לו. הסבר את תשובתך.

מגדילים בהדרגה את המרחק y של הכריכה מן התיל הארוך (כך שהצלע KN נשארת מקבילה לתיל).

ה. איזה מבין הגרפים א'-ד' שלהלן מתאר נכון את גודל הכוח שהתיל הארוך מפעיל על הכריכה כפונקציה של המרחק y (התעלם מזרמים במערכת הנוצרים מהשראה אלקטרו-מגנטית)? הסבר את תשובתך.



5) בתרשים א' מוצגת טבעת מוליכה שרדיוסה $r = 3cm$. שדה מגנטי אחיד ניצב למישור הטבעת. גודל שדה זה משתנה כפונקציה של הזמן כמוצג בתרשים ב'.



א. חשב את גודל הכא"מ המושרה בטבעת מהשנייה $t = 0$ עד $t = 5sec$.

ב. סרטט גרף המתאר את הכא"מ המושרה בטבעת כפונקציה של הזמן מהשנייה $t = 0$ עד $t = 12sec$.

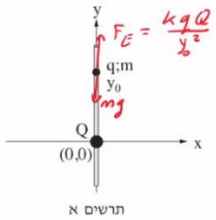
ג. קבע מה הם פרקי הזמן שבהם זורם זרם מושרה בטבעת, ומהו כיוון הזרם בכל פרק זמן (עם כיוון השעון או נגד כיוון השעון).
הסבר את תשובתך.

ד. ההתנגדות החשמלית של הטבעת היא: $R = 5\Omega$. חשב את ההספק המתפתח בטבעת בשנייה $t = 7sec$ ובשנייה $t = 11sec$.

לאחר שהופסק השדה המגנטי, חותכים קטע קטן מהטבעת, ומפעילים מחדש את השדה המגנטי המשתנה כמתואר בתרשים ב'.

ה. האם הגרף שסרטטת בסעיף ב' ישתנה? האם תשתנה תשובתך לסעיף ד'?
הסבר.

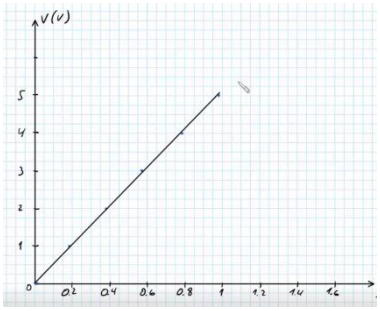
תשובות סופיות:

1) א. סרטוט: 

תרשים א

ב. $y_0 = \sqrt{\frac{kqQ}{mg}}$ ג. $E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{kqQ}{x_0}$

ד. $x_{min} = \frac{kqQ}{\frac{1}{2}mv^2 + \frac{kqQ}{x_0}}$ ה. גודל המהירות: קטן, גודל התאוצה: גדל.

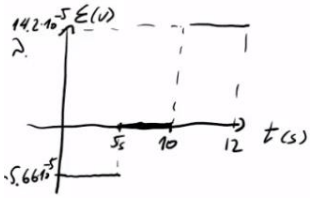
2) א. סרטוט: 

כן, $R = 5.26\Omega$.

ב. $\rho = 4.13 \cdot 10^{-6}\Omega \times m$ ג. $R_B < R_A$ ד. iii ו-iv.

3) א. אם במעגל זורם זרם אז יש הספק בהתנגדות הפנימית $P_r = I^2 r$ הספק זה הוא אנרגיה שהולכת לאיבוד לחום בנגד הפנימי. ב. מתח הדקים (V).
ג. נקודה N מתאימה לנקודה B, נקודה M מתאימה לנקודה C.
ד. $\varepsilon = 3V$, $r = 0.5\Omega$ ה. $R = 0.5\Omega$

4) א. $F = 1.7 \cdot 10^{-6}N$, למטה. ב. $F = \frac{1.7}{2} \cdot 10^{-6}N$, למטה.
ג. $F = 0.85 \cdot 10^{-6}N$, למעלה. ד. קטן. ה. ג'.

5) א. $\varepsilon = -5.66 \cdot 10^{-5}V$ ב. סרטוט:


ג. בפרק הזמן $0 < t < 5$ הזרם הוא נגד כיוון השעון.
בפרק הזמן $10 < t < 12$ עם כיוון השעון.
ד. $P(t=11) = 4.03 \cdot 10^{-9}W$, $P(t=7) = 0$
ה. לסעיף ב' לא תשתנה, לסעיף ד' תשתנה.

קיץ 2013:

1) נתונים שני כדורים מוליכים קטנים, A ו-B. הרדיוס של כדור A כפול מהרדיוס של כדור B. המרחק בין הכדורים גדול מאוד ביחס לרדיוסים שלהם.

המטען של כדור A הוא: $q = 6\cdot10^{-8}C$.

חיברו את הכדורים זה לזה בעזרת תיל מוליך דק. לאחר החיבור בין הכדורים השתנה המטען של כדור A, וכעת הוא: $q = 4\cdot10^{-8}C$.

הנח שכל החלקיקים שעוברים בתיל הם אלקטרונים בלבד.

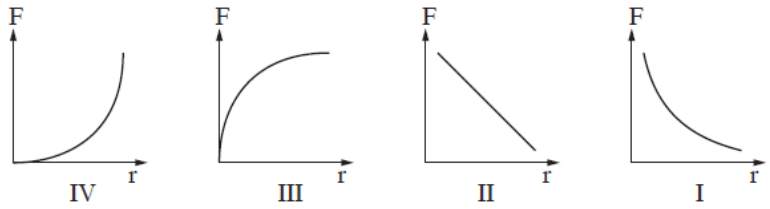
א. חשב את מספר האלקטרונים שעברו בין הכדורים.

ב. האם האלקטרונים עברו מכדור A לכדור B, או מכדור B לכדור A? נמק.

ג. מהו מטענו של כדור B לאחר החיבור בין הכדורים? הסבר.

ד. האם לפני החיבור בין הכדורים היה כדור B טעון? אם לא – נמק.
אם כן – חשב את מטענו.

ה. מנתקים את הכדורים זה מזה ומניחים אותם על משטח אופקי וחלק, העשוי חומר מבודד. משגרים את כדור A אל עבר כדור B הקבוע במקומו.
לפניך ארבעה גרפים:



קבע איזה מבין הגרפים I-IV מתאר נכונה את גודל הכוח החשמלי, F, הפועל על כדור A כפונקציה של המרחק r בין הכדורים. נמק את קביעתך.

2) כדי לחמם כוס מים מטמפרטורת החדר עד לרתיחה, נדרשת אנרגיה בשיעור $63,000J$.

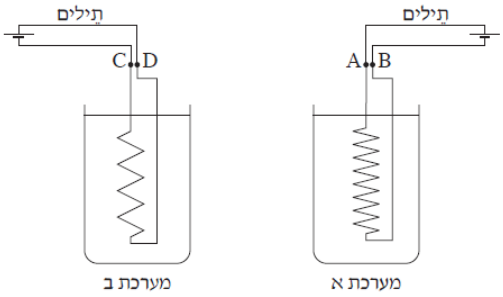
א. חשב מה צריך להיות ההספק (הממוצע) של גוף חימום כדי שהמים ירתחו בתוך 2 דקות (הנח שכל האנרגיה של גוף החימום עוברת למים).

בסרטוט שלפניך מוצגות שתי מערכות, מערכת א' ומערכת ב', כל מערכת מורכבת מכוס מים שטבול בה גוף חימום. הכוסות וכמות המים בשתי המערכות זהות ואילו גופי החימום שונים.

כל אחד מגופי החימום מפתח אותו הספק – ההספק שחישבת בסעיף א'.

במערכת א' המתח בין ההדקים של גוף החימום הוא: $V_{AB} = 240V$.

במערכת ב' המתח בין ההדקים של גוף החימום הוא: $V_{CD} = 24V$.



ב. חשב את עוצמת הזרם העובר דרך כל אחד מגופי החימום.

נתון כי בשתי המערכות ההתנגדות הכוללת של התילים המחברים את גופי החימום למקור המתח היא: 0.1Ω.

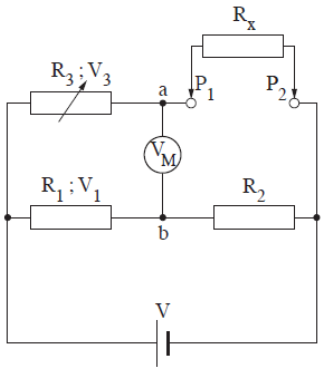
ג. חשב מהו ההספק המתפתח על תילים אלה בכל אחת מהמערכות.

ד. חשב את הנצילות (יעילות) של כל אחת מהמערכות (הזנח את ההתנגדות הפנימית של מקור המתח).

ה. בארצות הברית המתח ברשת החשמל הוא $120V$, ואילו בישראל המתח הוא $240V$. הסתמך על משמעות התוצאות שחישבת בסעיף ד' בלבד, וקבע באיזו רשת חשמל הנצילות גדולה יותר, בישראל או בארצות הברית. נמק את קביעתך.

3) בתרשים שלפניך מוצג מעגל חשמלי שבעזרתו אפשר למדוד התנגדות לא ידועה של נגד R_x. המעגל מורכב מן המרכיבים האלה:

- שני נגדים בעלי התנגדות קבועה, R_1 ו-R_2.
- נגד משתנה, R_3.
- מקור מתח V שהתנגדותו הפנימית זניחה.
- מד מתח אידאלי V_M.



לצורך מדידת ההתנגדות של R_x מחברים אותו בין הנקודות P_1 ו-P_2, ומשנים את ההתנגדות של הנגד המשתנה R_3 עד שמד המתח מורה אפס.

א. הוכח שכאשר מד המתח מורה אפס, הביטוי: $V_3 = V\left(\frac{R_3}{R_3+R_x}\right)$ מתאר את המתח V_3 על הנגד R_3.

ב. הוכח שכאשר מד המתח מורה אפס, אפשר לחשב את R_x בעזרת הביטוי: $R_x = \frac{R_2}{R_1}R_3$.

נתון:

$R_1 = 30k\Omega$

$R_2 = 10k\Omega$

$R_x = 2k\Omega$

ג. חשב את ההתנגדות של R_3.

החליפו את הנגד R_x ברכיב אחר, שהתנגדותו לא ידועה.
התנגדותו של הרכיב משתנה כתלות בטמפרטורה, לפי הנתונים בטבלה שלפניך:

התנגדות הרכיב כתלות בטמפרטורה	
הטמפרטורה $(°C)$	ההתנגדות (Ω)
0	32,660
5	25,400
10	19,900
15	15,710
20	12,500
25	10,000
30	8,000
35	6,500
40	5,300

ד. היעזר בנתונים שבטבלה והערך את הטמפרטורה של הרכיב כאשר מד המתח מורה אפס, בכל אחד משני המצבים i-ii.

i. $R_3 = 30k\Omega$

ii. $R_3 = 54k\Omega$

4) תלמיד התבקש למדוד את B_E, הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ.

לצורך המדידה הוא מתח תיל ישר וארוך על פני שולחן אופקי בכיוון צפון-דרום (של השדה המגנטי הארצי). אל התיל הוא חיבר בטור מקור מתח, נגד משתנה ואמפרמטר. התלמיד הציב מצפן בגובה h מעל התיל, כך שמישור המצפן מקביל לפני השולחן. התלמיד שינה את הגובה h כמה פעמים. בכל פעם הוא כיוון את הזרם בעזרת הנגד המשתנה, ובדק באיזו עוצמת זרם מחט המצפן סוטה בזווית של $45°$ מהכיוון שאליו היא הצביעה כאשר לא עבר זרם בתיל.
תוצאות המדידות מוצגות בטבלה שלפניך:

$h(cm)$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$I(A)$	1.5	2.0	2.9	3.6	4.5

א. על פי הנתונים המוצגים בטבלה, סרטט גרף של הזרם, I, כפונקציה של גובה המצפן, h.

ב. הראה כי שיפוע הגרף הוא: $\frac{2\pi B_E}{\mu_0}$.

ג. חשב את B_E בעזרת שיפוע הגרף.

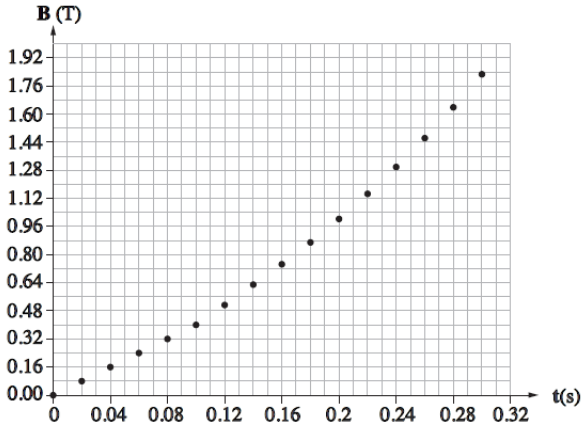
ד. התלמיד כתב בטבלה שהזרם המתאים לגובה 1.5 ס"מ הוא 2.0A, ולא 2A. הסבר מדוע.

ה. במצב שבו לא זורם זרם בתיל, קבע בלי לנמק אם הקוטב הצפוני של מחט המצפן:

i. פונה אל הקוטב המגנטי הארצי הצפוני או הדרומי.

ii. פונה בקירוב אל הקוטב הגאוגרפי הצפוני או הדרומי.

5) תלמידה בנתה מתיל מוליך כריכה מעגלית שהרדיוס שלה $r = 2cm$.
היא הציבה את הכריכה באזור ששורר בו שדה מגנטי אחיד $\vec{B}$, שכיוונו מאונך למישור הכריכה. גודלו של $\vec{B}$ משתנה כפונקציה של הזמן, t, כמתואר בגרף שלפניך:



א. קבע אם הכא"מ המושרה בכריכה הוא קבוע או משתנה, בכל אחד מפרקי הזמן שלפניך:

i. $0 \le t \le 0.10\,\text{sec}$

ii. $0.14\,\text{sec} \le t \le 0.30\,\text{sec}$

נמק את קביעותיך.

ב. חשב את הכא"מ המושרה בכריכה ברגע: $t = 0.06\,\text{sec}$ וברגע: $t = 0.20\,\text{sec}$.

ג. קבע מהו הכיוון של השדה המגנטי שהזרם המושרה יוצר במרכז הכריכה:

האם הוא בכיוון זהה לכיוון של $\vec{B}$, בכיוון מנוגד לכיוון של $\vec{B}$ או בכיוון ניצב לכיוון של $\vec{B}$? נמק.

ד. חשב את הגודל של הכא"מ המושרה שמתקבל בכריכה ברגע: $t = 0.06\,\text{sec}$, כאשר כיוון השדה המגנטי $\vec{B}$ מקביל למישור הכריכה. הסבר.

תשובות סופיות:

1) א. $n_e \approx 10^{11}$ ב. מכדור B לכדור A. ג. $q_B = 2\cdot10^{-8}C$

ד. לא, $q_B = 0$. ה. I

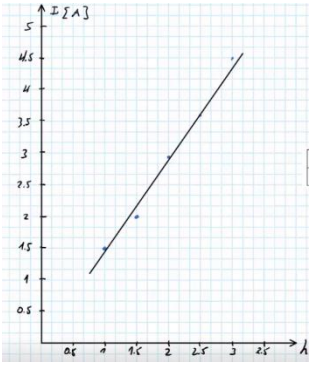
2) א. $\bar{P} = 525W$ ב. $I_{AB} = 2.1875A$, $I_{CD} = 21.875A$

ג. $P_A = 0.4785W$, $P_B = 47.85W$ ד. $\eta_A = 99.9\%$, $\eta_B \approx 91.65\%$

ה. בישראל.

3) א. הוכחה. ב. הוכחה. ג. $R_3 = 6k\Omega$

ד.i. $T = 25°$ ד.ii. $T = 12°$

4) א. סרטוט:  ב. הוכחה.

ג. $B_E = 3.04\cdot10^{-5}T$ ד. הספרה 0 לאחר הנקודה מציינת את גובה הדיוק במדידת הזרם.

ה.i. דרומי. ii. צפוני.

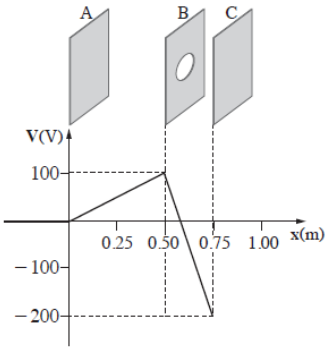
5) א.i. קבוע. ii. משתנה.

ב. $\varepsilon(t=0.06) = -5.03\cdot10^{-3}V$, $\varepsilon(t=0.20) = -8.80\cdot10^{-3}V$

ג. כיוון מנוגד. ד. $\varepsilon(t=0.06) = 0$

קיץ 2014:

1) מערכות חשמליות רבות, לדוגמה מערכת להאצת חלקיקים, כוללות לוחות טעונים בדומה למערכת המוצגת לפניך.
המערכת כוללת שלושה לוחות ארוכים מאוד וטעונים: A , B , C, המוצבים במקביל זה לזה במרחקים שונים, כמתואר באיור.
במרכזו של לוח B יש חור קטן.
הגרף שלפניך מתאר את הפוטנציאל החשמלי בין הלוחות.



א. קבע את הכיוון של השדה החשמלי בין לוח A ללוח B, ואת הכיוון של השדה החשמלי בין לוח B ללוח C. נמק את קביעותיך.

ב. חשב את עוצמת השדה החשמלי בין לוח A ללוח B $\left(E_{AB}\right)$, ואת עוצמת השדה החשמלי בין לוח B ללוח C $\left(E_{BC}\right)$.

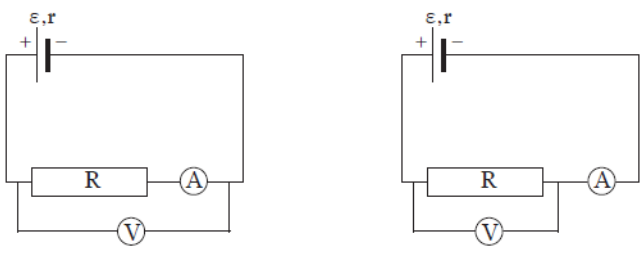
חלקיק טעון במטען שלילי משוחרר ממנוחה ממרכז לוח A.

ג. הסבר מדוע תנועת החלקיק בין לוח A ללוח B היא תנועה שוות תאוצה (הזנח את כוח הכבידה הפועל על החלקיק).

ד. חשב את המהירות המרבית (המקסימלית) של החלקיק בתנועתו בין לוח A ללוח B.
נתון: מסת החלקיק: $m = 8\cdot10^{-25}\,kg$ ומטען החלקיק: $q = -6.4\cdot10^{-19}\,C$.

ה. החלקיק עובר לאזור שבין לוח B ללוח C דרך החור הקטן שבלוח B.
האם החלקיק יגיע ללוח C?

2) תלמידה הרכיבה שני מעגלים חשמליים הכוללים מרכיבים זהים:
סוללה בעלת כא"מ ε והתנגדות פנימית r, נגד משתנה R, מד מתח V ומד זרם A.
(ראה תרשים א' ותרשים ב').



תרשים א

תרשים ב

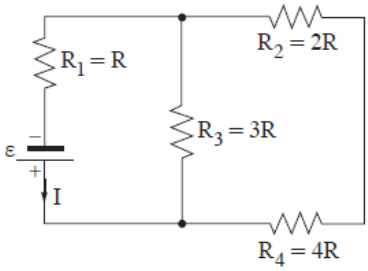
א. התלמידה הרכיבה במעגלים מד זרם שאינו אידאלי.
קבע אם המתח הנמדד בשני המעגלים שווה או שונה.
אם המתח הנמדד שווה – הסבר מדוע. אם המתח הנמדד שונה – קבע באיזה מעגל הוא גדול יותר, והסבר מדוע.

התלמידה החליפה את מד הזרם במעגל המתואר בתרשים א', במד זרם אידאלי.
היא ערכה ניסוי שבו שינתה כמה פעמים את ההתנגדות של הנגד המשתנה
תוצאות הניסוי מוצגות בטבלה שלפניך:

$I(A)$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$V(V)$	0.79	0.60	0.36	0.20	0

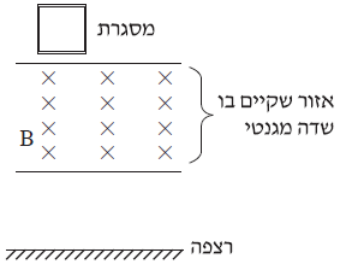
ב. סרטט גרף של המתח כפונקציה של עוצמת הזרם, לפי המדידות של התלמידה.
ג. התבסס על הגרף, וחשב את הכא"מ (ε) ואת ההתנגדות הפנימית (r) של הסוללה.
ד. האם יש דרך למדוד ישירות (ללא חישוב) כא"מ של סוללה?
אם כן – הסבר כיצד. אם לא – הסבר מדוע.
ה. האם יש דרך למדוד ישירות (ללא חישוב) התנגדות פנימית של סוללה?
אם כן – הסבר כיצד. אם לא – הסבר מדוע.

3) באיור שלפניך מוצג מעגל חשמלי שמחוברים בו ארבעה נגדים וסוללה אידאלית שהכא"מ שלה ε. עוצמת הזרם העובר דרך הסוללה מסומנת ב-I.



א. קבע אם המתח על הנגד R_3 גדול יותר מהמתח על הנגד R_4, קטן ממנו או שווה לו. נמק את דעתך.
ב. חשב את המתח על כל נגד, ובטא אותו באמצעות ε בלבד.
ג. סדר את ארבעת הנגדים בסדר עולה, על פי ההספק המתפתח בכל אחד מהם. נמק.
ד. מחליפים את הנגד R_4 בנגד שלו התנגדות גדולה יותר. קבע אם תשתנה עוצמת הזרם העובר דרך הנגד R_1. אם כן, כיצד היא תשתנה? נמק את קביעתך.
ה. מחליפים את הנגד R_4 בחוט מבודד. חשב את עוצמת הזרם העובר דרך כל אחד משלושת הנגדים.

4) לצורך ניסוי, קבוצת תלמידים שיחררה ממנוחה מסגרת ריבועית העשויה מתיל מוליך. בעת נפילתה, המסגרת חולפת דרך אזור שבו מצוי שדה מגנטי שכיוונו אל תוך הדף (ראה איור).
שים לב: השדה אינו פועל עד הרצפה.
המסגרת נפלה בצורה אנכית ולא הסתובבה באוויר, עד שהגיעה לרצפה.



אפשר לחלק את תנועת המסגרת לשלושה שלבים:

i. מתחילת כניסתה לתוך השדה המגנטי עד שכולה בתוכו.
ii. כאשר המסגרת נמצאת כולה בתוך השדה ונעה בתוכו.
iii. מרגע שהמסגרת מתחילה לצאת מהשדה עד שהיא יוצאת ממנו לגמרי.

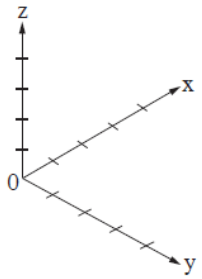
א. במהלך כל אחד מהשלבים iii-i ציין את הכוחות הפועלים על המסגרת, וקבע אם הכוח השקול הפועל עליה גדל, קטן או לא משתנה. נמק את קביעותיך.
ב. לכל אחד מהשלבים iii-i:
קבע אם זרם זרם דרך המסגרת, ואם כן – מהו כיוון הזרם (בכיוון השעון או נגד כיוון השעון). אם לא זרם זרם – הסבר מדוע.

נתון: מסת המסגרת: $m = 0.1kg$, אורך צלעה: $x = 0.5m$, התנגדותה: $R = 1\Omega$,
עוצמת השדה המגנטי: $B = 0.5T$.
ברגע מסוים בזמן הנפילה של המסגרת, התאוצה שלה התאפסה $(a = 0)$.

ג. חשב את עוצמת הזרם הזורם במסגרת ברגע זה, וציין את כיוונו.
ד. חשב את מהירות התנועה של המסגרת ברגע זה.

5) בסדרת ניסויים חקרו את התנהגותם של חלקיקים טעונים באזור שבו הופעלו שדה מגנטי ושדה חשמלי. מטענו של כל חלקיק הוא q+ ומסתו היא m.
(הזנח את השפעתו של כוח הכבידה).
בשלב ראשון, הפעילו באזור רק שדה מגנטי B, בכיוון החיובי של ציר ה- x.
את החלקיקים הטעונים הכניסו אל תוך השדה המגנטי במהירות שגודלה V.
נמצא שהחלקיקים המשיכו לנוע בקו ישר.

א. החלקיקים נעו במקביל לאחד הצירים: x, y, z המוצגים במערכת הצירים שבתרשים א'.
קבע במקביל לאיזה ציר נעו החלקיקים. נמק את קביעתך.

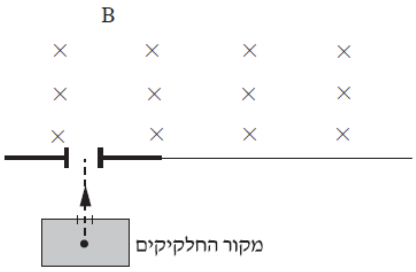


תרשים א

בשלב שני נוסף על השדה המגנטי B הפעילו גם שדה חשמלי E, בכיוון החיובי של ציר ה- y .

ב. שחררו את החלקיקים ממנוחה באזור הניסוי.
קבע אם החלקיקים נשארו במנוחה, נעו בקו ישר או נעו בקו עקום. נמק.

בניסוי נוסף, באזור שבו פעלו שני השדות, החלקיקים נעו במקביל לציר ה- z , ולאחר מכן הם עברו לאזור אחר שבו פעל רק השדה המגנטי (ראה תרשים ב').



תרשים ב

ג. החלקיקים ינועו בקו ישר באזור שבו פועלים שני השדות רק כאשר מתקיים קשר מסוים בין העוצמות של שני השדות לבין גודל מהירות החלקיקים.
התבסס על עקרונות פיזיקליים ומצא קשר זה.
פרט את שיקוליך.
ד. תאר במילים את מסלול החלקיקים באזור שבו פעל רק השדה המגנטי.
ה. השתמש בפרמטרים: B , E , q , m ופתח נוסחה המראה כי המערכת המתוארת בתרשים ב יכולה לשמש להפרדת איזוטופים של יסוד כלשהו.

תשובות סופיות:

1) א. כיוון השדה בין לוח A ל-B: $A \leftarrow B$. כיוון השדה בין לוח B ל-C: $B \leftarrow C$.

ב. $E_{BC} = 1200\frac{V}{m}$, $E_{AB} = -200\frac{V}{m}$

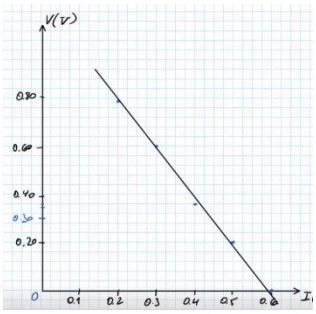
ג. F קבוע $\leftarrow$ a קבוע.

ד. $V_{max} \approx 1.26 \cdot 10^4 \frac{m}{sec}$

ה. לא.

2) א. המתח הנמדד שונה, בתרשים ב' גדול יותר.

ב. סרטוט:



ג. $\varepsilon = 1.21V$, $r = 2.06\Omega$

ד. כן, ע"י חיבור מד מתח אידאלי לסוללה בלבד.

ה. לא, אין מד התנגדות בצורה ישירה.

3) א. $V_3 > V_4$

ב. $V_1 = \frac{\varepsilon}{3}$, $V_2 = \frac{2\varepsilon}{9}$, $V_3 = \frac{2\varepsilon}{3}$, $V_4 = \frac{4\varepsilon}{9}$

ג. $P_2 < P_4 < P_1 < P_3$

ד. כן, תקטן.

ה. $I' = \frac{3}{4}I$

4) א. מקרה i: $\sum F = mg - \frac{B^2l^2}{R}V$, עם הזמן מהירות המסגרת גדלה ולכן F_B גדל, שקול הכוחות קטן.

מקרה ii: $\sum F = mg$, $F_B = 0$ ולכן שקול הכוחות קבוע.

מקרה iii: $\sum F = mg - \frac{B^2l^2}{R}V$, שקול הכוחות קטן.

ב. מקרה i: יש זרם נגד כיוון השעון.

מקרה ii: אין זרם כיוון שהשטף קבוע.

מקרה iii: יש זרם עם כיוון השעון.

ג. $I = 4A$

ד. $V = 16\frac{m}{sec}$

5) א. ציר ה-x.

ב. נעו בקו עקום.

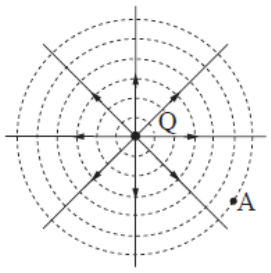
ג. $V = \frac{E}{B}$, $V = \frac{E}{Bsin}\alpha$

ד. הכוח המגנטי קבוע כי המהירות והשדה קבועים ומאונך למהירות לכן מתבצעת תנועה מעגלית.

ה. $m = \frac{qBR}{V}$

קיץ 2015:

1) בתרשים 1 שלפניך מוצגים מטען נקודתי Q, כמה קווי שדה של השדה שנוצר סביבו וחתך של כמה משטחים שווי-פוטנציאל.
(בשאלה זו הפוטנציאל באין-סוף הוא אפס).

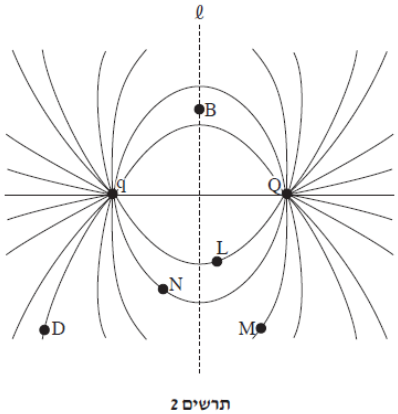


תרשים 1

א. האם המטען Q חיובי או שלילי? נמק.

ב. נתון: בנקודה A, הנמצאת במרחק $d=10cm$ מן המטען Q (ראה תרשים 1).
עוצמת השדה החשמלי היא: $E=100\frac{V}{m}$.
חשב את הגודל של המטען Q.

מביאים מטען נקודתי נוסף, q, לנקודה הנמצאת משמאל למטען Q, ובקרבתו.
בתרשים 2 שלפניך מוצגים שני המטענים הנקודתיים, Q ו-q, וכמה קווי שדה של השדה שנוצר על ידי שני המטענים.
שים לב: בתרשים 2 לא מסומנים הכיוונים של קווי השדה, והתרשים סימטרי משני צידי הישר ℓ.



תרשים 2

ג. קבע מהו המטען q (גודל וסימן). נמק.

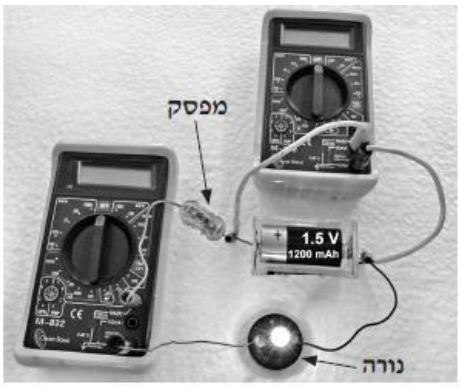
ד. נקודה B נמצאת במרחקים שווים משני המטענים הנקודתיים (ראה תרשים 2).

i. האם עוצמת השדה החשמלי בנקודה B שווה לאפס או שונה מאפס? נמק.

ii. האם הפוטנציאל החשמלי בנקודה B שווה לאפס או שונה מאפס? נמק.

ה. נקודות : $D\ ,\ M\ ,\ N\ ,\ L$ ממוקמות על קווי השדה הנראים בתרשים 2.
ידוע שכדי להעביר מטען מסוים מנקודה D לנקודה N במסלול
$D \leftarrow L \leftarrow M \leftarrow N$ נדרש לעשות עבודה בשיעור : $W = 15 \cdot 10^{-3}\,J$.
מהי העבודה הדרושה כדי להעביר אותו מטען מהנקודה N ישירות לנקודה D? נמק.

2) שני תלמידי פיזיקה, נור ואור, חקרו מעגל חשמלי של פנס כיס. הם פירקו פנס כיס ישן ויצרו מעגל חשמלי הכולל את רכיביו : נורה, סוללה ומפסק.
אליהם הוסיפו תילי חיבור אידאליים ושני רבי-מודדים אידאליים, האחד משמש מד-מתח והאחר מד-זרם.
לפניך תצלום של המעגל החשמלי שהרכיבו התלמידים.



תצלום 1

א. סרטט במחברתך תרשים סכמתי של המעגל החשמלי. השתמש בסימנים המקובלים.

התלמידים רשמו פעמיים את ההוריות של מכשירי המדידה – כאשר המפסק היה פתוח (הנורה אינה דולקת), וכאשר המפסק היה סגור (הנורה דולקת).
בטבלה שלפניך מוצגות תוצאות המדידות :

ההורייה / המפסק	מד-המתח $V(V)$	מד-הזרם $I(A)$
פתוח	1.50	0.0
סגור	1.35	0.3

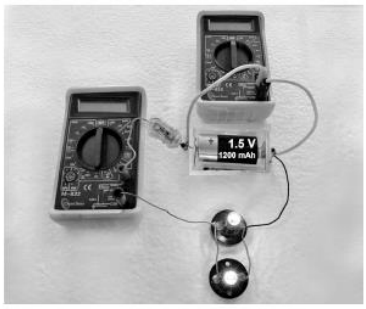
ב. ענה על הסעיפים הבאים:

i. אור ציין שלפני המדידות הוא שיער שגם כאשר המפסק יהיה סגור, הוריית מד-המתח תהיה $1.5V$ – הערך הרשום על הסוללה.
הסבר מדוע יש הבדל בין המתח שנמדד כאשר המפסק היה סגור ובין הערך הרשום על הסוללה.

ii. חשב את ההתנגדות הפנימית של הסוללה.

ג. חשב את עוצמת הזרם בסוללה כאשר מחברים את הדקיה זה לזה באמצעות תיל מוליך חסר התנגדות (זרם קצר).

התלמידים שילבו במעגל עוד נורה, זהה לנורה של הפנס. הם חיברו את שתי הנורות כמתואר בתצלום 2.



תצלום 2

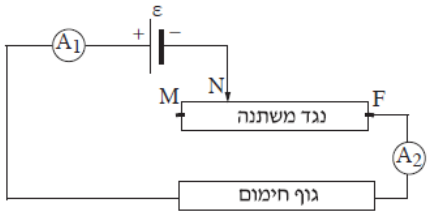
ד. ענה על הסעיפים הבאים:

i. קבע אם במעגל חשמלי זה הוריית מד-הזרם גדולה מ- $0.3A$, קטנה מערך זה או שווה לו. נמק את קביעתך.

ii. קבע אם במעגל חשמלי זה הוריית מד-המתח גדולה מ- $1.35V$, קטנה מערך זה או שווה לו. נמק את קביעתך.

ה. נור הבחינה בנתון נוסף שרשום על הסוללה: $1,200mAh$.
התלמידים מצאו שהפירוש של נתון זה הוא 1,200 מיליאמפר × שעה.
קבע מהו הגודל הפיזיקלי שנתון זה מייצג. פרט את שיקוליך.

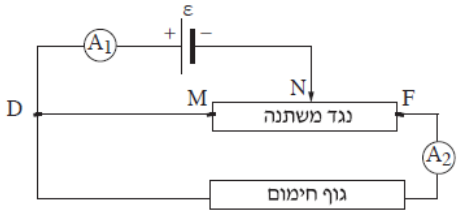
3) במעגל המוצג בתרשים 1 שלפניך מחוברים גוף חימום שהתנגדותו $R = 23\Omega$, נגד משתנה MF שהתנגדותו המרבית $R = 23\Omega$, מקור מתח שהכא"מ שלו $\varepsilon = 230V$ ושני מדי-זרם A_1 ו- A_2.
ההתנגדויות של כל הרכיבים זניחות, מלבד אלה של שני הנגדים.



תרשים 1

א. מזיזים את המגע הנייד מהנקודה M לעבר הנקודה F.
לפניך ארבעה היגדים i-iv. קבע מהו ההיגד הנכון ונמק את קביעתך.
i. הוריית A_1 גדלה, והוריית A_2 קטנה.
ii. הוריית A_1 קטנה, והוריית A_2 גדלה.
iii. הוריית A_1 ו-A_2 גדלות.
iv. הוריית A_1 ו-A_2 קטנות.

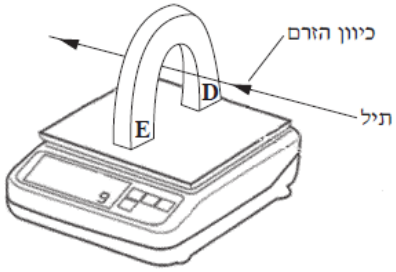
מחזירים את נקודת המגע N לאמצע הנגד המשתנה MF.
ב. חשב את הגלים האלה:
i. עוצמת הזרם בגוף החימום.
ii. כמות החום המתפתחת בגוף החימום במשך 5 דקות.
ג. חשב את נצילות המעגל, בהנחה שהחום המתפתח בגוף החימום מנוצל במלואו והחום המתפתח בנגד המשתנה אינו מנוצל כלל.
ד. מוסיפים למעגל תיל חסר התנגדות המחבר בין הנקודות M ו-D (ראה תרשים 2).



תרשים 2

i. האם במעגל זה הוריית מד-הזרם A_1 גדולה מהוריית מד-הזרם A_2, קטנה ממנה או שווה לה? נמק.
ii. קבע אם הנצילות של מעגל זה גדולה מנצילות המעגל שחישבת בתשובתך על סעיף ג', קטנה ממנה או שווה לה. נמק את קביעתך.

4) התרשים שלפניך מתאר ניסוי שערך תלמיד. התלמיד הציב מאזניים דיגיטליים על שולחן והפעיל אותם. הוריית המאזניים הייתה 0.
אחר כך הוא הציב מגנט פרסה על המשטח העליון של המאזניים. קוטבי המגנט מסומנים בתרשים באותיות D ו-E.
לבסוף העביר התלמיד תיל מוליך בין קוטבי המגנט כמתואר בתרשים:
התיל אינו מונח על משטח המאזניים ולא על המגנט, וכיוונו מאונך לכיוון קווי השדה המגנטי שמקורם במגנט. התיל מחובר בטור למקור-מתח ולמד-זרם (שאינם נראים בתרשים).
הנח כי השדה המגנטי באזור המאזניים קבוע, וכי האורך של קטע התיל הנמצא בשדה המגנטי הוא $\ell = 0.1\text{m}$.
בתשובותיך הזנח את השפעות השדה המגנטי של כדור הארץ על מערכת הניסוי.

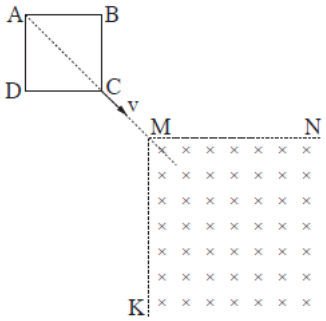


התלמיד העביר בתיל זרמים בכמה עוצמות. בכל העברת זרם הוא מדד את עוצמת השרם בתיל ואת הוריית המאזניים. תוצאות המדידות מוצגות בשורות 1, 2 בטבלה שלפניך.
בסוף הניסוי החסיר התלמיד מכל אחד מערכי הוריית המאזניים שמדד (שורה 2 בטבלה) את ערך הוריית המאזניים שהתקבל בעוצמת זרם אפס.
תוצאות החישובים האלה הם ערכי הכוח F (שורה 3 בטבלה).

1	**עוצמת הזרם בתיל** $I(A)$	0	4	8	12	16	20
2	**הוריית המאזניים** (N)	1.500	1.509	1.524	1.530	1.548	1.555
3	**הכוח F** (N)	0	0.009	0.024	0.0030	0.048	0.055

א. היעזר בנתונים שבטבלה וחשב את מסת המגנט.
ב. כאשר עוצמת הזרם הייתה 4A כיוון הזרם היה כמתואר בתרשים.
האם במהלך הניסוי שינה התלמיד את כיוון הזרם? נמק.
ג. האם הקוטב של המגנט המסומן ב-D הוא הקוטב הצפוני (N) של המגנט או הקוטב הדרומי (S) שלו? נמק.
ד. ענה על הסעיפים הבאים:
i. סרטט במחברתך דיאגרמת פיזור של הכוח F (שורה 3 בטבלה), כפונקציה של עוצמת הזרם בתיל I (שורה 1 בטבלה).
ii. הוסף לדיאגרמת הפיזור קו מגמה קווי (לינארי).
ה. חשב את עוצמת השדה המגנטי באזור המאזניים.

5) בתרשים שלפניך מוצגת מסגרת ריבועית ABCD. המסגרת עשויה תיל מוליך ואחיד שהתנגדותו הכוללת היא R.
מושכים את המסגרת במהירות קבועה שגודלה v וכיוונה לאורך המשך האלכסון AC של הריבוע, כמתואר בתרשים.



באזור ששניים מגבולותיו הם MN ו-MK המאונכים זה לזה, יש שדה מגנטי אחיד שגודלו B, וכיוונו אל תוך הדף (ראה תרשים).
ברגע $t=0$ הקודקוד C של המסגרת מגיע לקודקוד M של אזור השדה המגנטי, וצלעות הריבוע AB ו-AD מקבילות בהתאמה לצלעות MN ו-MK של אזור השדה המגנטי. ברגע $t=T$ קודקוד A מגיע לקודקוד M.
t הוא רגע כלשהו בין הרגע t_0 לרגע T.

א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. מדוע זורם בתיל זרם ברגע t?

ii. האם כיוון הזרם בתיל ברגע t הוא בכיוון התנועה של מחוגי השעון או בכיוון המנוגד לכיוון התנועה של מחוגי השעון? נמק.

ב. בתת-סעיפים i-iii שלפניך בטא את הגדלים ברגע t באמצעות נתוני השאלה: R, v, B ו-t או באמצעות חלק מהם:

i. השטף המגנטי דרך הריבוע התחום על ידי המסגרת.

ii. הכא"מ המושרה בתיל.

iii. עוצמת הזרם בתיל.

ג. האם בפרק הזמן שבין t_0 ל-T עוצמת הזרם במסגרת היא קבועה? נמק.

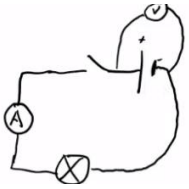
תשובות סופיות:

1) א. חיובי, קווי השדה מצביעים כלפי חוץ. ב. $Q=1.11\cdot10^{-10}C$

ג. $q=1.11\cdot10^{-10}C$, שלילי. ד.i. שונה מאפס. ii. שווה לאפס.

ה. $W=15\cdot10^{-3}J$

2) א. סרטוט:



ב.i. כאשר הזרם הוא אפס אז מתח ההדקים שווה לכא"מ האידאלי של הסוללה, כאשר יש זרם מתח ההדקים קטן מהכא"מ. ii. $r=0.5\Omega$

ג. $I=3A$ ד.i. גדולה. ii. קטנה.

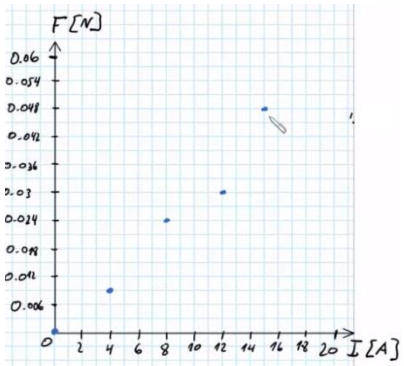
ה. הגודל הפיזיקלי הוא מטען.

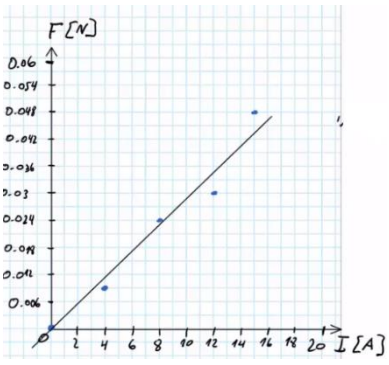
3) א. היגד iii. ב.i. $I=6.667A$ ii. $Q=306,667J$

ג. $\eta=66.7\%$ ד. $I_2<I_1$ ii. $\eta=16.66\%<66.7\%$

4) א. $m=0.15kg$ ב. לא שינה. ג. D הצפוני, E הדרומי.

ד.i. סרטוט: ii. סרטוט:





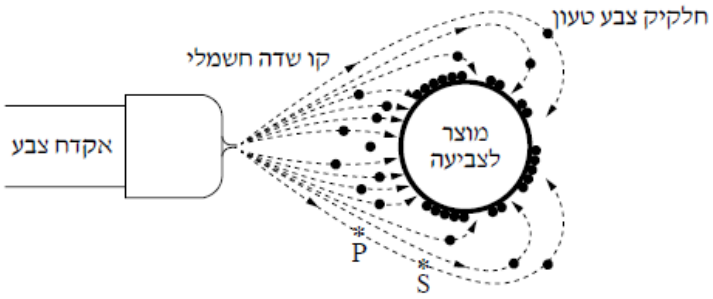
ה. $B=2.88\cdot10^{-2}T$

5) א.i. חוק פארדיי. ii. נגד השעון. ב.i. $\phi_B=B\cdot\frac{V^2\cdot t^2}{2}$

ii. $\varepsilon=-BV^2t$ iii. $I=\frac{BV^2t}{R}$ ג. לא קבועה.

קיץ 2016:

1) כדי לשמור על איכות הסביבה, במפעלי מתכת רבים צובעים כיום מוצרים בשיטת הצביעה האלקטרוסטטית במקום לצבוע בשיטות צביעה מסורתיות. במהלך הצביעה האלקטרוסטטית אקדח צביעה מתיז אבקת צבע, המורכבת מחלקיקים שנטענים במטען חשמלי במהלך ההתזה. חלקיקי הצבע ייצמדו למוצר שהוא גוף מתכתי טעון. בתרשים שלפניך מוצגת מערכת צביעה, ובה המוצר הנצבע הוא כדור מתכתי טעון. החיצים שבתרשים מייצגים את הכיוון של קווי השדה החשמלי בסביבת העבודה. כוח הכובד זניח.



א. הגדר את המושג: "קו שדה חשמלי".

ב. היעזר בתרשים, וקבע אם המטען של חלקיקי הצבע חיובי או שלילי. נמק את קביעתך.

חלקיק צבע שמטענו: $|q| = 5 \cdot 10^{-13}\text{C}$ נע לאורך קו השדה P לנקודה S (ראה תרשים).

נתון: המרחק בין P ל-S הוא: $d = 0.1\text{m}$.

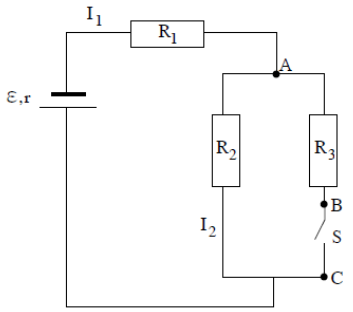
הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות P ו-S הוא: $|\Delta V| = 50\text{kV}$.

ג. קבע לאיזו משתי הנקודות, P או S, יש פוטנציאל גבוה יותר. נמק את קביעתך.

ד. הנח שהשדה החשמלי באזור שבין שתי הנקודות P ו-S הוא שדה אחיד.
חשב את הכוח החשמלי שפועל על חלקיק הצבע הטעון שנע מנקודה P לנקודה S.
שים לב: הקשר בין עוצמת השדה החשמלי האחיד ובין הפרש הפוטנציאלים שבין שתי נקודות שבתוכו, מוגדר כך: $E = -\frac{\Delta V}{\Delta x}$.

ה. חשב את שינוי האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של חלקיק הצבע בתנועתו מנקודה P לנקודה S.

2) בתרשים שלפניך מוצג מעגל חשמלי הכולל מקור מתח, שלושה נגדים (R_1, R_2, R_3), מפסק S ותילי חיבור שהתנגדותם זניחה. הכא"מ של מקור המתח הוא ε והתנגדותו הפנימית היא r. עוצמת הזרם הזורם דרך נגד R_1 היא I_1, ועוצמת הזרם הזורם דרך נגד R_2 היא I_2.



בשלב הראשון המפסק S סגור (מאפשר זרימת זרם).

א. בטא באמצעות הפרמטרים: $R_3 , R_2 , R_1 , r , I_2$ את הגדלים האלה:

i. I_1

ii. ε

ב. נתון: $I_1 = 1A , R_1 = 1.5\Omega , R_2 = 4\Omega , R_3 = 2\Omega , r = 0.5\Omega$.
חשב את הכא"מ של מקור המתח, ואת מתח ההדקים במעגל.

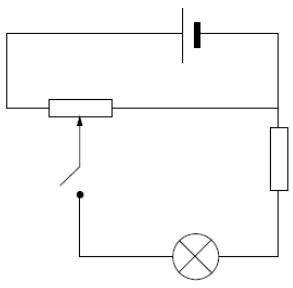
ג. חשב את המתחים V_{AB} ו- V_{BC}.

בשלב השני פתחו את מפסק S.

ד. חזור וחשב במצב זה את המתחים V_{AB} ו- V_{BC}.

ה. באיזה משני המצבים, מפסק סגור או מפסק פתוח, נצילות המעגל גדולה יותר? נמק את קביעתך. אין צורך לחשב.

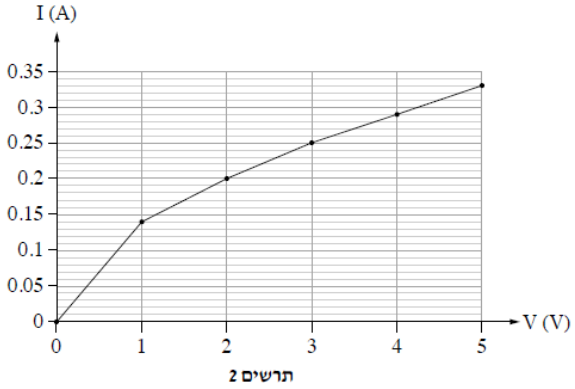
3) תלמידה ערכה ניסוי לבדיקת התלות שבין עוצמת הזרם בנורת להט ובין המתח על הנורה. לשם כך היא הרכיבה מעגל הכולל מקור מתח, נורה, נגד קבוע, נגד משתנה, מפסק ותילי חיבור (שהתנגדותם זניחה) ראה תרשים 1.
התלמידה ערכה מדידות אחדות בעזרת מכשירי מדידה אידיאליים.
את תוצאות המדידות היא הציגה בגרף מקורב, המתאר את הקשר בין שני המשתנים (הזרם והמתח).



תרשים 1

א. העתק את תרשים 1 למחברתך. הוסף לתרשים המעגל שבמחברתך מד-מתח ומד-זרם אידאליים, שימדדו את המתח על הנורה ואת עוצמת הזרם העובר דרכה.

בתרשים 2 שלפניך מוצג הגרף שסרטטה התלמידה:



תרשים 2

על פי הגרף:

ב. חשב את התנגדות הנורה בכל אחד משני תחומי המתח:

i. $0 < V < 1V$

ii. $3V < V < 5V$

ג. חשב את הספק הנורה עבור כל אחד משני המתחים:

i. $V = 1V$

ii. $V = 5V$

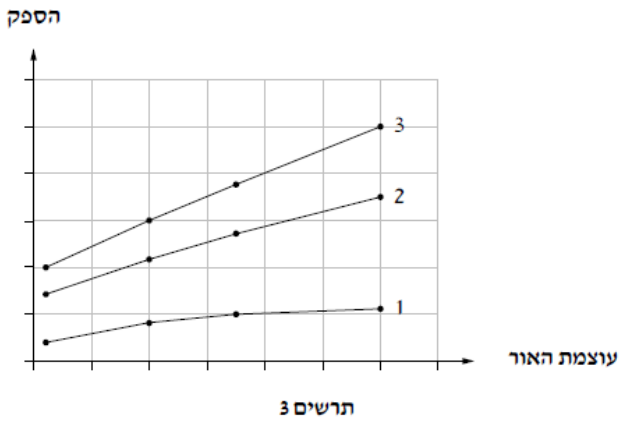
ד. נתונה כמות האנרגיה המתבזבזת בנורה (בעיקר על חום) במשך שנייה אחת:

i. כאשר: $V = 1V$, $E = 0.132J$.

ii. כאשר: $V = 5V$, $E = 1.52J$.

חשב את נצילות הנורה עבור שני ערכי המתח i ו-ii.

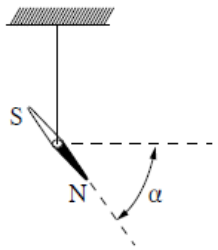
נורות להט מוחלפות כיום בנורות מסוגים אחרים (כגון נורות LED או נורות PL) בעיקר בשל הנצילות הנמוכה מאוד של נורות להט.
בתרשים 3 שלפניך מוצגים ההספקים של נורת PL, נורת להט ונורת LED, כפונקציה של עוצמת האור שהן מפיקות.



תרשים 3

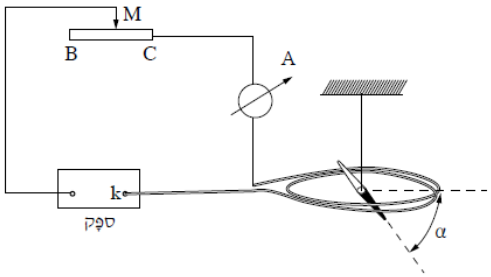
ה. קבע איזה מן הגרפים, 1, 2 או 3, מתאר נורת להט. נמק את קביעתך.

4) תלמיד ערך ניסוי למדידת הגודל של השדה המגנטי של כדור הארץ, B_E, בסביבת מגוריו. כדי למצוא את כיוון השדה, הוא תלה מחט מגנטית על חוט דק הקשור למרכז המחט. התלייה מאפשרת למחט לנוע בחופשיות. α היא זווית ההרכנה, שהיא הזווית בין כיוון המחט ובין המישור האופקי (ראה תרשים 1). התלמיד מדד את זווית α ומצא $\alpha = 53°$.
תוצאה זו התקבלה בהשפעת השדה המגנטי של כדור הארץ בלבד.



תרשים 1

כדי למדוד את הגודל של השדה המגנטי, B_E, הרכיב התלמיד מעגל חשמלי ובו:
ספק נגד משתנה, מד זרם וסליל מעגלי דק הממוקם במישור האופקי.
התלמיד תלה את המחט המגנטית מעל מרכז הסליל (ראה תרשים 2).
נתון: הסליל הדק עשוי 4 כריכות ($N = 4$). רדיוס כל כריכה $r = 20cm$.



תרשים 2

התלמיד הזיז את הגררה M של הנגד המשתנה, וראה שהזווית α קטנה בהדרגה, עד שבנקודה מסוימת המחט המגנטית התייצבה במצב אופקי ($\alpha = 0°$).

א. על פי הכיוון של השדות המגנטיים, קבע אם ההדק k של הספק הוא חיובי או שלילי. נמק את קביעתך.

ב. האם במהלך הניסוי הזיז התלמיד את הגררה M של הנגד המשתנה מנקודה C לנקודה B או מנקודה B לנקודה C? נמק את תשובתך.

ג. כאשר המחט התייצבה במצב אופקי, מד הזרם הורה 3.2A.
חשב את גודלו של הרכיב האנכי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_{E\perp}$.

התלמיד לא היה מרוצה מדיוק המדידה בניסוי שערך, ולכן החליט למצוא את הרכיב האנכי של השדה המגנטי, $B_{E\perp}$, באמצעות גרף. לשם כך הוא חזר על המדידות כמה פעמים, ובכל פעם שינה את מספר הכריכות.

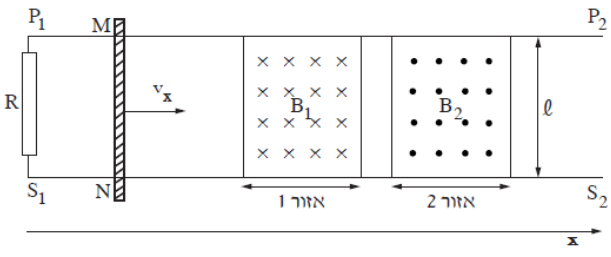
בכל מדידה הוא רשם את מספר הכריכות N ואת הזרם I שהתקבל כאשר המחט התלויה התייצבה במצב אופקי ($\alpha = 0°$). התלמיד חישב את הערכים של $\frac{1}{I}$ ורשם גם אותם. התוצאות מוצגות בטבלה שלפניך:

כריכות N	4	6	8	10	12
$I(A)$	3.2	2.1	1.5	1.3	1
$\frac{1}{I}\left(\frac{1}{A}\right)$	0.3	0.5	0.7	0.8	1

ד. סרטט במחברתך גרף של $\frac{1}{I}$ כפונקציה של מספר הכריכות N.

ה. חשב באמצעות שיפוע הגרף את גודל הרכיב האנכי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_{E\perp}$.

5) בתרשים שלפניך מוצגת מערכת ניסוי, במבט מלמעלה.
המערכת מורכבת משתי מסילות חלקות, S_1S_2 ו- P_1P_2, המונחות במקביל על שולחן אופקי, במרחק ℓ, זו מזו (ראה תרשים). על המסילות מונח מוט MN שמסתו m. המסילות והמוט מוליכים, והתנגדותם זניחה. (התנגדות האוויר ניתנת אף היא להזנחה). נגד R מחבר בין הקצוות P_1 ו- S_1 של המסילות.
בין המסילות באזור 1 ($0 \le x \le 0.4\text{m}$) יש שדה מגנטי B_1, ובין המסילות באזור 2 ($0.5\text{m} \le x \le 0.9\text{m}$) יש שדה מגנטי B_2.
שני השדות קבועים, מאונכים למישור השולחן ושווים בגודלם: $|B_1| = |B_2| = 0.04\text{T}$.
הכיוונים של השדות מסומנים בתרשים.
נתון: $\ell = 50\text{cm}$, $R = 4\Omega$.



בניסוי המוט MN נכנס לאזור 1 במהירות של $v_x = 2\frac{\text{m}}{\text{sec}}$. באזור זה הופעל על המוט כוח F_1 בכיוון ציר ה- x, ולכן מהירותו נשארת קבועה.

א. קבע אם במהלך התנועה של המוט באזור 1, זרם זרם בנגד R.
אם לא – נמק מדוע.
אם כן – מצא את גודלו של הזרם ואת כיוונו (מ-S_1 ל-P_1 או מ-P_1 ל-S_1).

ב. קבע אם עבודתו של הכוח F_1, הדרושה לקיומה של תנועה קצובה זו באזור 1 גדולה מכמות החום המתפתחת בנגד R באותו פרק זמן, קטנה או שווה לה. נמק את קביעתך במילים או באמצעות חישוב.

באזור 2 הופעל על המוט MN כוח F_2 בכיוון ציר ה-x (במקום הכוח F_1), ולכן הוא נע בתאוצה קבועה: $a=5\frac{m}{sec^2}$ (שים לב שמהירותו ההתחלתית של המוט באזור זה היא: $2\frac{m}{sec}$).

ג. קבע במקרה זה את כיוונו של הזרם בנגד R (מ-S_1 ל-P_1 או מ-P_1 ל-S_1).

ד. בטא את הזרם בנגד כפונקציה של הזמן. רגע הכניסה של המוט לאזור 2 הוא $t=0$.

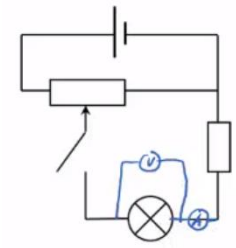
ה. קבע אם עבודתו של כוח F_2, הדרושה לקיומה של תנועה זו באזור 2, גדולה מכמות החום המתפתחת בנגד R באותו פרק זמן, קטנה ממנה או שווה לה. נמק בלי לחשב.

תשובות סופיות:

1) א. ראה סרטון. ב. חיובי. ג. P - פוטנציאל גבוה יותר.
ד. $F = 2.5\cdot10^{-7}\,N$ ה. $\Delta U = 2.5\cdot10^{-8}\,J$

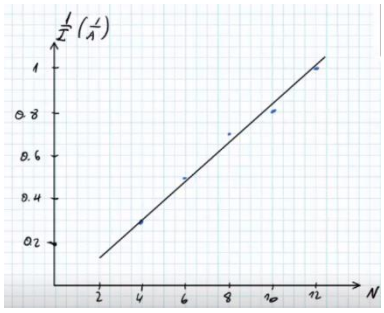
2) א.i. $I_2 = \left(1+\frac{R_2}{R_3}\right)$ ii. $\varepsilon = I_2R_2 + I_2\left(1+\frac{R_2}{R_3}\right)(R_1+r)$
ב. $\varepsilon = 20V$, V=17V ג. $V_{AB}=8V$, $V_{BC}=0$ ד. $V_{AB}=0$, $V_{BC}=13.33V$
ה. מפסק פתוח.

3) א. סרטוט:



ב.i. $R\approx7.14\Omega$ ii. $R=25\Omega$
ג.i. $P=0.14W$ ii. $P=1.65W$
ד.i. $\eta=5.71\%$ ii. $\eta\approx7.88\%$
ה. גרף 3.

4) א. חיובי. ב. מנקודה B ל-C. ג. $B_{E\perp}=4.04\cdot10^{-5}T$
ד. סרטוט:

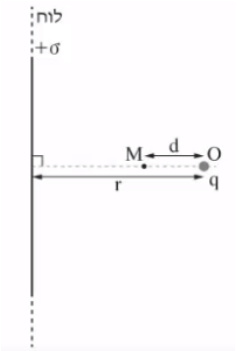


ה. $B\approx3.43\cdot10^{-5}T$

5) א. כן, $I=0.01A$, מ-P_1 ל-S_1. ב. שווה. ג. עם השעון.
ד. $I=0.005(2+5t)\,A$ ה. גדולה.

קיץ 2017:

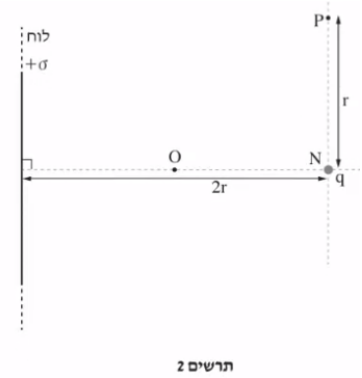
1) בתרשים 1 מוצג לוח אין-סופי דק הטעון בצפיפות מטען $+\sigma$.
בנקודה O, הנמצאת במרחק r מימין ללוח, נמצא מטען נקודתי q.
יש להזניח את כוח הכובד.
נתון כי בנקודה M הנמצאת במרחק d משמאל לנקודה O, השדה החשמלי השקול מתאפס.



תרשים 1

א. קבע מהו הסימן של המטען q. הסבר את קביעתך.
ב. בטא את גודל המטען q באמצעות הפרמטרים σ ו-d.

בשלב שני מרחיקים את המטען q מן הנקודה O אל הנקודה N הנמצאת במרחק 2r מן הלוח האין-סופי (ראה תרשים 2).



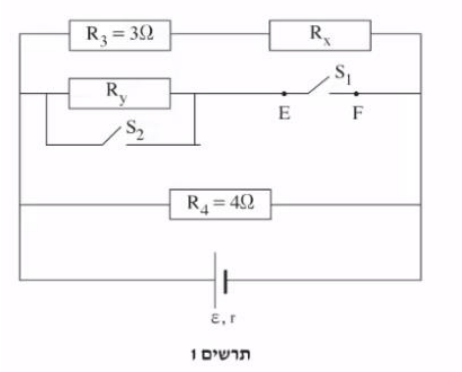
תרשים 2

במקרה זה השדה מתאפס במרחק s משמאל לנקודה N.
ג. קבע אם המרחק s גדול מן המרחק d (המסומן בתרשים 1), קטן ממנו או שווה לו. הסבר את קביעתך.
ד. בטא את העבודה הדרושה כדי להעביר את המטען q מן הנקודה O לנקודה N. בתשובתך השתמש בפרמטרים: σ , ε_0 , q , r.

בשלב שלישי מעבירים את המטען q מן הנקודה N אל נקודה P הנמצאת במרחק r מן הנקודה N. הנקודות N ו-P נמצאות על קו מקביל ללוח האין-סופי (ראה תרשים 2).

ה. קבע את גודל העבודה הדרושה כדי להעביר את המטען מ-N ל-P. הסבר את קביעתך.

2) בתרשים 1 שלפניך מתואר מעגל חשמלי הכולל תילים שהתנגדותם זניחה, שני מפסקים S_1 ו-S_2, מקור מתח שהכא"מ שלו הוא ε והתנגדותו הפנימית היא: $r=1\Omega$, וארבעה נגדים שההתנגדויות שלהם: $R_1=1\Omega$, $R_2=2\Omega$, $R_3=3\Omega$, $R_4=4\Omega$.
שים לב: בתרשים מסומנים רק מקומותיהם של הנגדים R_3 ו-R_4. שני הנגדים האחרים מיוצגים על ידי R_x ו-R_y.



תרשים 1

בשלב הראשון המפסק S_1 סגור והמפסק S_2 פתוח (לא זורם דרכו).
נתון שההתנגדות השקולה של ארבעת הנגדים היא: $R_T=1\Omega$.

א. קבע איזה מן הנגדים, R_x ו-R_y, הוא R_1, ואיזה מהם הוא R_2. פרט את שיקוליך.

ב. נתון כי דרך הנגד R_3 זורם זרם של $3A$.

i. חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך מקור המתח.

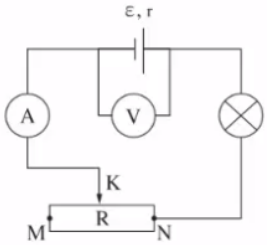
ii. חשב את הכא"מ של מקור המתח.

בשלב השני פותחים את המפסק S_1 (שני המפסקים פתוחים).

ג. קבע האם בעקבות פתיחת המפסק S_1, הזרם דרך מקור המתח גדל, קטן או אינו משתנה. הסבר את קביעתך.

ד. חשב את המתח V_{EF} (המתח על המפסק S_1).

3) תלמיד בנה מעגל חשמלי הכולל מקור מתח לא אידאלי, נורה שהתנגדותה קבועה במהלך הניסוי, נגד משתנה R, מכשירי מדידה אידאליים (וולטמטר ואמפרמטר) ותילים שהתנגדותם זניחה. קצותיו של הנגד המשתנה מסומנים באותיות M ו-N, והגררה שלו מסומנת באות K (ראה תרשים).



התלמיד שינה כמה פעמים את מיקום הגררה K ובכל פעם רשם את הוריית הוולטמטר והאמפרמטר.
תוצאות המדידות מוצגות בטבלה שלפניך. אחת השורות בטבלה מתייחסת לנקודה N.

מיקום הגררה	V(V)	I(A)
1	21.1	0.29
2	17.5	0.60
3	14.5	0.91
4	12.5	1.20
5	9.0	1.49

א. סרטט במחברתך גרף של המתח V כפונקציה של הזרם I.
הקפד על כל הכללים הנדרשים בסרטוט גרף.

ב. על פי הגרף:

i. קבע את הכא"מ של מקור המתח. פרט את שיקוליך.

ii. חשב את ההתנגדות הפנימית (r) של מקור המתח.

כאשר הגררה נמצאת באחת מן הנקודות 1-5 הנורה דולקת באור שעוצמתו גבוהה יותר מעוצמתו בכל מיקום אחר של הגררה.
להזכירך, התנגדות הנורה קבועה במהלך הניסוי.

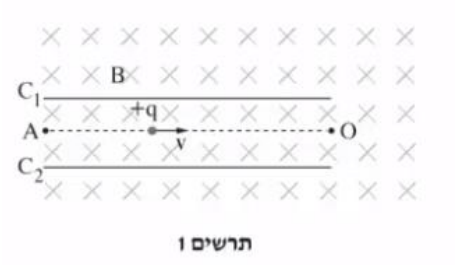
ג. קבע באיזו מבין הנקודות 1-5 (ראה טבלה) הנורה דולקת בעוצמת האור הגבוהה ביותר. הסבר את קביעתך.

ד. חשב את הספק הנורה בנקודה זו.

התלמיד החליף את הנורה שבמעגל הנתון בנורה אחרת, שהתנגדותה גדולה יותר.
הוא חזר על הניסוי, וסרטט גרף של V כפונקציה של I.

ה. קבע אם קו המגמה של תוצאות הניסוי השני אמור להתלכד עם קו המגמה בגרף שסרטטת בסעיף א'. נמק את קביעתך.

4) באמצעות ספקטרומטר מסות אפשר להפריד בין חלקיקים טעונים שיש להם מסות ומטענים שונים (יונים). בתהליך ההפרדה היונים עוברים תחילה באזור שיש בו שדה חשמלי ושדה מגנטי (״בורר מהירויות״). לאחר מכן היונים ממשיכים לאזור ששורר בו שדה מגנטי בלבד.
תרשים 1 שלפניך מתאר בורר מהירויות.
בבורר שורר שדה מגנטי אחיד B שכיוונו ״לתוך הדף״, כמתואר בתרשים.
בין הלוחות C_1 ו-C_2 שורר שדה חשמלי אחיד E שכיוונו מקביל למישור הדף (השדות B ו-E מאונכים זה לזה).
אחד הלוחות טעון במטען חיובי והאחר במטען שלילי.
הזנח את כוח הכובד ואת התנגדות האוויר.



תרשים 1

יון חיובי $+q$ נע ימינה בין שני הלוחות, בקו ישר AO המקביל ללוחות.

א. סרטט במחברתך את תרשים הכוחות שפועלים על היון, וסמן את השמות של כל אחד מן הכוחות.

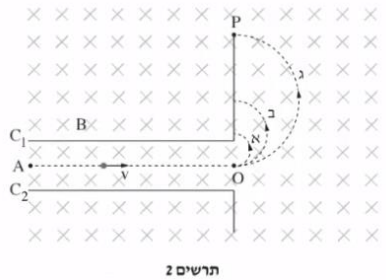
ב. קבע איזה לוח, C_1 או C_2, טעון במטען חיובי. הסבר את קביעתך.

ג. פתח ביטוי לגודל המהירות V שבה נע היון לאורך הקו AO.

החליפו את היון החיובי ביון שלילי $-q$ שמהירותו שווה למהירות של היון החיובי, בלי לשנות את השדה המגנטי.

ד. קבע אם נדרש להפוך את כיוון השדה החשמלי בין הלוחות כדי שגם יון זה ינוע ימינה לאורך הקו AO. פרט את שיקוליך.

שלושה יונים: 1, 2, 3 נכנסים לתוך הספקטרומטר. הם נעים בזה אחר זה בתוך בורר המהירויות לאורך הקו AO באותה מהירות v. מן הנקודה O הם עוברים לאזור שיש בו שדה מגנטי, שהוא באותה עוצמה ובאותו כיוון כמו השדה השורר בבורר המהירויות.
בהשפעת השדה המגנטי כל יון נע באחד מן המסלולים א׳, ב׳ או ג׳.
הצורה של כל אחד מן המסלולים היא חצי מעגל, כמתואר בתרשים 2.



תרשים 2

בטבלה שלפניך מוצגים נתונים על המסה והמטען של שלושת היונים.

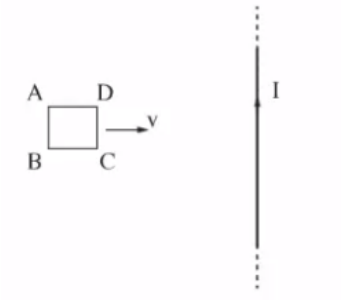
היון	המסה	המטען
1	$M_1 = m$	$Q_1 = q$
2	$M_2 = m$	$Q_2 = 2q$
3	$M_3 = 2m$	$Q_3 = q$

ה. קבע באיזה מן המסלולים א', ב' או ג' נע כל אחד משלושת היונים: 1, 2, 3.
פרט את שיקוליך.

נתון: $E = 6.15 \cdot 10^3 \frac{V}{m}$, $B = 0.1T$, $m = 1.3 \cdot 10^{-26} kg$, $q = 1.6 \cdot 10^{-19} C$.

ו. חשב את המרחק OP.

5) תלמידה ערכה סדרת ניסויים כדי לחקור את היווצרותו של זרם מושרה.
היא העבירה זרם חשמלי קבוע I דרך תיל ישר וארוך מאוד (אין-סופי) הנמצא במישור הדף (ראה תרשים 1).
בניסוי הראשון היא הניחה מסגרת ריבועית ABCD במישור הדף משמאל לתיל, וקירבה אותה לתיל במהירות קבועה v, במישור הדף, כשהצלע CD מקבילה לתיל.
ההשפעה של כוח הכובד וההשפעה של השדה המגנטי של כדור הארץ זניחות.

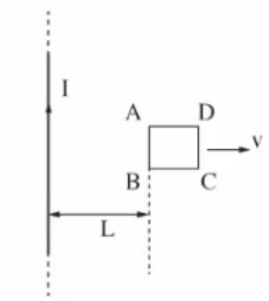


תרשים 1

א. מהו הכיוון של השדה המגנטי שיצר התיל באזור שבו המסגרת נעה?
בחר באחת מן האפשרויות האלה: ימינה, שמאלה, מעלה, מטה, אל תוך הדף, החוצה מן הדף.

ב. קבע אם הזרם בצלע AB זורם מ-A ל-B או מ-B ל-A.
הסבר את קביעתך באמצעות חוק לנץ.

בניסוי השני הניחה התלמידה את המסגרת במישור הדף מימין לתיל והרחיקה אותה ממנו במהירות קבועה v (ראה תרשים 2).



תרשים 2

ג. קבע אם הזרם בצלע AB זורם כעת מ-A ל-B או מ-B ל-A.

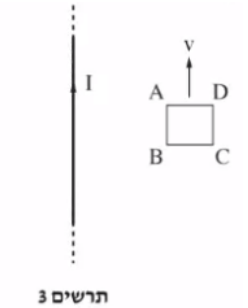
ברגע מסוים כאשר הצלע AB של המסגרת הייתה במרחק L מן התיל (ראה תרשים 2), זרם דרכה זרם I_1 בכיוון שקבעת בסעיף ג'. אורך הצלע של המסגרת הוא a.

ד. ענה על הסעיפים הבאים:

i. העתק למחברתך את תרשים המסגרת ABCD. הוסף לתרשים חיצים המייצגים באופן איכותי את הכיוון ואת הגודל של הכוחות המגנטיים הפועלים על כל אחת מצלעותיה. הקפד שאורכי החיצים ייצגו בצורה יחסית את גודלו של כל אחד מן הכוחות.

ii. בטא באמצעות הפרמטרים: I, I_1, a ו- L, את הגודל של הכוח המגנטי השקול הפועל על המסגרת, וקבע את כיוונו.

בניסוי השלישי המסגרת ABCD נעה במישור הדף במהירות קבועה v. כיוון המהירות מקביל לתיל (ראה תרשים 3).



תרשים 3

ה. קבע אם זורם זרם בצלע AB.
אם כן – קבע את כיוונו (מ-A ל-B או מ-B ל-A).
אם לא – הסבר מדוע.

תשובות סופיות:

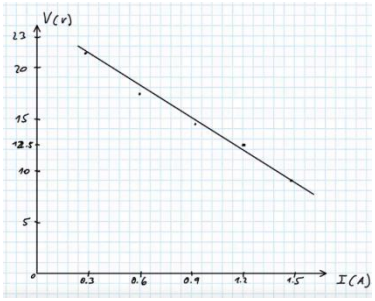
1) א. חיובי. ב. $q = 2\pi\sigma d^2$ ג. שווה. ד. $W = \frac{-q\sigma r}{2\varepsilon_0}$

ה. $W = 0$

2) א. $R_x = R_1$, $R_y = R_2$ ב.i. $I_T = 12A$ ii. $\varepsilon = 24V$ ג. קטן.

ד. $V_{EF} = 16V$

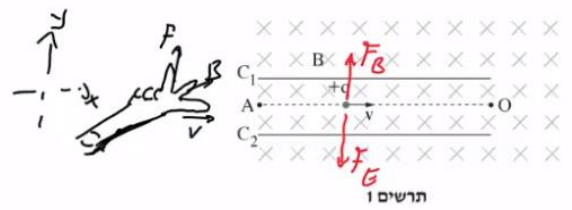
3) א. סרטוט:



ב.i. $\varepsilon = 25.3V$ ii. $r = 11.1\Omega$

ג. נקודה 5. ד. $P = 13.41W$ ה. להתלכד.

4) א. סרטוט:



תרשים 1

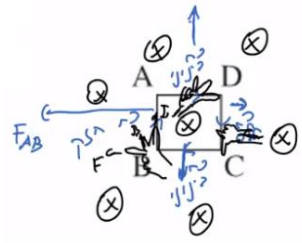
ב. C_1 חיובי

ג. $V = \frac{E}{B}$ ד. לא נדרש. ה. 1=ב' , 2=א' , 3=ג'.

ו. $OP \approx 0.2m$

5) א. החוצה מן הדף. ב. מ-B ל-A. ג. מ-B ל-A.

ד.i. סרטוט:



ii. $|F| = \frac{I_1 a \mu_0 I}{2\pi}\left(\frac{1}{L} - \frac{1}{L+a}\right)$, שמאלה.

ה. הזרם יהיה אפס.