פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

תוכן העניינים

1. הכוח החשמלי- חוק קולון 1
2. השדה החשמלי 5
3. חוק גאוס 9
4. תנועה בשדה חשמלי אחיד 12
5. מוליכים 14
6. חומרים דיאלקטריים 17
7. מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית 20
8. זרם מתח ותנגדות 36
9. אנרגיה והספק במעגל החשמלי 44
10. חיבור נגדים וחוקי קירכהוף 49
11. קיבול חשמלי ומעגלי CR 57
12. השדה המגנטי 74
13. הכוח המגנטי (חוק לורנץ) 77
14. חוק פארדיי 84
15. מעגלי זרם חילופין ירד בסילבוס של 4202 87
16. גלים ירד בסילבוס של 4202 97
17. אופטיקה ירד בסילבוס של 4202 99
18. גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות- ירד בסילבוס של 4202 115

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 1 - 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.

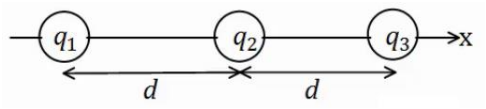
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן: $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$.

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

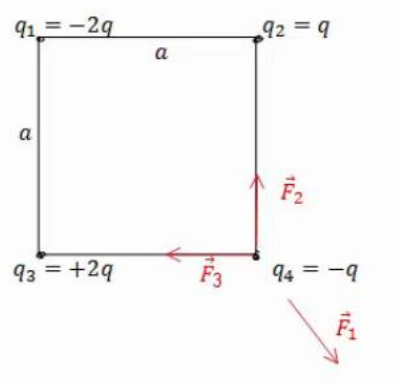
תרגילים:

שאלות:

1) מטען בפינת ריבוע

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

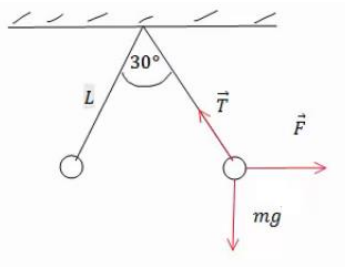
q ו- a נתונים.



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

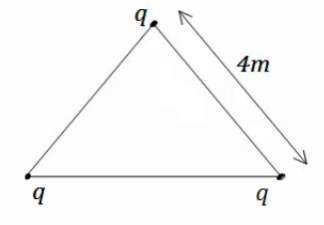
אטום המימן מורכב מפרוטון בגרעין ואלקטרון הסובב סביב הגרעין בתנועה מעגלית ברדיוס של 0.53 אנגסטרום.

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

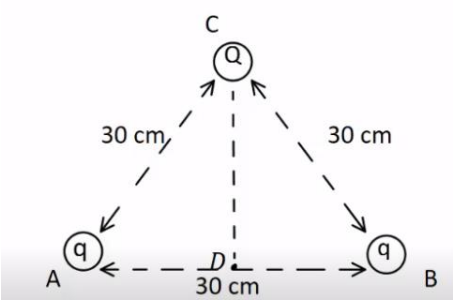
שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של משולש שווה צלעות.

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: $Q=-2\cdot10^{-5}c$.

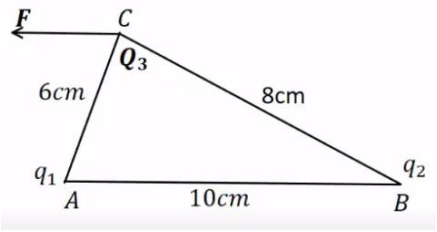
משחררים את הכדור הנמצא בנקודה C.

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.

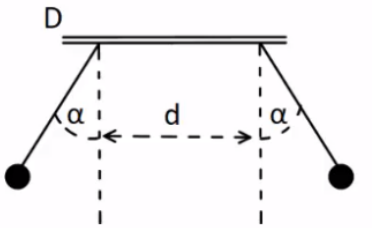
בהזנחת כוח הכובד:

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

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 2 - 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.

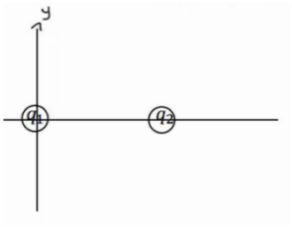
א. חשב את השדה בנקודות $(1m,3m),(0,2m)$, אם נתון ש- $q=5c$ (גודל וכיוון).

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 $(3cm,0)$.

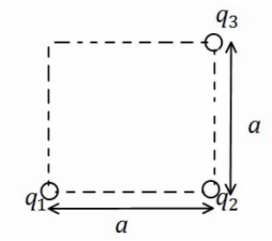
מצא את השדה בנקודות הבאות:

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.

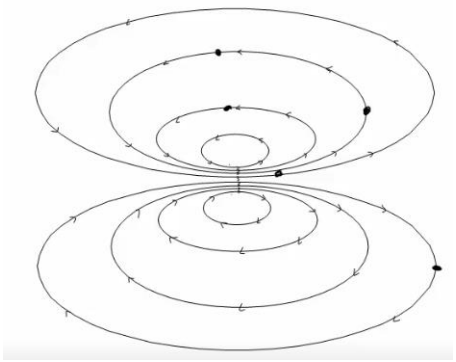
מהו השדה בפינה הרביעית?

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

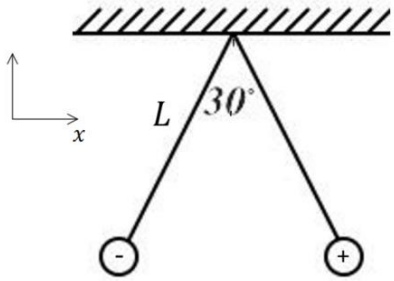
שני כדורים קטנים תלויים מהתקרה באמצעות חוטים זהים באורך: $L = 8cm$.

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

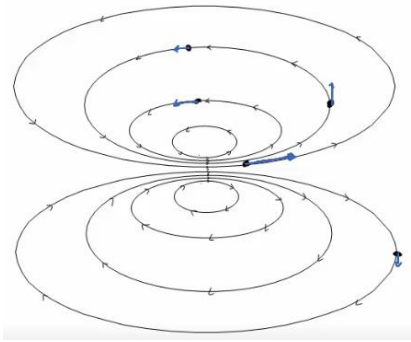
ג. $\vec{F}=4.26\cdot10^{9}\hat{x}+12.81\cdot10^{9}\hat{y}$ ד. $\vec{F}_3=-4\cdot\left(1.42\cdot10^{9}\hat{x}+4.27\cdot10^{9}\hat{y}\right)$

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

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים
7111710

פרק 3 - חוק גאוס

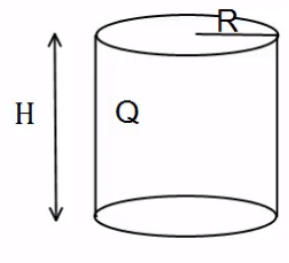
תוכן העניינים

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

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: $\pi r^2 h$).

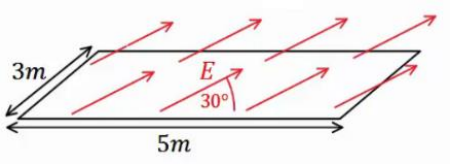
תשובות סופיות:

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

חוק גאוס:

שאלות:

1) שדה באלכסון



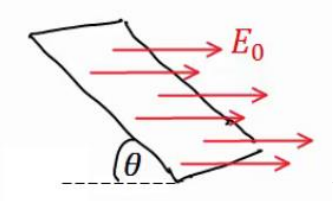
באיור הבא נתון כי השדה החשמלי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).

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



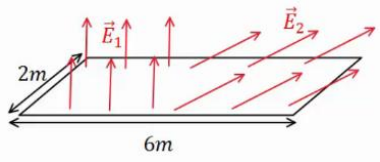
שדה חשמלי אחיד נמצא בכל המרחב בכיוון ציר ה- x,

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

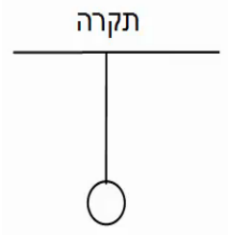
2) $\Phi_E = E_0 \sin\theta \cdot a \cdot b$

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

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) מישור מתחת לכדור תלוי



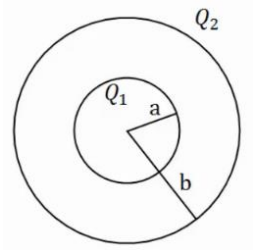
כדור בעל מסה $m=5kg$ ומטען $Q=20\mu c$ תלוי באמצעות חוט מהתקרה. מתחת לכדור ישנו מישור אינסופי בעל צפיפות מטען משטחית: $\sigma=-\frac{30\mu c}{m^3}$.

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.

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים
7111710

פרק 4 - 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.

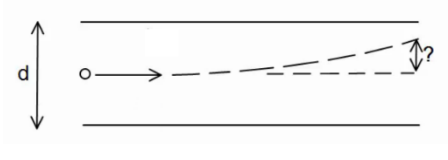
משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון: $\begin{pmatrix} q_e=-1.6\cdot10^{-19}c \\ m_e=9.1\cdot10^{-31}kg \end{pmatrix}$.

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



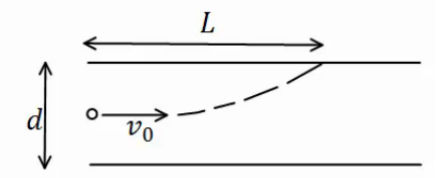
שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 5 ס״מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ״מ.
הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה.
המטען הכולל על הלוח העליון הוא: $Q=3\cdot10^{-11}c$, והמטען הכולל על הלוח התחתון זהה והפוך בסימנו.

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

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 5 - מוליכים

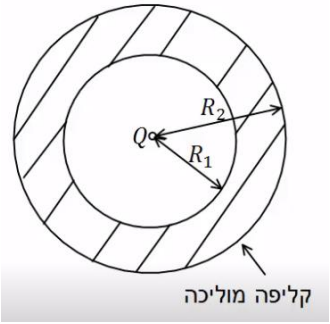
תוכן העניינים

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

תרגילים:

שאלות:

1) מטען נקודתי וקליפה עבה

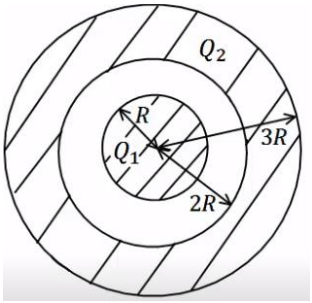


מטען נקודתי Q נמצא במרכזה של קליפה כדורית מוליכה ועבה. לקליפה רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2.

א. מצא את השדה בכל המרחב אם הקליפה ניטרלית.

ב. מהי התפלגות המטען על שפת הקליפה?

2) כדור מוליך וקליפה עבה טעונה



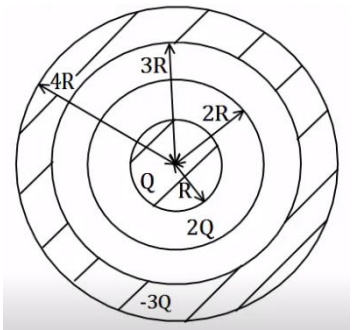
כדור מוליך ברדיוס R טעון במטען Q_1.
הכדור נמצא בתוך ובמרכזה של קליפה כדורית מוליכה עם רדיוס פנימי 2R ורדיוס חיצוני 3R.
הקליפה טעונה, וסך המטען על הקליפה הוא Q_2.

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

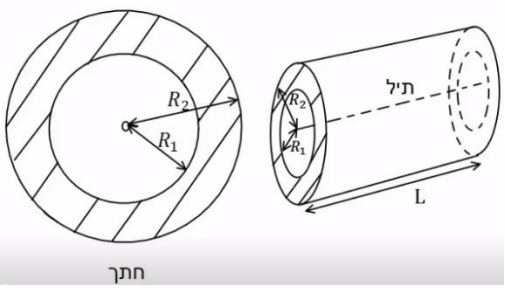


במערכת הבאה ישנו כדור מוליך ברדיוס R הטעון במטען Q. מסביב לכדור ישנה קליפה כדורית דקה ברדיוס 2R הטעונה במטען 2Q. את הכדור והקליפה מקיפה קליפה כדורית עבה ומוליכה בעלת רדיוס פנימי 3R ורדיוס חיצוני 4R הטעונה במטען כולל -3Q.
הכדורים והקליפות קוצנטריים (בעלי מרכז משותף).

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

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 6 - 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.

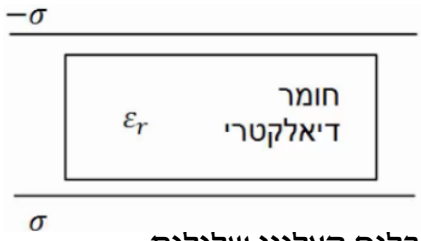
לפעמים נתון המקדם הדיאלקטרי (הלא יחסי) והקשר הוא:

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

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

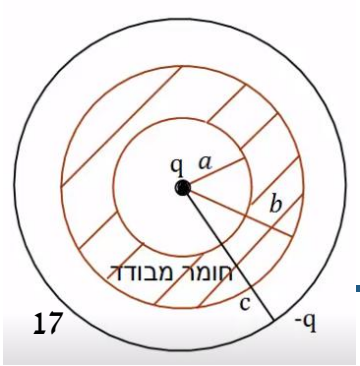
שאלות:

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.

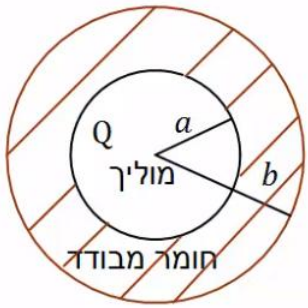
2) מטען נקודתי בתוך מעטפת דיאלקטרית



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

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 7 - 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 $r_1 = 0.8m$

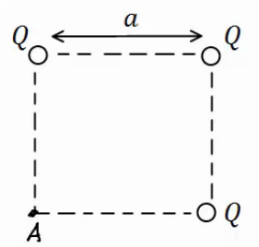
ובמרחק $r_2 = 0.3m$ מהמטען.

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 $a = 3cm$.

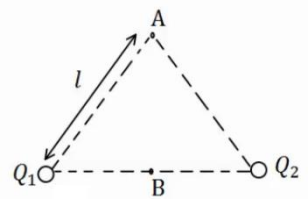


א. חשב את הפוטנציאל בפינה הרביעית של הריבוע.

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 $l = 5cm$.

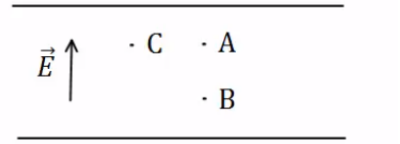
א. מצא את המתח בין הנקודה A הנמצאת בקודקוד השלישי של המשולש לבין הנקודה B הנמצאת באמצע הצלע המחברת את שני המטענים.

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.



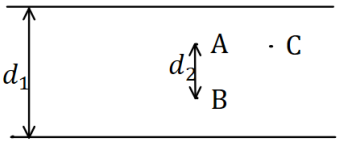
א. איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?

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?

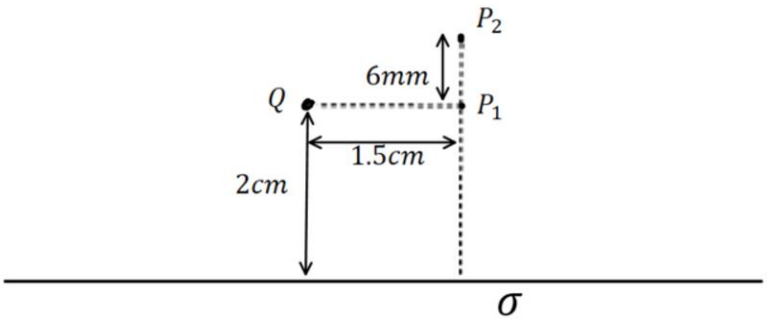
6) פוטנציאל של לוח ומטען נקודתי

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- $-15cm < x < 25cm$

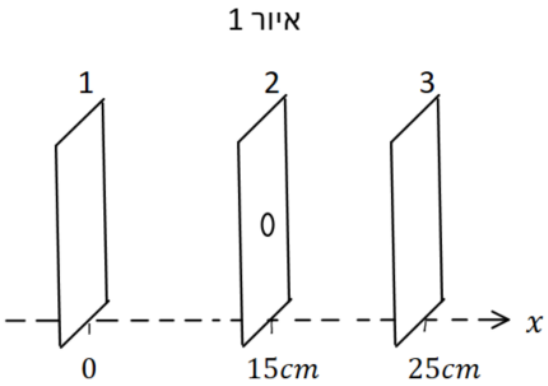
נתון כי צפיפות המטען המשטחית של לוח 1 היא: $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-8}\ {}^{C}/_{m^2}$
וכי צפיפות המטען המשטחית של לוח 3 חיובית.

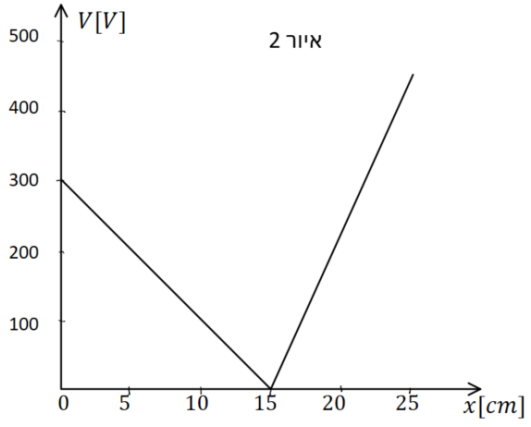
ב. חשבו את σ_2 ו- σ_3.

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

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

ג. $W = -27.65\mathrm{J}$

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

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. $E = 50\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ 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.
$$E = \begin{cases} 2000\frac{V}{m} & 0 < x < 15 \\ -4500\frac{V}{m} & 15 < x < 25 \end{cases}$$

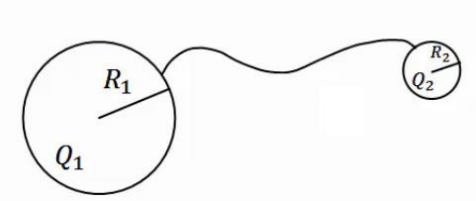
ב. $\sigma_2 = -5.75 \cdot 10^{-8\frac{C}{m^2}}$, $\sigma_3 = 4.21 \cdot 10^{-8\frac{C}{m^2}}$ ג. $q = 7.5\mu C$

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?

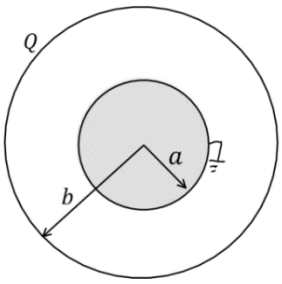
2) מטען נקודתי במרכז קליפה מוארקת

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

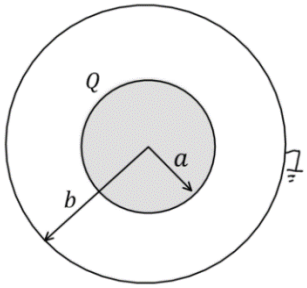
קליפה כדורית מוליכה ודקה בעלת רדיוס b טעונה במטען Q.
במרכז הקליפה נמצא כדור מוליך בעל רדיוס a המוארק לאדמה.

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. $-Q$

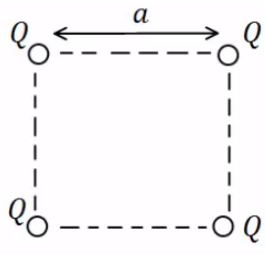
תרגילים נוספים:

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: $Q = 2\cdot10^{-7}\text{c}$.

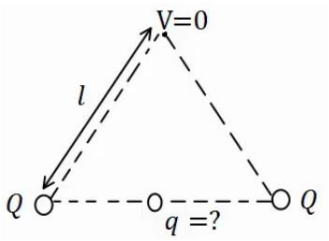
א. מהי העבודה הדרושה לבניית המערכת?

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

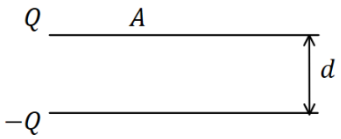
אלקטרון מואץ בהפרש פוטנציאלים של $300V$.
האלקטרון מתחיל תנועתו ממנוחה.

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?

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

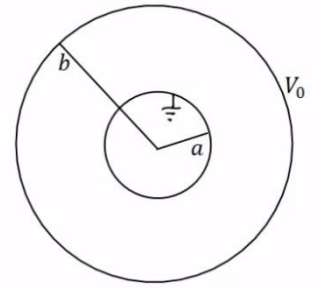
8) פוטנציאל של כדור מוליך

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- $Q_2 = 6\cdot10^{-6}c$.

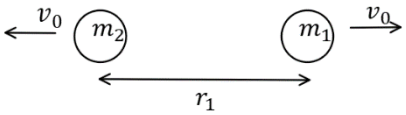
א. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שפות הכדורים, אם הם מרוחקים מאוד זה מזה.
ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שתי הנקודות הכי קרובות של הכדורים, אם המרחק בין מרכזיהם הוא $d = 5m$.
הנח שהתפלגות המטען על כל כדור עדיין אחידה.

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 נניח 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.

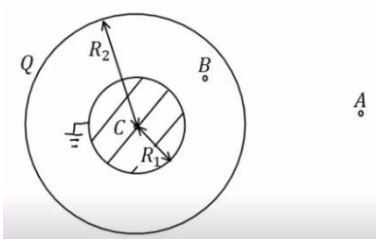
הטיפות מתחברות לטיפה אחת גדולה. מהו הפוטנציאל של הטיפה הגדולה (v_1 נתון)?

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.

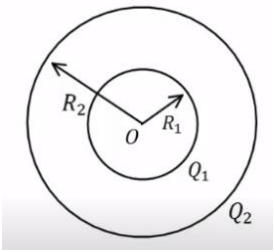


א. מצא את המטען על שפת הכדור.

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: $\sigma_2=15\cdot10^{-9}\frac{C}{m^2}$.

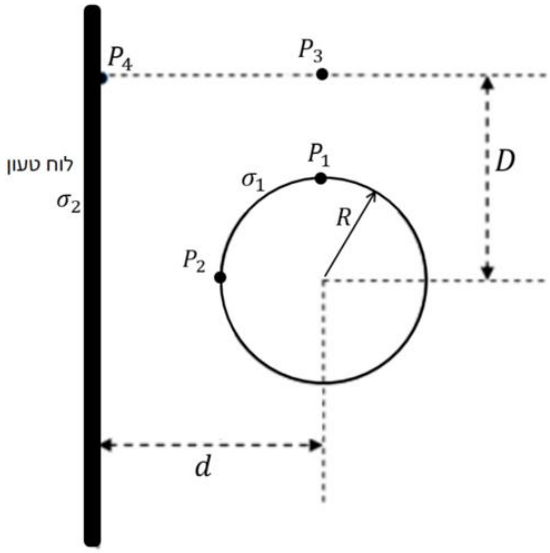
הנקודות P_1 ו-P_2 שבציור נמצאות מחוץ לכדור, אך קרוב מאד לשפתו. הישר המחבר את הנקודות P_3 ו-P_4 ניצב למשטח ומרוחק $D=4m$ ממרכז הכדור. P_4 היא נקודה מימין למשטח, אך מאוד קרובה אליו. הנקודות P_1 ו-P_3 נמצאות בדיוק מעל מרכז הכדור. לעזרתכם: שטח פנים של כדור בעל רדיוס R נתון ע"י $4\pi R^2$.

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**

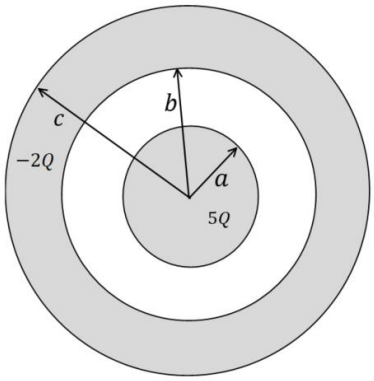
כדור מוליך בעל רדיוס a טעון במטען חיובי 5Q ונמצא בתוך קליפה כדורית מוליכה בעלת רדיוס פנימי b ורדיוס חיצוני c, הטעונה במטען $-2Q$.

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

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים
7111710

פרק 8 - 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:

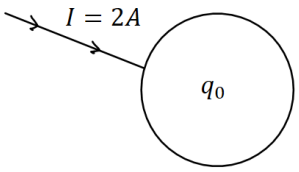
1) פלאפון מחובר למטען

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 $q_0 = 5c$.

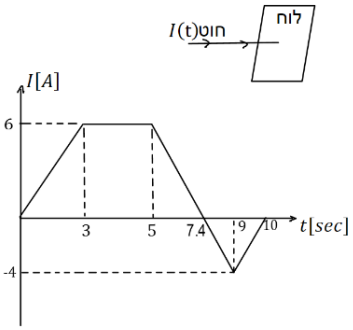
מחברים את הכדור לחוט מוליך והחוט מעביר זרם של 2 אמפר לתוך הכדור.

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: $8.5 \cdot 10^{22} \frac{1}{cm^3}$.

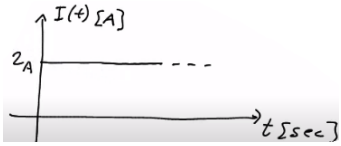
מצא מהי מהירות האלקטרונים בחוטים.

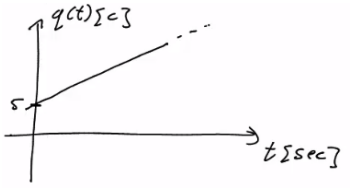
תשובות סופיות:

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?

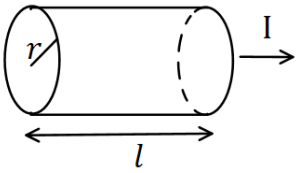
תשובות סופיות:

1) א. $R = 500\Omega$ ב. $I = 20mA$

התנגדות:

שאלות:

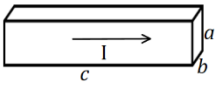
1) נגד גלילי



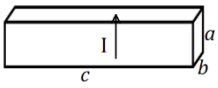
חשב את ההתנגדות של נגד בצורת גליל באורך $l=1m$ ורדיוס בסיס של $r=2mm$. הנגד עשוי מנחושת בעלת התנגדות סגולית $\rho=1.72\cdot10^{-8}\Omega\cdot m$ (הזרם זורם לאורך ציר הסימטריה של הגליל).

2) נגד בצורת תיבה

א)



ב)

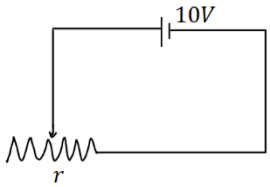


מוליך בנוי בצורת תיבה עם צלעות שאורכן a,b,c.
התייחס לגודל הצלעות ולהתנגדות הסגולית ρ כנתונים.
חשב את התנגדות המוליך בכל אחד מהמקרים הבאים.
שים לב: בכל מקרה הזרם זורם במוליך בכיוון אחר!

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



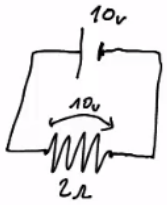
במעגל הבא ישנו מקור מתח בעל מתח של 10 וולט.
המקור מחובר לנגד משתנה בעל התנגדות ליחידת אורך $r=50\frac{\Omega}{m}$.
מה צריך להיות אורך הנגד על מנת שהזרם במעגל יהיה 2A?

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

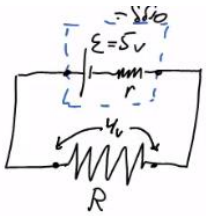
סוללה מייצרת כא"מ של $5V$. לסוללה התנגדות פנימית של $r = 2\Omega$.
מחברים את הסוללה לנגד חיצוני R שהתנגדותו אינה ידועה.
נתון כי הזרם בכל רכיב במעגל זהה ושווה ל- $I = 0.5A$.

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?

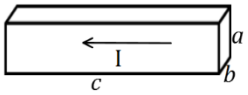
3) תרגיל 3

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?

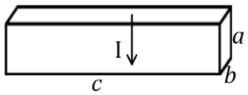
4) תרגיל 4

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

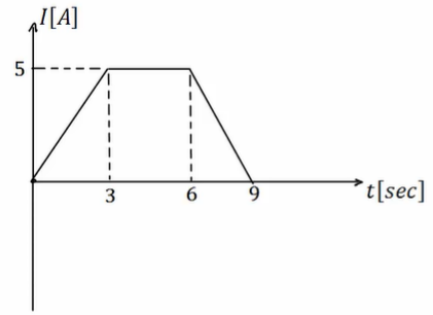
סוללה בעלת מתח $6V$ מחוברת לנגד משתנה.
כאשר אורך הנגד הוא $l=6cm$ הזרם במעגל הוא $1A$.
מהי ההתנגדות ליחידת אורך של הנגד?

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) $\Delta q=30c$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 9 - אנרגיה והספק במעגל החשמלי

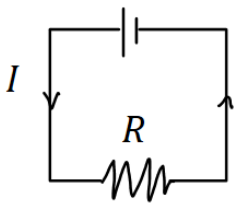
תוכן העניינים

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?

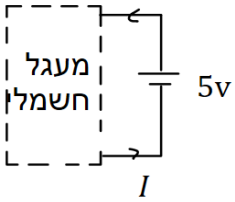
ב. מהו המתח על הנגד?

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:

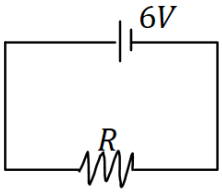
1) א. $\Delta q = 0.9c$ ב. $V = 9V$ ג. $W = 8.1J$ ד. $Q = 8.1J$ ה. $W = 8.1J$

2) א. $\Delta q = 0.8c$ ב. $W = 4J$

הספק חשמלי:

שאלות:

1) הספק של מקור ושל נגד

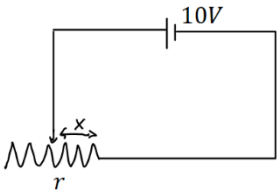


במעגל הבא מקור מתח של 6 וולט מחובר לנגד שהתנגדותו $R = 12\Omega$.

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) $E=1.8kWh$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים
7111710

פרק 10 - חיבור נגדים וחוקי קירכהוף

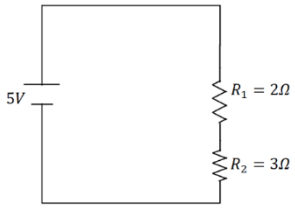
תוכן העניינים

1. חיבור נגדים במעגל 49
2. חוקי קירכהוף 52
3. תרגילים נוספים 53
4. טעינה ופריקה של קבל ..... (ללא ספר)
5. נצילות במעגל החשמלי 55

חיבור נגדים במעגל

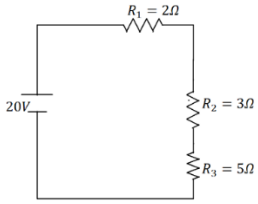
שאלות

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

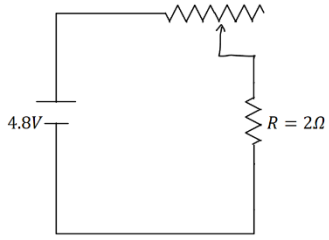
סוללה עם כא"מ של $3V$ והתנגדות פנימית $r = 2\Omega$ מחוברת לנגד $R = 10\Omega$.

א. סרטט איור של המעגל.

ב. מהו הזרם במעגל?

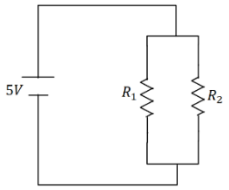
ג. מהו מתח ההדקים של הסוללה?

4) דוגמה 4



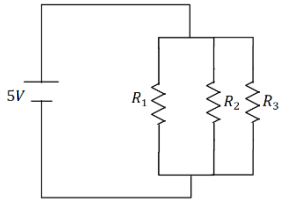
במעגל הבא ישנו מקור מתח אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) המחובר לנגד רגיל ונגד משתנה.
אורך הנגד המשתנה הוא 20 ס"מ והתנגדותו ליחידת אורך היא: $r = 2\frac{\Omega}{m}$.
מהו הזרם במעגל ומהו המתח על כל נגד?

5) דוגמה 5



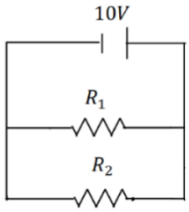
במעגל הבא: $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 2\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

6) דוגמה 6



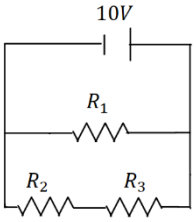
במעגל הבא: $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 4\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

7) דוגמה 7



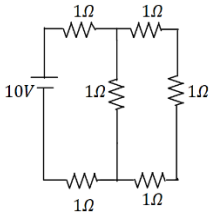
במעגל הבא: $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

8) דוגמה 8



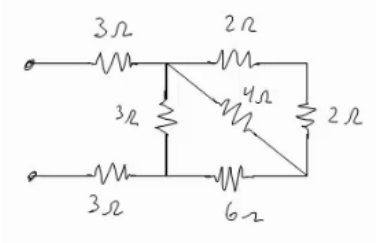
במעגל הבא: $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 1\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

9) דוגמה 9



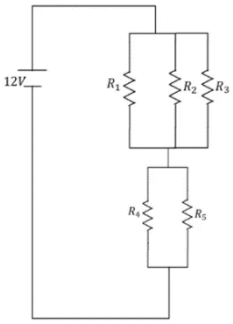
מצא את כל הזרמים במעגל הבא:

10) דוגמה 10



חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני ההדקים.

11) חישוב הספק מעגל



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

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.

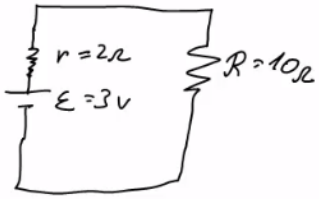
האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

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

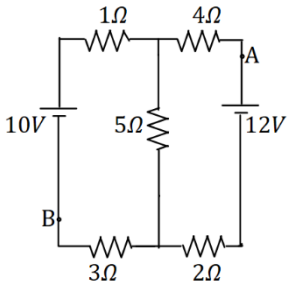
10) $R_T=\frac{66+24}{11}$

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

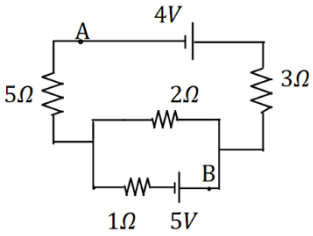


במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

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

2) קירכהוף תרגיל 2

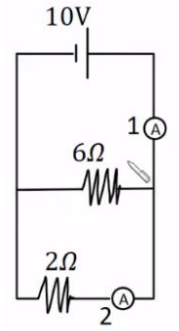


במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

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. $V_{AB} = 12.49V$

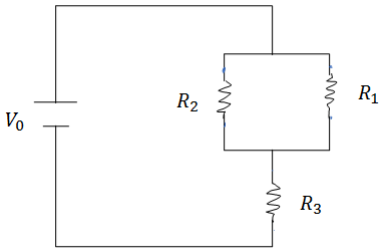
2) א. $I_1 = 0.08A\ ,\ I_2 \approx 1.69A\ ,\ I_3 \approx -1.61A$ ב. $V_{AB} = -3.79V$

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.

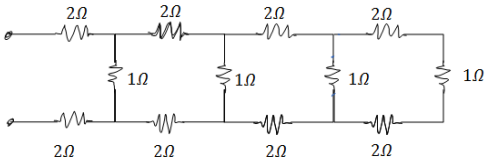
מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.

מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

3) תרגיל 3

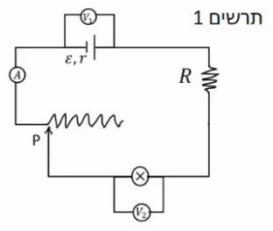
חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:

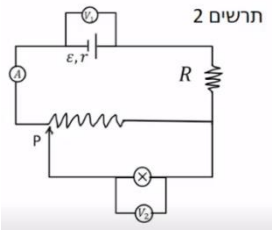
4) תרגיל 4



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.

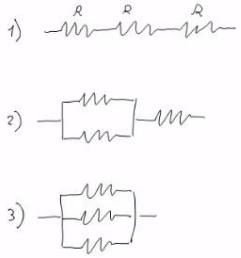
ד. האם הספק הסוללה גדל/קטן או לא השתנה? נמק ללא חישוב.

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.

נצילות במעגל החשמלי:

שאלות:

1) דוגמה נצילות

במעגל הבא נתונה התנגדות הנגד, התנגדות הנורה והמתח של הסוללה: $V = 5V\ ,R_1 = 3\Omega\ ,R_2 = 5\Omega$

א. מהו הזרם בנורה ומהו הזרם בסוללה?

ב. מהו ההספק המתפתח בנורה ומהו ההספק של הסוללה?

ג. מהי הנצילות של המעגל?

ד. מהו אחוז ההספק שהולך לאיבוד במעגל?

2) מנוע של משאבה

מנוע של משאבה עובד במתח של 220V ובזרם של 10A.

א. מהי כמות המים שניתן לשאוב במשך דקה מבאר בעומק 30m?
הנח שהנצילות של המנוע היא 100 אחוז.

ב. חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 40 אחוז.

3) מנוע של מכונית

למנוע של מכונית יש הספק מרבי של 100 כוח סוס.
המכונית מתחילה לנסוע ממנוחה ומסתה 1 טון.

א. מהי המהירות המרבית אליה יכולה להגיע המכונית לאחר 10 שניות?
הנח שנצילות המנוע היא 100 אחוז ומצא את התשובה בקמ"ש.

ב. חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 30 אחוז.

ג. חזור על סעיף א' וב' ובדוק כמה חום נוצר במשך 10 השניות, ביחידות של קלוריות.

תשובות סופיות:

1) א. בנורה: $I=1A$, בסוללה: $I=\frac{8}{3}A$.

ב. בנורה: $\rho=5W$, בסוללה: $\rho=\frac{40}{3}W$.

ג. $\eta=37.5\%$ ד. 62.5%

2) א. $V=440Litter$ ב. $V=176Litter$

3) א. $v\approx139\frac{km}{hr}$ ב. $v=76.2\frac{km}{hr}$ ג. $Q=124,333cal.$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 11 - קיבול חשמלי ומעגלי RC

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 57
2. תרגילים נוספים 67

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:

$$C' = \varepsilon_r C_0$$

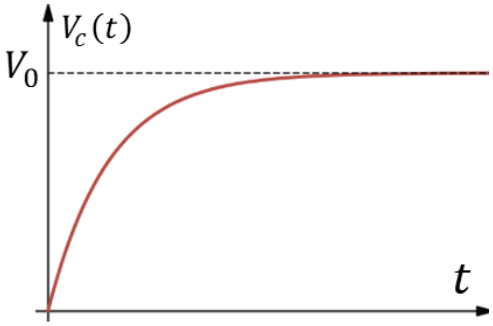
במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד , ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.

טעינה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

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

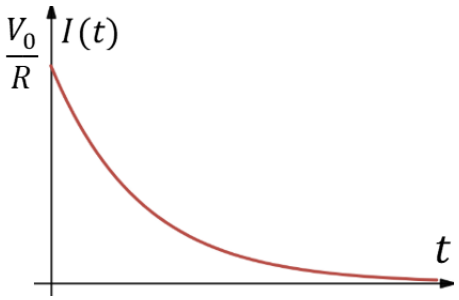
$$q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

V_0 - המתח של הסוללה
R - התנגדות המעגל



הזרם כתלות בזמן:

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

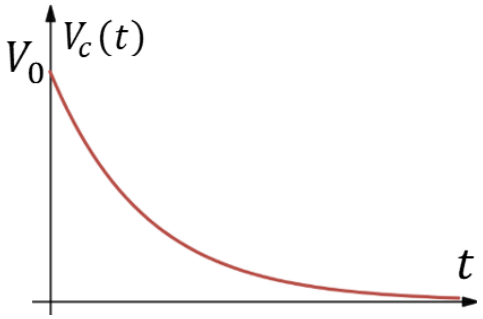


פריקה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

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

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

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי $Q_0=CV_0$)
הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה

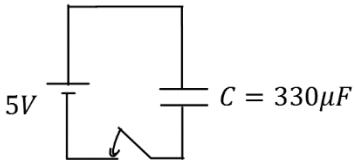


זמן אופייני $\tau=RC$ נהוג להגיד שלאחר זמן של 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

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?

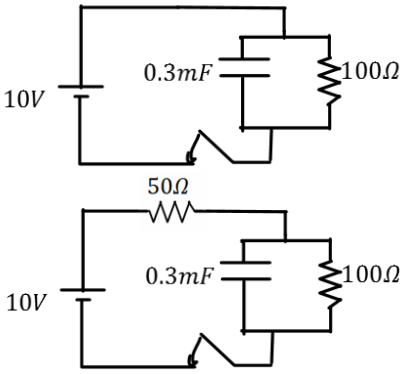
3) קבל במקביל לנגד

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 $0.3mm$.

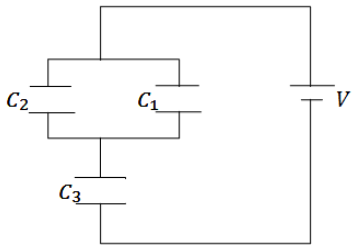
א. חשב את הקיבול של הקבל.

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.



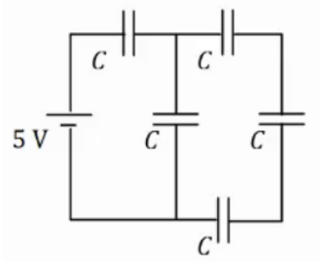
6) חיבור 5 קבלים

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.

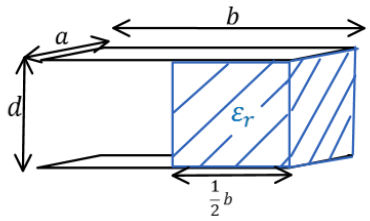
חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב.

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.

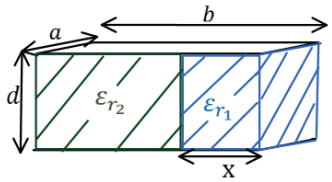
ממלאים את חציו הימיני של הקבל בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_r = 3$ וחציו השמאלי נשאר ריק (ראה איור).

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

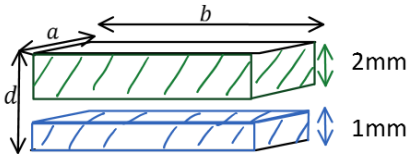
ממלאים את חלק של הקבל ברוחב $x = 1cm$ בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_{r_1} = 4$, ואת החלק הנותר בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_{r_2} = 2$ (ראה איור).

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

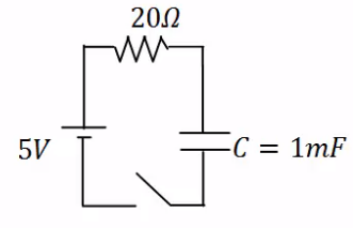


קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$,
ומרחק d בין הלוחות. $a = 5\text{cm},\ b = 6\text{cm},\ d = 4\text{mm}$.
ממלאים חלק של הקבל בגובה 1mm ולכל הרוחב
בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\varepsilon_{r_1} = 4$.
את החלק מגובה 2mm ועד הלוח העליון ממלאים בחומר דיאלקטרי בעל
מקדם $\varepsilon_{r_2} =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



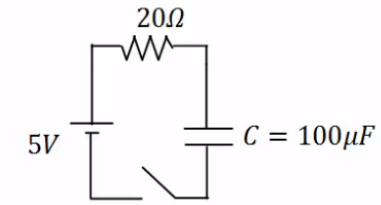
במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 1\text{mF}$,
התנגדות הנגד היא: $R = 20\Omega$ ומתח המקור
הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב-$t = 0$.

א. מהו המטען על הקבל לאחר 0.01 שניות?

ב. המתח על הקבל באותו הרגע?

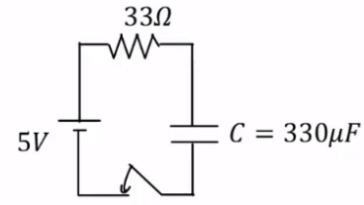
ג. מהם המטען והמתח על הקבל לאחר 0.1 שניות?

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

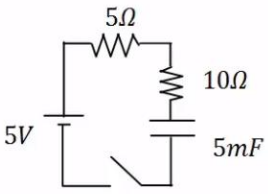


במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 330\mu\text{F}$,
התנגדות הנגד היא: $R = 33\Omega$ ומתח המקור
הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב-$t = 0$.

א. מהו הזרם במעגל ב-$t = 0.005\,\text{sec}$?

ב. מהו ההספק בנגד באותו הרגע?

18) שני נגדים

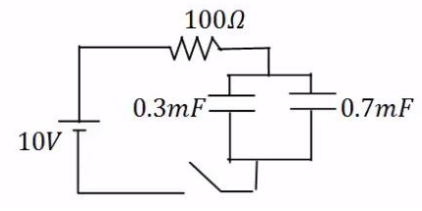


במעגל הבא סוגרים את המפסק ב-$t = 0$.

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והזרם בקבל בזמנים: $t = 0.01\ ,\ 0.6\,\text{sec}$.

19) שני קבלים

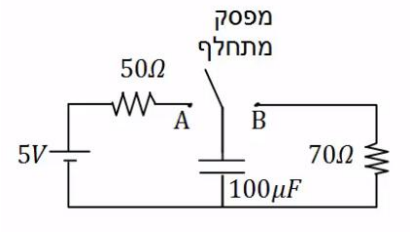


במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$.

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"?

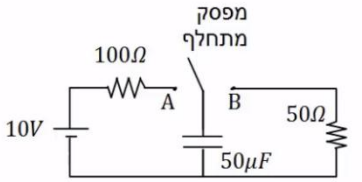
לאחר מכן מעבירים את המפסק לנקודה B.

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- $t=0.02$?

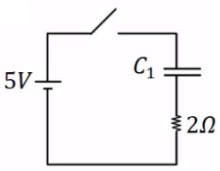
ג. רשום את הזרם כתלות בזמן.

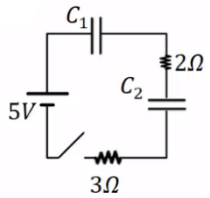
ד. צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

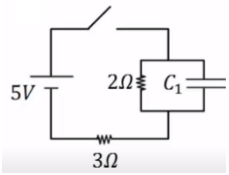
22) מציאת זרם במספר מעגלים

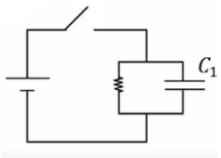
מצא את הזרם, בכל נגד, במעגלים הבאים. ברגע סגירת המתג הנח שהקבלים אינם טעונים לפני הסגירה של המתג וכי הסוללה והחוטים אידיאלים.

א. ב. ג. ד.









23) קבלים במעגל בהתחלה ולאחר זמן רב

נתוני הרכיבים במעגל הבא הם:

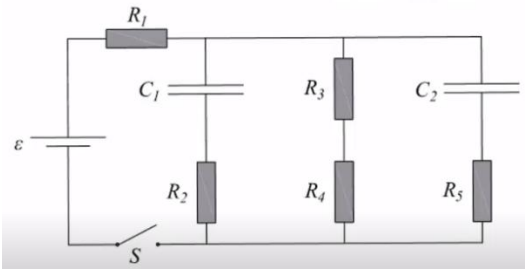
$R_1 = 4\Omega \ , R_2 = 3\Omega \ , R_3 = 2\Omega \ , R_4 = 1\Omega \ , R_5 = 6\Omega \ , \varepsilon = 24V \ , C_1 = 2\mu F \ , C_2 = 4\mu F$

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 $d=1mm$.

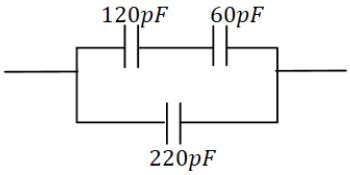
א. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות ריק?

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 $5V$.

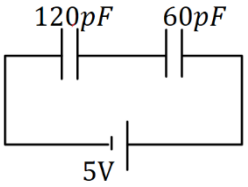
3) תרגיל 3 - חיבור קבלים

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.

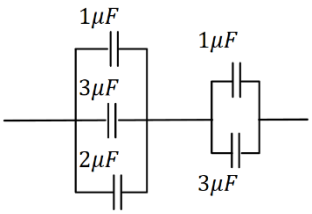


5) תרגיל 5 - חיבור קבלים

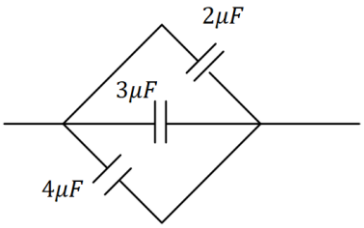
נתונה מערכת הקבלים הבאה:

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

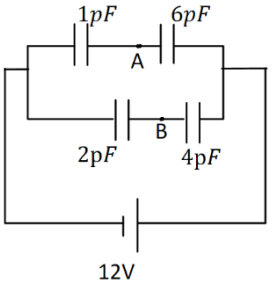


נתונה מערכת הקבלים הבאה:

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

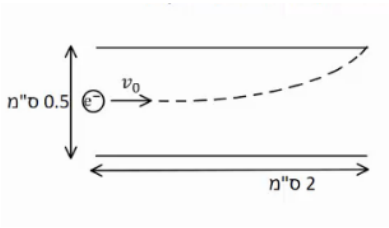


במעגל הבא נתון הקיבול של כל קבל ומתח הסוללה:

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



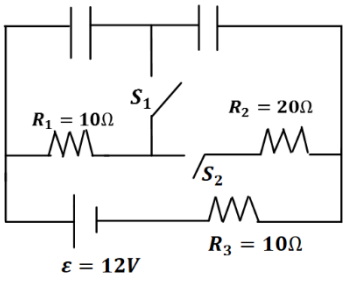
קבל לוחות מורכב משני לוחות ריבועיים בעלי אורך צלע של 2 ס"מ ומרחק בין הלוחות של 0.5 ס"מ.
אלקטרון נכנס במרכז הלוחות עם מהירות, המקבילה ללוחות, שגודלה $v_0 = 10^7 \frac{m}{sec}$ (ראה איור).
האלקטרון פוגע בדיוק בקצה הלוח העליון.

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?

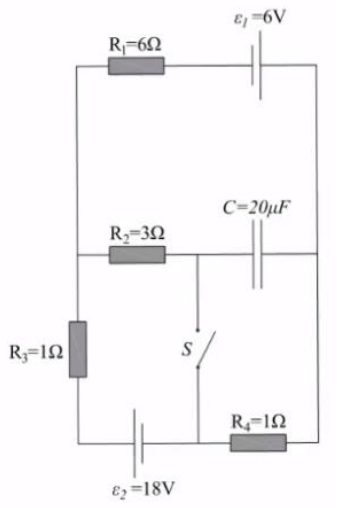
10) תרגיל 2 - מעגלים חשמליים

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?

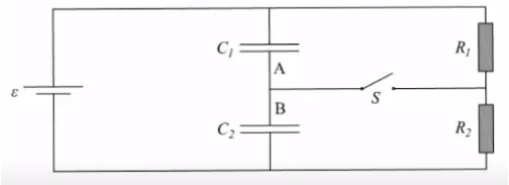
ג. מהו גודל המתח בין הדקי המפסק הפתוח?

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

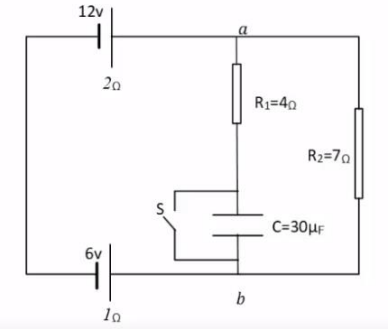
פתור את כל הסעיפים לאחר זמן רב.

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.

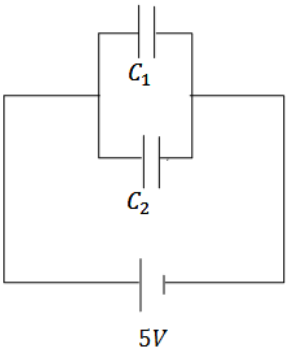
א. מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?

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

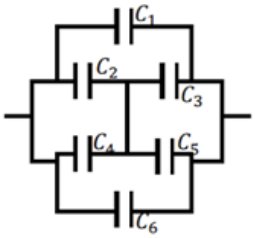
קבל לוחות בעל אורך צלע $a = 2cm$ ומרחק בין הלוחות $d = 1mm$, נטען ע"י סוללה במתח $3V$. אחרי שהקבל נטען במלואו מנתקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק $3d$.

א. מצא את הפרש הפוטנציאל החדש על הקבל.

ב. מצא את האנרגיה ההתחלתית והסופית האגורה בקבל.

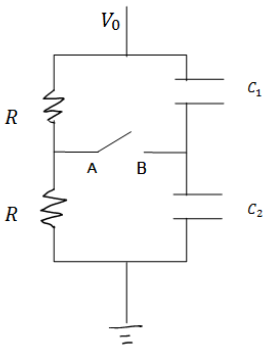
ג. מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.

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



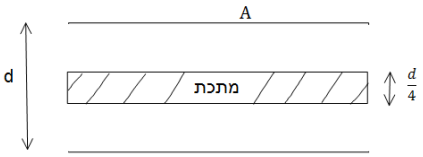
במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע, ונתון V_0 הקצה התחתון מוארק.
נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזהה של הנגדים.

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 $\left(d \ll \sqrt{A}\right)$.

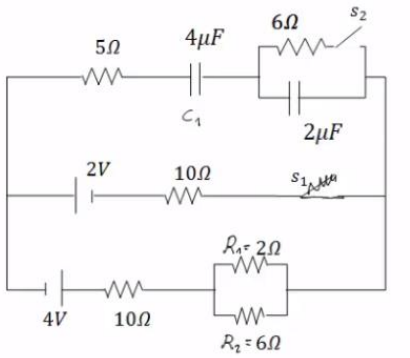


א. מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.

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



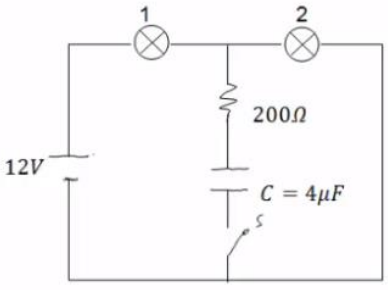
חשב את כל הזרמים במעגל ואת המטען על כל קבל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

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. $V_C = 6.68V$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 12 - השדה המגנטי

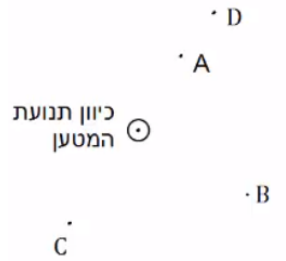
תוכן העניינים

1. הסברים ודוגמאות 74
2. סיכום ותרגילים נוספים 76

הסברים ודוגמאות:

שאלות:

1) דוגמה 1

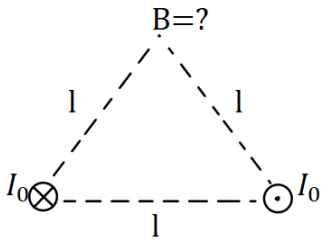


מטען נע מהדף אלינו.
צייר את כיוון השדה המגנטי בנקודות: A , B , C , D.

2) דוגמה 2

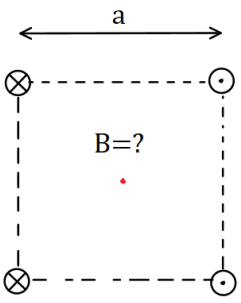
מטען נע במישור הדף כלפי מעלה.
מה כיוון השדה המגנטי שיוצר המטען משני הצדדים של הקו עליו נע המטען?

3) דוגמה 3 - שדה בפינת משולש



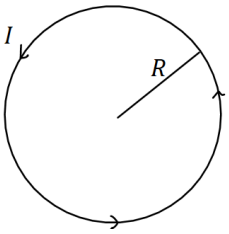
במערכת הבאה ישנם שני תיילים אינסופיים הנושאים זרם $I_0 = 2A$.
התיילים מונחים בקודקודי הבסיס של משולש שווה צלעות בעל אורך צלע $l = 20_{c.m}$.
התיילים מונחים במקביל כך שבאחד הזרם נכנס לתוך הדף ובשני הזרם יוצא מן הדף.
חשב את השדה המגנטי בקודקוד השלישי של המשולש (גודל וכיוון).

4) דוגמה 4 - שדה במרכז ריבוע



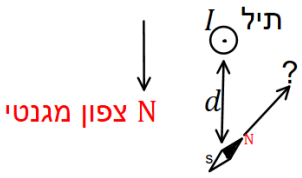
במערכת הבאה ישנם ארבעה תיילים אינסופיים בפינותיו של ריבוע בעל אורך צלע $a = 10_{c.m}$.
גודל הזרם בכל התיילים זהה ושווה ל-$I = 3A$.
כיוון הזרם מתואר באיור.
מהו השדה המגנטי במרכז הריבוע?

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.

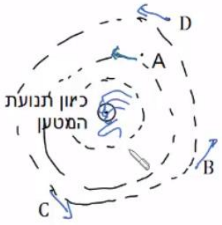
6) דוגמה 6 - שדה של תיל וכדה"א



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

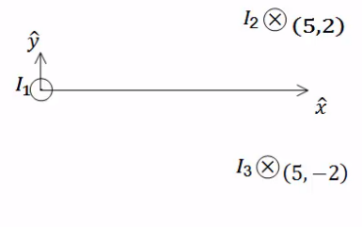
5) $B = 8\pi\cdot10^{-7}T$

6) $\theta \approx 55.4°$

סיכום ותרגילים נוספים:

שאלות:

1) שדה של שלושה תילים אינסופיים

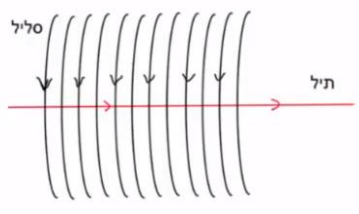


שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- z מונחים במיקומים הבאים: $\vec{r}_3(5,-2)$, $\vec{r}_2(5,2)$, $\vec{r}_1(0,0)$.

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. $B_T\approx 5.4\cdot 10^{-6}T$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 13 - הכוח המגנטי (חוק לורנץ)

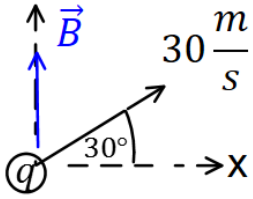
תוכן העניינים

1. הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה 77
2. יישומים של הכוח המגנטי ..... (ללא ספר)
3. כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים 79
4. סיכום ..... (ללא ספר)
5. תרגילים נוספים 81

הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה:

שאלות:

1) דוגמה 1



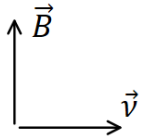
מטען $q=2c$ נע במהירות $v=30\frac{m}{sec}$ בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה- x החיובי.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B}=4T\,\hat{y}$.
מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

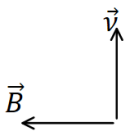
2) דוגמה 2

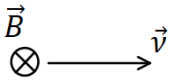
מטען $q=3c$ נע במהירות $\vec{v}=2\frac{m}{sec}\hat{x}+4\frac{m}{sec}\hat{y}$.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B}=5T\,\hat{y}$.
מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

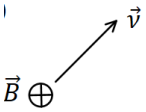
3) דוגמה 3

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

א. 

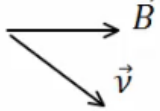
ב. 

ג. 

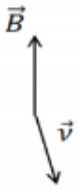
ד. 

4) דוגמה 4

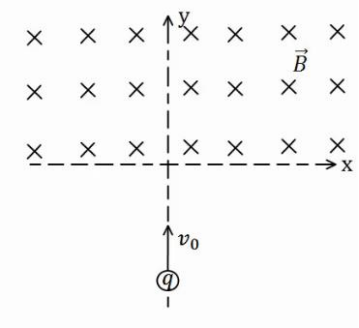
מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

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:

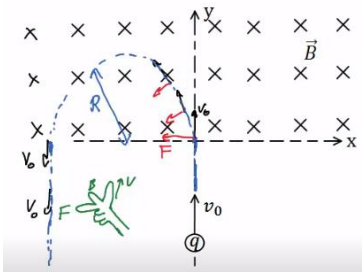
1) $F_B\approx 207.8N$

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.

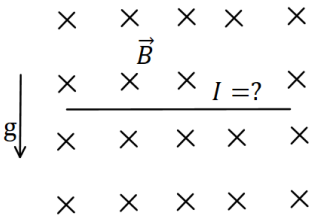


ב. $x=-2cm\ ,\ y=0$

כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים:

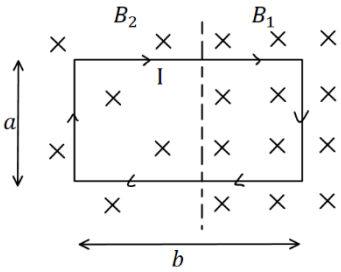
שאלות:

1) דוגמה 7



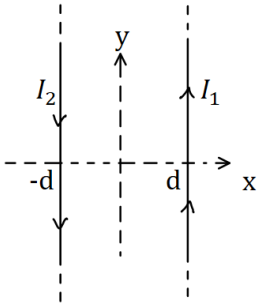
תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד $B=10^{-2}T$ לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך היא $\lambda=20\frac{gr}{cm}$.
מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל, כך שהתיל ירחף באוויר.

2) דוגמה 8



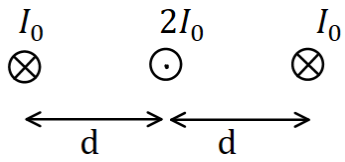
מסגרת מלבנית בעל צלעות a,b נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף.
גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.
המסגרת מונחת כך, שחלק מהמסגרת נמצא בשדה $B_1=4T$, והחלק השני נמצא בשדה $B_2=3T$.
במסגרת זורם זרם $I=2A$ עם כיוון השעון.
מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת $(a=0.5m)$.

3) דוגמה 9



תיל ארוך מאוד מונח במקביל לציר ה- y וב- $x=d$.
בתיל זורם זרם $I_1=1A$ בכיוון.
תיל ארוך נוסף מונח גם כן במקביל לציר ה- y וב- $x=d$.
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.

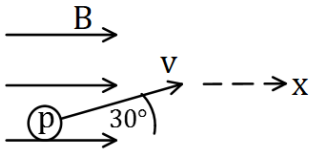
3) $F_1 = 10^{-6}\,\hat{x}$, $F_2 = -10^{-6}\,\hat{x}$

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?

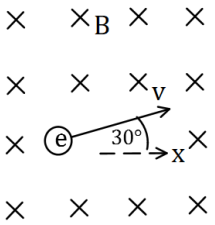
ב. מהי תאוצת הפרוטון?

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.

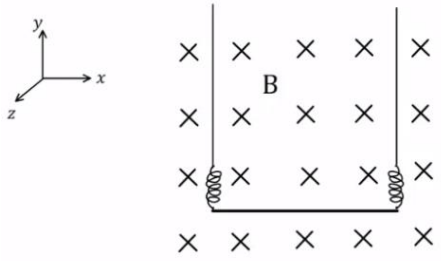


א. מהו הכוח הפועל על האלקטרון ברגע זה (גודל וכיוון)?

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

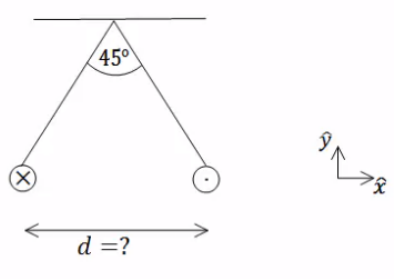


תחל מוליך נושא זרם תלוי לאורך ציר x על ידי שני תילים דקים ושני קפיצים זהים.
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד לתוך הדף.
אורך התיל המוליך הוא $0.4m$ ומסתו היא $0.03kg$. גודל השדה המגנטי הוא $B=0.2T$
וקבוע הקפיץ הוא $k=10\frac{N}{m}$, ניתן להזניח את השדות שיוצרים התילים האנכיים ואת הכוחות שהם מפעילים על התיל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

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

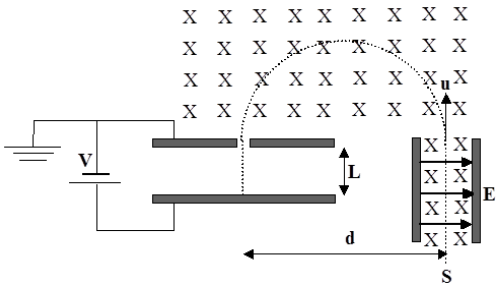
ב. בכמה יתארכו הקפיצים אם יהפכו את הזרם בתיל? תזכורת: גודל הכוח שמפעיל קפיץ הוא $F=k\Delta l$ כאשר Δl היא ההתארכות של הקפיץ מהמצב הרפוי.

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 החלקיקים.
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. $t=\frac{BL}{E}$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 14 - חוק פארדיי

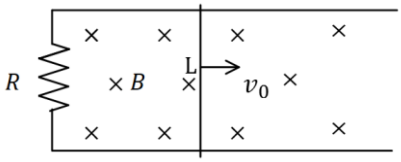
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 84

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?

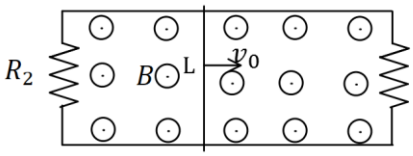
ב. מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?

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 $B = 1T$.

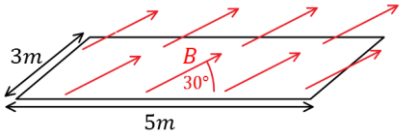
א. מהו הכא"מ במוט?

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

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

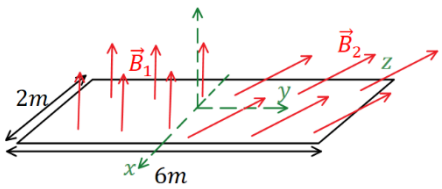
3) חישוב שטף אחיד

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

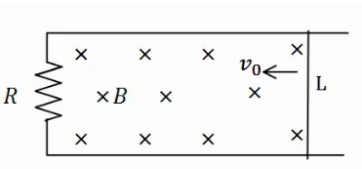
באיור הבא נתון משטח המונח על מישור xy.
אורך המשטח הוא $6m$ ורוחבו הוא $2m$.
השדה המגנטי בחציו השמאלי של המשטח
הוא: $\vec{B}_1 = 2T\hat{z}$, שדה אחיד.



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.

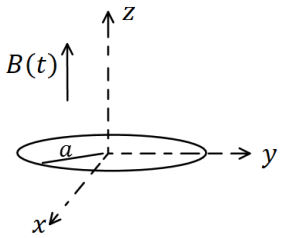


א. מהו הכא"מ במעגל לפי חוק פארדיי (גודל וכיוון)?

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

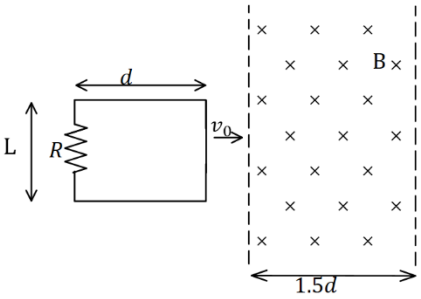


טבעת עשויה מחומר מוליך מונחת על מישור xy.
רדיוס הטבעת הוא a והתנגדותה הכוללת R.
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד בכיוון z,
המשתנה בזמן לפי הנוסחה $B(t)=\alpha t$ כאשר α קבועה.

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

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 15 - מעגלי זרם חילופין ירד בסילבוס של 2024

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 87

הרצאות ותרגילים:

רקע:

המתח והזרם במעגלי זרם חילופים :

$$V(t) = V_{max}\sin(\omega t + \theta)\ ;\ \ I(t) = I_{max}\sin(\omega t)$$

ניתן לעבוד גם עם פונקציית קוסינוס במקום סינוס ההבדל יהיה רק בפאזה. הפאזה בפונקציית סינוס גדולה ב- $\frac{\pi}{2}$ מהפאזה בקוסינוס

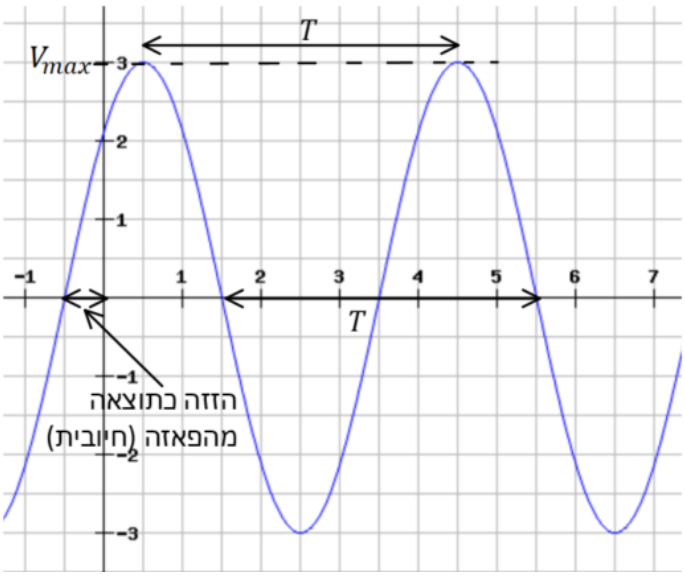
תדירות הזוויתית :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

T זמן המחזור ו f -התדירות בהרץ

θ - היא הפאזה של המתח ביחס לזרם

דוגמה לגרף של המתח כתלות בזמן :



זמן מחזור הוא המרחק בין שיא לשיא וממנו ניתן לחשב את התדירויות.
הפאזה מזיזה את הגרף. פאזה חיובית מזיזה את הגרף שמאלה ושלילית ימינה.
לחישוב הפאזה ניתן לקחת מהגרף את הערך באפס (חיתוך עם הציר האנכי) ואת V_{max} :

$$V(0) = V_{max}\sin(\theta)$$

<u>נגד במעגל מתח חילופין :</u>

חוק אוהם:

$$V_R(t) = RI(t)$$

R - התנגדות הנגד (קבוע).
הפאזה של המתח בנגד היא אפס ביחס לזרם.

<u>קבל במתח חילופין:</u>
הגדרת הקיבול, והקשר של המתח לזרם:

$$Q(t) = CV_C(t) \;\; ; \;\; I(t) = \frac{dQ}{dt} \;\; \Rightarrow \;\; I(t) = C\frac{dV_C(t)}{dt}$$

C - קיבול (קבוע)
הפאזה של המתח בקבל היא $\theta = -\frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

ההיגב של קבל:

$$x_c = \frac{1}{\omega c}$$

היגב מוגדר לפי $x = \frac{V_{max}}{I_{max}}$, להיגב יחידות של התנגדות ונותן אומדן לסוג של התנגדות של הרכיב במעגל.

בתדירות מאוד נמוכה , מתח המקור כמעט ולא משתנה ומקבלים מעגל מתח ישר , הקבל הופך לנתק. היגב גבוהה מאוד.

בתדירות מאוד גבוהה, המתח משתנה מהר מאוד והקבל לא מספיק להטען. הקבל הופך לקצר (מתח אפס). היגב נמוך מאוד.

<u>סליל במעגל מתח חילופין:</u>
הקשר בין המתח לזרם:

$$V_L(t) = L\frac{dI(t)}{dt}$$

L - השראות (קבוע)
הפאזה של המתח בסליל היא $\theta = \frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

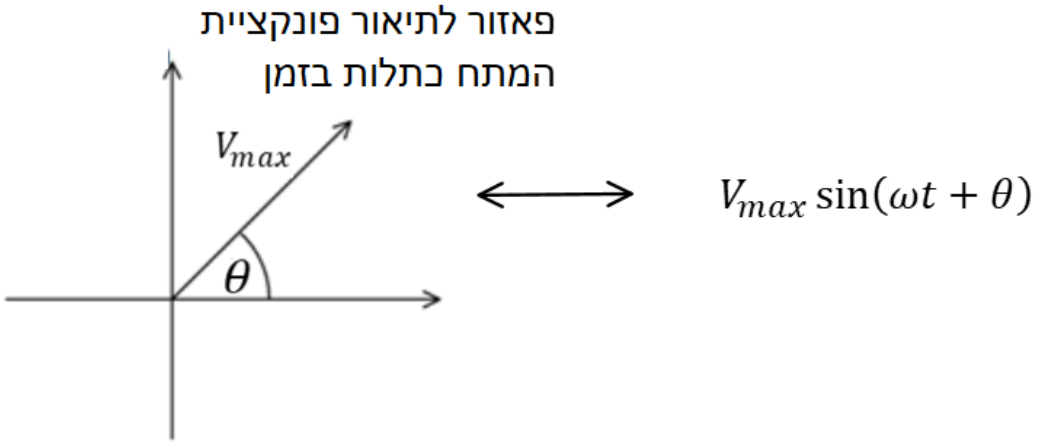
ההיגב של סליל:

$$x_L = \omega L$$

בתדירות מאוד נמוכה , אין שינוי בזרם ולכן המתח של הסליל אפס, הסליל מתנהג כמו קצר, היגב נמוך מאוד.

בתדירות מאוד גבוהה, שינוי זרם גדול יוצר מתח נגדי גדול בסליל. הסליל הופך לנתק. היגב גבוה מאוד.

<u>פאזורים:</u>
פאזור הוא תאור של גודל סינוס המשתנה בזמן באמצעות וקטור. גודל הוקטור הוא הערך המקסימלי והזווית עם הציר האופקי היא הפאזה.



בשביל לחבר שני גדלים התלויים בזמן נחבר את הפאזורים שלהם (הקטור השקול מתאר את הערך המקסימאלי והפאזה של התוצאה).

<u>העכבה (אימפדנס) של המעגל</u>
עכבה היא "ההתנגדות השקולה" של מעגל מתח חילופין

$$Z=\frac{V_{s_{max}}}{I_{max}}=\sqrt{\left(X_{L_T}-X_{C_T}\right)^2+R_T^2}$$

השוויון האחרון נכון רק למעגל טורי.

$V_{s_{max}}$ - המתח המקסימאלי של המקור

R_T , X_{C_T} ו- X_{L_T} הם ההתנגדות השקולה, סכום ההיגבים של הקבלים וסכום ההיגבים של המשרנים.

זווית המופע של המקור:

$$\tan\theta_s=\frac{X_{L_T}-X_{C_T}}{R_T}$$

זרם אפקטיבי ומתח אפקטיבי:

$$I_{eff}=\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\quad;\quad V_{eff}=\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

הם שורש הממוצע של ריבוע הגודל (סוג של ממוצע בזמן רק לגודל המתח והזרם).

תהודה:
מצב שבו הזרם הזרם האפקטיבי מקסימאלי. מתרחשת כאשר פאזת המקור מתאפסת.
התדירות בה יש תהודה במעגל RLC טורי:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{Lc}}$$

הספק ממוצע בנגד:

$$\overline{P}_R = I_{eff} V_{R_{eff}} = I_{eff} V_{s_{eff}} \cos\theta_s$$

θ_s - הפאזה של המקור

גורם ההספק:

$$\cos\theta_s$$

היחס בין ההספק בנגד להספק בקבל והמשרן.

ככל שהגורם גבוה יותר כך ניצול האנרגיה במעגל טוב יותר.

שאלות:

1) חישוב נוסחה

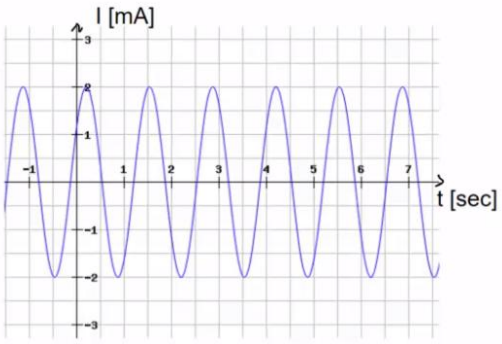
מקור מתח חילופין מספק מתח מקסימלי של 220 וולט בתדירות 50 הרץ.

א. מהו זמן המחזור של הפונקציה ומהי התדירות הזוויתית?

ב. רשום נוסחה למתח כתלות בזמן.

2) גרפים

בניסוי עם מעגל זרם חילופין הזרם במעגל נמדד באמצעות אמפרמטר המחובר למחשב. הזרם כפונקציה של הזמן ניתן מהמחשב בגרף הבא.



א. מהו הזרם המקסימאלי במעגל?

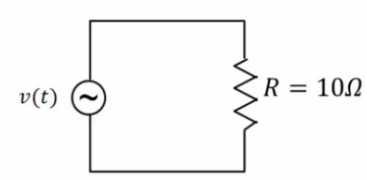
ב. מהו זמן המחזור של המקור ומהי התדירות הזוויתית?

ג. מהי זווית המופע של הזרם?

ד. רשום את הפונקציה של הזרם כתלות בזמן.

3) נגד ומקור בלבד

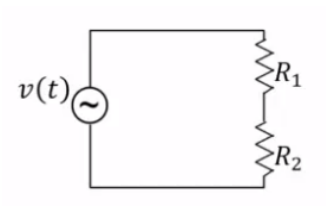
נגד בעל התנגדות של 10 אוהם מחובר למקור מתח חילופין אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) בעל מתח מקסימאלי של 5 וולט ותדירות של 50 הרץ.



א. מהי התדירות הזוויתית של המקור?
ב. רשום נוסחה למתח המקור כתלות בזמן.
ג. מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?

4) שני נגדים בטור

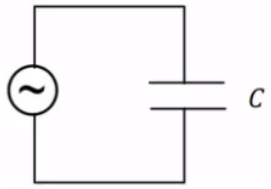
במעגל הבא שני נגדים: $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 10\Omega$ המחוברים בטור למקור מתח חילופין אידיאלי בעל מתח מקסימלי 5V ותדירות 10Hz.



א. מהו המתח כתלות בזמן של המקור?
ב. מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?
ג. מהו הזרם בכל אחד מהנגדים?
ד. מהו המתח כתלות בזמן על כל נגד?

5) קבל ומקור

מקור מתח חילופין בעל מתח מקסימאלי של 5 וולט ותדירות של 100 הרץ מחובר לקבל בעל קיבול $C = 150\mu F$.

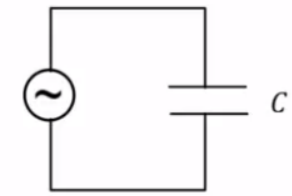


א. מצא את המתח של המקור כתלות בזמן.
ב. חשב את ההיגב של הקבל.
ג. מצא את הזרם בקבל כתלות בזמן.

6) חישוב קיבול מהיגב

במעגל של מקור אידיאלי וקבל בלבד נתון כי

מתח המקור הוא: $V_S(t) = 3\sin\left(120t - \frac{\pi}{2}\right)$ בוולט,

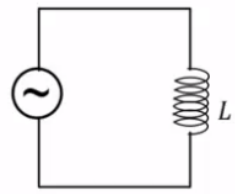


והזרם הוא: $I(t) = 0.02\sin(120t)$ באמפר.

א. מצא את ההיגב של הקבל.
ב. חשב את הקיבול של הקבל.

7) סליל ומקור

סליל בעל השראות $L = 30mH$ מחובר למקור מתח חילופין אידיאלי בעל מתח מקסימאלי של 8 וולט ותדירות של 40 הרץ.



א. רשום נוסחה למתח המקור כתלות בזמן.
ב. חשב את העכבה של הסליל ואת הזרם המקסימאלי.
ג. מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?

8) מצא את המתח

במעגל עם מקור מתח חילופין מחברים אמפרמטר בטור לסליל.
השראת הסליל היא: $L=50\text{mH}$. מדידת האמפרמטר מראה כי הזרם כתלות בזמן הוא: $I(t)=0.03\sin(20\pi\cdot t)$.

א. חשב את העכבה של הסליל.
ב. מהו המתח על הסליל כתלות בזמן?

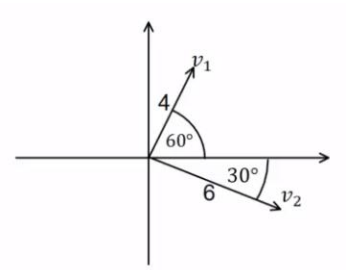
9) בניית פאזורים

צייר את הפאזור המתאים לכל אחת מהפונקציות הבאות על מערכת צירים:

א. $v_1(t)=2\sin\left(50t+\frac{\pi}{6}\right)$.

ב. $v_2(t)=4\sin\left(50t+\frac{\pi}{2}\right)$.

10) חישוב הפונקציות מהפאזורים



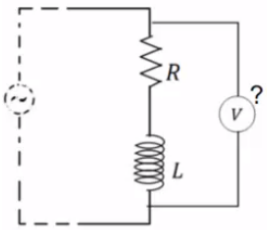
חשב את הפונקציה המתאימה לפאזורים הבאים אם ידוע כי תדירות המקור היא 50 הרץ.

11) חיבור שתי פונקציות

חבר את הפונקציות הבאות באמצעות פאזורים ובדוק כי התוצאה שקיבלת נכונה עבור הזמן $t=1\text{sec}$:

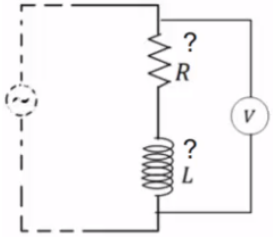
$$V_1(t)=5\sin\left(20t+\frac{\pi}{6}\right),\ V_2(t)=8\sin\left(20t-\frac{\pi}{4}\right)$$

12) חיבור סליל ונגד



סליל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.
המתח על הסליל כתלות בזמן הוא: $V_L(t)=4\sin\left(50t+\frac{\pi}{2}\right)$
והמתח על הנגד כתלות בזמן הוא: $V_R(t)=3\sin(50t)$.
מד מתח מודד את המתח על הסליל והנגד ביחד.
מהי פונקציית המתח כתלות בזמן שיראה מד המתח?

13) פירוק של סליל ונגד



סליל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.
מד מתח מודד את המתח על הסליל והנגד ביחד.
המתח שמודד מד המתח כתלות בזמן
הוא: $V_{LR}(t)=20\sin\left(20t+\frac{\pi}{3}\right)$ כאשר הפאזה היא

ביחס לזרם במעגל (כלומר הפאזה של הזרם היא אפס).
מהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הנגד ומהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הסליל?

14) פירוק קבל ונגד

קבל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.
מד מתח מודד את המתח על הקבל והנגד ביחד.

פונקציית המתח שמודד מד המתח כתלות בזמן היא: $V_{RC}(t)=5\sin\left(10t-\frac{\pi}{5}\right)$

כאשר הפאזה היא ביחס לזרם במעגל (כלומר הפאזה של הזרם היא אפס).
מהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הנגד ומהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הקבל?

15) חישוב מתחים RLC

במעגל RLC נתון: $R=100\Omega$, $L=30mH$, $C=330\mu F$ והזרם כתלות בזמן הוא: $I(t)=0.03\sin(2\pi\cdot 40\cdot t)$ באמפר.
מצא את המתח כתלות בזמן בכל רכיב.

16) חישוב זרם

מקור מתח חילופין מחובר בטור לנגד סליל וקבל.
נתון כי: $R=10\Omega$, $L=33mH$, $C=100\mu F$.
תדירות המקור היא $50Hz$ והמתח המקסימאלי שלו הוא $5V$.

א. חשב את העכבה של המעגל.
ב. מה יהיה הזרם המקסימאלי במעגל?
ג. נגדיר את זווית המופע של הזרם להיות אפס, רשום נוסחה לזרם כתלות בזמן.

17) חישוב עכבה של סליל ונגד בלבד

נגד וסליל מחוברים בטור למקור מתח חילופין. התנגדות הנגד היא R, השראת הסליל היא L והתדירות הזוויתית של המקור היא ω.
חשב את העכבה של המעגל (התייחס לפרמטרים בשאלה כנתונים).

18) חישוב מתח מקור כתלות בזמן

במעגל מתח חילופין המכיל נגד, סליל וקבל המחוברים בטור
נתון: $R=20\Omega$, $L=30mH$, $C=100\mu F$.
הזרם במעגל כתלות בזמן הוא: $I(t)=0.1\sin(20\pi t)$ באמפר.

א. מצא את המתח כתלות בזמן בנגד, בקבל ובסליל.
ב. מצא את העכבה של המעגל וזווית המופע של המקור.
ג. רשום נוסחה למתח של המקור כתלות בזמן.

19) מתח מקסימאלי בארהב

בארה"ב המתח בשקע הוא 110 וולט, מהו המתח המקסימאלי בשקע אמריקאי?

20) תרגיל 1

מקור מתח חילופין בעל מתח מקסימאלי $120V$ ותדירות 40 הרץ מחובר לקבל בעל קיבול של $100\mu F$. המתח של הקבל בזמן אפס הוא אפס.

א. רשום ביטוי למתח על הקבל כפונקציה של הזמן.

ב. רשום ביטוי לזרם בקבל כתלות בזמן.

ג. מהו המתח האפקטיבי והזרם האפקטיבי במעגל?

21) תרגיל 2

מקור מתח חילופין עם מתח מקסימאלי של 110 וולט ותדירות 40 הרץ מחובר לסליל של $100mH$ עם התנגדות פנימית של 30Ω.

הנח כי הזרם בזמן אפס שווה לאפס.

א. חשב את העכבה של המעגל.

ב. מה הביטוי לזרם בסליל כפונקציה של הזמן?

ג. מה הביטוי למתח של הסליל ומתח המקור כתלות בזמן?

22) תרגיל 3

מקור מתח חילופין עם מתח מקסימאלי של 200 וולט ותדירות 50 הרץ מחובר לסליל של $80mH$ עם התנגדות פנימית של 50Ω.

הנח כי מתח המקור שווה לאפס בזמן אפס.

א. מה הביטוי למתח על הסליל כתלות בזמן?

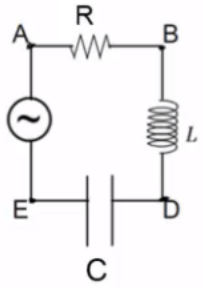
ב. מה הביטוי לזרם בסליל כפונקציה של הזמן?

ג. מה הקבל שיביא את המעגל לתהודה?

23) תרגיל 4

נתון המעגל שבאיור.

$V_S(t)=110\sin(200t)$, $R=50\Omega$, $L=50mH$, $C=70\mu F$.



א. מהו המתח האפקטיבי בין הנקודות AD?

ב. מהו המתח האפקטיבי בין הנקודות BE?

ג. מהו הפרש המופע בין הזרם ל- V_{AD} ?

ד. מהו הפרש המופע בין הזרם במעגל לבין V_{BE} ?

תשובות סופיות:

1) א. $\omega = 314\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$, $T = 0.02\,\text{sec}$ ב. $V(t) = 220\text{v}\sin(314\cdot t)$

2) א. $I_{max} = 2\text{mA}$ ב. $T = \frac{4}{3}\text{sec}$, $\omega = 1.5\pi$ ג. $\theta = 0.675\text{rad}$

ד. $I(t) = 2\text{mA}\sin(1.5\pi\cdot t + 0.675)$

3) א. $\omega \approx 314\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ ב. $V(t) = 5\text{v}\sin(314\cdot t)$ ג. $I = 0.5\text{A}\sin(314\cdot t)$

4) א. $V(t) = 5\cdot\sin(62.8\cdot t)$ ב. $I_R = \frac{1}{3}\sin(62.8\cdot t)$

ג. $I_1 = I_2 = I_R = \frac{1}{3}\sin(62.8\cdot t)$ ד. $V_1(t) = \frac{5}{3}\sin(62.8\cdot t)$, $V_2(t) = \frac{10}{3}\sin(62.8\cdot t)$

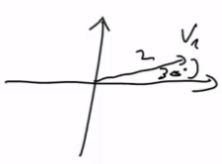
5) א. $V_S(t) = 5\sin(628t)$ ב. $x_C \approx 10.3\Omega$ ג. $I_C(t) = 0.485\text{A}\sin\left(628t + \frac{\pi}{2}\right)$

6) א. $x_C = 150\Omega$ ב. $C = 55.6\mu\text{F}$

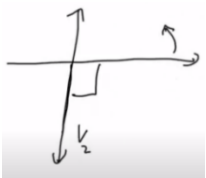
7) א. $V_S(t) = 8\sin(251t)$ ב. $x_L = 7.56\Omega$, $I_{max} \approx 1.06\text{A}$ ג. $I(t) = 1.06\sin\left(251t - \frac{\pi}{2}\right)$

8) א. $x_L = 3.14\Omega$ ב. $V_L(t) = 9.42\text{v}\sin\left(20\pi\cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$

9) א.



ב.



10) $V_1(t) = 4\sin\left(314t + \frac{\pi}{3}\right)$, $V_2(t) = 6\sin\left(314t - \frac{\pi}{6}\right)$

11) $V_3(t) = 12.9\sin(20t + 0.684)$

12) $V_{LR}(t) = 5\sin(50t + 0.93)$

13) $V_R(t) = 10\sin(20t)$, $V_L(t) = 10\sqrt{3}\cdot\sin\left(20t + \frac{\pi}{2}\right)$

14 $V_R(t)=4.05\sin(10t)$, $V_C(t)=2.94\sin\left(10t+\frac{\pi}{2}\right)$

15 $V_R(t)=3\sin(2\pi\cdot 40\cdot t)$, $V_L(t)=0.226\sin\left(2\pi\cdot 40\cdot t+\frac{\pi}{2}\right)$, $V_C(t)=0.317\sin\left(2\pi\cdot 40\cdot t-\frac{\pi}{2}\right)$

16 א. $\omega=23.7\Omega$ ב. $I_{max}\approx 0.211A$ ג. $I(t)=0.211\sin(314t)$

17 $z=\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$

18 א. $V_R(t)=2\sin(20\pi t)$, $V_L(t)=0.188\sin\left(20\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$, $V_C(t)=15.9\sin\left(20\pi t-\frac{\pi}{2}\right)$

ב. $z=160\Omega$ ג. $V_S(t)=16\sin(20\pi t+1.45)$

19 $V_{max}\approx 156V$

20 א. $V_C(t)=120V\sin(80\pi\cdot t)$ ב. $I(t)=3.02A\sin\left(80\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$

ג. $Veff\approx 84.85V$, $Ieff\approx 2.135A$

21 א. $z_{Lr}=39.1\Omega$ ב. $I(t)=2.81A\sin(80\pi t)$

ג. $V_{LR}(t)=110V\sin(80\pi t+0.696)$

22 א. $V_{Lr}(t)=200\sin(100\pi\cdot t)$ ב. $I(t)=3.574\cdot sin(100\pi t-0.466)$

ג. $C=127\mu F$

23 א. $V_{ADeff}=50.1V$ ב. $V_{BEeff}\approx 60.3V$ ג. $\theta_{AD}\approx 0.198rad$

ד. $\theta_{BE}=-\frac{\pi}{2}$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 16 - גלים ירד בסילבוס של 2024

תוכן העניינים

1. גלים והתאבכות גלים 97

גלים והתאבכות גלים:

רקע:

מהירות גל מחזורי: $v = \lambda f$

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים: $\ell = n\frac{\lambda}{2}$

שאלות:

1) תרגול גל 1

פולס נע ימינה בחבל.

מתוארת צורתו בשני זמנים שונים: $t = 0$, $t = 2\,\text{sec}$.

א. מה משרעת הפולס?

ב. מה מהירות התקדמותו?

ג. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה A ברגע $t = 0$?

ד. מה כיוון תנועת החלקיק בחלק שנמצא בנקודה B ברגע זה?

2) תרגול גל מחזורי 1

מופיעים לפניכם גרפי העתק זמן והעתק מקום של חבל מסוים.

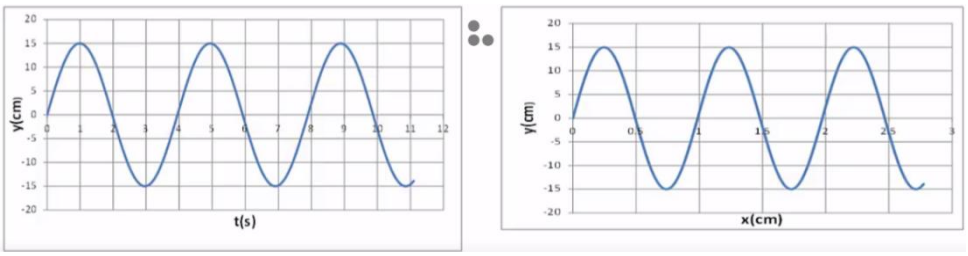
א. מהי משרעת הגל?

ב. מהו אורך הגל המתקדם בחבל?

ג. מה זמן המחזור של הגל?

ד. מה מהירות הגל?

ה. לאיזה נקודה/נקודות בחבל יכול להתאים גרף ההעתק זמן (השמאלי)?



תשובות סופיות:

1) א. $A = 0.3\text{m}$ ב. $V = 0.2\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ג. למעלה. ד. למטה.

2) א. $A = 0.15\text{m}$ ב. $\lambda = 1\text{m}$ ג. $t = 4$ ד. $v = 25\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$

ה. $(0.5,0)$, $(1.5,0)$, $(2.5,0)$

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 17 - אופטיקה ירד בסילבוס של 2024

תוכן העניינים

1. מבוא לאופטיקה 99

מבוא לאופטיקה:

רקע:

חוק סנל: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

נוסחת העדשות: $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$

הגדלה קווית: $m=\frac{\mathrm{H_i}}{\mathrm{H_o}}=\frac{|v|}{|u|}$

עוצמת העדשה: $\mathrm{C}=\frac{1}{f}$

שאלות:

1) תרגול אור במרחב

מציבים מקור אור נקודתי מול מסך במרחק $4\mathrm{m}$ מהמסך.
במרחק $1\mathrm{m}$ ממקור האור מציבים מחסום בגובה $1.5\mathrm{m}$.

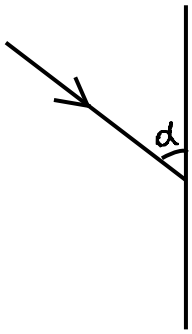
א. שרטט את הבעיה בקנה מידה לבחירתך.
ב. מצא את גודלו של הצל על הקיר:
   i. בעזרת שרטוט.
   ii. בעזרת חישוב.
ג. היכן היה צריך למקם המחסום, כדי שגודל הצל יהיה $2.5\mathrm{m}$?
ד. מוסיפים מקור אור זהה (בניסוי המקורי), במרחק של $1\mathrm{m}$ מתחת למקור הראשון. מצא, בעזרת שרטוט, את אזורי האור והצל השונים שמתקבלים.

2) תרגול אור במרחב 2

מהירות האור בריק היא: $\mathrm{C}=3\cdot10^8\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sec}}$.

א. היעזר בדף הנוסחאות, ומצא תוך כמה זמן מגיעה קרן אור שמוחזרת מהירח – אל כדור הארץ.
ב. מצא תוך כמה זמן מגיעה קרן היוצאת מהשמש אל כדור הארץ.
ג. אם אני מדליק פנס עכשיו, וחבר נמצא במרחק $3\mathrm{m}$ ממני, תוך כמה זמן יגיע אליו האור מהפנס, מרגע שהדלקתי אותו?
ד. שנת אור מוגדרת כמרחק שאור עובר בשנה.
מצאו מהי שנת אור בעזרת הגדרה זו.

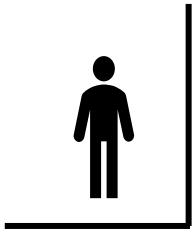
3) החזרה תרגיל 1



נתון מקור אור הפולט אור ומולו מוצבת מראה.
הזווית α בשרטוט שווה $76°$.

א. מה זווית ההחזרה של הקרן המשורטטת בתרשים?
ב. מצא, בעזרת שתי קרניים נוספות לבחירתך, את מיקום הדמות המדומה של העצם הנ"ל.
ג. מצא את שדה הראייה של העצם הנ"ל.
ד. מכסים בבד סגול את החצי העליון של המראה. האם עדיין תיווצר דמות של העצם?

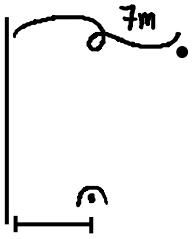
4) החזרה תרגיל 2



נתון התרשים הבא, בו נער בגובה $1.7m$ עומד לפני מראה.

א. שרטט קרן אור היוצאת מידו הימנית של הנער, פוגעת במראה וחוזרת לעיניו (הקרן מייצגת את הקרן/ הקרניים, שבזכותן הנער רואה את ידו במראה).
ב. שרטט (הכי מדויק שאפשר), את דמות הנער במראה.
ג. מציבים מאחורי המראה מסך סגול. האם עדיין יראה הנער את דמותו?
ד. מה הגובה המינימאלי של המראה שיש להציב, כדי שדמות הנער תתקבל במלואה?
ה. מרחיקים את המראה למרחק כפול מגוף הנער.כיצד תשתנה תשובתך לסעיף ד'?

5) החזרה תרגיל 3



מציבים מטבע מול מראה, במרחק $7m$ ממנה, כמתואר בתרשים.
אדם שנמצא במורד התרשים רואה את המטבע בזווית $30°$,
ביחס לקו המקביל למראה, ואת דמותו של המטבע בזווית $50°$.
חשב את מרחקו של האדם מהמראה.

6) תרגול חוק סנל 1

קרן לייזר מתקדמת במים $\left(h_{water}=1.33\right)$, ופוגעת במשטח זכוכית $\left(h_{glass}=1.5\right)$.
חלק מהקרן נשבר לזכוכית וחלק מוחזר.
הזווית בין פני המים והקרן הפוגעת היא $60°$.

א. חשבו את זווית השבירה.
ב. שרטטו את המקרה הנ"ל.

7) תרגול חוק סנל 2

תלמיד שלח קרני אור בזוויות שונות מאוויר לעבר חומר שקוף בעל מקדם שבירה לא ידוע, ומדד את זוויות הפגיעה והשבירה המתאימה לה לזוויות פגיעה שונות. תוצאות המדידות בטבלה שלפניך:

θ_1	θ_2
0	0
10	7.33
20	14.57
30	21.57
40	28.21
50	34.28
60	39.55
70	43.71
80	46.40

א. האם גרף $\theta_2(\theta_1)$ מצופה שיצא לינארי?

ב. הגדר משתנים עבורם כן תצפה לקבל גרף לינארי.

ג. שרטט גרף לינארי זה.

ד. מצא, בעזרת הגרף, את מקדם השבירה של החומר השקוף הלא ידוע.

8) החזרה גמורה תרגיל 1

קרן אור מתקדמת בזכוכית $(n=1.5)$, ופוגעת בגבול בין זכוכית זו ובין מים $(n=1.33)$, בזוויות:

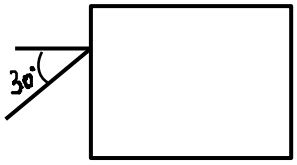
א. $\theta_1 = 0°$

ב. $\theta_7 = 30°$

ג. $\theta_2 = 70°$

שרטט את המשך מהלך הקרן, לאחר הפגיעה, בכל אחד משלושת המקרים.

9) החזרה גמורה תרגיל 2



נתון מלבן מפרספקס $n=1.5$, כמתואר בתרשים.
קרן אור, המגיעה משמאל, פוגעת בפרספקס בזווית פגיעה של $30°$.
השלם את מהלך הקרן בתוך הפרספקס.

10) עדשה מרכזת - תרגיל 1

נתונה עדשה מרכזת בעלת מוקד $f=8\text{cm}$.

נתון עצם, בגובה $H_0 = 4\text{cm}$ המונח במרחק 12cm מהעדשה.

א. מצא בעזרת שרטוט את:

i. מיקום הדמות הנוצרת.

ii. גובה הדמות.
iii. ההגדלה הקווית.

ב. מצא בעזרת חישובים את:
i. מיקום הדמות.
ii. גובה הדמות.

ג. מצא מה אופי הדמות.

ד. שרטט שתי קרניים היוצאות ממרכז העצם, פוגעות בעדשה וממשיכות לצדה השני.

11) עדשה מרכזת - תרגיל 2

לעדשה מרכזת מרחק מוקד של 11cm.

מציבים עצם, שגובהו 5cm, במרחק 4cm מעדשה זו.

א. מצא בעזרת שרטוט את:
i. מרחק הדמות מהעדשה.
ii. גובה הדמות.
iii. ההגדלה הקווית.

ב. מצא בעזרת חישוב מספרי את:
i. מרחק הדמות מהעדשה.
ii. גובה הדמות.

השווה תשובותיך לסעיף ב, עם אלה של סעיף א.

ג. מניחים מסך במיקום הדמות.
האם ניתן לראות את הדמות על המסך?

ד. מניחים וילון שחור על המחצית העליונה של העדשה (מכסים אותה).
האם ניתן לראות את הדמות?

ה. מסירים ווילון זה. ומניחים אותו בין העצם ודמותו.
האם עכשיו ניתן לראות את דמות העצם?

12) עדשה מפזרת – תרגיל 1

נתונה עדשה שעוצמתה $C=10D$.

לפני העדשה, במרחק $u=8cm$, מניחים עצם שגובהו $H_0=4cm$.

א. מצא בעזרת חישוב את:
i. מיקום הדמות.
ii. גובהה.
iii. אופי הדמות.

ב. מצא בעזרת שרטוט את:
i. מיקום הדמות.
ii. גובהה.

ג. מהיכן ניתן לראות את הקצה העליון של דמות העצם (שדה ראייה)?

13) בגרות 2017 שאלה 6

רמי ישב ליד בריכה ריקה. בתחתית הבריכה הונח מטבע, אבל ממקום מושבו של רמי לא היה אפשר לראות את המטבע כשהבריכה ריקה.
התחילו למלא את הבריכה במים, וברגע מסוים ראה רמי את המטבע (רמי והמטבע לא זזו). מקדם השבירה של המים הוא: $n=1.33$.

א. הגדר את תופעת השבירה של האור, וציין את סיבתה.

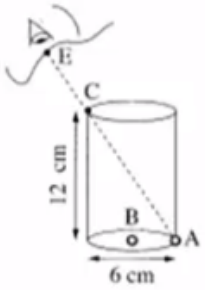
ב. הסבר מדוע ראה רמי את המטבע רק לאחר שהבריכה התמלאה חלקית במים.
לווה את תשובתך בסרטוט מהלך קרניים.

נתון: קרן היוצאת מן המטבע ומגיעה לעין של רמי עוברת בתוך המים מרחק $d=0.61m$.
זווית השבירה של קרן זו היא: $\beta=13.6°$.

ג. חשב את עומק המים.

14) בגרות 2016 שאלה 7

בתרשים שלפניך מוצב כלי ריק שצורתו גליל. גובה הכלי 12cm וקוטרו 6cm.
בתחתית הכלי מונחים שני חרוזים קטנים מאוד: חרוז A צמוד לדופן הכלי וחרוז B במרכז התחתית של הכלי.



תלמיד הביט אל תוך הכלי בכיוון EC (הנקודה C נמצאת על שפת הכלי).
כאשר הכלי היה ריק התלמיד ראה את חרוז A בלבד. מילאו את הכלי עד שפתו בנוזל שקוף. התלמיד הסתכל באותו כיוון וראה את חרוז B בלבד.

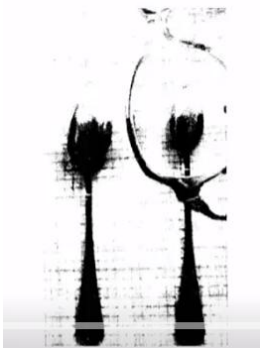
א. העתק את תרשים הכלי והעין למחברתך בלי הקו המקווקו.
הוסף לתרשים שבמחברתך קרן אור שמגיעה מחרוז B, עוברת בתוך הנוזל אל נקודה C ומגיעה לעין התלמיד.
סמן בתרשים שבמחברתך את זווית הפגיעה (α) ואת זווית השבירה (β) במעבר של קרן האור מהנוזל לאוויר.

ב. חשב את מקדם השבירה של הנוזל.

ג. קבע אם חרוז B נראה לתלמיד בעומק האמיתי שהוא היה בו, גבוה יותר או נמוך יותר. נמק את קביעתך באמצעות סרטוט תרשים נוסף של הכלי ומהלך הקרניים.

15) בגרות 2016 שאלה 6

תלמידה רצתה לבדוק את סוג העדשות במשקפיים של דודתה.
לשם כך הניחה התלמידה שתי כפיות זהות על השולחן, והניחה עדשה של המשקפיים מעל אחת הכפיות.
בתרשים שלפניך נראה תצלום הכפיות והמשקפיים שצילמה התלמידה.



א. בכל אחת מן האפשרויות i-iii שלפניך, קבע מהו המאפיין הנכון של דמות הכפית הנראית מבעד לעדשה:
   i. ישרה או הפוכה.
   ii. ממשית או מדומה.
   iii. מוגדלת או מוקטנת.

ב. האם העדשה מרכזת או מפזרת? נמק את תשובתך.

ג. מצא את דמות הכפית באמצעות סרטוט מדויק של מהלך שלוש קרניים.
נתון: רוחק מוקד העדשה: $|f|=12cm$, מרחק העצם מהעדשה $6cm$, גובה העצם $3cm$.
בסרטוט השתמש בקנה מידה של 1 משבצת=1 ס"מ.

ד. חשב באמצעות נוסחאות את גובה הדמות ואת מרחקה מהעדשה.
האם תוצאות החישוב מתאימות לאותם ערכים שהתקבלו בסרטוט?

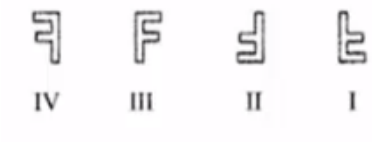
16) בגרות 2015 שאלה 7

ילד הלובש חולצה שעליה מודפסת האות F עומד מול מראה מישורית התלויה על קיר (ראה איור).

א. מהי התופעה הפיזיקאלית שגורמת להשתקפות הילד רק במראה ולא בקיר?

ב. המרחק של הילד מן המראה היה 1 מטר, והוא החל להתקרב אליה במהירות קבועה: $v = 0.5\frac{m}{sec}$.
חשב בתוך כמה זמן יהיה המרחק בין הילד ובין דמותו 0.5 מטר.

ג. לפניך ארבע צורות I-IV של האות F. העתק למחברתך את המספר של צורת הדמות של האות F, כפי שהילד שמסתכל במראה רואה אותה.



17) בגרות 2014 שאלה 6

יאיר ישב במכונית ורצה לעיין במפה שבידיו (זה היה לפני עידן ה-G.P.S).
בחוץ שרר חושך, ולכן יאיר הדליק נורה בתוך המכונית.

א. כדי שיראה היטב את המפה, האם על יאיר לכוון את אלומת האור מן הנורה לעבר עיניו או לעבר המפה? נמק.

לאחר שיאיר הדליק את הנורה הוא התבונן בשמשת החלון של מכוניתו. הוא לא ראה את הסביבה שבחוץ, אלא את דמותו המשתקפת בשמשת החלון.

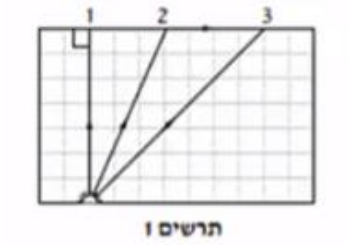
ב. הסבר באמצעות תרשים כיצד נוצרת הדמות המשתקפת בשמשת החלון.

יאיר מאס בפקקי התנועה שבכבישים, והחליט לנסוע ברכבת. בתוך קרון הרכבת דלק אור, ומחוץ לרכבת שרר חושך. יאיר הבחין בשתי דמויות שלו המשתקפות בחלון הרכבת. חלון הרכבת מורכב משני לוחות זכוכית מקבילים וביניהם מרווח שבו שכבת אוויר.
אפשר להזניח את העובי של לוחות הזכוכית.

ג. מדוע ברכבת הבחין יאיר בשתי דמויות, ולא בדמות אחת, כפי שראה במכוניתו? פרט את תשובתך.

ד. באותם תנאי תאורה הכניסו נייר שחור למרווח שבין שני לוחות הזכוכית. הנייר אוטם את כל המרווח. כמה דמויות השתקפו בחלון? נמק.

18) בגרות 2014 שאלה 7

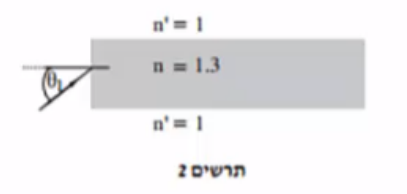


תרשים 1

מקור אור נקודתי נמצא בתוך מנסרה מלבנית (תיבה) העשויה מחומר שקוף. המנסרה נמצאת באוויר. בתרשים 1 מוצג חתך של המנסרה המקביל לשתיים מדופנות המנסרה, וכן מוצג בו מהלכן של שלוש קרניים 1, 2, 3, שמקורן במקור האור.
זווית השבירה של קרן 2 היא $90°$ בקירוב.

א. העתק את תרשים 1 למחברתך, והשלם בו במדויק את המשך המהלך של קרן 1 ושל קרן 3. הסבר את שיקוליך.

ב. על פי התרשים, חשב את הזווית הגבולית (קריטית) למעבר אור מן החומר השקוף לאוויר.



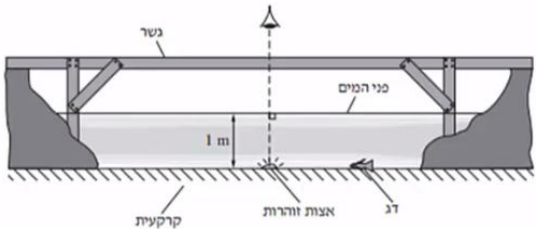
תרשים 2

אפשר להעביר מידע למרחקים גדולים באמצעות סיבים אופטיים שאור מתפשט דרכם כמעט בלי הפסדי אנרגיה. בתרשים 2 מתואר חתך של סיב אופטי העשוי מחומר שקוף שמקדם השבירה שלו: $n=1.3$, וקרן אור נכנסת לתוכו מן האוויר בזווית פגיעה θ_1.

ג. כאשר האור נכנס לסיב מהצד (כמתואר בתרשים 2), זווית הפגיעה θ_1 צריכה להיות קטנה מ- $57°$ כדי למנוע דליפת (יציאת) אור מהסיב לאוויר. הסבר מדוע. בתשובתך היעזר בתרשים.

19) בגרות 2013 תרגיל 1

בגן חיות יש בריכה ובה דגים ויצורי מים מיוחדים. מושבה של אצות זוהרות (פולטות אור) נחה על קרקעית הבריכה, בעומק של 1 מטר. מקדם השבירה של מי הבריכה ביחס לאוויר הוא: $n=1.33$. מעל הבריכה נמתח גשר שממנו המבקרים יכולים לצפות בבריכה (ראה תרשים). התייחס למושבת האצות כאל מקור אור נקודתי.



א. האור שנפלט ממושבת האצות לעבר פני המים עובר לאוויר דרך משטח מעגלי של פני המים. הסבר מדוע. היעזר בתרשים מתאים.

ב. חשב את הרדיוס של המשטח המעגלי שהאור עובר דרכו לאוויר.

ג. אדם הניצב על הגשר בדיוק מעל מושבת האצות רואה אותה בעומק קטן יותר מהעומק האמיתי שהיא נמצאת בו. הסבר מדוע.

ד. דג השוחה על קרקעית הבריכה, בעומק 1 מטר, רואה את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות מפני המים.
חשב את המרחק (האופקי) המינימלי בין הדג לבין מושבת האצות, שהוא יכול לראות בו את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות בהחזרה מלאה.

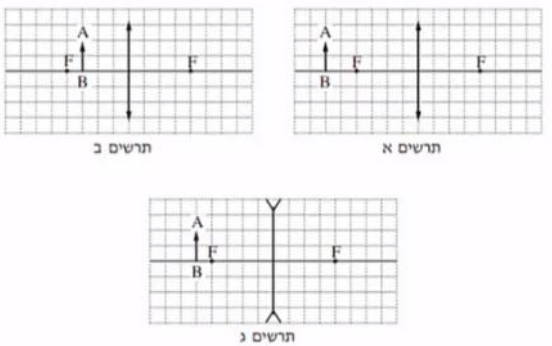
ה. כאשר הדג בעומק של 1 מטר, אבל המרחק בינו לבין מושבת האצות קטן יותר מהמרחק שחיבת בסעיף ד', הוא עדיין רואה את השתקפות האצות בפני המים. הסבר מדוע.

20) בגרות 2013 שאלה 6

אדם המרכיב משקפיים עם עדשות מרכזות זהות רואה בעזרתם את הדמות המדומה של עצם.

א. הסבר את המושגים "דמות ממשית" ו"דמות מדומה", בהסברך תוכל להיעזר בתרשימים.

ב. בתרשימים א'-ג' שלפניך החץ AB מייצג את העצם.
קבע איזה תרשים מתאים לתיאור שבפתיח. נמק את קביעתך.



ג. עוצמת העדשה היא 2 דיופטריות. מהו רוחק המוקד של העדשה?

ד. המרחק בין הדמות לעדשה הוא 60cm . חשב את המרחק בין העצם לעדשה.

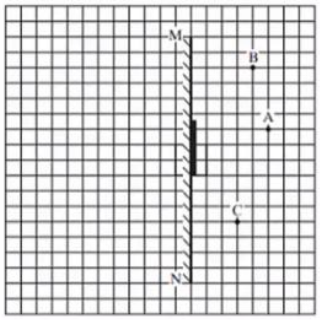
21) בגרות 2012 שאלה 1

עצם ניצב לפני משטח מישורי.

א. מה צריך להתקיים כדי שתיווצר דמות של העצם על ידי המשטח?

ב. כאשר נוצרת דמות של העצם על ידי המשטח, איזה תנאי חייב להתקיים כדי שצופה המתבונן במשטח יראה בו את הדמות של העצם?

באיור שלפניך מתואר חתך של מראה מישורית MN המכוסה במרכזה בכיסוי בד אטום. בנקודה A נמצא עצם נקודתי.
בכל אחת מהנקודות B ו-C נמצא צופה (צופה B, צופה C). הנקודות A, B, C נמצאות על אותו מישור.



העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך.

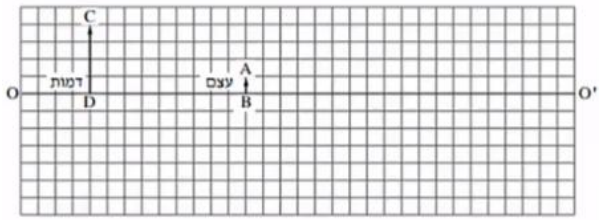
ג. האם צופה B וצופה C רואים את הדמות A באותו מקום? הסבר.

ד. צלע של משבצת אחת מייצגת מרחק של 20 ס״מ במציאות. חשב את המרחק של הצופה הנמצא בנקודה C מהדמות של העצם A.

ה. צופה C מביט אל עבר המראה, אך אינו רואה בה את דמות העין של צופה B. האם צופה B המביט אל עבר המראה רואה בה את דמות העין של צופה C? הסבר.

22) בגרות 2011 שאלה 1

בתרשים שלפניך הקטע OO' מסמן ציר אופטי של עדשה דקה (העדשה אינה מוצגת בתרשים). הקטע AB מסמן עצם, והקטע CD מסמן את הדמות של העצם הנוצרת בעזרת העדשה. הצלע של כל משבצת בתרשים – 1 ס״מ.



א. מדוע הדמות המתוארת בתרשים יכולה להיווצר רק בעזרת עדשה מרכזת?

העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך. השתמש בתרשים שסרטטת כדי לענות על סעיפים ב׳-ג׳.

ב. מצא, בעזרת סרטוט של מהלך קרני האור, את מיקום העדשה, והוסף אותה לתרשים.

ג. מצא את רוחק המוקד של העדשה בשתי דרכים:

i. סרטוט של מהלך קרני האור.

ii. חישוב.

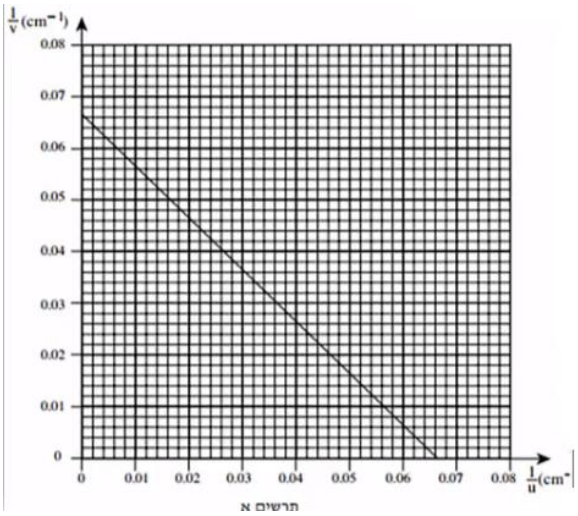
ד. כשהמרחק בין העצם לעדשה גדול מערך מסוים u_1, נוצרת דמות הפוכה ביחס לעצם. קבע מהו u_1.

ה. כשהמרחק בין העצם לעדשה שווה לערך מסוים u_2, הגדול מ-u_1, נוצרת דמות באותו גובה של הדמות CD שבתרשים. מצא את u_2.

23) בגרות 2009 שאלה 1

ברק הציב מקור אור במרחקים שונים מעדשה דו-קמורה דקה. בכל פעם הוא מדד את המרחק של מקור האור מן העדשה (u), ואת המרחק של המסך שעליו התקבלה דמות חדה של מקור האור מן העדשה (v). לאחר מכן הוא חישב את ערכי $\frac{1}{u}$ ו-$\frac{1}{v}$, ועל פי ערכים אלה סרטט גרף של $\frac{1}{v}$ (ביחידות cm^{-1}) כפונקציה של $\frac{1}{u}$ (ביחידות cm^{-1}).

הגרף מוצג בתרשים א'.



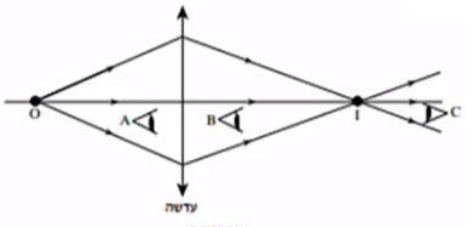
תרשים א

א. הסבר מדוע הגרף שהתקבל הוא קו ישר.

ב. מצא בעזרת הגרף את רוחק המוקד של העדשה. פרט את חישוביך.

ג. כאשר הציב ברק את מקור האור במרחק 10 ס"מ מן העדשה, הוא לא הצליח למקם את המסך כך שתתקבל עליו דמות חדה של מקור האור. הסבר מדוע.

ד. בתרשים ב' שלפניך מתואר עצם נקודתי O ודמותו I, הנוצרת על ידי עדשה מרכזת דקה.



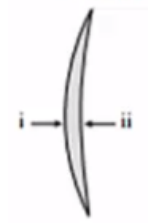
תרשים ב

האם אפשר לראות את הדמות I גם ללא מסך?
אם כן – באיזו מהנקודות A, B או C צריכה להימצא העין (על פי כיווני ההסתכלות שלה המתוארים בתרשים) כדי לראות את הדמות I?
אם לא – היעזר בתרשים ב', והסבר מדוע אי-אפשר לראות את הדמות ללא מסך.

ה. בתרשים ג' שלפניך מתואר חתך של עדשה קמורה-קעורה דקה עשויה מזכוכית. מטילים על העדשה פעמיים אלומת אור מקבילה ואופקית, המתפשטת באוויר:

במקרה i אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקמור.

במקרה ii אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקעור.



תרשים ג

העתק למחברתך את המספר של המשפט הנכון מבין המשפטים i-iv שלפניך:

i. העדשה מרכזת את האור בשני המקרים.

ii. העדשה מרכזת את האור במקרה i ומפזרת אותו במקרה ii.

iii. העדשה מפזרת את האור במקרה i ומרכזת אותו במקרה ii.

iv. העדשה מפזרת את האור בשני המקרים.

24) בגרות 2007 שאלה 2

על ספסל אופטי המונח על שולחן, מציבים מקור אור שצורתו מלבן (מלבן מלא).

עדשה מרכזת שרוחק המוקד שלה הוא: $f = 30cm$, ומסך.

מקור האור, העדשה והמסך מקבילים זה לזה.

שתיים מהצלעות של מקור האור המלבני מאונכות לשולחן. הדמות של מקור האור מתקבלת על המסך, וגובהה גדול פי 2 מהגובה של מקור האור.

א. חשב את המרחק של מקור האור מן העדשה.

ב. פי כמה גדול שטח הדמות מהשטח של מקור האור? נמק.

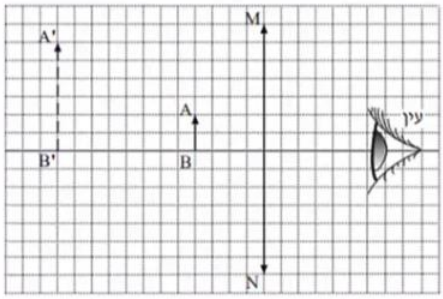
ג. מציבים את מקור האור במרחק $160cm$ מן המסך.
באיזה מרחק ממקור האור יש להציב את העדשה, כדי שתתקבל על המסך דמות חדה שלו? אם יש יותר מאפשרות אחת, כתוב את כולן.

האיור שלפניך הוא העתק של תצלום שבו מראה מישורית המונחת על לוח עץ, ופנס. הפנס פולט אלומת אור הפוגעת בלוח העץ ובמראה שעליו. מלבד הפנס אין מקורות אור נוספים.

ד. מדוע המראה שבתצלום נראית חשוכה, ואילו החלק של לוח העץ שבו פוגעת אלומת האור נראה מואר?

25) בגרות 2004 שאלה 1

בתרשים א' מוצגת מערכת, ובה עדשה מרכזת, MN, הציר האופטי שלה, בול דואר,AB, הדמות של הבול, A'B' , הנוצרת על ידי העדשה, ועין הצופה המתבונן בבול.
אורך הצלע של כל משבצת בתרשים מייצג מרחק של 5 ס"מ במציאות.



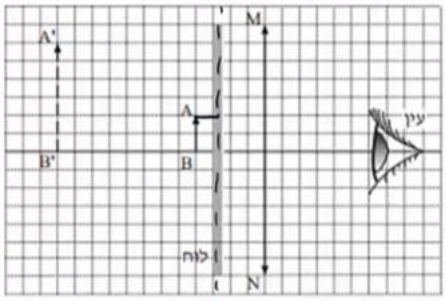
תרשים א

א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. מצא את אורך מוקד העדשה.

ii. חשב את עוצמת העדשה. הצג את תשובתך בדיופטר.

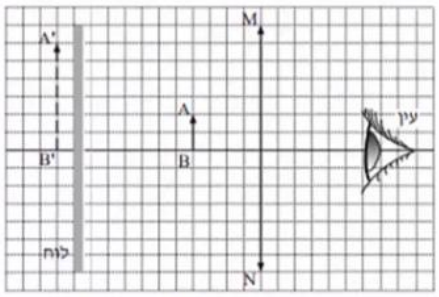
באותה מערכת מציבים לוח אטום לאור לפני הבול, בין הבול לעדשה (ראה תרשים ב').



תרשים ב

ב. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

את הלוח האטום לאור מעבירים אל מאחורי הבול, כמוצג בתרשים ג'.



תרשים ג

ג. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

ד. מסלקים את הלוח האטום. הבול, העדשה והעין נשארים במקומם. הצופה מתבונן בבול דרך העדשה (ראה תרשים א'), ואחר כך הוא מסלק את העדשה ומתבונן בבול.
באיזה משני המצבים (עם העדשה או בלי העדשה) הבול נראה לצופה גדול יותר?
הסבר את תשובתך במונחים של זוויות ראייה.

ה. העתק למחברתך את תרשים א'. (כל משבצת בתרשים תהיה משבצת במחברת).
סרטט קרן, המופצת מראש הבול (A), עוברת בעדשה, וחודרת למרכז האישון של עין הצופה.
תאר כיצד קבעת את מהלך הקרן שסרטטת.

תשובות סופיות:

1) א. ראה סרטון. ב.i. $6m$ ii. $6m$ ג. $2.4m$
ד. ראה סרטון.

2) א. $t=1.28\sec$ ב. $t\cong 8\frac{1}{3}\min$ ג. $t=10^{-9}$ ד. $9.47\cdot 10^{15}\,m$

3) ראה סרטון.

4) א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. כן. ד. $0.85m$
ה. ללא שינוי.

5) $2.43m$

6) א. $26.3°$ ב. ראה סרטון.

7) א. לא. ב. $\sin\theta_2=\frac{n_1}{n_2}\cdot\sin\theta_1$ ג. ראה סרטון.
ד. 1.353.

8) ראה סרטון.

9) ראה סרטון.

10) א. ראה סרטון. ב.i. $V=24cm$ ii. $H_i=8cm$
ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית. ד. ראה סרטון.

11) א. ראה סרטון. ב.i. $V\approx 6.5cm$ ii. $H_i\approx 7.95cm$
ג. לא. ד. כן. ה. כן.

12) א.i. $V=-4.4cm$ ii. $H_i=2.2cm$ iii. מדומה, מוקטנת, ישרה.
ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון.

13) א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. $h=0.6m$.

14) א. ראה סרטון. ב. 1.85. ג. נמוך יותר.

15) א.i. ישרה. ii. מדומה. iii. מוקטנת. ב. מפזרת.
ג. ראה סרטון. ד. $H_i=2cm$, $V=\Theta 4cm$, כן.

16) א. החזרה מסודרת, מתקבלת דמות במפגש הקרניים המוחזרות.
ב. $1.5\sec$. ג. IV.

17) א. לעבר המפה. ב. ראה סרטון. ג. כל משטח מתפקד כמראה עצמאית.
ד. דמות 1.

18) א. ראה סרטון. ב. $\theta_c=23.2°$ ג. ראה סרטון.

19) א. ראה סרטון. ב. $r=1.14m$ ג. ראה סרטון.
ד. $x=2.28m$. ה. ראה סרטון.

20) א. דמות ממשית – מתקבלת במפגש המשכי הקרניים הממשיות.
דמות מדומה – מתקבלת בנקודת מפגש המשכי הקרניים המדומות.
ב. תרשים ב'. ג. $50cm$. ד. $u=27.3cm$

21) א. 1. קרניים שיצאו מהסוף, 2. ההחזרה מהמשטח תהיה מסודרת.
ב. הצופה יימצא בשדה בראייה של הדמות. ג. כן. ד. 2m
ה. לא.

22) א. הדמות לא יכולה להיווצר בעדשה מפזרת. ב. ראה סרטון.
ג. 4cm. ד. $u > f$ ה. $u_2 = 8cm$.

23) א. ראה סרטון. ב. 15.1cm ג. ראה סרטון.
ד. כן. ה. i.

24) א. $u = 45cm$. ב. פי 4. ג. $u_2 = 40cm$, $u_1 = 120cm$.
ד. ראה סרטון.

25) א.i. $f = 30cm$ ii. $C = 3.33D$. ב. לא. ג. כן.
ד. ראה סרטון. ה. ראה סרטון.

פיזיקה חשמל וגלים אלקטרומגנטיים 7111710

פרק 18 - גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות- ירד בסילבוס של 2024

תוכן העניינים

1. הגרעין- הסבר ..... (ללא ספר)
2. אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים 115
3. רדיואקטיביות 117
4. תגובות גרעיניות 122

אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים:

רקע:

שקילות מסה-אנרגיה:

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

$$\Delta E(MeV) = \Delta m(u) \cdot 931.494 \frac{MeV}{u}$$

ΔE – האנרגיה שמשתחררת בהתפרקות שבה המסה פוחתת/ האנרגיה שיש להשקיע במקרה שמסת המערכת גדלה.

c – מהירות האור.

$u = 1.66 \cdot 10^{-27} kg$ היא יחידת מסה אטומית.

שאלות:

1) **אנרגיית קשר גרעינית - תרגיל 1**
חשבו את אנרגיית הקשר הגרעינית של ליתיום 7.

2) **אנרגיית קשר גרעינית - תרגיל 2**
מצאו את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקליאון של פחמן 12.

תשובות סופיות:

1) $\Delta E = 39.2\text{MeV}$

2) $E = 7.684$

רדיואקטיביות:

רקע:

דעיכה של מקור רדיואקטיבי:

$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ או $N = N_0 e^{-\lambda t}$

N – מספר גרעיני האב בזמן t .

N_0 – מספר גרעיני האב בזמן $t = 0$

$\frac{dN}{dt}$ – קצב ההתפרקות של החומר הרדיואקטיבי.

λ - קבוע דעיכה

פעילות (מינוס קצב ההתפרקות) של מקור רדיואקטיבי: $R = \lambda N$

זמן מחצית החיים: $T_{1/2} = \frac{ln\,2}{\lambda}$

שאלות:

1) רדיואקטיביות - תרגיל 1

תוריום 228 מתפרק התפרקות אלפא ונוצר גרעין בת של רדיום 224.

א. השלם את משוואת התהליך: $^{228}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow ^{?}_{?}\mathrm{Ra} + ?$.

ב. מצא את האנרגיה הקינטית המקסימלית האפשרית שתהיה לתוצר החסר.

נתון שמסתו האטומית של תוריום 228 היא: $228.0287411u$, ומסתו האטומית של רדיום 224 היא: $224.020186u$.

ג. הסבר מדוע כמעט בכל המקרים האנרגיה הקינטית של התוצר השני תהיה קטנה מהערך שחישבת בסעיף ב'?

2) רדיואקטיביות - תרגיל 2

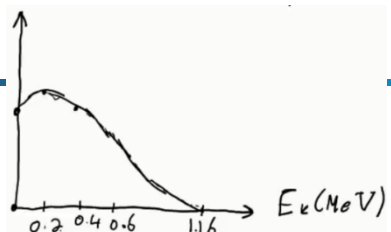
עורכים ניסוי עם חומר רדיואקטיבי בשם ביסמוט ($^{210}_{83}\mathrm{Bi}$).

נמצא, שחומר זה מתפרק התפרקות בטא מינוס לחומר לא-ידוע בשם פולוניום (Po).

א. כתוב את משוואת ההתפרקות.

ב. בניסוי המשך עם חומר זה מודדים את מהירות החלקיקים הנפלטת מהגרעין, ומשרטטים גרף של מספר החלקיקים הנפלטים בעלי אנרגיה קינטית מסוימת, כתלות באנרגיה קינטית זו.

התקבל הגרף הבא:



נתון שמסתו האטומית של ביסמוט זה היא: $209.98412u$, ושמסתו האטומית של פולוניום זה היא: $209.98287u$.

i. הסבר כיצד נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי תומכת בחוק שימור מסה-אנרגיה.

ii. הסבר מדוע שאר הנקודות בגרף לא סותרות חוק שימור זה, ואיזה תגלית היסטורית הוסקה בעזרת גרף זה.

3) רדיואקטיביות - תרגיל 3

נתון מדגם של חומר רדיואקטיבי בעל 10^{10} גרעינים וזמן מחצית חיים של יומיים וחצי.

א. כמה גרעינים רדיואקטיביים יישארו במדגם לאחר יומיים וחצי?

ב. כמה גרעיני בת ייווצרו לאחר 7 וחצי ימים?

ג. כמה גרעיני אב יישארו לאחר 9 ימים?

ד. מה תהיה הפעילות לאחר 9 ימים?

4) רדיואקטיביות - תרגיל 4

נתון מדגם של נתרן 24 ($^{24}_{11}\mathrm{Na}$) שמתפרק התפרקות בטא מינוס למגנזיום (Mg). מסת המדגם – 2 גרם. המסה האטומית של נתרן 24 היא: $23.990962u$.

זמן מחצית החיים של נתרן היא 15 שעות.

א. כתוב את משוואת תהליך ההתפרקות.

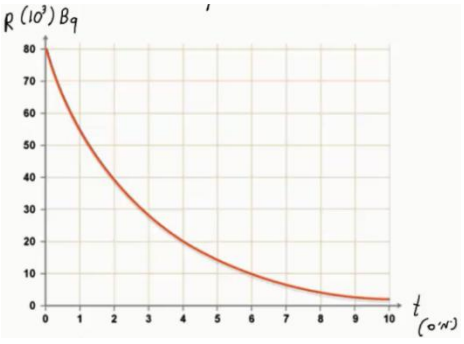
ב. מה פעילות מדגם זה ברגע $t = 0$?

ג. מה תהיה פעילותו (בבקרל) לאחר 30 שעות?

ד. כמה גרעיני בת יוצרו לאחר 42 שעות?

5) רדיואקטיביות - תרגיל 5

חומר רדיואקטיבי מסוים מתפרק, כמופיע בתרשים הבא:



א. מהו זמן מחצית החיים של החומר?

ב. מתי תהיה פעילותו 10^4 בקרל?

ג. מה תהיה פעילותו ברגע $t = 17\mathrm{days}$?

ד. הוסף לתרשים עקומה המתארת את כמות גרעיני הבת שנוצרו בתהליך,

כתלות בזמן.

6) רדיואקטיביות - תרגיל 6

אורניום 235 ($^{235}_{92}U$) מתפרק בשרשרת התפרקויות שכוללת 3 התפרקויות אלפא ו-2 התפרקויות בטא מינוס.

א. מצא את המספר האטומי ומספר המסה של הגרעין החדש שנוצר.
אותו ($^{235}_{92}U$) ממשיך בשרשרת ההתפרקות שלו, ומסיים כאיזוטופ יציב של עופרת ($^{207}_{82}\mathrm{Pb}$).

ב. מצא כמה התפרקויות אלפא וכמה התפרקויות בטא מינוס עבר בתהליך.

7) רדיואקטיביות - תרגיל 7

פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני (חי) נמדדה ושווה ל-231 בקרל.

א. ענה על הסעיפים הבאים:
i. מה תהיה פעילותו של חומר אורגני שמת לפני 5,736 שנה?
ii. לפני 11,472 שנה?

ב. פעילותה של ערימת חומר (1 ק״ג) שנחפרה באפריקה נמדדה, ונמצא כי היא שווה ל-160 בקרל.
מתי הפסיק לתפקד חומר זה?

ג. מה תהיה פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני שבוע?

ד. מה תהיה פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני 65 מיליון שנה?

תשובות סופיות:

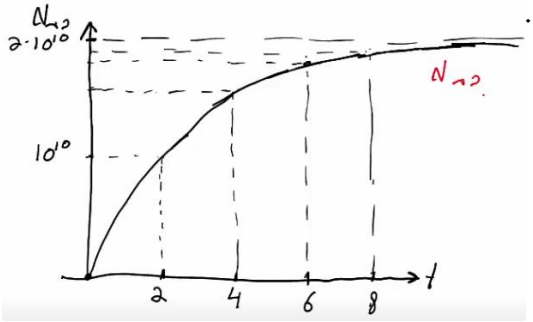
1) א. ${}^{228}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{224}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ ב. EvMeV_{max} ג. EvMeV_{max}

2) א. ${}^{210}_{83}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\mathrm{Po} + {}^{0}_{-1}e + \bar{V}$ ב. הסברים בסרטון.

3) א. $5 \cdot 10^{9}$ ב. $8.75 \cdot 10^{9}$ ג. $8.25 \cdot 10^{8}$
ד. 2645Bq

4) א. ${}^{24}_{1}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{0}_{-1}e + \bar{V}$ ב. $6.43 \cdot 10^{17}\mathrm{Bq}$ ג. $1.61 \cdot 10^{17}\mathrm{Bq}$
ד. $4.3 \cdot 10^{22}$

5) א. יומיים. ב. אחרי שישה ימים. ג. 221Bq
ד.



6) א. ${}^{223}_{88}\mathrm{Ra}$ ב. 7 התפרקויות אלפא ו-4 בטא.

7) א.i. 115.5Bq א.ii. 57.75Bq ב. לפני 3,031 שנה
בערך.
ג. אי אפשר לדעת. ד. $R \rightarrow 0$

תגובות גרעיניות:

שאלות:

1) תגובות גרעיניות - תרגיל 1

יורים על גרעין $^{27}_{13}Al$, שמסתו האטומית: $26.981538u$, גרעין הליום.

בתגובה נוצר גרעין לא ידוע, שמסתו: $29.9783138u$, וחלקיק נוסף – נויטרון.

א. כתוב את משוואת התגובה הגרעינית, והשלם את המספרים לגרעין הלא-ידוע שסימונו P.

ב. כמה אנרגיה מינימלית יש לתת לחלקיק האלפא בתגובה, כדי שתתרחש תגובה זו?

ג. נותנים לו אנרגיה כפולה מהאנרגיה שחישבנו בסעיף ב'.
לאן תלך אנרגיה זו לאחר התגובה?

2) תגובות גרעיניות - תרגיל 2

נתונה התגובה הבאה: $^{2}_{1}H+^{2}_{1}H\rightarrow^{3}_{2}H+?$.

א. השלם את התגובה.

ב. נתון שאנרגיית הקשר לנוקליאון לדויטוריום $\left(^{2}_{1}H\right)$ היא: $1.11226\,MeV$,

ולהליום 3 $\left(^{3}_{2}H\right)$ היא: $2.5727\,MeV$.

מצא כמה אנרגיה מינימלית יש להשקיע בתגובה הנ"ל, כדי שתקרה.

תשובות סופיות:

1) א. $^{27}_{13}Al+^{4}_{2}He\rightarrow^{30}_{15}P+^{1}_{0}h$ ב. $\Delta E=2.65\,MeV$

ג. אנרגיה קינטית לתוצרים ופליטה של אנרגיה בצורת פוטונים.

2) א. $^{2}_{1}H+^{2}_{1}H\rightarrow^{3}_{2}H+^{1}_{0}n$ ב. התהליך יקרה מעצמו (0).