

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות



A square frame containing the numbers 1, $\sqrt{2}$, and 1, with diagonal lines connecting the top-left '1' to the bottom-right ' $\sqrt{2}$ ' and the top-right ' $\sqrt{2}$ ' to the bottom-left '1'.



A large mathematical expression $\{\sqrt{x}\}^2$ in white on an orange background.



תוכן העניינים

1	1. מבוא מתמטי
3	2. חוק קולון
10	3. חוק גאוס
19	4. פוטנציאל
31	5. דיפול חשמלי
33	6. מציאת התפלגות מטען
35	7. חומרים דיאלקטריים
39	8. מעגלים עם זרם ישיר
43	9. קבועים
57	10. מבנה הנגד וצפיפות זרם
61	11. חוק לורנץ וכוח על תייל נושא זרם
69	12. חוק ביו סבר
73	13. חוק אמפר
76	14. חוק פארדי
(לא ספר)	15. משוואות מקסואל
86	16. גלים אלקטромגנטיים
88	17. תרגילים ברמת מבחן

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 1 - מבוא מתמטי

תוכן העניינים

1	1. קוואורדינטות
2	2. צפיפות מטען
(לא ספר)	3. וקטורים
(לא ספר)	4. אופרטור הנאבה

קוואורדיינטות:

שאלות:

1) שטח דיסקה

חשב שטח דיסקה בעלת רדיוס R (שטח מעגל) באמצעות אינטגרל על אלמנט שטח בקואורדיינטות פולריות.

2) חישוב נפח כדור

חשב נפח של כדור באמצעות אינטגרל על אלמנט נפח בקואורדיינטות כדוריות.

תשובות סופיות:

$$\pi R^2 \quad (1)$$

$$\frac{4\pi R^3}{3} \quad (2)$$

צפיפות מטען:

שאלות:

1) דסקה עם חור

מצא את צפיפות המטען של דסקה בעלת רדיוס R הטוענה במטען כולל Q המתפלג בצורה אחידה.

בדסקה קדחו חור ברדיוס z , מצא את כמות המטען שהוצאה מהדסקה.

2) מטען כולל בצד

מצא את המטען הכלול בצד בעל רדיוס R וצפיפות מטען $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$.

תשובות סופיות:

$$Q \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (1)$$

$$\rho_0 \pi R^3 \quad (2)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

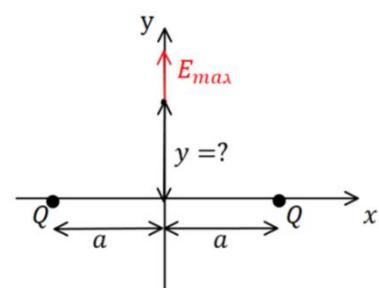
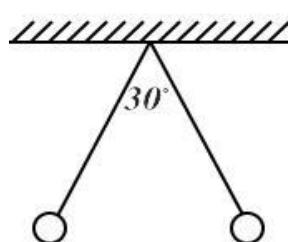
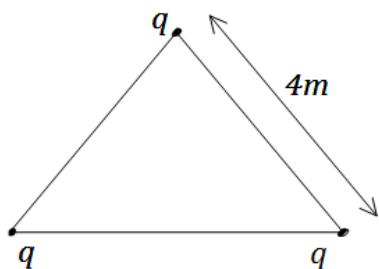
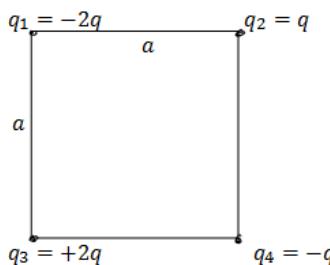
פרק 2 - חוק קולון

תוכן העניינים

3	1. חוק קולון וסופרפוזיציה
6	2. התפלגות מטען רציפה

חוק קולון וסופרפוזיציה:

שאלות:



1) מטען בפינית ריבוע

חשב את הכוח הפועל על המטען שבפינה
התחתונה הימנית של הריבוע שבסרטוט.
 q ו- a נתונים.

2) מטענים בקודקודיו משולש

שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של
משולש שווה צלעות.
גודל כל מטען הוא $C = 2q$ ואורך צלע המשולש
היא $4m$.

מצא את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה
מהמטענים האחרים.

3) שני כדורים תלויים

שני כדורים בעלי מסה m ומטען זהה תלויים
מהתקורה ע"י חוטים בעלי אורך L .
הזווית בין החוטים היא 30° מעלות.
מצא את מטען הכדורים.

4) שדה מקסימלי בין שני מטענים

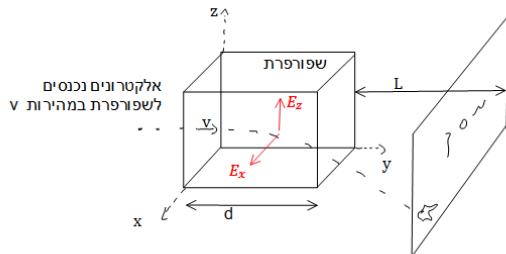
שני מטענים בעלי מטען זהה Q נמצאים על ציר ה- x בנקודות $(0, a)$ ו- $(0, -a)$.
א. מצאו את הנקודה על ציר ה- y כלומר $(y, 0)$ שבה השדה החשמלי
מקסימלי.

ב. מה גודל השדה בנקודה זו?

ג. באיזה נקודה השדה מקסימלי בציר ה- x ?

5) שפופרת תלוייה

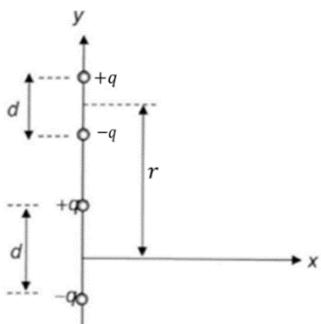
אלקטטרוניים נוכנים לשפופרת ב מהירות V נתונה.
שפופרת יש שדה קבוע בשני הכוונים הניצבים ל מהירות כניסה האלקטרוניים.
אורך השפופרת הוא L .
חשב את נקודת הפגיעה של האלקטרוניים בمسך הנמצא במרחק L מקצה השפופרת.
הנח כי $L > p$ וכי מסת ומטען האלקטרון ידועים.



6) דיפול מפעיל כוח על דיפול

דיפול חשמלי מרכיב משני מטענים נקודתיים $\pm q$

המצאים בנקודות $\left(0, \pm \frac{d}{2}\right)$ (ראו איור).



א. חשבו את השדה החשמלי שיוצר הדיפול

בנקודה $(0, y, 0)$ שעלה ציר ה- y .

ב. השתמשו בתוצאות הסעיף הקודם וחשבו את

הכוח שמאפיין הדיפול הניל על דיפול נוסף

שטען גם $\pm q$ המרחקים זה מזה

מרחק d (המוצוי על ציר ה- y גם כן) ואשר מרכזו

במרחק r ממרכז הדיפול הראשון. הניחו $d > r$.

ג. למה תצטמצם תשובהכם לסעיף קודם עבור $d > r$?

הדרך: השתמשו בפיתוח לטור טיילור (או מקלורן) של פונקציית

$$\text{החזקה : } (1+x)^n \approx 1+nx+\frac{n(n-1)}{2}x^2+\dots$$

תשובות סופיות:

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

$$3.897 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad (2)$$

$$\sqrt{\frac{mg}{k}} \tan(15^\circ) L^2 (2 - \sqrt{3}) \quad (3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} a \cdot \lambda \quad \frac{4kQ}{\sqrt{27}a^2} \cdot \nu \quad \frac{1}{\sqrt{2}} a \cdot \aleph \quad (4)$$

$$z \approx \frac{|e| E_z d \cdot L}{mv^2}, \quad \frac{|e| E_x d \cdot L}{mv^2} \quad (5)$$

$$\vec{E}(y) = kq \left[\frac{1}{\left(y - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(y + \frac{d}{2}\right)^2} \right] \hat{y} \cdot \aleph \quad (6)$$

$$\vec{F} = kq^2 \left[\frac{2}{r^2} - \frac{1}{(r+d)^2} - \frac{1}{(r-d)^2} \right] \hat{y} \cdot \nu$$

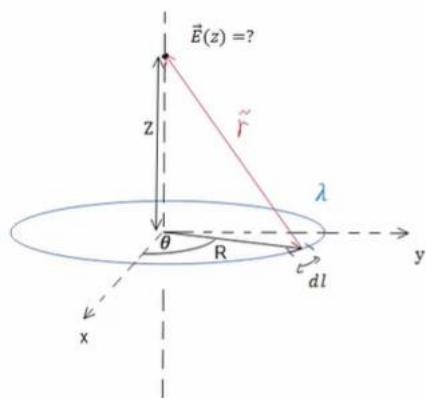
$$\vec{F} = -\frac{6d^2 k q^2}{r^4} \hat{y} \cdot \lambda$$

התפלגות מטען רציפה:

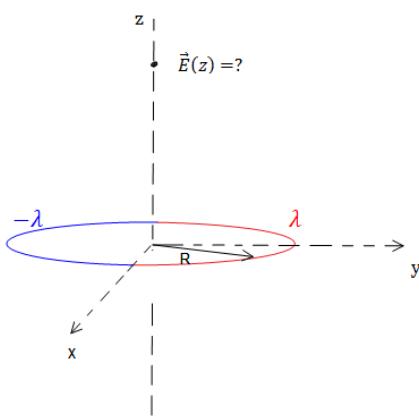
שאלות:



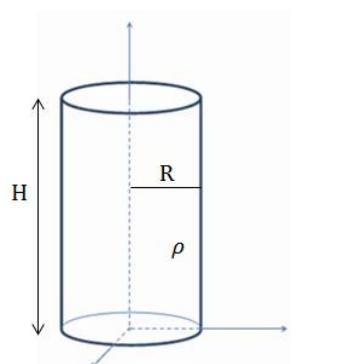
- 1) **התפלגות מטען רציפה-תיל מכופף**
תיל אינסופי המטען בцепיפות מטען
לייח' אורך λ מכופף לחצי מעגל
בעל רדיוס R .
מצא את השדה במרכזו לחצי המעגל.



- 2) **שדה של טבעת וdiska**
נתונה טבעת בעל רדיוס R וציפוי מטען
לייח' אורך λ .
א. חשב את השדה של טבעת ברדיוס R
הטעינה בcepיפות מטען לייח' אורך λ לארוך ציר הסימטריה של
הטבעת.
ב. חשב את השדה החסמי של Diska
ברדיוס R הטעינה בcepיפות מטען σ
לאורך ציר הסימטריה של הדיסקה.



- 3) **טבעת חצי חצי**
נתונה טבעת בעל רדיוס R .
חכיה האחד של הטבעת טעון בcepיפות
מטען λ וחכיה השני טעון בcepיפות $-\lambda$.
מצא את השדה לאורך ציר הסימטריה
של הטבעת.



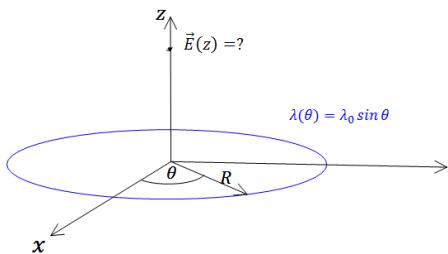
- 4) **שדה של גליל מלא**
ගליל מלא בעל רדיוס R וגובה H טעון בcepיפות מטען
אחד ליח' נפח ρ .
מצא את השדה לאורך ציר הסימטריה של הגליל
(בתוך ומוחוץ לגליל).

5) טבעת עם צפיפות לא אחידה

טבעת ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משתנה תלוי בזווית עם ציר $-x$.

$$\lambda(\theta) = \lambda_0 \sin \theta$$

, λ_0 קבועים נתוניים.

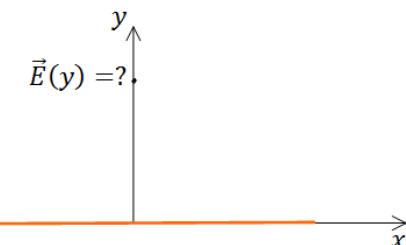


א. מהו סך המטען על הטבעת?

ב. מצא את השدة החשמלי בכל נקודה על ציר הסימטריה של הטבעת (גודל וכיוון).

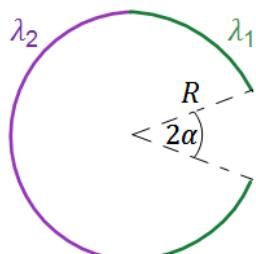
ג. מצא מהו השדה החשמלי מעור R >> z.

איזה שדה מאפיין מתќבל? ומדוע? (סעיף זה קשור לנושא של דיפולים).

**6) שדה של תיל סופי**

תיל סופי באורך L טוען במטען כולל Q המפולג בצורה אחידה.

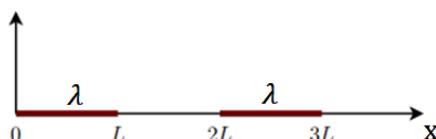
חשב את השدة החשמלי לאורך ציר המאונך לתיל והעובר במרכזו.

**7) שדה של טבעת עם חלק חסר**

במערכת הבאה ישנה טבעת ברדיוס R שהחצי הימני טוען בצפיפות מטען λ_1 וחצייה השמאלי טוען בצפיפות מטען λ_2 .

לחצייה הימני חסר חלק באורך קשת הנשען מול הזווית 2α .

מצא את השدة במרכז הטבעת.

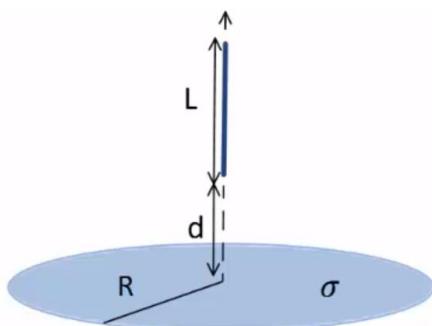
**8) כוח של מוט על מוט**

שני מוטות בעלי אורך L טוענים

בצפיפות מטען אחידה ליחידה אורך λ .

שני המוטות מונחים על ציר $-x$ כפי שנראה בציור.

מצא את הכוחות שפעילים המוטות אחד על השני.

**9) כוח של מוט על דסקה**

במערכת הבאה ישנה דסקה (מלאה) ברדיוס R הטוענה בצפיפות מטعن איחידה ליחידת שטח σ . מוט באורך L מונח לאורך ציר הסימטריה של הדסקה וגובה d מעל מרכזה (ראה איור). המוט טען בצפיפות מטען איחידה ליחידת אורך λ . מצא מה הכוח שפעיל המוט על הדסקה.

10) חרוט קטום**

מטען q נמצא בקודקודו של משטח בצורת חרוט בעל חצי זווית מפתח השווה $-\theta$ ואורך הקו היוצר הוא l (ראו איור). החרוט טען בצפיפות מטען איחידה ליחידת שטח σ . אם ניתן לחשב את הכוח על המטען אם המטען נמצא ממש בקצה החרוט?

cut מסירים את חצי העליון של החרוט כך שנשאר חרוט קטום.

ב. חשבו את הכוח הפועל על המטען מהחרוט.

(הדריכה: השתמש בסופרפוזיציה של טבעות, השטח של טבעת אינפיניטיסימלית בעובי dr הנמצאת במרחב r מוקוד החרוט הוא: $dS = 2\pi r \sin \theta dr$ בקורסיניות כדוריות).

ג. עבור איזו זווית θ הכוח מקסימלי? מה קורה כאשר: $\theta = \frac{\pi}{2}$?

תשובות סופיות:

0 (1)

$$2\pi k\sigma z \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) . \text{ג}$$

$$\frac{k\lambda R\pi z}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \begin{cases} \hat{z} & z > 0 \\ -\hat{z} & z < 0 \end{cases} . \text{נ} \quad (2)$$

$$2 \cdot \frac{-k\lambda R^2 2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

2\pi\sigma k \quad (4)

$$-\frac{k\pi\lambda_0 R^2}{z^3} . \text{ג} \quad -\frac{k\pi\lambda_0 R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} . \text{ב} \quad 0 . \text{נ} \quad (5)$$

$$\frac{kQ}{y \left(\left(\frac{L}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

$$\frac{k}{R} \left[\lambda_1 (2 \sin \alpha - 2) + \lambda_2 \cdot 2 \right] \quad (7)$$

$$kx^2 \ln \left| \frac{4}{3} \right| \quad (8)$$

$$2\pi k\sigma\lambda \left[L - \left(\sqrt{R^2} + (L+d)^2 \right) - \sqrt{R^2 + d^2} \right] \quad (9)$$

(10) א. כי המרחק בין המטען למטען בקדוק הוא אפס ואי אפשר לחשב

. כוח כאשר המרחק הוא אפס.

ב. $\vec{F} = q\pi\sigma k \sin(2\theta) \ln 2 \cdot \hat{z}$

ג. החרוט הקטום הופך לדיסקה עם חור והשדה במרכזו מתאפס.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

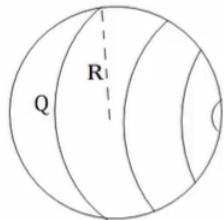
פרק 3 - חוק גאוס

תוכן העניינים

10	1. הסברים בסיסיים
13	2. תרגול נוסף

הסברים בסיסיים:

שאלות:



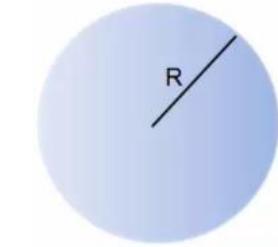
- 1) שדה של קליפה כדורית**
נתונה קליפה כדורית בעלת רדיוס R .
מצא את השדה.



- 2) שדה של תיל אינסופי**
נתון תיל אינסופי בעל צפיפות λ .
מצא את השדה במרחב.



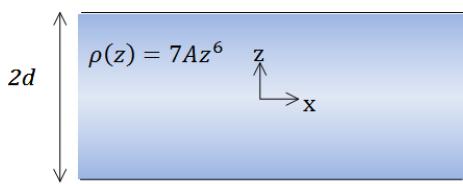
- 3) שדה של גליל אינסופי**
נתון גליל אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידה נפח k ורדיוס $-R$.
מצא את השדה במרחב.



- 5) שדה של כדור עם צפיפות לא אחידה**
נתון כדור בעל רדיוס R וצפיפות התלויה במרחק ממרכז
הכדור. ρ קבוע ונorton: $\rho_0 = \frac{r}{R} \cdot \rho$.
מצא את התפלגות השדה במרחב (בתוך ומחוץ לכדור).



- 6) לוח עם עובי**
נתון מישור בעל שטח A ועובי d .
המישור טוון בцеיפות מטען קבועה
לייחידה נפח ρ .
- א. מצא את השדה רחוק מהמישור.
 - ב. מצא את השדה קרוב מאוד למישור ובתוכו (השתמש בקירובים).
 - ג. מניחים אלקטرون בגובה $Z_0 < \frac{d}{2}$, מצא את מיקום האלקטרון כפונקציה
של הזמן בהנחה שצפיפות המטען במישור חיובית.

**7) מישור עבה עם צפיפות משתנה**

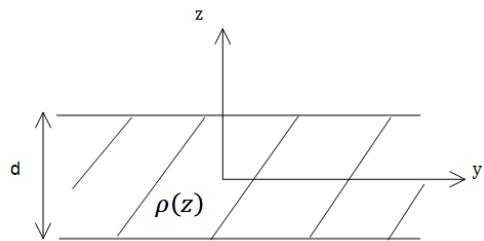
מישור אינסופי בעובי d טוון בцеיפות מטען משתנה $\rho(z) = 7Az^6$, כאשר A קבוע נתון.

ציר ה- z אכן למישור וראשיתו במרכזו המישור (המישור אינסופי ב- y , x , ראה ציור).

א. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

ב. הראה שחוק גאוס הדיפרנציאלי מתקיים בכל המרחב.

ג. מצא את הרוטור של השדה החשמלי $\vec{E} \times \vec{B}$ בכל המרחב, וסביר את התוצאה.

**8) מישור עבה עם צפיפות אנטי סימטריה**

מישור אינסופי בעל עובי d טוון בцеיפות מטען כתלות במרחב ממרכזו המישור $Az = \rho(z)$, A קבוע נתון.

מצא את השדה החשמלי בכל המרחב שיווצר המטען במישור.

תשובות סופיות:

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{kQ}{r^2} \hat{r} & R < r \end{cases} \quad (1)$$

$$\vec{E} = \frac{2k\lambda}{r} \hat{r} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \frac{\rho r}{2\epsilon_0} \hat{r} \quad (3)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} & z > 0 \\ -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} & z < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{kQ_{in}}{r^2} \hat{r} & r > R \\ \frac{\rho_0}{4\pi\epsilon_0} r^2 \hat{r} & r < R \end{cases} \quad (5)$$

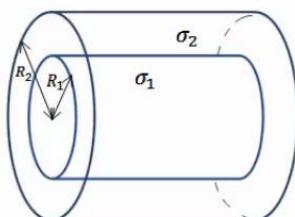
$$z(t) = A \cos \left(\sqrt{\frac{|e|\rho}{\epsilon_0 m}} t \right) \quad . \text{ג.} \quad \vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z > \frac{d}{2} \\ -\frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad . \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{kpdA}{r^2} \hat{r} \quad . \text{א.} \quad (6)$$

$$\text{ג. שאלת הוכחה.} \quad \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} A \cdot z^7 \hat{z} \quad . \text{א.} \quad (7)$$

$$\vec{E} = -\frac{A}{\epsilon_0 z} \left[\left(\frac{d}{2} \right)^2 - z^2 \right] \hat{z} \quad (8)$$

תרגול נוסף:

שאלות:



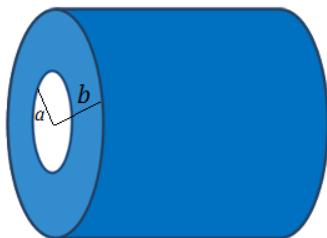
- 1) שתי קליפות גליליות חלולות**
נתונות שתי קליפות (חלולות) גליליות אינסופיות בעלות ציר סימטריה משותף.

רדיוס הקליפה הפנימית הוא R_1

וכפיפות המטען המשטחית בה היא σ_1 .

רדיוס הקליפה החיצונית הוא R_2 וcanfיפות המטען בה היא σ_2 .

מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.



- 2) קליפה גלילית עבה**

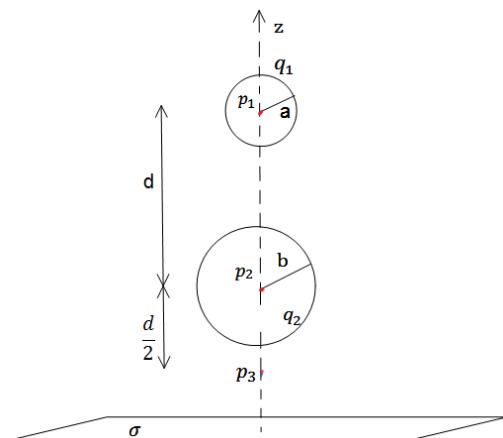
קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי a , רדיוס חיצוני b וגובה H טעונה בcanfיפות מטען

נפחית $\rho(r) = \frac{c}{r}$, כאשר c קבוע נתון ו- r הוא

המרחק מציר הסימטרי של הקליפה.

א. מצא את המטען הכלול בклיפה.

ב. מצא את השדה בכל המרחב אם: $b \gg a$.



- 3) משטח ושתי קליפות כדוריות**

שתי קליפות כדוריות בעלות רדיוסים שונים $b < a$, נמצא $d > 2b$ במרחק אחד מעלה השניה.

הקליפות טענות במטען q_1 ו- q_2 בהתאם.

במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחתן

לקlijפה התחתונה (עם רדיוס b) מונח מישור

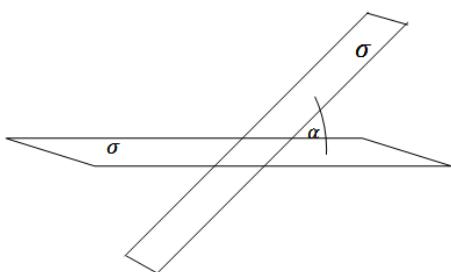
אינסופי הטוען בcanfיפות מטען ליחידת שטח σ .

מצא את השדה בנקודות הבאות.

א. k_1 הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס a .

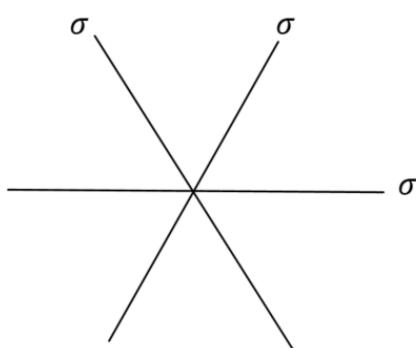
ב. k_2 הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס b .

ג. k_3 הנמצאת במרכז $\frac{d}{2}$ מתחת למרכז הקליפה התחתונה אך מעלה המישור.

4) שני מישורים בזווית

שני מישורים אינסופיים טעונים בזווית מטען
לייחידת שטח σ . המישורים נמצאים בזווית α
אחד מהשני.

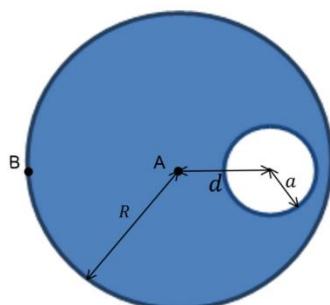
- ממצא את השדה החסמי בין המישורים
ומעל המישור האופקי.
- ממצא את השדה מעל שני המישורים.

**5) שלושה לוחות בזווית**

באյור מתוארת מערכת של שלושה לוחות
איןסופיים (איןסופיים פנימה והחוצה מהדף)
בעלי צפיפות מטען משטחית זהה σ .

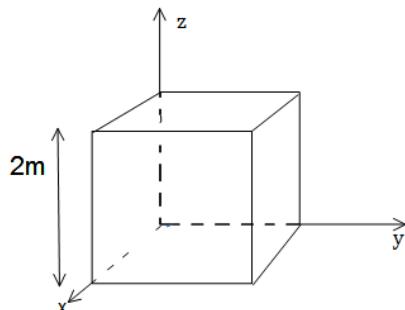
- חשבו את השדה בכל נקודה במרחב על
ידי סופרפויזיציה של השדות של כל לוח
בנפרד.
- חשבו את השדה החסמי על ידי שימוש
בחוק גאוס, הסבירו מדוע חוק גאוס
ישים במקרה זה.

- חשבו את השדה החסמי במרחב עבור המקרה של N משטחים
המחלקים את המרחב בזווית שווה.
למה תצטמצם תשובהכם עבור $1 \gg N$?
השתמשו ב- $\theta \approx \theta_{\text{tip}}$, כאשר $1 \ll \theta$.
 - כאשר N גדול מאוד, המערכת הופכת להיות מטען צפיפות מטען
נפחית התלויה במרחב מנקודת (או קו) החיתוך.
- מהי צפיפות המטען כתלות במרחב מנקודת (או קו) החיתוך (r)?

**6) כדור עם חור**

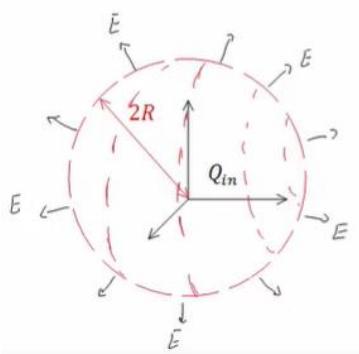
בתוך כדור הטוען בזיפות מטען אחידה ρ קיים
חלל כדוריב בערך רדיוס a . המרחק של מרכז החלל
ממרכז הכדור הוא d , רדיוס הכדור הגדל הוא R

- ממצא את השדה בנקודה A .
 - ממצא את השדה בנקודה B .
- *. ממצא את השדה החסמי בתוך החלל (בכל נקודה).

**7) שטף דרך קובייה**

נתון שדה במרחב: $\vec{E} = -6\hat{x} + (2 - 3y)\hat{y}$.

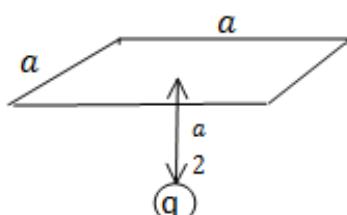
- חשב את השטף העובר דרך צלעות קובייה הנמצאת בربיע הראשוון כך אחד מקדקודיה בראשית ואורך צלעה 2m.
- מהו המטען הכלוא בתחום הקובייה?

**8) מטען כלוא**

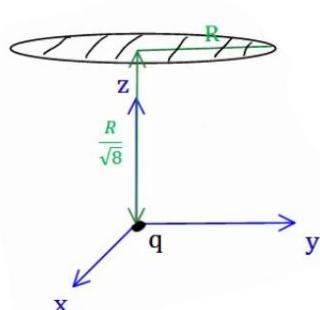
נתונה פונקציית השدة החשמלי

$$\text{במרחב: } \hat{\vec{E}} = \frac{\rho_0 R^3}{\epsilon_0 (r^2 + R^2)} \hat{z}$$

כאשר R , ρ_0 קבועים נתונים, ו- z הוא המרחק מהראשית בקו אורדינטוט כדוריות, מצא את כמות המטען הכלוא בתחום מעטה כדורית בעלת רדיוס $2R$.

**9) שטף דרך משטח ריבועי**

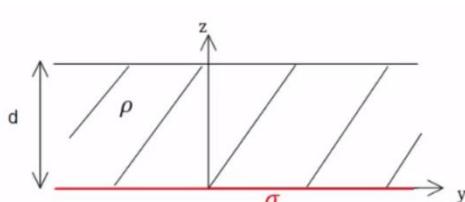
מצא את השטף העובר דרך משטח ריבועי (לא טעון) בעל צלע באורך a הנמצא בגובה $\frac{a}{2}$ מעל מטען נקודתי q .

**10) שטף דרך מעגל**

מטען q נמצא בראשית הציריים.

מהו השטף החשמלי העובר דרך עיגול ברדיוס R המקביל למשורט $u-x$ ומרכזו נמצא

$$\text{בנקודה } \left(0, 0, \frac{R}{\sqrt{8}}\right)$$

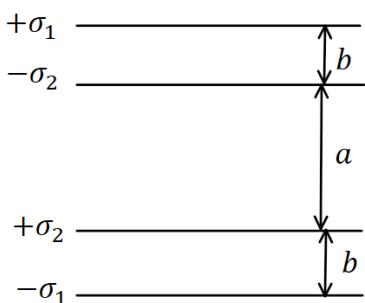
**11) מישור עבה צמוד למישור דק**

מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען

אחדית σ נמצא על מישור $u-x$.

מישור אינסופי נוסף בעל עובי d טעון בצפיפות מטען אחדית ρ , מונח מעל

המישור הדק (תחתית המישור העבה נמצאה גם על מישור $u-x$). מצא את השدة החשמלי בכל המרחב.

**12) ארבעה לוחות**

במערכת הבאה ישנו ארבעה לוחות טעוניים בצפיפות מטען $\frac{c}{m^2}$. $\sigma_1 = 0.05 \frac{c}{m^2}$, $\sigma_2 = 0.02 \frac{c}{m^2}$, $a = 3 \text{ c. m}$, $b = 1 \text{ c. m}$. המרחקים בין הלוחות הם: כדי שמצוין בציור וניתן להניח כי מרחקים אלו קטנים בהרבה מצלעות הלוחות.

א. מצא את השدة החשמלי בכל מקום למרחב

(בין הלוחות ומעליהם, אין צורך להתייחס למה שקרה בצדדים של הלוחות).

ב. משחררים פרוטון ממנוחה מהלוח 2σ . כמה אנרגיה קינטית "ירוויח" מן המערכת? (הנץ שהפרוטון עבר דרך הלוחות ללא הפרעה).

ג. מצא את מהירות הפרוטון ביציאה מן המערכת.

13) מלוח אל לוח

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח הוא 6 ס"מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעוניים בצפיפות מטען אחידה.

הטען הכלול על הלוח התיכון הוא: $c = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ והטען הכלול על הלוח העליון זהה בגודלו והפוך בסימנו. משחררים אלקטרון אלקטرون ממנוחה קרוב מאוד ומתחת לוח העליון: $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

א. כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התיכון?

ב. מהי מהירותו בזמןפגיעה בלוח?

ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון ברגע הפגיעה?

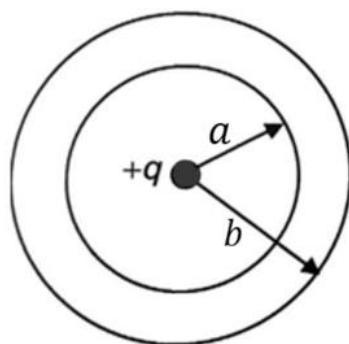
14) קליפה כדורית עבה עם צפיפות משתנה

קליפה כדורית עבה שרדיויסיה הפנימי והחיצוני הם a ו- b נשואת מטען

בצפיפות נפחית לא אחידה, $\rho(r) = \frac{\alpha}{r}$, כאשר $0 < \alpha < \infty$ הינו קבוע מספרי.

במרכזו של החלל הכדורית ($r = 0$) מצוי מטען נקודתי $+q$.

מה צריך להיות ערכו של הקבוע המספרי α על מנת שהשدة בתחום $a < r < b$ יהיה קבוע, כלומר בלתי תלוי במרחב.



תשובות סופיות:

$$\vec{E} = (\sigma_1 R_1 + \sigma_2 R_2) \frac{1}{\epsilon_0 r} \hat{r} \quad (1)$$

$$\vec{E} = \frac{C(b-a)}{\epsilon_0 r} \hat{r} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} + 0 + \left(-\frac{kq_1}{d^2} \hat{z} \right) . \text{ ב.} \quad \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} + \frac{kq_2}{d^2} \hat{z} + 0 . \text{ א.} \quad (3)$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} - \frac{kq_2}{d^2} \hat{z} - \frac{kq_1}{9d^2} \hat{z} . \text{ ג.}$$

$$(4) \text{ בין המישורים : } \vec{E}_T = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} ((1 + \cos \alpha) + \sin \alpha \hat{y})$$

$$\text{מעל המישורים : } \vec{E}_T = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} ((1 + \cos \alpha) - \sin \alpha \hat{y})$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \text{ א.} \quad (5)$$

$$\text{ב. } \frac{\sigma}{\epsilon_0}, \text{ חוק גאוס ישים מכיוון שנייתן למצאה מעטפת גאוס שהרכיב המאונך}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \sin\left(\frac{\pi}{N}\right)} \approx \frac{\sigma N}{2\pi\epsilon_0} \text{ של השדה על המעטפת אחיד. ג.}$$

$$\cdot \rho(r) = \frac{\sigma N}{2\pi r} . \text{ ד.}$$

$$\frac{4\pi k\rho d}{3} \hat{x} . \text{ ג.} \quad \frac{4\pi k\rho}{3} \left(\frac{a^3}{(d+R)^2} - R \right) \hat{x} . \text{ ב.} \quad \frac{4\pi k\rho a^3}{3d^2} \hat{x} . \text{ א.} \quad (6)$$

$$\frac{Qin}{\epsilon_0} . \text{ ב.} \quad -24 . \text{ א.} \quad (7)$$

$$\frac{16}{5} \pi \rho_0 R^3 \quad (8)$$

$$\frac{q}{6\epsilon_0} \quad (9)$$

$$\phi = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{kqa}{2 \left(x^2 + y^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx dy \quad (10)$$

$$\frac{q}{3\epsilon_0} \quad (11)$$

$$v = 1.04 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad . \quad 2.53 \cdot 10^{-11} \text{J} \cdot \text{ב} \quad \vec{E} = -5.65 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{y} \quad . \quad \text{נ} \quad (12)$$

$$V(t) = 3.65 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot \text{ב} \quad t \approx 1.1 \cdot 10^{-12} \text{ sec} \quad . \quad \text{נ} \quad (13)$$

$$E_k = 6.06 \cdot 10^{-12} \text{J} \quad . \lambda$$

$$\alpha = \frac{q}{2\pi a^2} \quad (14)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 4 - פוטנציאל

תוכן העניינים

19	1. מהו פוטנציאל
20	2. שיטה 1, סופרפוזיציה
21	3. שיטה 2, שאלות חוק גauss
23	4. שיטה 3, חישוב מפורש
24	5. תרגילים נוספים

מהו פוטנציאל:

שאלות:

1) **עבודה להביא מטען מהאינסוף**

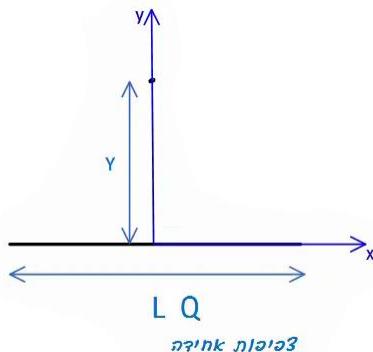
מהי העבודה הדרישה להביא מטען $C = 2 \cdot 10^{-6} C$
 $Q = 3 \cdot 10^{-6} C$ מ�ען $r = 50 cm$ מהאינסוף למרחק
 המקובע במקום?

תשובות סופיות:

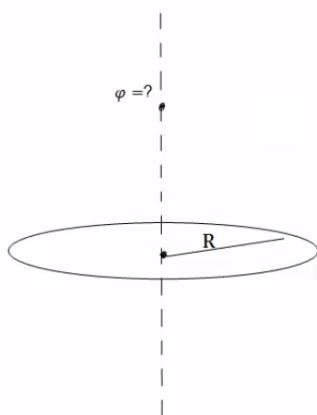
$$W = 108 \cdot 10^{-3} J \quad (1)$$

שיטת 1, סופרפוזיציה:

שאלות:



- 1) **שיטת ראשונה, סופרפוזיציה**
 תיל באורך L טוען בטען כולל Q המפולג בתיל בצורה איחידה. התיל מונח על ציר ה- x .
 מצא את הפוטנציאל על ציר ה- y העובר במרכז התיל.



- 2) **פוטנציאל של טבעת לאורך ציר הסימטריה**
 מצא את הפוטנציאל של טבעת ברדיוס R עם ציפויטען ליחידת אורך λ לאורך ציר הסימטריה.

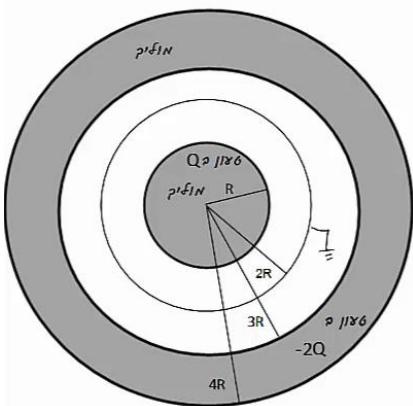
תשובות סופיות:

$$\varphi = k\lambda \ln \left| \frac{\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}}{-\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}} \right| \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{2\pi k\lambda R}{\sqrt{R^2 + z^2}} \quad (2)$$

שיטת 2, שאלות חוק גאוס:

שאלות:



1) דרך שנייה, שאלות חוק גאוס

כדור מוליך בעל רדיוס R טוען בטען Q . סביב לכדור ברדיוס $2R$, נמצאת מעטפת כדורית דקה, מוליכה וሞארקט.

כל המערכת מוקפת במעטפת עבה ומוליכה עם רדיוס פנימי $3R$ ורדיוס חיצוני $4R$.

המעטפת החיצונית טעונה בטען $-2Q$. (ראה ציור). לכדור ולמעטפות מרכזי Q , R נתונים.

- א. מהו הפוטנציאל בכל המרחב? ומהי התפלגות המטען בכל המרחב?

2) פוטנציאל של קליפה כדורית

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של קליפה כדורית ברדיוס R הטעונה בטען כולל Q . הניח שהטען מפוזר בצורה אחידה על השפה.

3) קליפות גליליות מוליכות

גליל מוליך בעל רדיוס R ואורך L טוען בטען $-Q$. סביב הגליל נמצאת קליפה גלילית עבה מוליכה,

בעל רדיוס פנימי $2R$ ורדיוס חיצוני $3R$.

אורך הקליפה הוא L גם כן.

הקליפה טעונה בטען כולל של $-4Q$.

סביב לקליפה העבה נמצאת קליפה דקה מולlica ומוארקט ברדיוס $4R$ ואורך זהה.

הניח כי $R > L$ ולקlipות ציר מרכזי משותף.



- א. כיצד מתפלג המטען במערכת?

- ב. מה הפוטנציאל בכל המרחב?

- ג. פרוטון בעל מסה m וטען $|e|$ משוחרר ממנוחה במרחק $2R$.

מהי מהירות הפרוטון לאחר שעבר מרחק R ?

4) שדה ופוטנציאל של כדור מלא

נתון כדור מלא בעל רדיוס R וצפיפות מטען נפחית אחידה p .

- א. מצא את פונקציית השדה בכל המרחב.

- ב. מצא את פונקציית הפוטנציאל בכל במרחב.

תשובות סופיות:

ה��לגות: ראה סרטון

$$\varphi = \begin{cases} C_1 & r < R \\ \frac{kQ}{r} + C_2 & R < r < 2R \\ \frac{k(Q+q)}{r} + C_3 & 2R < r < 3R \\ C_4 & 3R < r < 4R \\ \frac{k(q-Q)}{r} + C_5 & 4R < r \end{cases}$$

(1) א. פוטנציאל: ראה סרטון

$$\varphi = \begin{cases} \frac{KQ}{R} & r < R \\ \frac{KQ}{r} & R > r \end{cases}$$

(2)

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi L\epsilon_0} \cdot \begin{cases} \ln \frac{1}{2} + 5 \ln \frac{3}{4} & r < R \\ \ln \frac{r}{2R} + 5 \ln \frac{3}{4} & R < r < 2R \\ 5 \ln \frac{3}{4} & 2R < r < 3R \\ 5 \ln \frac{r}{4R} & 3R < r < 4R \\ 0 & 4R < r \end{cases}$$

(3) א. ראה סרטון

$$v = \sqrt{\frac{|e|Q \ln 2}{\pi L \epsilon_0 m_p}}.$$

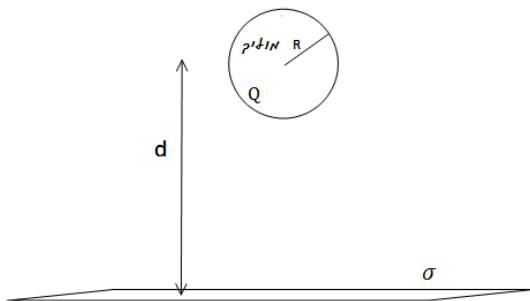
$$\varphi = \begin{cases} -\frac{\rho r^2}{6\epsilon_o} + C_1 & r < R \\ -\left(-\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r}\right) + C_2 & R < r \end{cases}$$

$$E = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_o} \hat{r} & r < R \\ \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2} \hat{r} & R < r \end{cases}$$

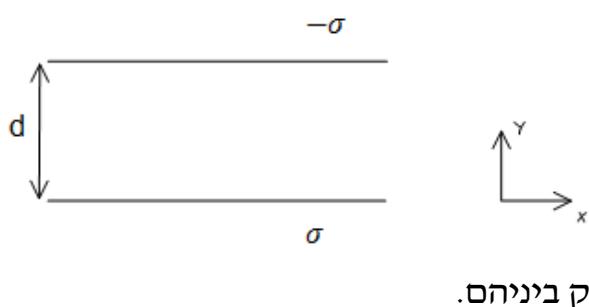
(4)

שיטת 3, חישוב מפורש:

שאלות:



- 1) דרך שלישית, חישוב מפורש נתון משטח אינסופי הטוען בצפיפות מטען משטחית σ . במרחק d מעל המשטח ממוקם כדור מוליך בעל רדיוס R ומטען Q . מצא את הפרש הפוטנציאליים בין המישור לבין שפת הכדור.



- 2) מתח בין לוחות מצא את הפרש הפוטנציאליים בין שני לוחות, כאשר לוח אחד טוען בצפיפות מטען אחידת ליחידה שטח σ והלוח השני טוען בצפיפות אחידת ליחידה שטח $-\sigma$. נתון כי המרחק בין הלוחות הוא d וכי שטח הלוחות גדול בהרבה מה מרחק ביניהם.

תשובות סופיות:

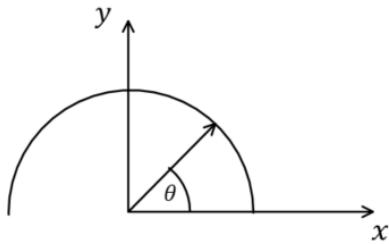
$$\Delta\varphi_{B \rightarrow A} = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0}(d-R) + \frac{kQ}{R} - \left[Q + \frac{KQ}{\lambda} \right] \quad (1)$$

$$V = |E|d \quad (2)$$

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) חישוב פוטנציאל במרכז חצי טבעת עם צפיפות משתנה



תיל מכופף לחצי טבעת ברדיוס R . מרכזו הטבעת (או מרכזו המעלג השלם) הוא בראשית הצירים וחצי הטבעת נמצא בחלק החיוובי של ציר ה- y (ראו איור).

חצי הטבעת טעונה בצפיפות מתუן לא אחידה ליחידת אורך: $\theta \sin \theta = (\theta) \lambda_0$ כאשר θ והיא הזווית עם ציר ה- x החיוובי ו- $\lambda_0 = \frac{C}{m} \cdot 10^{-12} \cdot 2 = \frac{C}{m}$.

מצאו את הפוטנציאל בראשית.

2) ייצורasis קירויים

בשנת 1944 המדענים גלו סיבורג (חתנו פרס נובל לכימיה), ראלף גיימס ואלברט גיורסו ייצרו לראשונה את היסוד הכימי שמספרו 96 וקרו לו "קיוריום" על שם מארי קيري. לשם כך הם היציצו גרעינים של פלוטוניום (מספרו האטומי 94, כלומר יש לו 94 פרוטונים) בגרעיני הליום – 4 (בهم יש 2 פרוטונים ושני נויטרונים), והמסה שלו היא: $6.6 \times 10^{-27} \text{ kg} = M$.

א. אפשר להתייחס בקירוב אל גרעין הפלוטוניום כאל כדור

ברדיוס: $m^{-15} \times 7 = R$, בו המטען של 94 הפרוטונים מפוזר באופן אחיד בPeriphו.

אם כך, מה הפוטנציאל על פניו (יחסית לאינסוף)?

ב. מה צריכה להיות האנרגיה של גרעין ההליום בשבייל שהוא יכול להציג אל פניו גרעין הפלוטוניום?

תנו את התשובה גם ביחידות J וגם ביחידות eV .

ג. מה צריכה להיות המהירות שלו רחוק מהגרעין ("באינסוף")?

ד. באיזה מרחק ממרכז הגרעין המהירות שלו יורדת ל-80% מהמהירות בסעיף ג'?

(3) דיפול

במרחב נמצאים שני מטענים:

$$\vec{r}_1 = -a\hat{y} = (-a, 0, 0)$$

$$\vec{r}_2 = a\hat{y} = (a, 0, 0)$$

א. מה הפוטנציאל (יחסית לאינסוף), ומה השדה החשמלי בכל אחת מהנקודות

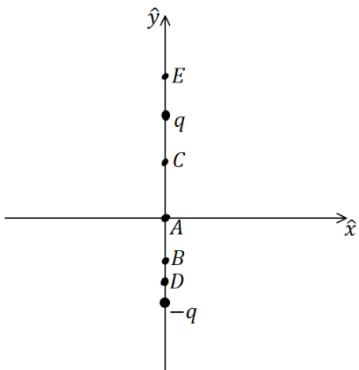
$$\text{הבאות: } \vec{r}_A = 0, \vec{r}_B = -\frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_C = \frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_D = -\frac{3}{4}a\hat{y}, \vec{r}_E = \frac{3}{2}a\hat{y}$$

ב. היכן הפוטנציאל (יחסית לאינסוף) מתאפס?

תארו את המיקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן זה קורה.

ג. ציירו גרפים סכמטיים של הפוטנציאל לאורך ציר y ולאורך שני ציריים שמקבילים לציר y בשני מרחקים שונים.

ד. ציירו את קווי השדה ואת המשטחים שווים הפוטנציאל.

**(4) מטען q ומטען $-q$**

במרחב נמצאים שני מטענים.

מטען q בנקודה $(0, 0, a)$ ומטען $-q$ – בנקודה $(0, 0, -a)$.א. מה הפוטנציאל φ (יחסית לאינסוף) ומה השדה החשמלי בראשית הצירים.ב. מצאו על ציר x שתי נקודות בהן הפוטנציאל מתאפס.

ג. מה השדה החשמלי בשתי הנקודות שמצאתם בסעיף ב'?

ד. הראו שהמיקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן הפוטנציאל ייחסית לאינסוף מתאפס הוא כדור.

מצאו את הרדיוס שלו ואת מרכזו (בשביל למצוא את הרדיוס והמרכז אפשר להיעזר בתוצאה של סעיף ב').

ה. מצאו איפה השדה החשמלי מתאפס. מה הפוטנציאל שם?

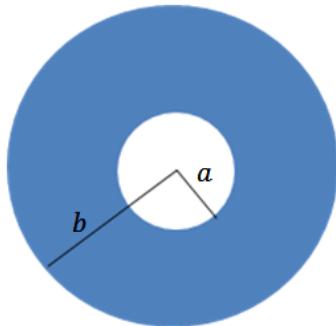
ו. ציירו גרף סכמטי של הפוטנציאל לאורך ציר x .

ציינו את המיקומים של נקודות בהן הפוטנציאל ידוע ואות ערכו בהן.

(5) מטען על השפה בצורה לא אחידהמטען Q מפוזר בצורה לא אחידה על שפה של קליפה כדוריית ברדיוס R .

א. מה הפוטנציאל במרכז הקליפה?

ב. האם ניתן לחשב את הפוטנציאל על השפה?

6) דסקה עם חור

בדסקה בעלת רדיוס b קדחו חור במרכזו ברדיוס a . הדסקה טעונה בCAF מטען יחידת

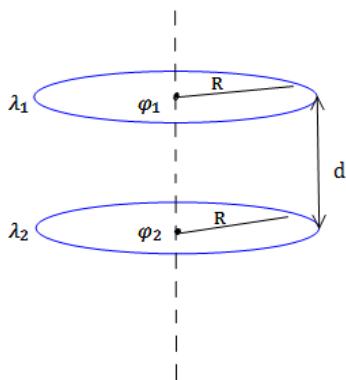
$$\text{שטח} : \frac{D}{r^2} = (r)^2 \sigma, D \text{ קבוע לא נתון.}$$

א. מצא את היחידות של D .

ב. מצא את D אם נתון גם המטען הכלול בדסקה Q .

ג. מצא את הפוטנציאל במרכז הדסקה.

ד. בדוק מה קורה בגבול של $b \rightarrow a$.

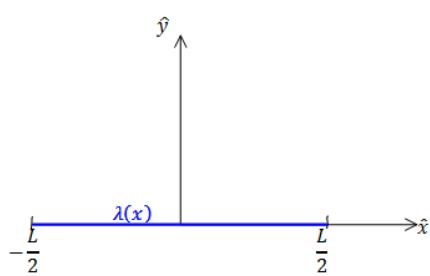
7) טבעת מעל טבעת

שתי טבעות זהות בעלות רדיוס R מונחות האחת מעל והשנייה כק' שהמרחק ביןיהן הוא d .

טבעת העליונה טעונה בCAF מטען יחידת אורך λ_1 ונתון כי הפוטנציאל במרכזו φ_1 .

טבעת התחתונה טעונה בCAF מטען יחידת אורך λ_2 ונתון כי הפוטנציאל במרכזו φ_2 .

מצא את צפיפות המטען של הטבעות אם נתון כי הפוטנציאל באינסוף מתאפס.

**8) תיל עם צפיפות משתנה**

תיל דק מונח על ציר ה- x כך שמרכזו בראשית הציר. אורך התיל הוא L והוא טוען בCAF מטען יחידת אורך.

$$\lambda(x) = \lambda_0 \frac{x}{L}$$

א. מצא את המטען הכלול בתיל.

ב. מצא את הפוטנציאל על ציר ה- x למעט בתחום בו נמצא התיל.

9) כדור 2 מחבר בין שני כדורים

הכדורים 1 ו-2 בתמונה הם מוליכים המקובעים במקומות טעונים במטען זהה. הנח שהכדורים

מאוד מרוחקים זה מזה וידוע שהכוח הפועל עליהם הוא F . הכדור השלישי גם הוא זהה

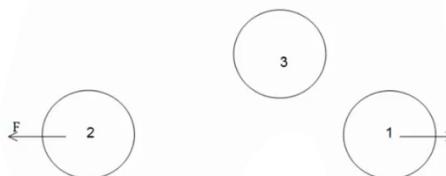
אך אינו טוען. מצמידים את הכדור השלישי לכדור הראשון וממשיכים עד שהמערכת

תתייצב. לאחר מכן מנטקים את הכדור השלישי

ומצמידים אותו לכדור השני.שוב ממשיכים עד שהמערכת תתייצב.

לבסוף מרחיכים את הכדור השלישי לגמרי.

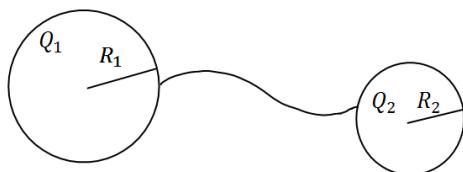
מהו הכוח בין הכדורים 1 ו-2 לאחר כל התהליכים?



10) שני כדורים מוליכים מחוברים בחוט

שני כדורים מוליכים טעוניים ונמצאים למרחק גדול מאוד זה מזה.
רדיויסי ה כדורים והטען שלהם הם : Q_1, Q_2, R_1, R_2 .

מחברים בין ה כדורים באמצעות חוט מוליך.

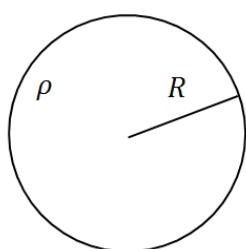


- מה יהיה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

- כמה מטען זרם דרך החוט ולאיזה כיוון?

11) פוטנציאל של גליל מלא טעון בצפיפות אחידה

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של גליל אינסופי ברדיוס R וצפיפות מטען אחידה ונתונה ρ .

**12) חור במישור**

לוח אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען אחידה וחיבורית ליחידת נפח ρ .

בתוך הלוח ישנו חלל כדורי בקוטר d .

- חשב את השדה החשמלי בנקודות :

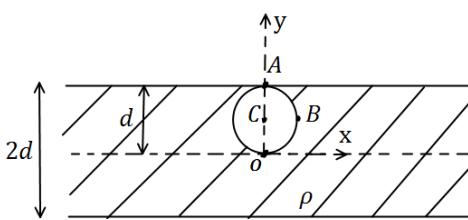
$$(0,0,0), (0,0,0.5d), (0,0.5d, 0), (0,d, 0)$$

- מצא את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ו-B.

- משחררים מטען $q > 0$ בעל מסה m מהנקודה C.

- לאיזה כיוון יתחיל לנوع המטען אם מתעלמים מהשפעת כוח הכבוד?

- מהי מהירות המטען רגע לפני שהוא מגיעה לדופן החלל?

**13) כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת**

כדור מוליך בעל רדיוס R_1 טעון במטען Q_1 .

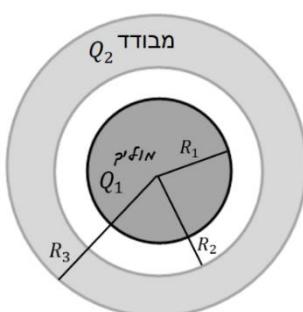
הכדור נמצא במרכז הקליפה כדורית מבודדת

בעל רדיוס פנימי R_2 ורדיוס חיצוני R_3 .

הקליפה טעונה באופן הומוגני במטען Q_2 .

- חשב השדה החשמלי והפוטנציאל בכל המרחב.

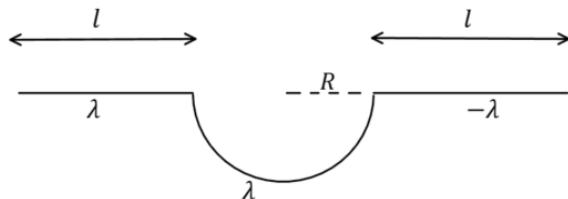
- חזור על החישוב הזה במקרה שבו הכדור מוארך.



14) שדה ופוטנציאל במרכז של תיל עם חצי עיגול

תיל טעון מורכב משולשת חלקים, שני קווים ישרים בעלי אורך l וחצי עיגול ברדיוס R שמחבר ביניהם, ראו איור. החלק היישר השמאלי וחצי העיגול טעונים בצפיפות מטען אחידה λ שאינה נתונה. החלק היישר הימני טעון ב- $-\lambda$.

- א. מצאו את λ אם ידוע שסך כל המטען במערכת הוא Q .
- ב. חשבו את השדה החשמלי במרכז חצי העיגול.
- ג. חשבו את הפוטנציאל החשמלי במרכז חצי העיגול.



תשובות סופיות:

(1) $3.6 \cdot 10^{-2}$

(2) $6.17 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ ב. $1.93 \cdot 10^7 \text{ V}$ א.

$r = 1.95 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ ט. $v = 4.32 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ג.

- (3) א. ראה סרטון
ג. ראה סרטון
ד. ראה סרטון

(4) א. פוטנציאל: $x_1 = -\frac{1}{2}a$, $x_2 = -2a$ ב. $-\frac{k^4 q}{d^2} \hat{x}$, שדה חשמלי: $\frac{2kq}{\alpha} \hat{x}$

ד. רדיוס: $R = \frac{3}{4}a$, מרכז: $\left(-\frac{5}{4}a, 0, 0\right)$ ג. $x_1 = -\frac{kq}{a^2} \cdot \frac{16}{3} \hat{x}$, $x_2 = \frac{kq}{a^2} \cdot \frac{2}{3} \hat{x}$

ה. איפוס השדה: $x_2 = -3.73a$, הפוטנציאל בנקודה זו: $0.27 \frac{kq}{a}$. ראו סרטון.

(5) א. $\frac{kQ}{R}$ ב. לא

(6) א. $\lceil D \rceil = \lceil c \rceil$ ב. $D = \frac{Q}{2\pi \ln \frac{b}{a}}$ ג. $\varphi = \frac{kQ}{\ln \frac{b}{a}} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$

$\frac{kQ}{a}$ ט.

(7) $\varphi_1 = 2\pi k \lambda_1 + \frac{2\pi k \lambda_2 R}{\sqrt{R^2 + d^2}}, \quad \varphi_2 = 2\pi k \lambda_2 + \frac{2\pi k \lambda_1 R}{\sqrt{R^2 + (-d)^2}}$

(8) א. 0 ב. $\varphi = \frac{k\lambda_0}{L} \left(-L + x \ln \left(\frac{x + \frac{L}{2}}{x - \frac{L}{2}} \right) \right)$

(9) $\frac{3}{8}F$

(10) א. $\frac{Q_1}{Q_2} > \frac{R_1}{R_2}$ ב. אם אז המטען עבר משמאלו לימינו, $q'_2 = \frac{R_2(Q_1 + Q_2)}{R_1 + R_2}$

אם $\frac{Q_1}{Q_2} < \frac{R_1}{R_2}$ אז עבר מימנו לשמאלו.

(11) $\varphi = \begin{cases} -\frac{\rho}{4\epsilon_0} (r^2 - R^2) & r \leq R \\ -\frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln \frac{r}{R} & r \geq R \end{cases}$

$$\vec{E}_O = \frac{\rho d}{6\epsilon_0} \hat{z}, \quad \vec{E}_A = \frac{5\rho d}{6\epsilon_0} \hat{z}, \quad \vec{E}_B = \frac{\rho d}{6\epsilon_0} \hat{x}, \quad \vec{E}_C = \frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} . \text{ נ } (12)$$

$$V = \sqrt{\frac{2q\rho d^2}{3\epsilon_0 m}} . \text{ii} \quad \text{ג.ו. למעלה.} \quad \frac{3\rho d}{8\epsilon_0} . \text{ב.}$$

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 & r < R_1 \\ \frac{kQ_1}{r^2} \hat{r} & R_1 < r < R_2 \\ \frac{k}{r^2} \left(Q_1 + Q_2 \left(\frac{r^3 - R_2^3}{R_3^3 - R_2^3} \right) \right) \hat{r} & R_2 < r < R_3 \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r^2} \hat{r} & R_3 < r \end{cases} . \text{ נ } (13)$$

$$\varphi(r) = \begin{cases} C_1 & r < R_1 \\ \frac{kQ_1}{r} + C_2 & R_1 < r < R_2 \\ \frac{kQ_1}{r} - \frac{kQ_2 r^2}{2(R_3^3 - R_2^3)} - \frac{kQ_2 R_2^3}{(R_3^3 - R_2^3)r} + C_3 & R_2 < r < R_3 \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r} + C_4 & R_3 < r \end{cases} . \text{ ב.}$$

$$\bar{E} = \frac{2K\lambda}{R} \hat{y} + 2K\lambda \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{1+R} \right) \hat{x} . \text{ ב.} \quad \lambda = \frac{Q}{\pi R} . \text{ נ } (14)$$

$$\varphi = K\lambda\pi . \lambda$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 5 - דיפול חשמלי

תוכן העניינים

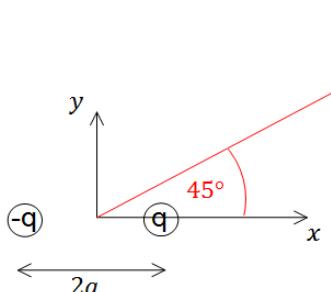
1. הכל על דיפול 31

הכל על דיפול:

שאלות:

1) תרגיל ופיתוח הנוסחה של דיפול מהשדה

שני מטענים בעלי מטען q ו- $-q$ ממוקמים $x = -a$ ו- $x = a$.



א. חשב את הכוח הפועל על מטען Q הנמצא בנקודה $(x, y, 0)$.

ב. הנח שמרכז המטען מהרואהית גדול בהרבה ממהירות בין המטענים והזווית של וקטור

מיקום המטען עם ציר x הוא 45° .

השתמש בתשובה של סעיף א' ובקירובים וחשב מה הכוח הפועל על המטען.

ג. חשב את וקטור מומנט הדיפול שיוצרים המטענים.

ד. חשב שוב את הכוח הפועל על המטען, הפעם השתמש בנוסחה של שדה של דיפול וראה כי התשובה זהה לתשובה של סעיף ב'.

2) דיפול בראשית מזיז אלקטירו

נתון דיפול $\vec{p} = (p, 0, 0)$ הנמצא בראשית.

א. מצא את הגודל p כך שאלקטרון הממוקם בנקודה $(a, 0, 0)$ עם מהירות $(v, 0, 0)$ ייעצר בנקודה $(b, 0, 0)$.

ב. מצא את הגודל p כך שאלקטרון הממוקם בנקודה $(a, -\sqrt{2}a, 0)$ עם מהירות $(0, v, 0)$ יבצע תנועה מעגלית.

3) חישוב שגיאה

טען q נמצא ב- $(0, 0, d)$ ומטען $-q$ נמצא ב- $(0, 0, -d)$.

א. חשב את הפוטנציאלי המדויק בנקודה כלשהיא על ציר Z .

ב. מהו הערך המינימלי של Z כך שהקירוב של הפוטנציאלי של דיפול לא יסטה יותר מ אחוז אחד מהפוטנציאלי האמיתי?

ג. מהו הערך המינימלי של Z כך שהקירוב של השדה של דיפול לא יסטה יותר מ אחוז אחד מהשדה האמיתי?

תשובות סופיות:

$$\vec{E} = kq \left[\left(\frac{x-a}{\left((x-a)^2 + y^2 \right)^{\frac{3}{2}}} - \frac{x+a}{\left((x+a)^2 + y^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \right) \hat{x} + \left(\frac{y}{\left((x-a)^2 + y^2 \right)} - \frac{y}{\left((x+a)^2 + y^2 \right)} \right) \hat{y} \right]. \text{א } \quad (1)$$

$$\text{ד. שאלת הוכחה.} \quad q2a\hat{x} \quad \text{ג.} \quad \frac{kq}{r^3}(a\hat{x} + 3ay\hat{y}) \quad \text{ב.}$$

$$|e| \frac{K\sqrt{2}p}{3\sqrt{3}a^3} \quad \text{ב.} \quad \rho = \frac{mv^2}{2e^k} \left(\frac{a^2b^2}{b^2-a^2} \right). \text{א } \quad (2)$$

$$z_{\min} \approx 14.14d \quad \text{ג.} \quad z_{\min} = 10d \quad \text{ב.} \quad \varphi(q) = \frac{kq2d}{z^2-d^2}. \text{א } \quad (3)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 6 - מציאת התפלגות מטען

תוכן העניינים

1. מציאת התפלגות מטען

33

מציאת התפלגות מטען:

שאלות:

- 1) מציאת צפיפות נפחית משטחית קוית ונקודתית נתונה פונקציית הפוטנציאל הבאה במרחב (בקואורדינטות גליליות):**

$$\varphi(r) = \begin{cases} Ar^2, & r < a \\ B \ln(r) + C, & a < r < b \\ D \ln(r), & b < r \end{cases}$$

. A , B , C , D נתוניים.

- א. מצא קשר בין הקבועים.
- ב. מצא את התפלגות המטען במרחב, בעת נתון כי עוטפים את כל המערכת בגליל אינסופי מוליך מוארך ברדיוס $b > c$.
- ג. מצא את פונקציית הפוטנציאל החדשה בכל המרחב.

- 2) שדה התלו依 בזווית**

השדה החסמי במרחב נתון ע"י הפונקציה הבאה בקואורדינטות כדוריות :

$$\vec{E} = \frac{C}{r} (\hat{r} + \cos \theta \hat{\theta} + \sin \theta \cos \phi \hat{\phi})$$

- א. מצא את צפיפות המטען במרחב.
- ב. מצא את כמות המטען הנמצאת בתוך כדור ברדיוס R ע"י אינטגרל על צפיפות המטען.
- ג. מצא שוב את כמות המטען הנמצאת בתוך כדור ברדיוס R ע"י חישוב של השטף של השדה החסמי ושימוש בחוק גauss.

- 3) התפלגות בכדוריות**

השדה החסמי במרחב נתון לפי הפונקציה הבאה :

$$\vec{E}(r) = \begin{cases} -\frac{72\pi \cdot 10^5 (N \cdot \frac{m}{c})}{r} \hat{r}, & r < 1 \\ -\frac{144\pi \cdot 10^5 (N \cdot \frac{m^2}{c})}{r^2} \hat{r}, & r > 1 \end{cases}$$

הקוואורדינטות כדוריות.

מצאו את התפלגות המטען במרחב ותארו את המבנה שלו.

תשובות סופיות:

(1) ראה סרטון.

$$\text{. } 4\pi\epsilon_0 c R \text{ . ג.} \quad \text{. } 4\pi\epsilon_0 c R \text{ . ב.} \quad \vec{\nabla}\vec{E} = \frac{\epsilon_0 c}{r^2} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\sin \varphi} + \frac{\sin \theta \cos 2\varphi}{\sin \varphi} \right) \text{ . נ.} \quad (2)$$

$$\text{. } \sigma(r=1) = -2 \cdot 10^{-4} \frac{c}{m^2}, \quad \rho(r) = \begin{cases} -\frac{2 \cdot 10^{-4} \left(\frac{c}{m} \right)}{r^2} & r < 1 \\ 0 & 1 < r \end{cases} \quad (3)$$

המבנה הוא כדור ברדיוס 1 מטר המלא בצפיפות המטען נפחית ועטוף במעטפת בעלת צפיפות המטען המשטחית.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

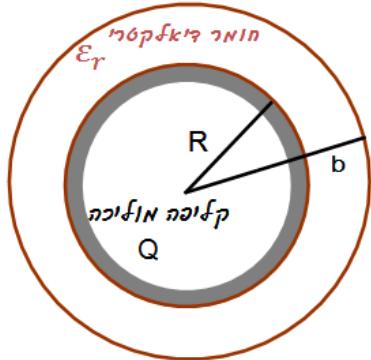
פרק 7 - חומרים דיאלקטריים

תוכן העניינים

35	1. הרצאות ותרגילים בסיסיים
36	2. תרגול נוסף

הרצאות ותרגילים בסיסיים:

שאלות:



- 1) **חומר דיאלקטרי מסביב לקליפה מוליכה**
 קליפה מולlica (דקה) ברדיוס R טעונה במטען Q .
 מסביב לקליפה נמצאת קליפה נוספת עבה עם רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני b .
 מצא את השדה בכל המרחב ואת התפלגות המטען המושראית (קשרורה).

תשובות סופיות:

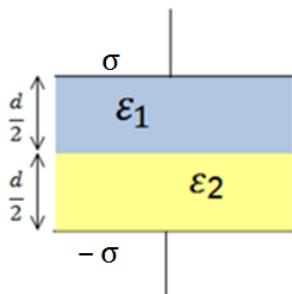
$$\vec{E}(r) = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{kQ}{\epsilon_r r^2} \hat{r} & R < r < b \\ \frac{kQ}{r^2} & b < r \end{cases} \quad (1) \text{ השדה במרחב:}$$

$$\sigma_i(b) = \epsilon_0 \left(\frac{kQ}{b^2} - \frac{kQ}{\epsilon_r b^2} \right), \quad \sigma_i(R) = \frac{\epsilon_0 kQ}{R^2} \left(\frac{1}{\epsilon_r} - 1 \right)$$

התפלגות המטען המושראית:

תרגול נוסף:

שאלות:



1) חומר דיאלקטרי מפוצל בין שני לוחות

שני לוחות אינסופיים נמצאים במרחק d ביניהם, הלוח העליון טען σ והלוח התחתון טען $-\sigma$. בין הלוחות ישנים שני סוגים של חומרים דיאלקטריים ליניאריים כפי שנראה בציור.

נתון המקסם הדיאלקטרי של כל חומר ϵ_1 ו- ϵ_2 .

- מצאו את וקטור העתקה D בכל אחד מהחומרים.
- מצאו את השدة החשמלי בכל מקום בין לוחות.
- מצאו את הפולריזציה P בכל אחד מהחומרים.
- מצאו את הפרש הפוטנציאלי בין הלוחות.
- מצאו את גודל ומיקום המטען הקשור בחומרים הדיאלקטריים.
- מצאו שוב את השدة בכל המרחב ע"י שימוש בטען הקשור והחופשיים.

2) כדור דיאלקטרי טוען

כדור ברדיוס R מורכב מחומר דיאלקטרי ליניארי בעל קבוע דיאלקטרי אחד ϵ_r . בתוך החומר הדיאלקטרי ישנה צפיפות של מטען חופשי (בנוסף לחומר הדיאלקטרי עצמו) מפוזרת באופן אחיד ושווה $-\rho$. מצאו את השدة בכל המרחק. (رمز: מצאו קודם קודם כל את D).

3) כדור מבודד וקליפה מוליכה

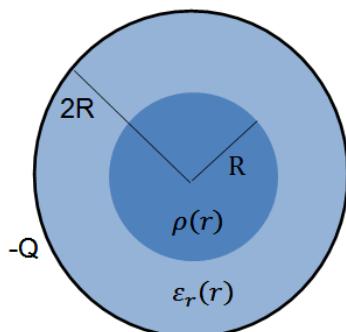
כדור מבודד ברדיוס R טוען בצפיפות מטען משתנה השווה $-\frac{r}{R} \rho_0 = (r) \rho$.

מסביב לכדור ישנה קליפה מבודדת עבה בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני $2R$.

הקליפה עשויה מחומר דיאלקטרי עם מקדם דיאלקטרי משתנה: $1 + \frac{r}{R} \epsilon_r(r) = 1 + \frac{r}{R} \epsilon_r(r)$.

מסביב לקליפה הדיאלקטרית ישנה קליפה מוליכה דקה ברדיוס $2R$ הטוענה בטען כולל \vec{Q} .

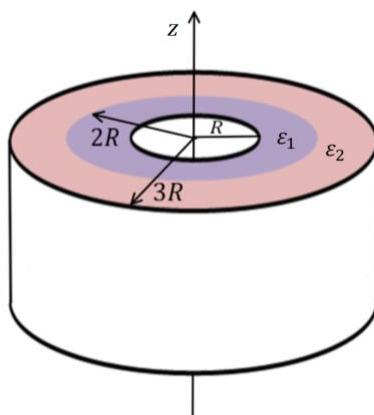
- מצוא את וקטור העתקה \vec{D} בין כל המרחב.
- מצוא את השدة החשמלי בכל המרחב.



- ג. מהי צפיפות המטען המושרה (או קשור) בתוך החומר הדיאלקטרי (משטחית ונפחית)?
- ד. מצא באמצעות סכימה מפורשת על צפיפות המטען המושרה, את סך המטען המושרה.

(4) חישוב קיבול דרך אנרגיה

- קבל גליילி מורכב משתי קליפות גלייליות ברדיוסים R , $3R$ ובאורץ $3R > L$.
ממלאים את הקובל (המרווח בין הקליפות) בחומרים דיאלקטריים.
חומר בעל מקדם ϵ_1 מלא את התווך בין R ל- $2R$ וחומר בעל מקדם ϵ_2 את התווך בין $2R$ ל- $3R$.
טוענים את הקליפה הפנימית במטען Q ואת החיצונית במטען $-Q$.
- א. מהי צפיפות האנרגיה בתוך הקובל כתלות במרחק ממרכז הקובל?
ב. מהי האנרגיה האגורה בקובל?
ג. חשבו את הקיבול של הקובל מתוך סעיף ב'.
ד. ניתן להתייחס לקובל כאל שני קבילים המלאים כל אחד בחומר דיאלקטרי שונה. האם הקבילים מחוברים בטור או במקביל?
חשב את הקיבול של כל קובל.



תשובות סופיות:

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\sigma \hat{z}}{\epsilon_1} & 0 < z < \frac{d}{2} \\ \frac{\sigma \hat{z}}{\epsilon_2} & \frac{d}{2} < z < d \end{cases} . \quad \vec{D} = \sigma \hat{z} . \mathbf{N} \quad (1)$$

$$\mathbf{V} = -\frac{d}{2} \sigma \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \right) . \tau \quad \vec{p} = \begin{cases} \left(\sigma - \frac{\epsilon_0 \sigma}{\epsilon_1} \right) \hat{z} & 0 < z < \frac{d}{2} \\ \left(\sigma - \frac{\epsilon_0 \sigma}{\epsilon_2} \right) \hat{z} & \frac{d}{2} < z < d \end{cases} . \lambda$$

$$\sigma_b(z=0) = \sigma \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_1} - 1 \right), \quad \sigma_b \left(z = \frac{d}{2} \right) = \epsilon_0 \sigma \left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_1} \right), \quad \sigma_b(z=d) = \sigma \left(1 - \frac{\epsilon_0}{\epsilon_2} \right) . \eta$$

$$E_T = \frac{\sigma}{\epsilon_1} \hat{z} . \nu$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_r \epsilon_0} & r < R \\ \frac{k\rho 4\pi R^3}{3r^2} & r > R \end{cases} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho_0 r^2}{4R\epsilon_0} \hat{r} & r < R \\ \frac{\rho_0 R^3 \hat{r}}{4r^2 \epsilon_0 \left(\frac{r}{R} \right)} & R < r < 2R \\ \frac{\rho_0 \pi R^3 - Q}{4\pi r^2 \epsilon_0} \hat{r} & 2R < r \end{cases} . \quad \vec{D} = \begin{cases} \frac{\rho_0 r^2}{4r} \hat{r} & r < R \\ \frac{\rho_0 4\pi R^3}{16\pi r^2} \hat{r} & R < r < 2R \\ \frac{\rho_0 \pi R^3 - Q}{4\pi r^2} \hat{r} & 2R < r < \infty \end{cases} . \mathbf{N} \quad (3)$$

$$0 . \tau \quad \sigma_b(r=2R) = \frac{\rho_0 R^2}{4(2R)(3)}, \quad \sigma_b(r=R) = \frac{-\rho_0 R}{8}, \quad \rho_b = \frac{-\rho_0 R^2}{4r^2 \left(1 + \frac{r}{R} \right)^2} . \lambda$$

$$U = \frac{Q^2}{4\pi L} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln 2 + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{3}{2} \right) . \tau \quad u = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{(2\pi r L)^2} \begin{cases} \frac{1}{\epsilon_1} & R < r < 2R \\ \frac{1}{\epsilon_2} & 2R < r < 3R \end{cases} . \mathbf{N} \quad (4)$$

$$c_1 = \frac{2\pi L \epsilon_1}{\ln 2}, \quad c_2 = \frac{2\pi L \epsilon_2}{\ln \frac{3}{2}} . \tau \quad C = \frac{2\pi L}{\frac{1}{\epsilon_1} \ln 2 + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{3}{2}} . \lambda$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

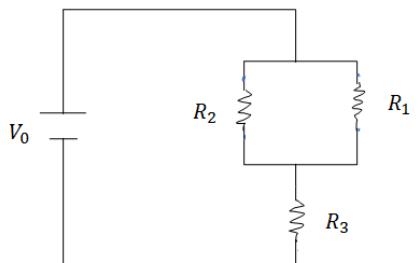
פרק 8 - מעגלים עם זרם ישר

תוכן העניינים

39	1. זרם, חוק א Ohm וחייבור נגדים.
41	2. חוקי קירכוכוף.

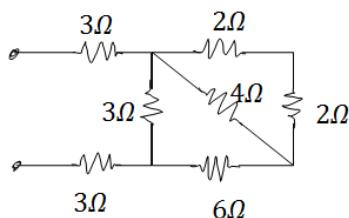
זרם, חוק א Ohm ו לחבר נגדים

שאלות



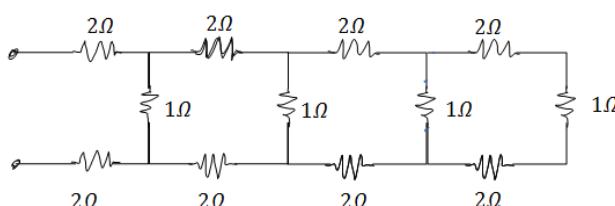
1) שניים במקביל אחד בטוֹר

במעגל הבא נתונים התנגדויות של כל נגד ומתח המissor : $V_0 = 31V$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 5\Omega$.
 א. מצא את התנגדות השකולה של המעגל.
 ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.
 חשב את הזרם והמתוח על כל אחד מהנגדים.



2) מרובע עם אלכסון

חשב את התנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני הבדיקהים.



3) 4 חוליות

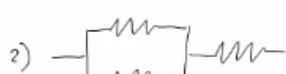
מצא את התנגדות השקולה של המעגל בין שני הבדיקהים.



נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R .

א. מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.

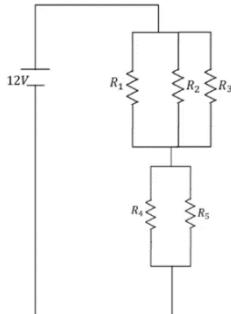
ב. מצא את התנגדות השקולה של כל אפשרות.



5) שניים של 1 שניים של 2 ושניים של 3

חשב את הזרם והמתוח בכל נגד במעגל הבא :



6) חישוב הספק מעגל

נתון המעגל הבא $\Omega = 8\Omega$, $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega$, $R_5 = R_4 = 2\Omega$.

א. מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

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

ג. מוסיפים נגד כלשהו המחבר בטור לסלולה.

האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

תשובות סופיות

$$I_1 = 3A, I_2 = 2A, V_{1,2} = 3A, I_2 = 2A \quad \text{ב.} \quad R_T = \frac{31}{5}\Omega \quad \text{א. (1)}$$

$$\frac{90}{11} \quad \text{(2)}$$

$$R_T = \frac{985}{204} \quad \text{(3)}$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad .iii \quad \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad .ii \quad R_1 + R_2 + R_3 \quad .i \quad \text{א. (4)}$$

$$\frac{R}{3} \quad .iii \quad \frac{3}{2}R \quad .ii \quad 3R \quad .i \quad \text{ב. (5)}$$

נגד 1 - מתח: 2V זרם: 2A נגד 2 - מתח: 8V זרם: 4A
נגד 3 - מתח: 27V זרם: 9A

$$\text{א. יקטן.} \quad 24W \quad \text{ב.} \quad I_T = 2A, I_1 = I_2 = I_3 = \frac{2}{3}A, I_4 = I_5 = 1A \quad \text{ג. יקטן. (6)}$$

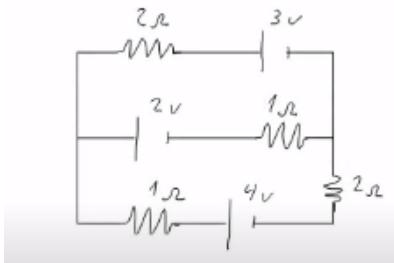
חוקי קירכהוף:

שאלות:

1) חוקי קירכהוף

א. חשב את הזרם בכל נגד במעגל הבא.

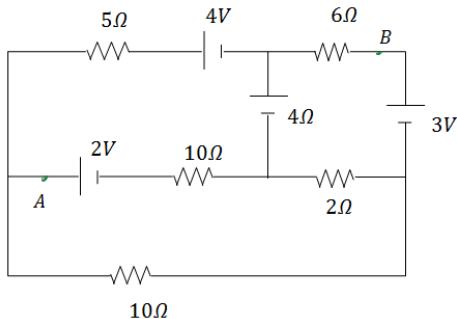
ב. מצא את המתח V_{AB} .



2) חוגים

א. חשב את הזרם בכל נגד במעגל הבא.

ב. מצא את המתח V_{AB} .



3) דוגמה 1

המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית המחברת נגד של 10 אוהם.

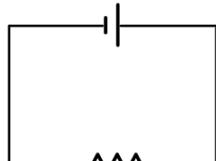
ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא 1 אוהם.

במעגל זורם זרם של 2 אמפר.

א. מהו הcac"ם של הסוללה?

ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

סוללה לא אידיאלית



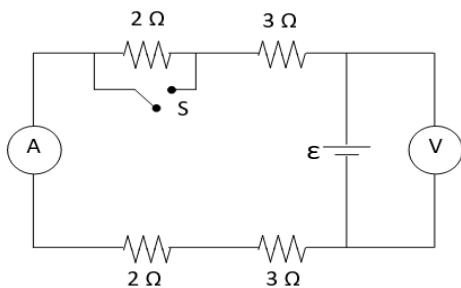
10Ω

4) דוגמה 2

מחברים סוללה לא אידיאלית נגד של 10 אוהם ומודדים את הזרם במעגל. המדידה מראה כי הזרם הוא 2 אמפר. לאחר מכן מנקים את הסוללה מהנגד ומחברים אותה נגד של 6 אוהם. מודדים שוב את הזרם במעגל ורואים כי הזרם השתנה ל-3 אמפר.

א. מצא את הcac"ם וההתנגדות הפנימית של הסוללה.

ב. מצא את מתח ההדקים של הסוללה בכל אחד מהחיבורים.

**5) מעגל עם סוללה לא אידיאלית**

המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאלים, סוללה (לא אידיאלית) ומפסק. קריית האמפרמטר נרשמה פעמיים, כאשר המפסק פתוח וכאשר המפסק סגור. אחת הקריאות הייתה 1.5A והאחרת הייתה 1.8A.

- אם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק!
- מה הוראת מד המתח בשני מצביו המפסק? פרטוי חישוביך!
- חשבוי את הcae"ם ואת התנגדות הפנימית של הסוללה.
- מה היו מראים אותם שני מכשירי מדידה אילו היו מחברים את מד המתח במקום מד הזרם ולהפץ? נמק!

תשובות סופיות:

$$V_{AB} = 3 + \frac{1}{11}V \quad \text{ב.} \quad I_3 = \frac{5}{11}A, I_2 = \frac{7}{11}A, I_1 = \frac{2}{11}A \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$V_{AB} = -0.8766V \quad \text{ב.} \quad I_3 = -0.3876A, I_2 = 0.0281A, I_1 = -0.6584A \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$20V \quad \text{ב.} \quad 22V \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$V_2 = 18V, V_1 = 20V \quad \text{ב.} \quad .24V \quad \text{א. התנגדות פנימית: } r = 2R, \text{ כא"ם: } .24V \quad (4)$$

$$V_{AB} = 15V \quad \text{ב.} \quad 1.5A \quad \text{א. כאשר המפסק סגור. סגור- } 1.8A \text{ פתוח- } 1.5A \quad (5)$$

$$V = 0 \quad \text{ד. התנגדות פנימית: } r = 2R \quad \text{כא"ם: } 18V \quad \text{ג. הולטметр פנימית: } r = 2R \quad (6)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 9 - קבלים

תוכן העניינים

43	1. הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול
45	2. אנרגיה האגורה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי
48	3. תרגילים נוספים בקבלים

הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול:

שאלות:

1) קובל גליילי

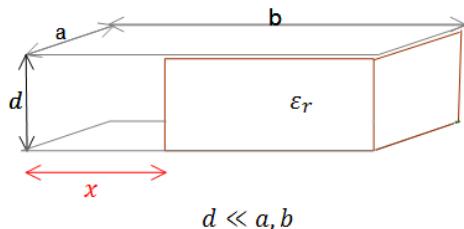
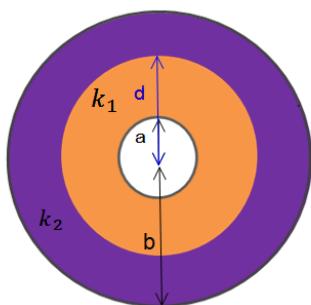
קובל גליילי מורכב משתי קליפות גליליות מוליכות באורך L ורדיויסים a , b .

א. מצא את הקיבול של הקובל $b >> a$.

ב. כתע מלאים את הקובל בחומר דיאלקטרי בעל קבוע משנה.

ג. כאשר $d < r < a < b < d$, מצא את k_1 ו- k_2 .

ד. טוענים את הקובל בטען Q , מצא את התפלגות המטען למרחב (חופשי ומושרה).



2) דרך שנייה לחישוב קיבול וחיבור קבליים

קובל לוחות מורכב משני לוחות מלבנים בעלי

אורך a ורוחב a . המרחק בין הלוחות הוא d .

لتוך הקובל מכנים חומר דיאלקטרי הממלא את כל החלל בין הלוחות עד

למרחב x מקצת הלוחות. הקבוע הדיאלקטרי של החומר נתון ϵ_r .

א. מצא את הקיבול של הקובל כתלות ב- x .

ב. מחברים את הקובל למקור מתח V , מה תהיה התפלגות המטען החופשי על הלוחות? ומהי צפיפות המטען המושרה בחומר?

3) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי תלוי בגובה

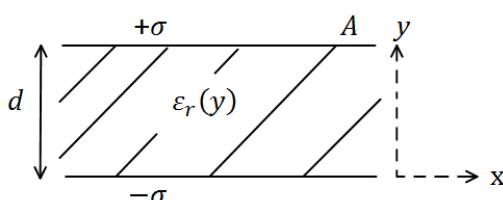
קובל לוחות טוון בצפיפות מטען $\sigma \pm$.

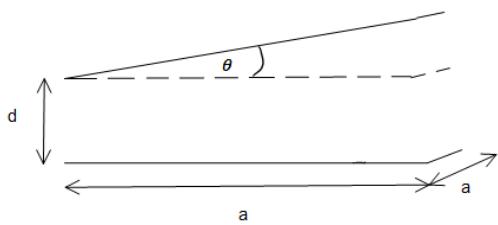
שטח הלוחות הוא A והמרחב בין הלוחות

הוא d . בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי

בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק בין הלוחות: $\epsilon_r(y) = 1 + \left(\frac{y}{d}\right)^2$

כאשר הלוח התיכון נמצא ב-0. $y = 0$. מצא את הקיבול של הקובל.



**(4) קובל לוחות בזווית**

נתון קובל לוחות בעל שטח A ומטען Q.

אורך כל צלע בלוחות הקובל הינה a.

עקב טעות בייצור נוצרה זווית θ קטנה מאוד בין הלוחות.

א. חשב את קיבולו של הקובל כפונקציה של θ .

ב. מחברים את הקובל למקור מתח V, מצא את התפלגות המטען המשטחית על לוחות הקובל.

תשובות סופיות:

$$\sigma_i = \frac{Q}{2\pi b c} \left(1 - \frac{1}{k_2} \right) . \text{ג.} \quad C = \frac{Q}{V} . \text{ב.} \quad C = \frac{2\pi \epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} . \text{א.} \quad (1)$$

$$C_T = \frac{\epsilon_0 a}{d} \left(x + \epsilon_r (b-x) \right) . \text{א.} \quad (2)$$

$$q_1 = \frac{\epsilon_0 a x V_0}{d} , q_2 = \frac{\epsilon_0 a (b-x) V_0 \epsilon_r}{d} E , \sigma_1 = \frac{\epsilon_0 V_0}{d} , \sigma_2 = \frac{\epsilon_0 V_0 \epsilon_r}{d} . \text{ב.} \quad \frac{\pi d}{4\epsilon_0 A} \quad (3)$$

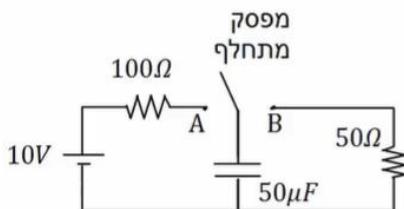
$$\sigma_{(x)} = \frac{\epsilon_0 V_0}{d + x t y \theta} . \text{ב.} \quad \frac{\epsilon_0 a}{\theta} \ln \left(1 + \frac{a}{b} \theta \right) . \text{א.} \quad (4)$$

אנרגיה האgorה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי:

שאלות:

1) מתג מתחלף

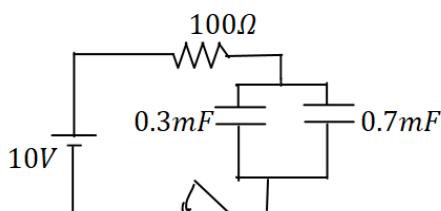
במעגל הבא מחברים ב- $t=0$ את המפסק המתחלף לנקודה A. ב- $t=0.01$ מעבירים את המפסק לנקודה B.



- א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.
- ב. מה המטען על הקבל ב- $t=0.02$.
- ג. רשום שוב את הזרם כתלות בזמן.
- ד. צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

2) טעינה של שני קבליים

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$.



א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והטען בכל קובל בזמן: $t = 0.2 \text{ sec}$, 0.8 sec .

3) קבליים בהתחלה ובסיוף

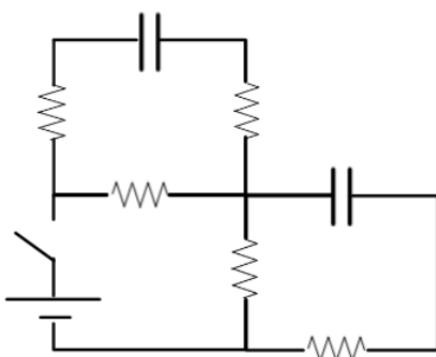
במעגל הבא הקיבול של הקבליים זהה ושויה ל-C. התנגדות הנגדים זהה ושווה ל-R ומתח הסוללה הוא V.

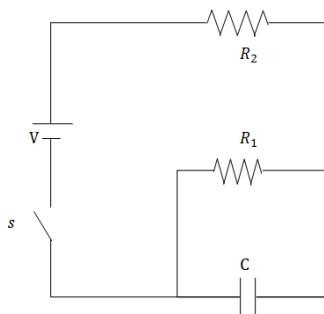
הקבליים אינם טעונים כאשר המפסק פתוח.

א. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג.

ב. מצאו את הזרם בסוללה והמתח על כל קובל לאחר זמן רב.

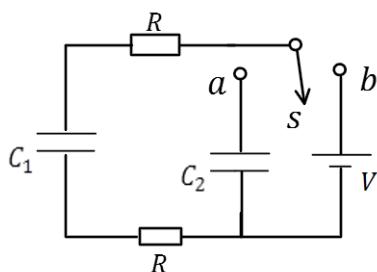
ג. מהו המטען על כל קובל לאחר זמן רב?



**4) מטען על קובל במקביל לפי הזמן**במעגל הבא סוררים את המפסק ב- $t=0$

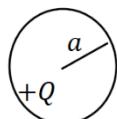
כאשר הקובל אינו טעון.

מצא את המטען על הקובל והזרם בכל נגד כפונקציה של הזמן.

נתון : V, R_1, R_2, C .**5) פריקה בין שני קבליים**במעגל הבא הקובל C_1 טען בטען Q_0 לפניסגירת המפסק s לנקודה a .א. רשם את המשוואה ממנה ניתן לקבל את המטען על הקובל C_1 כתלות בזמן.

ב. פטור את המשוואה ומצא את המטען על כל קובל כתלות בזמן.

ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?

**6) קובל של שני כדורים**שני כדורים בעלי רדיוסים a ו- b מרוחקים
מאוד זה מזה.טוענים את הכדורים בטען Q ו- $-Q$
בהתאם.א. חשב את האנרגיה האלקטרוSTATICית
הכלולת של המערכת.ב. חשב את הקיבול של המערכת דרך
התוצאה שקיבלה עבור האנרגיה.ג. אם לחברים את הכדורים בחותט ארוך מאוד עם התנדות כוללת R ,
מה זמן הפריקה האופייני של המערכת?

תשובות סופיות:

$$V_C(t) = \begin{cases} 10 \left(1 - e^{-\frac{t}{0.05}}\right) & 0 < t < 0.01 \\ 8.65 \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1 < t \end{cases} . \quad \text{א. (1)}$$

$$q_0(t=0.02) \approx 7.92 \cdot 10^{-6} \text{ C. ב.}$$

ד. ראה סרטון

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

$$V_1 = V_2 = 10V, q_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ C}, q_2 = 7 \cdot 10^{-3} \text{ C} : 0.8 \text{ sec. ב.} \quad 0.1 \text{ sec. א. (2)}$$

$$V_1 = V_2 \approx 8.65V, q_1 = 2.6 \cdot 10^{-3} \text{ C}, q_2 = 6.01 \cdot 10^{-3} \text{ C} : 0.2 \text{ sec}$$

ב. זרם סוללה : $\frac{V}{2R}$, מתח קבלים : $\frac{V}{2R}$ א.

ג. מטען קבלים : $\frac{CV}{2}$

$$q(t) = \frac{VR_1 \cdot C}{R_2 + R_1} \left(1 - e^{\frac{R_2 + R_1}{R_1 C} t}\right) \quad \text{א. (4)}$$

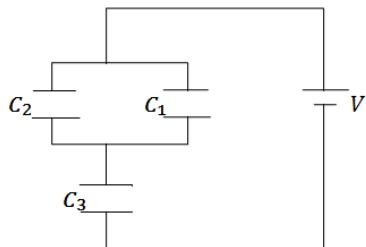
$$, q_1(t) = (\tau \cdot A - Q_0) e^{-\frac{t}{\tau}} . \quad \text{ב.} \quad \frac{C_1 + C_2}{2RC_1 C_2} \cdot q_1 + q_1 - \frac{Q_0}{2RC_2} = 0 . \quad \text{א. (5)}$$

$$I = \left(\frac{Q_0}{\tau} - A\right) e^{-\frac{t}{\tau}} . \quad q_2(t) = (-\tau \cdot A + Q_0) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

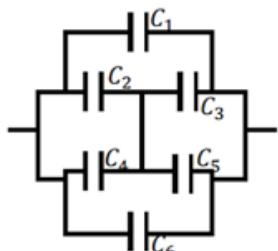
$$\tau = RC = \frac{Rab}{K(a+b)} . \quad C = \frac{a \cdot b}{K(a+b)} . \quad B = \frac{KQ^2}{2} \left(\frac{b+a}{a \cdot b}\right) . \quad \text{א. (6)}$$

תרגילים נוספים בקבלים:

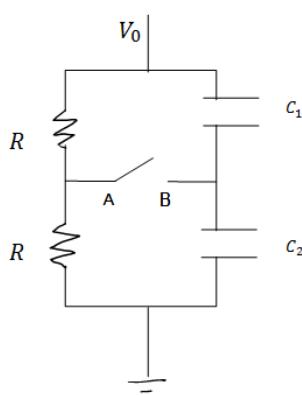
שאלות:



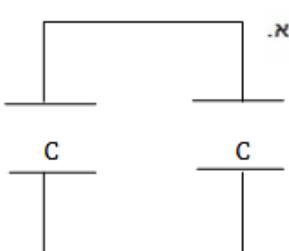
- 1) שלושה קבלים**
 במעגל הבא נתון מתח הטעלה $V = 3V$. והקיבול של כל קבל $C_1 = 2\mu F$, $C_2 = 3\mu F$, $C_3 = 5\mu F$.
 מצא את המטען על כל קבל.



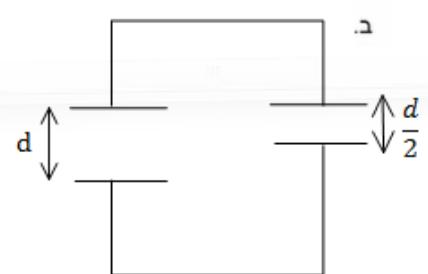
- 2) חיבור קונפיגורציית קבלים**
 נתונה מערכת קבלים המחברים על פי הشرطוט.
 מצא את הקיבול השקול של המערכת.



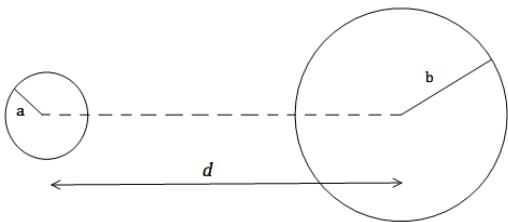
- 3) קבלים עם מפסק**
 במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע ונתון V_0 . הקצה התיכון מוארך.
 נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזזה של הנגדים.
 א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאליים) בין הנקודה A לנקודה B.
 ב. סגורים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת תהייצבה?



- 4) שני קבלים טעוניים מחוברים אחד לשני**
 טעוניים בנפרד שני קibili לוחות זהים עיי' מקור מתח V_0 . לאחר הטעינה מנטקים את הקבלים ומחברים אותם אחד לשני, הדק חיובי ושלילי לשלייל.
 א. מצא את האנרגיה של המערכת אם קיבול הקבלים הוא C.



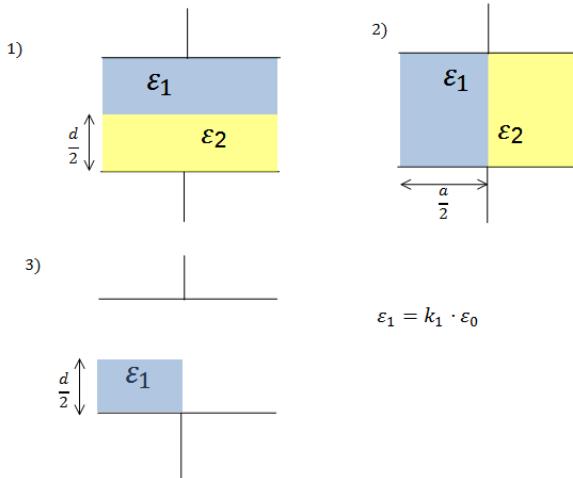
- כעת מקטינים את המרחק בין אחד הקבלים פי.2.
 ב. מצא את המתח על כל קבל לאחר זמן רב,
 ואת האנרגיה של המערכת.
 ג. חשב את שינוי האנרגיה והסביר לאן עברה?

**5) שני כדורים מרוחקים**

שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים שונים ונתוני b , a טעוניים במטיענים שווים ומנוגדים b $-$, a $+$. המרחק בין מרכזי הconductors הוא d . נתון כי $b \gg d$

- מהו השדה החשמלי לאורץ הציר המחבר בין הconductors (ומחוצה להם)?
- מצא את הפרש הפוטנציאליים בין משטחי הconductors.

ג. נראה כי קיבול המערכת הוא: $C \approx \frac{4\pi\epsilon_0}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{2}{d}}$.

**6) חומרים דיאלקטריים בתוך קובל**

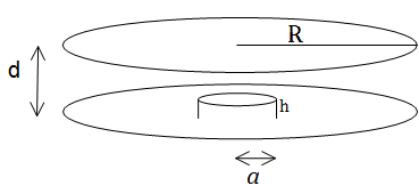
נתון קובל לוחות ריבועיים בעל צלע a ומרחק בין הלוחות d . אל הקובל מכנים חומרים דיאלקטריים שונים עם מקדמים נתוניים. החומרים מוכנסים בשלוש צורות שונות כפי שמצוג בציור (במצב השלישי מוכנס רק חומר אחד, החומרים ממלאים את כל הצלע שנכנתה ללוח).

- מצא עבור כל מצב את הקיבול של הקובל.
- מחברים את הקובל למקור מתח V נתון, מהו השדה החשמלי בתוך הקובל בכל אחד מהמצבים?
- מצא את התפלגות המטען החופשית והמושנית בכל אחד מהמצבים.

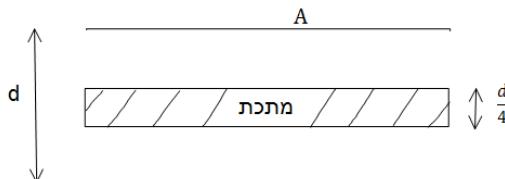
7) קובל לוחות עם בליטה

במערכת הבאה ישנו קובל לוחות עם לוחות מעגליים ברדיוס R , ומרחק בין הלוחות d ($R \ll d$). בלוח התחתון ישנה בליטה בצורת גליל ברדיוס a ($d \gg a$) ועובי h .

מרכז הבליטה במרכז הלוח התחתון.



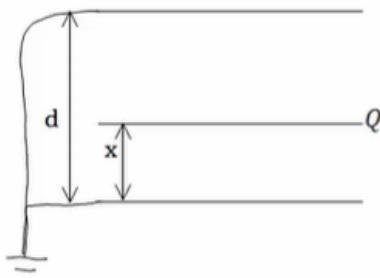
- מצא את הקיבול של הקובל.
- מהו השדה בכל מקום בתוך הקובל אם נתון שהקובל מחובר למקור מתח V .
- מצא את התפלגות המטען על הלוחות.

8) קבל עם פיסת מתכת

קבל לוחות מחובר למקור מתח 7.

שטח כל לוח בקבל הוא A וה מרחק בין הלוחות הוא d , ($\sqrt{A} \ll d$).

- מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.
- כעת מכניםים לקבל פיסת מתכת בעובי $\frac{d}{4}$ עם שטח A ממרכז הקבל. חוזור על סעיף א.
- כעת מוצאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את מקור המתח. לאחר הניתוק מכניםים את המתכת חזרה פעם שנייה. חוזור על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').

9) שלושה לוחות

נתונה מערכת המורכבת משני לוחות מוארכים במרחק d . בין הלוחות, במרחק x מהלוות התחתון, מכניםים לוח נוסף זהה עם מטען Q .

שטח הלוחות הוא d^2 ($d \gg d^2$).

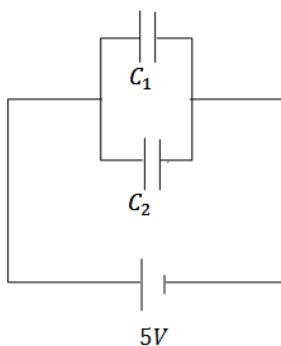
- מצא את הקיבול של המערכת.
- מצא את המטען על כל לוח.
- מצא את האנרגיה של המערכת כפונקציה של x .
- מהו החוכם הפועל על הלוח?

10) שני קבליים טעוניים מחוברים לקבל שלישי

במעגל הבא קיבול הקבליים הוא: $C_1 = 3\mu F$, $C_2 = 2\mu F$ והמתח בסוללה הוא 5V.

לאחר שהקבליים נטענים מנתקים את המקור ומחליפים אותו בקבל של $C_3 = 5\mu F$.

מצא את המטען, המתח והאנרגיה של הקבל החדש לאחר שהמערכת מתyiיצבת.



11) קבל כדורי עם חומר דיאלקטרי מפוצל

.a. קיבל כדור הארץ מרכיב משתי קליפות כדוריות מוליכות זכות ברדיוסים b , הקליפה הפנימית מוחזקת במתח σ והקליפה החיצונית מוארקט.

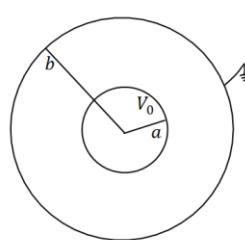
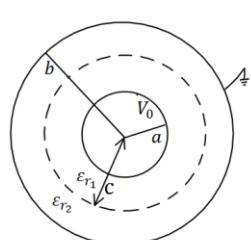
- א. חשב את המטען על כל קליפה.

- ב. חשב את הקיבול של הקובל.

ממלאים את הקובל בשני חומרים דיאלקטוריים.

חומר אחד בעל מקדם r_1 הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל-c וחומר שני בעל מקדם r_2 הממלא את החלל בין הרדיוסים c ל-b.

- ג. חשב את הקיבול החדש.



12) קבל לא אידיאלי

קבל כזרי מורכב משתי קליפות כזריות מוליכות

הקליפה החיצונית מוחזקת במתח V והקליפה הפנימית מוארקת.

- א. חשב את המטען על כל קליפה, שים לב שיש שדה מגנטי קבוע!

- ב.** חשב את הקיבול של הקבל.

מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם ϵ הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל- b .

- ג. חשב את הקיבול החדש וחשב את המט羞 החופשי על הקליפה המוארקת.

3) מרחיקים לוחות בקבל לוחות

קבל לוחות בעל אורך צלע. $a = 2 \text{ c.m.}$ ומרחק בין הלוחות $1 \text{ mm} = d$ נטען ע"י סוללה במתח V_3 . לאחר שהתקבל נטען במלואו מנטקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק $3d$.

- א. מצא את הפרש הפוטנציאלי החדש על הקובל.

- ב.** מצא את האנרגיה החתכליתית והסופית האgorה בקבב.

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

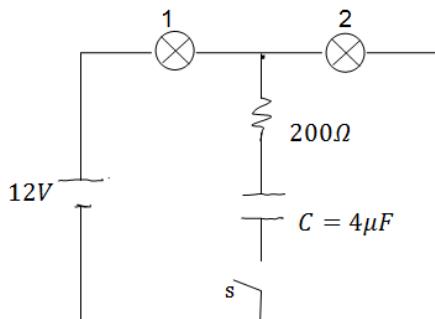
14) מושכים לוח מקובל גליילי

קובל גליילי עשוי משני קליפות גלייליות באורך L ורדיויסים $a < b$. נתון כי הגליל הפנימי טען במתען Q והחיצוני ב- $-Q$.

א. מצא את הקיבול של הקובל.

ב. מושכים את הגליל הפנימי כלפי מעלה לאורך הציר המשותף כך שהוא בולט בשיעור $L \ll \Delta L$ בחלקו העליון.

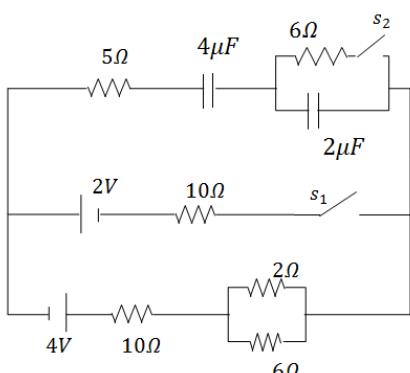
מהו החשמלי הפועל על הגליל הפנימי? (נתון להניה כי השדה החשמלי מתאפס באזוריים בהם אין חפיפה בין הגלילים).

**15) שתי נורות**

במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של 70V 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 הקובל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.

**16) מעגל עם קבלים**

חשב את כל הזרים במעגל ואת המטען על כל קובל 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.

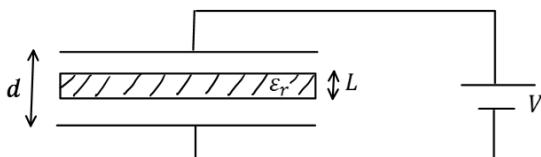
17) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי ממלא רק חלק מהקובל

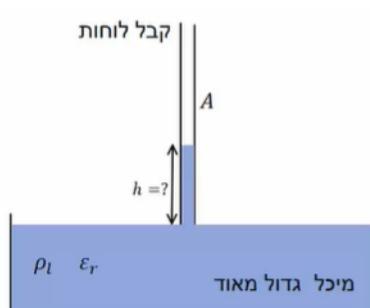
קובל לוחות בניוי משני לוחות ריבועיים בעלי צלעות a המרוחקים מרחק d זה מזה. בין לוחות הקובל הוכנס חומר דיאלקטרי בעובי $d < L$ ומקדם דיאלקטרי ϵ_r . מחברים את הקובל למקור מתח V .

א. מהו השדה החשמלי באזורי ללא החומר הדיאלקטרי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי?

ג. מהו המטען המושרה על השפה של החומר הדיאלקטרי?



**18) גובה נוזל בתוך קובל**

קובל לוחות ריבועיים מחובר למקור מתח 7. שטח כל לוח הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d. מחזיקים את הקובל כך שקצתו טבול במיכל גדול מאוד המכיל נוזל בעל מקדם דיאלקטרי ϵ_r וצפיפות מסה יחידת נפח ρ_l .

המטרה היא למצאו עד איזה גובה עולה הנוזל בקובל.

א. הניח שהגובה ידוע וממצא את האנרגיה כובדית של המים והאנרגיה הפוטנציאלית של הקובל.

ב. מצא מה השינוי באנרגיה של הסוללה ע"י חישוב העבודה שביצעה הסוללה (התיחס לגובה הנוכחי עדיין).

ג. מצא באיזה גובה המערכת תהייצב? השתמש בשיקול שמערכת שואפת להתייצב במינימום של האנרגיה שלה.

19) קובל לוחות עם חומר לא אחיד

בקובל לוחות שטח הלוחות הוא A והמרחק ביניהם הוא d. בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק בין הלוחות $\epsilon(y) = \frac{2d}{y+d}$ כאשר הלוח התיכון נמצא ב- $y=0$. הקובל מחובר למקור מתח 7.

א. מצאו את הקיבול של הקובל.

ב. חשבו את צפיפות המטען על לוחות הקובל.

ג. חשבו את השدة החשמלי בין לוחות הקובל, גודל וכיוון.

ד. מהי האנרגיה האגורה בקובל.

תשובות סופיות:

$$q_1 = 3\mu C, q_2 = 4.5\mu C, q_3 = 7.5\mu C \quad (1)$$

$$C_T = C_1 + C_6 + C_{2345} \quad (2)$$

$$\Delta q = \frac{V_0}{2}(C_2 - C_1) \text{ . ב.} \quad V_{AB} = \frac{V_0}{2} - \frac{V_0 C_2}{C_1 + C_2} \text{ . נ.} \quad (3)$$

$$U_T' = \frac{2}{3}CV_0^2, V' = \frac{2}{3}V_0 \text{ . ב.} \quad U_T = 2U_1 = CV_0^2 \text{ . נ.} \quad (4)$$

ג. האנרגיה ירדה ועברה לכוח שהזיז את הלוחות.

$$\Delta\varphi \approx kq \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) \text{ . ב.} \quad \vec{E} = \left(\frac{kq}{x^2} + \frac{kq}{(d-x)^2} \right) \hat{x} \text{ . נ.} \quad (5)$$

מצב 1 :

$$E_1 = E_2 = \frac{V}{d} \text{ . ב.} \quad C_T = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)a^2}{2d} \text{ . נ.}$$

$$\sigma_{free_1} = \frac{\varepsilon_1}{d}V, \sigma_{i_1} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_1)\frac{V}{d}, \sigma_{free_2} = \frac{\varepsilon_2}{d}V, \sigma_{i_2} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_2)\frac{V}{d} \text{ . ג.}$$

מצב 2 :

$$E_1 = \frac{2\varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V, E_2 = \frac{2\varepsilon_1}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V \text{ . ב.} \quad C_T = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 a^2 \cdot 2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \text{ . נ.}$$

$$\sigma_{free_1} = \frac{2\varepsilon_1 \varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V, \sigma_{i_1} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_1)\frac{2\varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V \text{ . ג. לוח עליון -}$$

$$\sigma_{free_2} = \frac{-2\varepsilon_1 \varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V, \sigma_{i_2} = -(\varepsilon_0 - \varepsilon_2)\frac{2\varepsilon_1}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V \text{ . לוח תחתון -}$$

$$\sigma_{free_3} = 0, \sigma_{i_3} = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)2\varepsilon_0}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \text{ . בין החומרים -}$$

מצב 3 :

$$E_1 = \frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)}, E_2 = \frac{2\varepsilon_1 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)}, E_3 = \frac{V}{d} \text{ . ב.} \quad C_T = \frac{\varepsilon_0 a^2}{a} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_0} + \frac{1}{2} \right) \text{ . נ.}$$

$$\sigma_T = \sigma_{free} = \varepsilon_0 \frac{V}{d} \text{ . ג. לוח עליון צד ימין -}$$

$$\sigma_T = \sigma_{free} = \varepsilon_0 \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon_1 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)} \text{ . לוח עליון צד שמאל -}$$

$$\sigma_{T_{down}} = -\varepsilon_0 \frac{V}{d} \text{ . לוח תחתון צד ימין -}$$

$$\sigma_i = \frac{2\epsilon_0 V}{d(\epsilon_1 + \epsilon_0)} (\epsilon_1 - \epsilon_0) \quad \text{לוח תחתון צד שמאל}$$

$$\sigma_T = \frac{2\epsilon_0 V}{d(\epsilon_1 + \epsilon_0)} (\epsilon_0 - \epsilon_1), \quad \sigma_{free} = 0 \quad \text{באמצע}$$

$$E_1 = \frac{V}{d-h}, \quad E_2 = \frac{V}{d}. \quad \text{ב} \quad C_T = \epsilon_0 \pi \left(\frac{a^2}{d-h} + \frac{R^2 - a^2}{d} \right). \quad \text{N} \quad (7)$$

$$\sigma_1 = \epsilon_0 \frac{V}{d-h}, \quad \sigma_2 = \epsilon_0 \frac{V}{d}. \quad \lambda$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} V^2, \quad E = \frac{V}{d}, \quad q = \frac{\epsilon_0 A}{d} V. \quad \text{N} \quad (8)$$

$$U = \frac{2\epsilon_0 A}{3d} V^2, \quad E_1 = E_2 = \frac{4V}{3d}, \quad q_T = \frac{4\epsilon_0 A V}{3d}. \quad \text{ב}$$

$$U = \frac{3\epsilon_0 A V^2}{8d}, \quad E_1 = E_2 = \frac{V}{d}, \quad q_T = \frac{\epsilon_0 A}{d} V. \quad \lambda$$

$$q_1 = Q \frac{d-x}{d}, \quad q_2 = Q \left(\frac{x}{d} \right). \quad \text{ב} \quad C_T = \epsilon_0 A \left(\frac{d}{x(d-x)} \right). \quad \text{N} \quad (9)$$

$$\vec{F} = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 A d} (d-2x). \quad \tau \quad U(x) = \frac{Q^2 \cdot x (d-x)}{2\epsilon_0 A d}. \quad \lambda$$

$$q'_3 = 12.5 \mu C, \quad V'_3 = 2.5 V, \quad U = 15.625 J \quad (10)$$

$$C = \frac{1}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)}. \quad \text{ב} \quad q_1 = \frac{V_0}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)}, \quad q_2 = -q_1. \quad \text{N} \quad (11)$$

$$C = \frac{q}{\left| kq \left(\frac{1}{\epsilon_r} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{a} \right) + \frac{1}{\epsilon_r} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} \right) \right) \right|}. \quad \lambda$$

$$C_T = \frac{1}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} + \frac{b}{k}. \quad \text{ב} \quad q_1 = \frac{V_0}{k \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)}, \quad q_2 = \frac{b V_0}{a k \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)}. \quad \text{N} \quad (12)$$

$$q_1 = \frac{-\epsilon_r}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} V_0, \quad C_T = \frac{\epsilon_r}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} + \frac{b}{k}. \quad \lambda$$

$$U_{C_i} = 15.93 \cdot 10^{-12} J, \quad U_{C_p} = 47.79 \cdot 10^{-12} J. \quad \text{ב} \quad V' = 9 V. \quad \text{N} \quad (13)$$

$$W = 31.86 \cdot 10^{-12} J. \quad \lambda$$

$$|F| = \frac{q^2 \ln \frac{b}{a}}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{(L-x)^2} \quad \text{ב.} \quad C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} \quad \text{א. (14)}$$

$R_1 = 200\Omega$, $V_1 = 5.34V$, $P_1 = 0.143W$ א. (15)

$R_2 = 250\Omega$, $V_2 = 6.68V$, $P_2 = 0.178W$

$$V_0 = V_2 = 6.68V \quad \text{ב.}$$

$$I = \frac{12}{43}A, q_1 = \frac{136}{43}\mu C \quad \text{ג.} \quad I = \frac{12}{43}A, q_1 = \frac{136}{129}\mu C \quad \text{ב.} \quad .0 = \text{זרם}, q_1 = 16\mu C \quad \text{א. (16)}$$

$$E = \frac{V}{d \cdot \epsilon_r - L(\epsilon_r - 1)} \quad \text{ב.} \quad E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 a^2} = \frac{V}{d - L \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r} \right)} \quad \text{א. (17)}$$

$$\sigma_T = \epsilon_0 \left(\frac{V}{\epsilon_r d - L(\epsilon_r - 1)} - \frac{V}{d - L \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r} \right)} \right) \quad \text{ג.}$$

$$\Delta U = -\Delta C_{(h)} V^2 \quad \text{ב.} \quad U_g = \rho_l a d g \frac{1}{2} h^2, U_C = \frac{1}{2} C_{(h)} U^2 \quad \text{א. (18)}$$

$$h = \frac{\epsilon_0 (\epsilon_r - 1) V^2}{2 d^2 \rho_l g} \quad \text{ג.}$$

$$. y = 0, \text{ חיובי ב-} y = d \text{ ושלילי ב-} y = d, \frac{4\epsilon_0 V}{3d} \quad \text{ב.} \quad \frac{4\epsilon_0 A}{3d} \quad \text{א. (19)}$$

$$\frac{2\epsilon_0 A V^2}{3d} \quad \text{ג.} \quad \frac{2V(y+d)}{3d^2} \quad \text{ה.}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

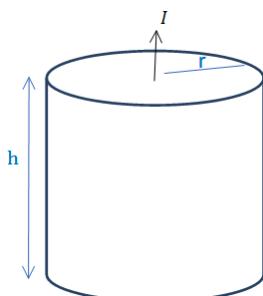
פרק 10 - מבנה הנגד וצפיפות זרם

תוכן העניינים

- 57 1. הרצאות ותרגילים

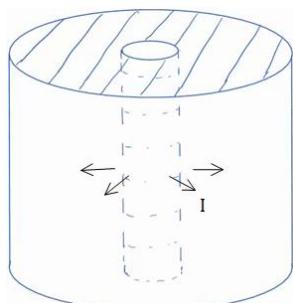
הרצאות ותרגילים:

שאלות:



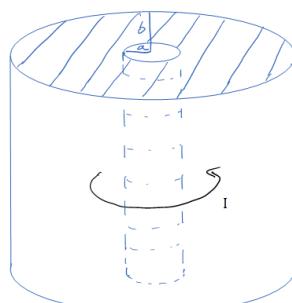
1) נוסחה לחישוב התנגדות ודוגמה עבור גנד גליילי
גלייל מלא בעל רדיוס r וגובה h עשוי מחומר בעל התנגדות סגולית משתנה $\frac{z}{h} = m$ כאשר m נתון ו- z הוא המרחק מבסיס הגלייל.

- חשב את התנגדות השקולה.
- מחברים את הגלייל למקור מתח נתון V_0 (המתח הוא בין בסיס אחד לבסיס שני).
- מצא את הזורם הכלול בגליל.
- מצא את צפיפות הזורם והשدة החשמלי בגליל (פתרון בסרטון הבא).



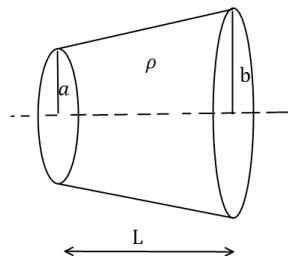
2) זרם רדייאלי
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית m איחידה ונתונה.

- מצא את התנגדות השקולה של הקליפה אם הזורם זורם בכיוון הרדייאלי.
- מחברים מקור מתח V_0 בין המעטפת הפנימית למעטפת החיצונית של הקליפה.
- מצא את צפיפות הזורם בклיפה.
- מצא את השدة החשמלי בתחום הקליפה.

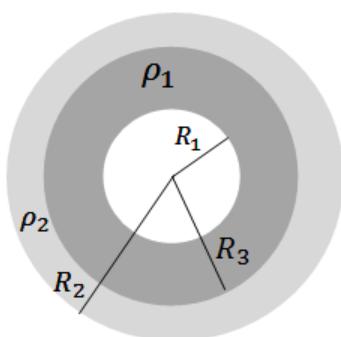


3) זרם מעגלי בגליל
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית m איחידה ונתונה.

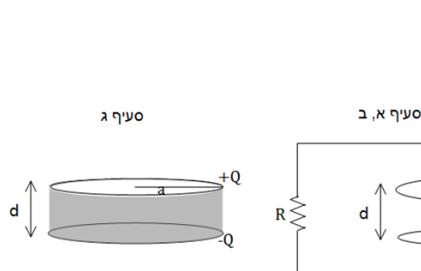
- מצא את התנגדות השקולה של הקליפה אם הזורם זורם בכיוון טהה (ז"א זרם מעגלי).
- נתנו הזורם הכלול הזורם בנגד.
- מצא את הצפיפות כתלות במרחב מרכז הנגד.
- מצא את השدة החשמלי בתחום הקליפה.



- (4) חגורת קוטום**
 נתון חגורת קוטום שאורכו L , רדיוס בסיסו הקטן a ורדיוס בסיסו הגדל b .
 בין שני הבסיסים נתון הפרש פוטנציאליים.
 ההתנגדות הסגולית של החגורת היא ρ .
 חשבו את ההתנגדות השוקולה של החגורות.



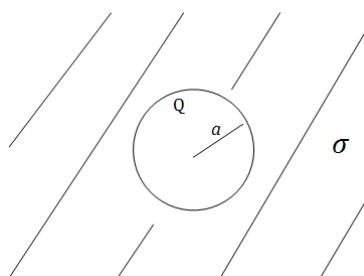
- (5) נגד כדורי מוחלך לשני חומרים שונים**
 נגד בצורת קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2 מורכב מחומר בעל ההתנגדות סגולית ρ_1 בתחום $R_1 < r < R_3$ ($R_3 < R_2$) $R_1 < r < R_3$ ($R_3 < R_2$) והתנגדות סגולית ρ_2 בתחום $r < R_2$.
 א. מצא את ההתנגדות השוקולה של הקליפה (זרם בכיוון רדיאל).
 ב. מצא את צפיפות הזרם נגד אם נתון שמחברים את הנגד למקור מתח קבוע V .
 ג. מהו השדה החשמלי כנגד?
 ד. מצא את התפלגות המטען (משטחית ונפחית) בקליפה.



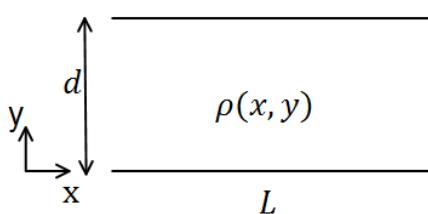
- (6) צפיפות זרם בתוך לוח של קובל לוחות**
 קובל לוחות עגולים טוען במטען Q ומהובר כנגד. רדיוס הלוחות הוא a והמרחק בין הלוחות הוא $a \ll d$, ההתנגדות כנגד היא R .
 א. מצא את הזרם בمعالג.

ב. מצא את צפיפות הזרם על פני לוח הקובל.
 הדריכה: הנה כי צפיפות המטען על הקובל תמיד אחידה.
 חשב את הזרם שיוציא מחלק הלוח בין a לבין $-a$.
 חשוב אייזו סוג של צפיפות ישנה על הלוח.
 מצא את הצפיפות ע"י חלוקה של הזרם ב��ז.

- ג. בסעיף זה הנגד לא קיים, במקומו ממלאים את הקובל בחומר בעל ההתנגדות סגולית ρ אחידה. חזור על סעיפים א' ו-'ב'.



- 7) **קליפה טעונה מולlica בתוך נגד**
 קליפה מולlica (מוליכות אידיאלית) ברדיוס a נמצאת בתוך חומר אינסופי עם מוליכות סגולית σ . נתון כי המטען על הקליפה ב- $t=0$ הוא Q .
- מצא את המטען על הקליפה כפונקציה של הזמן.
 - מצא את צפיפות הזרם ואת השدة החשמלי בנגד.



- 8) **התנדות תלויות באורך וברוחב**
 נתונים שני לוחות מקבילים בעלי ממדים $L \times L$, המרוחקים זה מזה מרחק d , אשר ביניהם הפרש פוטנציאליים ($d \gg L$).
 בין שני הלוחות ישנו חומר מוליך בעל התנדות סגולית (y, x) .
 חשבו את ההתנדות בשני המקרים הבאים:

$$\rho = \rho_0 \sin\left(\frac{\pi y}{d}\right) . \text{ א.}$$

$$\rho = \rho_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi y}{d}\right)}{\sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)} . \text{ ב.}$$

תשובות סופיות:

$$E = \rho_0 \frac{z}{h} \frac{I}{\pi r^2} \hat{z} , \quad \vec{J} = \frac{I}{\pi r^2} \hat{z} . \quad I = \frac{V_0}{R_T} \cdot \text{ב.} \quad R_T = \frac{\rho_0 h}{2\pi r^2} . \text{ נ } \quad (1)$$

$$E = \frac{\rho V_0}{R_T 2\pi rh} \hat{r} . \quad \vec{J} = \frac{V_0}{R_T 2\pi rh} \hat{r} . \quad R_T = \frac{\rho}{2\pi h} \ln \frac{b}{a} . \text{ נ } \quad (2)$$

$$\vec{E} = \rho \cdot \vec{J} . \quad \vec{J} = \frac{V_T}{\rho 2\pi r} \hat{\theta} . \quad R_T = \frac{1}{\frac{h}{2\pi\rho} \ln \frac{b}{a}} . \text{ נ } \quad (3)$$

$$R = \frac{\rho L}{\pi ab} \quad (4)$$

$$\vec{J}_{(r)} = \frac{I}{4\pi r^2} \hat{r} . \quad R_T = \frac{\rho_1}{4\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3} \right) + \frac{\rho_2}{4\pi} \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) . \text{ נ } \quad (5)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \rho_1 \frac{I}{4\pi r^2} \hat{r} & R_1 < r < R_3 \\ \rho_2 \frac{I}{4\pi r^2} \hat{r} & R_3 < r < R_2 \end{cases} . \quad (6)$$

$$\tilde{\rho} = 0 , \tilde{\sigma}_{(R_1)} = \epsilon_0 \rho_1 \frac{I}{4\pi R_1^2} - 0 , \tilde{\sigma}_{(R_3)} = \frac{I \epsilon_0}{4\pi R_3^2} (\rho_2 - \rho_1) , \tilde{\sigma}_{(R_2)} = -\epsilon_0 \frac{I}{4\pi R_2^2} \rho_2 . \quad (7)$$

$$k = \frac{a^2 - r^2}{2\pi r a^2} \frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} . \quad I = \frac{Q}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} . \text{ נ } \quad (8)$$

$$\vec{J} = \frac{I}{\pi a^2} \hat{z} , \quad k = 0! , \quad I = \frac{Q}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} . \quad (9)$$

$$\vec{J} = \frac{\sigma q(t)}{\epsilon_0 4\pi r^2} \hat{r} , \quad \vec{E} = \frac{kq(t)}{r^2} \hat{r} . \quad q(t) = Q e^{-\frac{\sigma t}{\epsilon_0}} . \text{ נ } \quad (10)$$

$$R_T = \frac{\rho_0 d}{L^2} . \quad R = \frac{2\rho_0 d}{\pi L^2} . \text{ נ } \quad (11)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

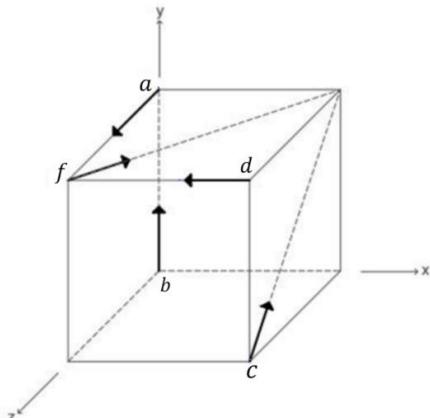
פרק 11 - חוק לורנץ וכוח על תיל נושא זרם

תוכן העניינים

61	1. חוק לורנץ
66	2. כוח על תיל נושא זרם

חוק לורןץ:

שאלות:

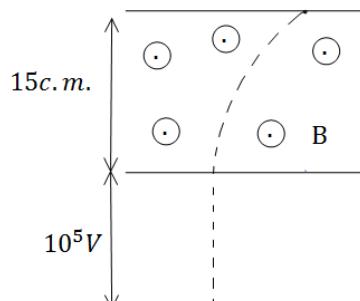


- 1) מצא את הכוח על כל חלקיק החיצים בציור מצוינים מהירות של חלקיקים חיוביים שונים. החלקיקים נמצאים בשדה מגנטי אחיד SCI פוננו הוא \hat{x} . עברו כל חלקיק מצא: מהו כיוון הכוח ברגע הנתון באյור? מהי צורת המסלול?

- 2) חלקיק z בשדה מגנטי חלקיק הטוען בטען q נע במהירות \vec{v} באזורי בו שורר שדה מגנטי $\hat{y} + 2\hat{x} = \vec{B}$ טסלה. חשב את הכוח המגנטי שייפעל על החלקיק אם נתון: א. $\hat{y} + 3\hat{x} = \vec{v}$ מטר לשניה ו- $C = 2$ q ב. $\hat{z} + \hat{x} = \vec{v}$ מטר לשניה ו- $C = 1$ μ - q

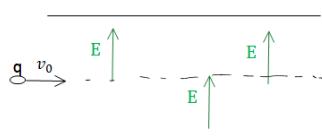
- 3) ספקטוגרפ המסתות של דמפסטור המערכת הבאה מתארת את ספקטוגרפ המסתות של דמפסטור. מטרתה היא להפריד בין חלקיקים בעלי מסות שונות. חלקיקים עםטען חיובי משוחררים ממנוחה ליד לוח הקבל החיובי. החלקיקים מואצים ע"י מקור מתח V המחבר בין הלוחות. החלקיקים עוברים דרך הלוח השילי ווכנסים לשדה מגנטי אחיד הפועל לתוך הדף. מצא את רדיוס הסיבוב כתלות במסת החלקיק. נתוני: V , q , B .
-

- 4) פרוטון בזווית פרוטון נכנס בזווית של 30° מעולות לשדה מגנטי אחיד בעוצמה של $T = 0.15$ T. מצא את רדיוס הסיבוב של הפרוטון אם ידוע שגודל מהירותו $V = 10^6 \frac{m}{sec}$.

**5) פרוטון פוגע במסך**

פרוטון מואץ בקובל הנמצא במתה של $V = 10^5 \text{ V}$. לאחר מכן הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד לפגיעתו במסך הנמצא במרחק 15 cm מהקובל. עוצמת השדה המגנטי היא $D = 0.2 \text{ T}$.

- מצא את המרחק האופקי שעבר הפרוטון עד לפגיעתו במסך.
- מצא את הזמן עד לפגיעה במסך.
- מהו המרחק המינימלי הדרוש על מנת שהפרוטון יפגע במסך?

**6) מטען עובר קובל**

טען נע בתוך קובל לוחות עם מהירות קבועה V_0 בקו ישר ובמקביל ללוחות הקובל. בתוך הקובל (וירק בתוכו) ישנו שדה חשמלי אחיד ונתון E . כאשר המטען יוצא מהקובל הוא מבצע תנועה מעגלית כלפי מעלה. ידוע כי בכל המרחב (בתוך ומחרוץ לקובל) יש שדה מגנטי אחיד אך לא ידוע מה גודלו וכיונו. הזנח את כוח הכבוד הפועל על המטען.

- מה הסימן של המטען?
- מצא את כיוון וגודל השדה המגנטי.

**7) מטען פוגע בלוחות קובל**

חלקיים בעל מסה m ומטען $q > 0$ נכנס במרקם של קובל לוחות עם מהירות v_0 בזווית θ לוחות הקובל מקבילים למשור ע"מ והמרחיק בינוים הוא a .

הקובל מחובר למקור מתה V , כאשר הלוח העליון נמצא בפוטנציאלית הגובה.

- מצא את המרחק מקצת הלוח של הקובל בו יפגע המטען.
- כעת הנה שהקובל אינו מחובר למקור והוא טען אך במרחב קיים שדה מגנטי אחיד $B_0 = \vec{B}$. מצא את המרחק מקצת הלוח בו יפגע המטען.
- לאיזה כיוון יסטה המטען אם הקובל מחובר למקור מתה ובמרחב קיים שדה מגנטי.

8) מטען בשדה מגנטי וחשמלי

שדה חשמלי קיים בתחום $x < 0$ כך שמעל ציר ה- x ($y > 0$)

השדה הוא: $-E_0 \hat{y} = \vec{E}$ ומתחת לציר ה- x ($y < 0$)

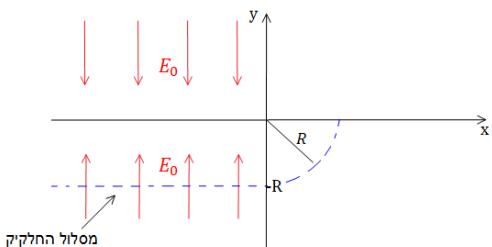
השדה הוא: $E_0 \hat{y} = \vec{E}$, ראה שרטוט.

בכל המרחב קיים גם שדה מגנטי אחד, שכיוונו וגודלו אינם ידועים.

חלקיק בעל מסה m ומטען $|q|$ מגיע

מ- $\infty = x$ וגע בקו ישר ובמהירות קבועה.

גובה המסלול של החלקיק הוא $R = y$.



כאשר החלקיק חוצה את ציר ה- y הוא מבצע רבע מעגל ברדיוס R (ראה ציור).

נתון: R , m , $|q|$, E_0 .

א. שרטט את המשך מסלול המטען.

ב. מה סימן המטען?

ג. מצא את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.

ד. מצא את המסה הדרושה על מנת לבצע אותו מסלול בשדה מגנטי גדול פי 3 מהשدة הקיים, כאשר שאר התנאים אינם משתנים.

9) בורר מהירות ומתח עצירה

חלקיקים בעלי מטען $+q$ ומסה m נפלטים ממקור S ב מהירותות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל.

בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחד \vec{E} וכיוונו ימינה ושדה מגנטי אחד \vec{B} והמכוון אל תוך הדף, כמוראה בתרשים.

שדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקbel.

במראק d מנוקודת היציאה של החלקיקים מהקbel, נמצא נקב קטן דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקbel השני אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקbel השני מופעל מתח עצירה V . ידוע כי המראק בין לוחות הקbel השני הינו L . ניתן להזנich את כוח הכבוד הפועל על החלקיקים.

נתונים: L , q , m , \vec{E} , \vec{B} .

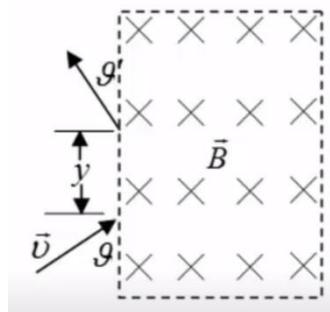
א. באיזו מהירות v יוצאים החלקיקים מהקbel הראשון?

ב. מהו המראק d (ראה ציור)?

ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?

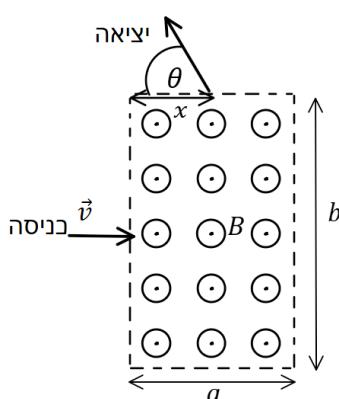
ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V המופעל על הקbel השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעמדו לחЛОוטיו?

ה. מחברים את הקbel השני לסלולה שמתהה גדול פי שתים ממה שחייבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסהו אל בין לוחות הקbel השני כתם?

10) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

אלומות חלקיקים בעלי מסה m ומטען q נקלעות לאזור בו שורר שדה מגנטי אחד \vec{B} המאונך למישור הדף בPGAמה פנימה. החלקיקים אנרגיה קינטית E_k והם נכנסים לאזור המגנטי בזווית θ , כמתואר בציור.

- חשבו את המרחק האנכי y אותו עברו החלקיקים מנוקודת כניסה לאזור המגנטי ועד ליציאתם ממנו.
- חשבו את זווית היציאה φ (ראו איור).

11) עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

שדה מגנטי אחיד B נמצא בתחום מלבי בגודל $b \times a$. מחוץ לתחום השדה הוא אפס. כיוון השדה החוצה מהדף. מטען $|q|$ נכנס לתוך המלבני בדיק במרכז המלבן, ב מהירות שגודלה v וכיונה מאונך לשפת המלבן (ראה איור).

- ידעו שהמטען יוצא מהצלע העליונה של המלבן.
- מהו סימן המטען? ומהו גודל מהירותו ביציאה?
 - מהו המרחק x מקצה המלבן בו יוצא המטען?
 - מהי הזווית θ של וקטור המהירות ביציאה ביחס לצלע המלבן?

תשובות סופיות:

$$\vec{F}_a = qvB\hat{y}, \vec{F}_b = qvB(-\hat{z}), \vec{F}_c = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y} - \hat{z}), \vec{F}_d = 0, \vec{F}_f = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y}) \quad (1)$$

\vec{F}_a : מעגל אנכי במישור yz , \vec{F}_b : מעגל אנכי במישור yz , \vec{F}_c : מעגל אנכי
במישור yz , \vec{F}_d : תנועה בקו ישר, \vec{F}_f : ספירלה במישור yz שמתקדמת סביב
ציר x .

$$\vec{F} = (6\hat{x} + 4\hat{y} + 3\hat{z}) \mu N \quad (2) \quad \vec{F} = 24N\hat{z}$$

$$R = \sqrt{\frac{2V}{qB^2}} \cdot \sqrt{m} \quad (3)$$

$$R \approx 3.48 \cdot 10^{-2} m \quad (4)$$

$$V = 4.312 \cdot 10^4 V \quad (5) \quad t = 3.371 \text{ sec} \quad (5)$$

$$B_{\odot}, B = \frac{E}{V} \quad (6) \quad A. \text{ שלילי}$$

$$x^2 = R^2 - \left(R - \frac{d}{2} \right)^2 \quad (7) \quad x = V_0 \sqrt{\frac{md^2}{qV}}$$

$$g. \text{ המטען יסטה למעלה אם: } \epsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) > 0$$

$$\text{הטען יסטה למטה אם: } \epsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) < 0$$

$$V = \sqrt{\frac{qRE_0}{m}}, \vec{B} = \sqrt{\frac{mE_0}{qR}} \hat{z} \quad (8) \quad A. \text{ ראה סרטון} \quad \text{sign}(q) = -1$$

$$m_2 = qm_1 \quad (7)$$

$$\frac{2BL}{E} \quad (7) \quad \frac{mE^2}{2qB^2} \quad (7) \quad \frac{\pi m}{qB} \quad (7) \quad \frac{2mE}{qB^2} \quad (7) \quad \frac{E}{B} \quad (9) \quad A.$$

$$g' = g \quad (7) \quad y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \theta}{Bq} \quad (10) \quad A.$$

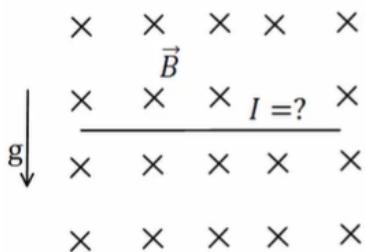
11) א. אם כיוון הכוח הפוך לכיוון המכפלת $\vec{V} \times \vec{B}$ אז המטען שלילי.
 \vec{F} תמיד מאונך ל- \vec{V} ול- \vec{B} לכן ה- \vec{F}_B אף פעם לא ישנה את גודל מהירות,

רק את הכיוון (V כניסה = V יציאה).

$$\cos \theta = \frac{b}{2R} - 1 \quad (7) \quad x = \sqrt{b \left(\frac{b}{4} - \frac{mV}{qB} \right)} \quad (7)$$

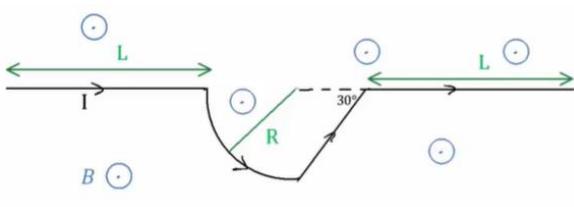
כוח על תיל נושא זרם:

שאלות:



- 1) דוגמה-תיל מרוחק**
 תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד $B = 10^{-2} \text{ T}$ בתוך הדף.
 צפיפות המסה של התיל יחידה אורך היא: $\lambda = 20 \frac{\text{gr}}{\text{c.m}}$.
 מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל כך שתיל יירחף באוויר?

- 2) דוגמה-מסגרת מלבנית בשדה לא אחיד**
 מסגרת מלבנית בעלת צלעות a , b נמצאת במשורר של הדף ובתווך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף. גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד. המסגרת מונחת כך שחלק מהמסגרת נמצא בשדה $B_1 = 4 \text{ T}$ והוא חלק השני נמצא בשדה $B_2 = 3 \text{ T}$.
 במסגרת זרם זרם $I = 2 \text{ A}$ עם כיוון השעון. נתון: $a = 0.5 \text{ m}$.
 מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת?

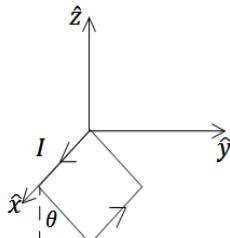


- 3) כוח על תיל מכופף**
 תיל הנושא זרם I מכופף כפי שנראה באיור. החלק העגול הוא רבע מעגל בעל רדיוס R . בכל המרחב יש שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף. מצא את הכוח השקול על התיל אם R , I , B , L נתונים.

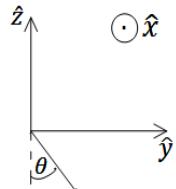
- 4) כוח על תיל מכופף עם חלוקה לחטיות**
 הנח נתונים זהים לשאלה קודמת.
 מצא את הכוח השקול על התיל ע"י חלוקה לחטיות, חישוב הכוח ע"י כל חטיכה בנפרד וסכום.

5) לולאה תלואה

lolaea Ribouiyit beulat zalu a vimsah ω teloya ul tsir ha-x (tsilu shenmazat ul tsir makubut la-tsir) vikola lehashtobet sibivo. lolaea zorim zorim I ck shazrom tsilu shenmazat ul tsir ha-x chiyobi (zorim b'kiono tsir ha-x).



mbut tlat midri



mbut do-mimdu

- a. Me'atz at gadol hashdeha magneti shadruosh lehfeil b'kiono tsir ha-z ul manat shalolaea tatiyicb b'monoha b'zoo'ot θ b'ichas le-tsir ha-z.

- b. Me'atz at gadol hashdeha magneti shadruosh lehfeil b'kiono tsir ha-y u ul manat shalolaea tatiyicb b'monoha b'zoo'ot θ b'ichas le-tsir ha-z.

6) כוח על לולאה סגורה

hara'oi ci :

- a. ha'coch magneti ul lolat zorim ribouiyit b'shdeha achid haniyicb lemisur halolaea mataps.

- b. ha'coch magneti ul lolat zorim ribouiyit b'shdeha achid hamekabil lemisur halolaea mataps.

- c. ha'coch magneti ul lolat zorim ribouiyit b'shdeha achid mataps.

- d. ha'coch magneti ul lolat zorim sgorah beulat kol zora'eh sheia b'shdeha achid mataps.

7) לולאה בצורת חצי גליל ותיל אינסופי - סמי שמעון

lolaea morkevbat meshni chazi uiygal makbilim veshni kuvim isherim makbilim ck shnuzeret hashfa shel chazi galil, rao ayor. tilainsufi uever la-oruk tsir hsimteriah shel galil.

rdios chazi uiygal hoa R vao'rak kuvim isherim hoa a.

halolaea vobtil zorimim zorimim I₁ v-I₂ vekionom matovar ba'ayor.

- a. chshbo at ha'coch shme'afil ha'til ul kol chazi meugel shel halolaea.

- b. chshbo at ha'coch shme'afil ha'til ul kol achd mahkuvim isherim (gadol vekiono).

- c. ma ha'coch shkoul shme'afil ha'til ul halolaea?

תשובות סופיות:

$$I = 2 \cdot 10^3 A \quad (1)$$

$$F = 1 N \quad (2)$$

$$F = BI(2L + (1 + \sqrt{3})R) \quad (3)$$

$$F_x = 0, F_y = IB(2L + (1 + \sqrt{3})R)(-1)\hat{y} \quad (4)$$

$$\vec{B} = -\frac{mg}{2aI}\hat{y} \quad (5)$$

א. $B = \frac{mg}{2aI} \tan \theta \hat{z}$ (6)

שאלת הוכחה.

$$b. \text{ עברו שנייהם, שמאלה, } \frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{2\pi R} \quad (7)$$

$$c. \text{ שמאלה, } \frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{\pi R}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 12 - חוק ביו סבר

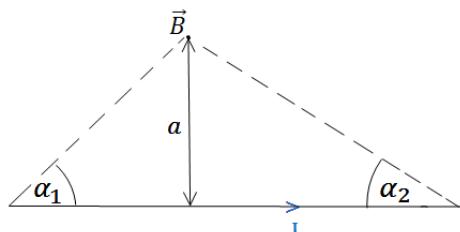
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

69

הרצאות ותרגילים:

שאלות:



- 1) חישוב שדה של תיל סופי לפי זווית הראה כי גודלו של השדה המגנטי שיוצר תיל בנקודה הנמצאת במרחק a מהתיל הוא:

$$(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \frac{\mu_0 I}{4\pi a} = B.$$
 כאשר I הוא הזרם בתיל.



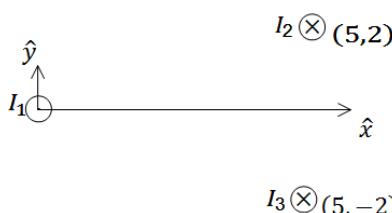
- 2) חישוב שדה של תיל סופי לפי וקטורים נתון תיל סופי באורך L וזרם I . השדה נמצא במרחק y מהראשית. חשב את השדה המגנטי של תיל סופי.



- 3) חישוב שדה של טבעת
חسب את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה של טבעת ברדיוס R כאשר בטבעת זורם זרם I .

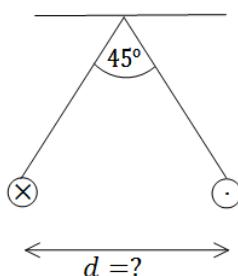


- 4) חישוב שדה של דיסקה
דיסקה ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משטחית s . הדיסקה מסתובבת במהירות זוויתית ω סביב ציר הסימטריה שלה.
מצא את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה.



- 5) שדה של שלושה תילים אינסופיים שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה-z מונחים במקומות הבאים:
 $\vec{r}_1(0,0)$, $\vec{r}_2(5,2)$, $\vec{r}_3(5,-2)$.
 הזרמים בתילים הם:

$I_1 = 3A$ החוצה מהזווית $A = 5A$ לתוך הדף, $I_2 = 4A$ גם כן לתוך הדף.
 מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה-z מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון y ?

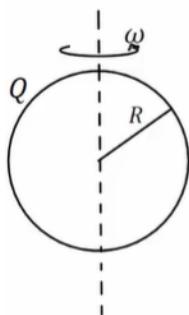


- 6) שני תילים תלויים**
 שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקשה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע. בתילים זורם זרם של 100 A מפנ' בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת אורך היא: $2 \frac{\text{gr}}{\text{m}} = \mu$.
 מצא את המרחק בין התילים.

- 7) מצולע עם אן צלעות**
 במצבו משוככל (כל הצלעות שוות) בעל n צלעות זורם זרם I. נתון כי המצולע חסום ע"י מעגל ברדיוס R.
 א. מהו השדה המגנטי במרכזו המצולע?
 ב. בדוק עבור $\infty \rightarrow n$.

- 8) כוח מגנטי מתבטל עם חשמלי**
 שני תילים אינסופיים טעוניים בצפיפות מטען λ ו- $-\lambda$. התילים מקבילים ונמשכים במהירות קבועה v_0 ימינה.
 מצא את גודל המהירות כך שהכוח המגנטי יתבטל עם הכוח החשמלי!

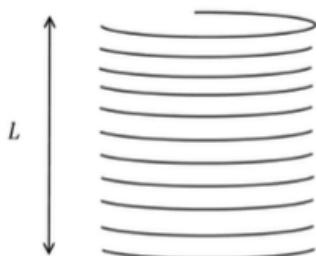
- 9) חישוב שדה של תיל מיוחד**
 תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים. המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).
 בתיל זורם זרם I, כיוון הזרם מסומן בשרטוט.
 א. מהו גודלו וכיוונו של קטור השדה המגנטי במרכזו החלק המעגלי של התיל?
 ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכז החלק המעגלי של התיל מסלולו מתעקל עקב השפעת השדה המגנטי של התיל.
 כורת המסלול וכיוון התנועה נתונם בשרטוט.
 מהו סימן מטען של החלקיק?
 ג. בניסוי נוספת יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחומים $2R < y < R$. חלק של התיל FG נמצא בתחום תחום זה (ראו בשרטוט). נתון וקטור השדה $(ay^2, 0, 0)$, כאשר הקבוע a נתון.
 מהו הכוח המגנטי שדה זה מפעיל על התיל?

**10) שדה במרכז קליפה כדורית מסתובבת**

קליפה כדורית ברדיוס R טעונה בטען Q המפולג באופן אחיד על פני הקליפה.

הקליפה מסתובבת סביב צירה במהירות זוויתית קבועה ω .

הנח כי הסיבוב אינו משנה על התפלגות המטען וחשב את השדה המגנטי במרכז הקליפה.

**11) שדה של סליל סופי**

בסליל סופי באורך L , רדיוס R וצפיפות ליפופים אחידה ליחידת אורך n זורם זרם I .

חשבו את השדה המגנטי ב:

- מרכז הסליל.
- הקצה העליון של הסליל.

תשובות סופיות:**(1)** שאלת הוכחה.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi y} \frac{IL\hat{z}}{\left(\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

$$B_x = B_y = 0, \quad B_z = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

$$\vec{B}_T = \frac{\mu_0 \sigma w}{2} \left((R^2 + z^2)^{\frac{1}{2}} + z^2 (R^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} - 2z \right) \quad (4)$$

$$x_1 = -2.76, \quad x_2 = 5.26 \quad (5)$$

$$d = 0.241m \quad (6)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \cdot \text{ב.} \quad B = \frac{n\mu_0 I}{2\pi R} \tan\left(\frac{\pi}{n}\right) \cdot \text{א.} \quad (7)$$

$$V = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{sec} \quad (8)$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} \cdot \text{ג.} \quad \text{ב. שלילי} \quad B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2 - \sqrt{3}) \cdot \text{א.} \quad (9)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 Q_w}{6\pi R} \quad (10)$$

$$\frac{\mu_0 InL}{2(R^2 + (L)^2)^{\frac{1}{2}}} \cdot \text{ב.} \quad \frac{\mu_0 InL}{2\left(R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \text{א.} \quad (11)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 13 - חוק אמפר

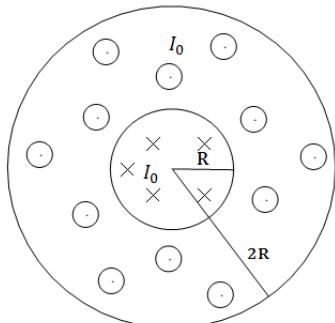
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

73

הרצאות ותרגילים:

שאלות:



- 1) כבל קו-אקסיאלי**
 כבל קו-אקסיאלי מורכב מגליל מוליך בעל רדיוס R ומעטפת מוליכה עבה בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני $2R$ (ניתן להניח כי קיים מבודד דק בין הגליל הפנימי למעטפת).
 בגליל הפנימי זורם זרם I_0 בצפיפות זרם אחתית לתוך הדף.
 במעטפת זורם גם כן זרם I_0 בצפיפות אחתית החוצה מהדף.
 א. מצא את צפיפות הזרם בגליל ובמעטפת.
 ב. מהו השדה המגנטי בכל המרחבי?

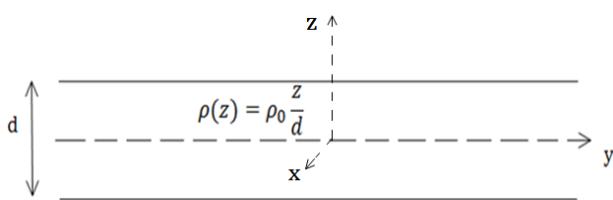


- 2) שדה של מישור דק אינסופי**
 נתון מישור אינסופי דק אשר זורם בו זרם. נניח שהמישור טוען בצפיפות מטען σ . המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר ה- x במהירות קבועה V_0 .
 חשב את השדה המגנטי.



- 3) שדה של מישור עבה**
 מישור אינסופי בעובי d טוען בצפיפות מטען אחידה ליחידה נפח σ . המישור מונח במקביל למישור xy וראשית הצירים במרכזו.
 המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר ה- x (החוצה מהדף) במהירות קבועה V_0 .
 מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

- 4) שדה של סליל אינסופי**
 נניח אורץ סליל A ומספר ליפופים כולל של סליל N . צפיפות הליפופים σ , רדיוס טבעת a ושטח חתך הסליל של כל טבעת הינו S .
 קיימת סימטריה בציר ה- z .
 חשב את השדה המגנטי.

**5) מישור עם צפיפות מטען משתנה**מישור אינסופי בעובי d טעון

בצפיפות מטען משתנה ליחידה

נפח $\frac{z}{d} \rho_0 = \rho(z) m$.

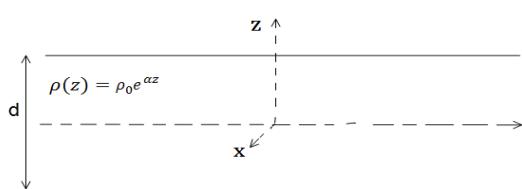
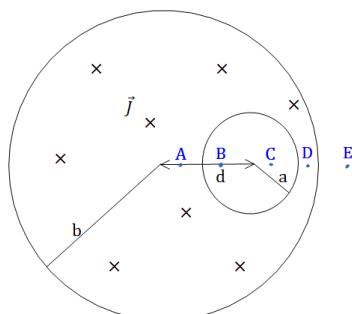
המישור מונח במקביל למישור xy
וראשית הצירים במרכזה.המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר $-x$ (החותכה מהדף) ב מהירות קבועה V_0 .
מצא את השدة המגנטי מוחז ובתוך המישור.**6) מישור אינסופי עם צפיפות אלספוננטיאלית**מישור אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען

משתנה ליחידה נפח $\rho_0 e^{\alpha z} = \rho(z) m$

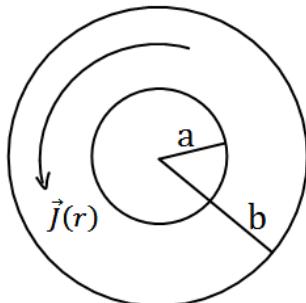
כאשר אלפה קבוע.

המישור מונח במקביל למישור xy וראשית
המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר $-x$
(החותכה מהדף) ב מהירות קבועה V_0 .

מצא את השدة המגנטי מוחז ובתוך המישור.

**7) חור בגליל**בגליל אינסופי ברדיוס a קודחים חור גלילרי ברדיוס b .מרכז החור נמצא במרחק d ממרכז הגליל.בגליל זורם זרם לתוך הדף בצפיפות זרם אחידה
ונטוונה J .א. מצא את השدة המגנטי בנקודות E, D, C, B, A ,
המסומנות בסרטוט.הנח כי מרחק הנקודות מהמרכז ידוע וכי כל
הנקודות נמצאות על הציר העובר בשני מרכזי הגלילים.ב. מצא את השدة המגנטי בכל נקודה בתוך החור.
רמז: $\hat{x} \times \hat{z} = \hat{\theta}$ והשدة בתוך החור אחיד.**8) שדה מגנטי של זרם היקפי**בגליל אינסופי בעל רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b

זרם זרם היקפי בעל צפיפות זרם $\vec{J}(r) = Ar^3 \hat{\theta}$.

מצא את השدة המגנטי בכל המרחב.
קבוע נתון.

תשובות סופיות:

$$\vec{J}_{in} = \frac{I_0}{\pi R^2} \hat{z} \quad r < R , \vec{J} = \frac{-I_0}{\pi 3R^2} \hat{z} \quad R < r < 2R . \text{ נ } \quad (1)$$

$$\vec{B} = \frac{I_0 r}{2\pi R^2} \theta \quad r < R , B=0 \quad R < r < 2R . \text{ ב }$$

$$\vec{B} = \frac{\sigma V_0 \mu_0}{2} \begin{cases} (-\hat{y}) & z > 0 \\ (+\hat{y}) & z < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\vec{B} = \rho_0 V_0 z (-\hat{y}) , \quad \vec{B} = \frac{\rho V_0 d \mu_0}{2} \begin{cases} -\hat{y} & z > \frac{d}{2} \\ \hat{y} & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad (3)$$

$$\vec{B} = \mu_0 I n \hat{z} \quad (4)$$

$$\vec{B}=0 \quad z > \frac{d}{2} , \vec{B}=0 \quad z < -\frac{d}{2} , \vec{B}=\frac{\mu_0 \rho_0 V_0}{2d} \left(\left(\frac{d}{2} \right)^2 - z^2 \right) \hat{y} \quad -\frac{d}{2} < z < \frac{d}{2} \quad (5)$$

$$, \quad \vec{B} = \frac{\rho_0 V_0}{2\alpha} \left(e^{-\alpha \frac{d}{2}} - e^{\alpha \frac{d}{2}} \right) \hat{y} \cdot \begin{cases} (+1) & z > \frac{d}{2} \\ (-1) & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad (6)$$

$$\vec{B} = \frac{\rho_0 V_0}{2\alpha} \left(e^{-\alpha \frac{d}{2}} + e^{\alpha \frac{d}{2}} - 2e^{\alpha z} \right) \hat{y} \quad -\frac{d}{2} < z < \frac{d}{2}$$

$$\vec{B}_A = \frac{\mu_0 J}{2} \left(r + \frac{b^2}{d-r} \right) \hat{\theta} , \vec{B}_B = \frac{\mu_0 J d}{2} \hat{\theta} , \vec{B}_C = \frac{\mu_0 J d}{2} \hat{\theta} , \vec{B}_D = \frac{\mu_0 J r}{2} \hat{\theta} - \frac{\mu_0 J b^2}{2(r-d)} \hat{\theta} . \text{ נ } \quad (7)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 J}{2} \hat{z} \times \vec{d} . \text{ ב } \quad \vec{B}_E = \frac{\mu_0 J a^2}{2r} - \frac{\mu_0 J b^2}{2(r-d)} \hat{\theta}$$

$$\vec{B} = \frac{b^4 - r^4}{4} \mu_0 \hat{z} \quad a < r < b , \vec{B} = A \frac{b^4 - a^4}{4} \mu_0 \hat{z} \quad 0 < r < a \quad (8)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 14 - חוק פאראדי

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

76

הרצאות ותרגילים:

שאלות:

1) מוט שזע על מסילה

במערכת הבאה ישנה מסילה המורכבת ממוליכים אידיאליים.



בתחילת המסילה נמצא נגד R.

המרחק בין פסי המסילה הוא L.

על המסילה נמצא מוט מוליך

נוסף המחבר בין שני פסי המסילה,

המוט הנוסף נע ב מהירות קבועה V_0.

א. מה הכא"ם במעגל?

ב. מהו הזרם במעגל?

ג. מה הכוח החיצוני הדרוש על מנת למשוך את המוט ב מהירות קבועה?

ד. מה ההספק של הכוח החיצוני?

ה. מה ההספק בנגד?

2) מסגרת נעה בתוך שדה

מסגרת מלכנית בעלת אורך d ורוחב L,

נעה ב מהירות קבועה V_0, לכיוון אוזור בו

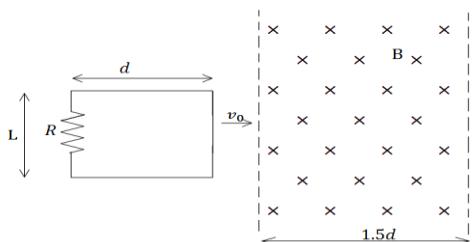
שורר שדה מגנטי אחיד B.

אורך האוזור הוא 1.5d ורוחבו אורך מאד.

למסגרת התנגדות כוללת R.

הנח כי ב-t=0 הצלע הימנית של המסגרת

כנסת לאוזור עם השדה.



א. מצא את הכא"ם במסגרת (כתלות בזמן).

ב. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון

(כתלות בזמן).

ג. מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת על מנת שתתנווע ב מהירות קבועה.

ד. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום ב נגד?

(3) מסגרת נעה ליד תיל אינסופי

מסגרת ריבועית מוליכה עם צלע a נמצאת על מישור xy .

ונע ב מהירות קבועה v_0 בכיוון ציר ה- x .

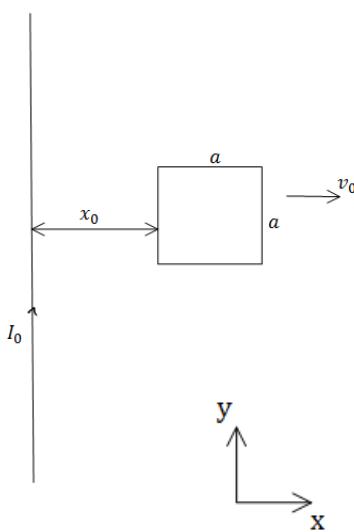
מיקום המסגרת ב- $t=0$ הוא x_0 .

תיל אינסופי מונח לאורך ציר ה- y וזורם בו זרם I_0 בכיוון החזובי של ציר ה- y .

א. מצא את הכא"ם במסגרת.

ב. מצא את הזרם במסגרת אם ידוע שההתנגדות הכללית שלה היא R .

ג. מצא את הכוח הדרוש על מנת להזיז את המסגרת ב מהירות קבועה.



(4) טבעת מסתובבת

טבעת מוליכה ברדיוס a מונחת במישור xy ומתחליה להסתובב ב מהירות קבועה ω סביב ציר ה- x .

במרחב קיימים שדה מגנטי אחיד B_0 בכיוון ציר y .

א. מצא את הכא"ם בטבעת כפונקציה של הזמן.

ב. מצא את הכא"ם בטבעת אם גם השדה המגנטי משתנה בזמן לפי $B(t) = B_0 \cos(\omega t)$.

(5) מוט וז בתוך מעגל

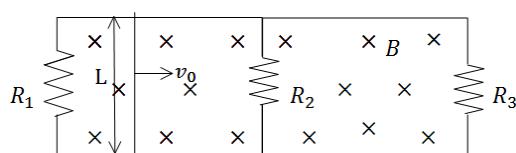
מוט מוליך באורך L נע על צלעותיו של המעגל הבא.

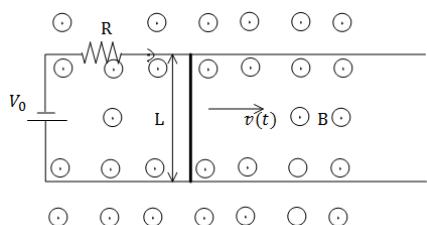
בתוך המעגל קיימים שדה מגנטי אחיד וקבוע לתוך הדף B .

נתונים: B , L , v_0 , R_1 , R_2 , R_3 .

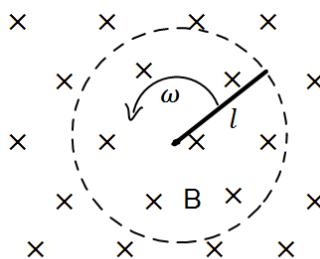
מציא את הזרם משני צידי המוט עבור

המקרה בו המוט נמצא בין הנגד הראשון לשני ועבורו המקרה בו המוט נמצא בין הנגד השני לשלישי.

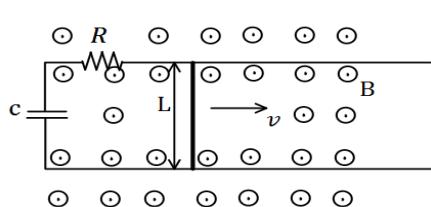




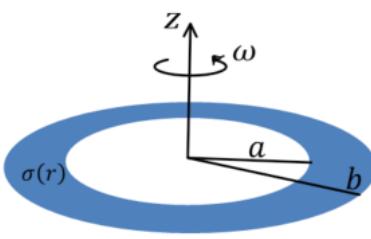
- 6) מוט נע על מסגרת עם מקור מתח**
מוט מוליך באורך L ומסה M נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות שאינה קבועה בזמן. למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R ומקור מתח V_0 .
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדזף.
- מצא את הcurrentים במוגל גודל וכיוון.
 - רשות משווה תנועה עבר המוט, מהי מהירותו הסופית.
 - מצא את מהירותו המוט כתלות בזמן אם התחיל ממנוחה.
 - מהו הספק החום נגד?



- 7) מוט מסתובב**
מוט בעל אורך l מסתובב סביב אחד הקצוות שלו ב מהירות זוויתית קבועה ω .
המוט נמצא בשדה מגנטי אחיד B הניצב למישור בו הוא מסתובב.
א. מצא את המתח בין קצות המוט באמצעות אינטגרציה על חוק לורן.
ב. מצא את המתח ב מוט באמצעות חוק פארדיי.



- 8) פארדיי עם קבל נגד ביחס**
מוט מוליך באורך L נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות קבועה בזמן v .
למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R וקבל בעל קיבול C .
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדזף.
א. מצא את הזרם במוגל גודל וכיוון (כתלות בזמן).
ב. מה הכוח בו צריך למשוך את המוט על מנת שיישאר ב מהירות קבועה?
ג. מצא מהו ההספק של הכוח הנ"ל (כתלות בזמן).
ד. מצא מהו ההספק נגד ובקבול (כתלות בזמן).
ה. הראה כי ההספק של הכוח החיצוני שווה להספק של הקבל וה נגד.
הסביר מדוע ההספקים שווים.

**9) טבעת בתוך טבעת רחבה**

טבעת מבודדת בעלת רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b טעונה בצפיפות מתען משטחית חיובית ולא אחורית.

$$\sigma(r) = \begin{cases} 0 & r < a \\ \sigma_0 \frac{a}{r} & a \leq r \leq b \\ 0 & b < r \end{cases}$$

הטבעת מונחת במישור xy כך שמרכזו מותלך עם ראשית הצירים וציר z עובר דרך מרכזו הטבעת ומאונך לפניו הטבעת.

מסובבים את הטבעת סביב ציר z (ה动员ן למישור הטבעת) ב מהירות זוויתית שהולכת וגדלה עם הזמן לפי הנוסחה $\omega = \alpha t^3$.

א. מהו השדה המגנטי במרכזו הטבעת?

ב. במרכז הטבעת מניחים טבעת קטנה ודקה במישור xy כך שמרכזו

מותלך עם ראשית הצירים ורדיוסה $a \ll r_0$.

חשבו את השטף בטבעת הקטנה, לאחר והטבעת הקטנה מאוד קטנה יחסית לטבעת הגדולה תוכלו להזניח את השינוי במרחב של השדה המגנטי העובר דרך הטבעת הקטנה.

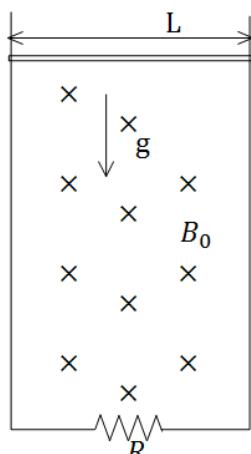
ג. חשבו את הזרם שייוציא בטבעת הקטנה אם התנגדותה R .

10) מוט נופל מחובר למסילה

מוט מוליך מונח על מסילה אנכית ונופל בהשפעת כוח הכבידה. במרחב קיימים שדה מגנטי B_0 לתוך הדף.

רוחב המסילה הוא L ומשקל המוט היא M .

התנגדות המסילה קבועה ושווה ל- R .



א. מצא את הכאים במעגל כתלות ב מהירות המוט v .

ב. מצא את כיוון השדה המושרה ואת כיוון הזרם

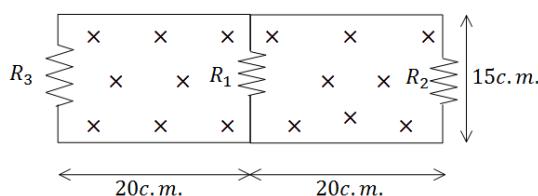
שኖר במעגל.

ג. מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדין כתלות ב מהירות).

ד. רשום משווה כוחות על המוט.

מהי מהירות הסופית של המוט?

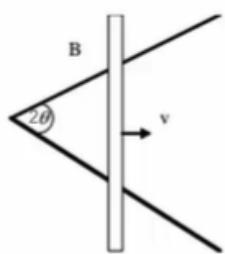
ה. מצא את מהירות והזרם כפונקציה של הזמן.

**11) כא"מ בשני מעגלים**

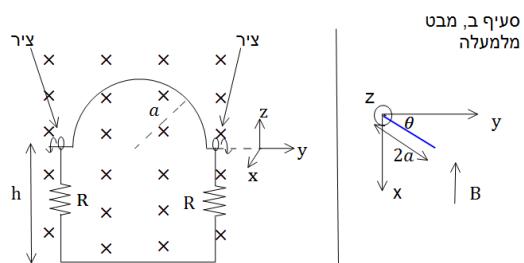
במעגל הבא התנודות הנגדים היא:
 $\Omega = 3$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 2\Omega$.

במרחב קיים שדה מגנטי $B = 2 \frac{T}{sec} \cdot t$.
 אחד לתוכה הדף.

ממדיהם המוגדרים בשרטוט.
 מצא את הזרם בכל נגד.

**12) מוט נע על מסילות בזווית**

- שתי מסילות מוליכות יוצרות זווית 2θ ביניהן.
 מוט מוליך מונח עליהם ויצור משולש שווה שוקיים.
 המוט נע לאורכם במהירות קבועה v , ומתחליל את
 תנעטו בקדקוד המשולש.
 כל המערכת נמצאת בשדה מגנטי אחד B היוצא מהדף.
 א. מצא את הכא"ם המושרעה כפונקציה של הזמן.
 ב. אם התנודות של המוט יחידת אורך R_1 ,
 והמסילות חסרות התנודות, חשב את הזרם המושרעה
 כפונקציה של הזמן.
 ג. חשב את ההספק שמועבר למערכת ליצירת הזרם.

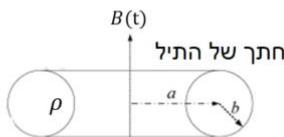
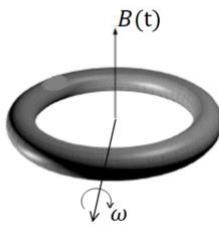
**13) כבל מסתובב**

במערכת הבאה ישנו כבל מוליך
 אידיאלי בצורת חצי מעגל ברדיוס a .
 בשתי הקצוות של חצי המעגל הכבל
 מחובר לציריים כך שניתן לסובבו
 סביבים (סביב ציר ה- x בציור).
 הциיריים מחוברים למסגרת מלבנית
 בגובה $a > h$, המסגרת קבועה במקום.
 בכל צד של המסגרת קיימים נגד R .

במרחב קיים שדה מגנטי אחד B לתוכה הדף (במינוס α).

ב- $t=0$ הכבול נמצא במצב המתוור בציור ומחילים לסובבו סביב הциיריים
 (ציר ה- x) בזווית ω (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל
 מתקרדות אלינו).

- א. מהו הזרם בכבל?
 ב. נניח כי העמוד השמאלי של המסגרת נמצא בראשית וניתן לסובב את כל
 המערכת סביב עמוד זה.
 מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שהזרם יקטן פי 2.
 ג. מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שההספק יקטן פי 2.



14) גוש נחוות מעוצב לטבעת

נתון גוש נחוות בעל מסה m צפיפות מסה α והתנודות סגולית ρ .
מעבדים את הנחוות לתיל שרדיויס שטח החתק שלו הוא a .
יוצרים מהתיל טבעת שרדיויסה a כך ש- $a << b$.

מניחים את הטבעת מקובעת במרחב כך שקיים שדה מגנטי אחיד המשתנה בזמן (t) $B(t)$ במאונך לטבעת.
קצב השינוי של השדה הוא $\beta = \frac{dB}{dt}$.

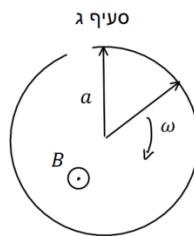
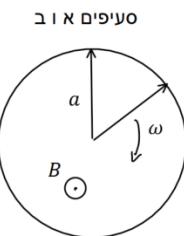
א. חשב את הזרם המושריה בטבעת.

ב. הראה כי אפשר לבטא את הזרם כתלות של m, α, ρ, β וללא תלות במימדי התיל (כלומר אינו תלוי ב- a ו- b).

ג. כעת מתחילה לסובב את הטבעת במהירות זוויתית ω סביב ציר העובר במרכזו ומאונך לשדה המגנטי.
חשב את הזרם הנוצר בטבעת כתלות בזמן.

האם כעת הוא תלוי במימדי התיל?

15) שעון פארדי



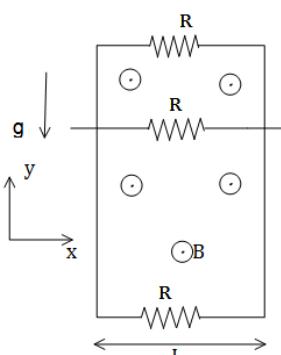
לטבעת מוליכה שאורך מוחוגה a והתנודות
לייחdet אורך היא z מחברים שני מוחוגים
מוליכים שהתנודות כל אחד מהם היא R .
המוחוגים מחוברים אחד לשני במרכז
הטבעת ובקצת השני נוגעים בטבעת.
מוחוג אחד קבוע במקומו והשני מסתובב
במהירות זוויתית קבועה ω .

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

א. חשבו את ההתנודות הכוללת של המעלג כתלות בזווית θ .

ב. חשבו את גודל וכיוון הזרם כתלות בזמן בכל מוחוג עבר הסיבוב הראשון
(הניחו שהמוחוט הנע מתחילה תנועתו בצמוד למוט הניח).

ג. חותכים חתיכה בסוף המעלג של הטבעת (ראה ציור).
חזר על סעיף ב.

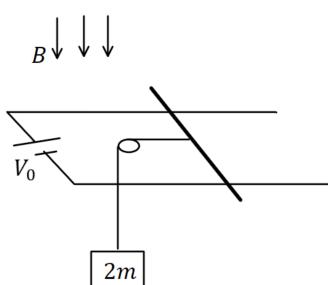


16) נגד נופל במסגרת

מסגרת מלבנית מוליכה, אורךה 매우 גבוה ובעלת רוחב L , נמצאת בשדה הכביד. אורכה נמצא על ציר ה- y ורוחבה על ציר ה- x . בצלע העליון ובצלע התחתונה של המסגרת קיימים נגדים עם התנגדות זהה R . מוט מוליך בעל התנגדות זהה R מחליק לאורך ציר ה- y על המסגרת.

מצא את מהירות הסופית של המוט אם במרחב קיים שדה מגנטי אחיד B בכיוון z ונוטנה מסת המוט.

17) מוט על מסילה מחובר למשקלות



מוט מוליך בעל אורך L , מסה m והתנגדות R מונח על מסילה אופקית חלקה למקור מתח V_0 . אורךים מאד וחסרי התנגדות.

המוליכים מחוברים בקצה למקור מתח V_0 . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B המאונך למשור המסילה וככלפי מטה.

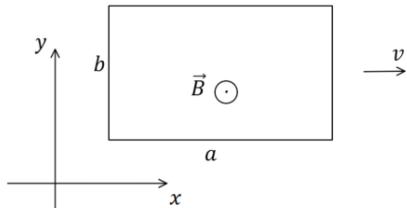
משקלות שמסתת m_2 מחוברת למוט באמצעות חוט דרכ גלגלת אידיאלית.

- א. חשבו את V_0 אם נתון שהמוט במנוחה.
- ב. חותכים את החוט.

רשמו משוואת תנועה עבור המוט ומצאו את מהירות המירבית של המוט, מה הזרם בмагנט?

- ג. מצאו את מהירות המוט כתלות בזמן והשו לתשובה של סעיף ב.

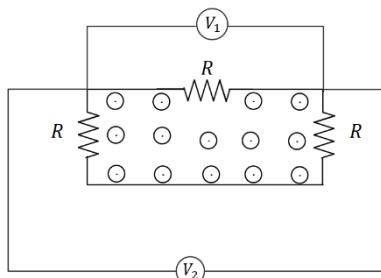
18) מסגרת נעה בשדה מגנטי משתנה לינארית



מסגרת מלבנית בגודל $b \times a$ מסה m והתנגדות R נמצאת על משור yx . המסגרת נעה באיזור בו קיים שדה מגנטי $\hat{x}(x) = \alpha(x_0 - x)$.

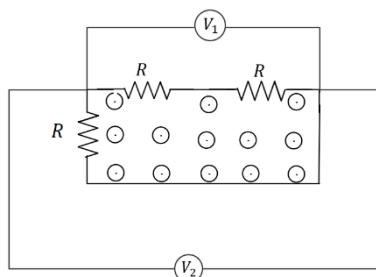
ברגע $t = 0$ מהירות המסגרת היא $\hat{x}v_0$ כאשר v_0, x_0, α קבועים נתונים.

- א. מצא את הכאים בלולאה כתלות ב מהירות הלולאה. הראה כי הוא אינו תלוי במיקום ההתחלתי של המסגרת.
- ב. מצא את מהירות הלולאה כתלות בזמן.
- ג. מהו המרחק אותו עברה הלולאה עד לעצירתה?

**19) מעגל עם פארדי**

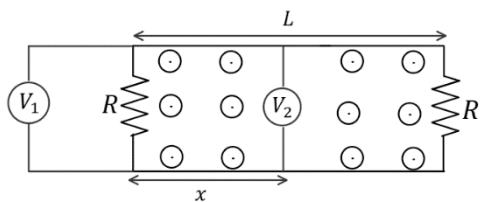
במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד.

אם מד המתח V_1 מוגה $1mV$ מה מוגה מד המתח V_2 ?

**20) מעגל עם פארדי 2**

במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד.

אם מד המתח V_1 מוגה $1mV$ מה מוגה מד המתח V_2 ?

**21) מעגל עם פארדי 3**

במעגל הבא שני נגדים זהים. בין הנגדים (ורק ביניהם) קיים שדה מגנטי אחד

משתנה בזמן. המרחק בין הנגדים הוא L . מחברים שני מדי מתח אידיאליים כפי שמתוואר באירור כאשר x הוא המרחק של מד המתח V_2 מהנגד השמאלי.

נתון כי מד המתח V_1 מוגד $1mV$. מה ימודוד מד המתח V_2 אם :

$$\text{א. } x = \frac{1}{2}L$$

$$\text{ב. } x = \frac{1}{4}L$$

תשובות סופיות:

$$\vec{F}_{0,xt} = \frac{B_0^2 L^2 V_0}{R} \hat{x} \quad . \quad I = \frac{BLV_0}{R} \quad . \quad \varepsilon = -BLV_0 \quad . \quad (1)$$

$$\rho_R = \frac{BLV}{R} \quad . \quad \rho_{ext} = \frac{B_0^2 L^2 V_0}{R} \quad . \quad$$

$$\vec{F}_{ext} = \frac{B^2 L^2 V_0}{R} \hat{x} \quad . \quad I = \frac{BLV_0}{R} \quad . \quad |\varepsilon| = BLV_0 \quad . \quad (2)$$

$$\rho_{ext} = \frac{B^2 L^2 V_0^2}{R} \quad . \quad$$

$$I = \frac{-\mu_0 I_0 a \left(\frac{1}{x+a} - \frac{1}{x} \right) V_0}{2\pi R} \quad . \quad \varepsilon = -\frac{\mu_0 I_0 a}{2\pi} \left(\frac{1}{x+a} - \frac{1}{x} \right) V_0 \quad . \quad (3)$$

$$|\vec{F}| = F_1 - F_2 \quad . \quad$$

$$\varepsilon = \omega B_0 \pi a^2 \sin(2\omega t) \quad . \quad \varepsilon = -B_0 \pi a^2 (-\omega) \sin(\omega t) \quad . \quad (4)$$

5) בין הראשון לשני : $I_L = I_1, I_R = I_2 + I_3$

בין השני לשישי : $I_L = I_1 + I_2, I_R = I_3$

$$a = \frac{BL}{MR} (-BLV(t) + V_0), V_{final} = \frac{V_0}{BL} \quad . \quad |\varepsilon| = BLV(t) \quad . \quad (6)$$

$$P_R = \left(\frac{BLV(t) - V_0}{R} \right)^2 R \quad . \quad V(t) = \frac{V_0}{BL} \left(1 - e^{-\frac{B^2 L^2}{MR} t} \right) \quad . \quad$$

$$\varepsilon = -B \cdot \omega \frac{l^2}{2} \quad . \quad \varepsilon = B \frac{l^2}{2} \omega \quad . \quad (7)$$

$$P_F = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \neq I^2 R \quad . \quad F_{ext} = \frac{B^2 L^2 V}{R} e^{\frac{-t}{RC}} \hat{x} \quad . \quad I(t) = \frac{BLV}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad . \quad (8)$$

$$ה. הוכחה \quad P_R = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} e^{-\frac{2t}{RC}}, P_C = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} \left(e^{-\frac{t}{RC}} - e^{-\frac{2t}{RC}} \right) \quad . \quad$$

$$\varphi = \mu_0 \sigma_0 a \omega \frac{1}{2} \ln \frac{b}{a} \pi r_0^2 \quad . \quad \vec{B} = \mu_0 \sigma_0 a \omega \frac{1}{2} \ln \frac{b}{a} \hat{z} \quad . \quad (9)$$

$$I = \frac{3\mu_0 \sigma_0 a \pi r_0^2 \alpha \ln \frac{b}{a}}{2R} \quad . \quad$$

ב. כיוון השדה המושרحة בכיוון השדה שקיים, לתוכן הדף. $|\varepsilon| = B_0 L V_y \quad . \quad (10)$

$$V(t) = \left(1 - e^{-\frac{k}{m} t} \right) \frac{mg}{k}, k = \frac{B_0^2 L^2}{R} \quad . \quad V_{final} = \frac{mgR}{B_0^2 \cdot L^2} \quad . \quad F = \frac{B_0^2 L^2}{R} V \hat{y} \quad . \quad$$

$$I_{R1} = \frac{0.6}{110} A, I_{R2} = \frac{3}{110} A, I_{R3} = \frac{2.4}{110} A \quad (11)$$

$$P_{out} = \frac{V^2 B^2}{R_1} 2 \cdot V \cdot t \cdot \tan\theta \quad .ג \quad I = \frac{V \cdot B}{R_1} \cdot ב \quad \varepsilon = 2V^2 \tan\theta t B \cdot נ \quad (12)$$

$$\theta = 45^\circ \quad .ג \quad \theta = 60^\circ \quad .ב \quad I = \frac{B\pi a^2 \omega}{4R} \sin \omega t \cdot נ \quad (13)$$

$$I = \frac{m(\beta \cos\theta - B \sin\theta \omega)}{4\rho\alpha\pi} \quad .ג \quad I = \frac{\beta m}{4\pi\rho\alpha} \quad .ב \quad I = \frac{\beta\pi b^2 a}{2\rho} \cdot נ \quad (14)$$

$$R_T = 2R + \frac{ar\theta(2\pi - \theta)}{2\pi} \cdot נ \quad (15)$$

$$\hat{.}, \text{ במחוג שעומד בכיוון הרדייאלי ובמחוג שע בכיוון } \hat{z}. \quad I_T = \frac{B\omega a^2 \pi}{4\pi R + ar\omega t(2\pi - \omega t)} \cdot ב.$$

$$I(t) = \frac{B\omega \frac{a^2}{2}}{2R + ra\omega t} \cdot ג.$$

$$V = \frac{3Rmg}{2B^2 L^2} \quad (16)$$

$$\frac{BL}{R}(V_0 - BLV) = ma, \quad V_{max} = \frac{V_0}{BL} \cdot ב \quad V_0 = \frac{2mgR}{BL} \cdot נ \quad (17)$$

$$V(t) = \frac{V_0}{BL} \left(1 - e^{-\frac{B^2 L^2}{MR} t} \right) \cdot ג$$

$$\Delta x = \frac{V_0}{k} \cdot ג \quad V(t) = V_0 e^{-kt} \cdot ב \quad |\varepsilon| = \alpha baV \cdot נ \quad (18)$$

$$1mV \quad (19)$$

$$0.5mV \quad (20)$$

$$0.5mV \cdot ב \quad 0 \cdot נ \quad (21)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 15 - משוואות מקסואל

תוכן העניינים

1. המשוואות והמעברים

(ללא ספר)

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 16 - גלים אלקטרומגנטיים

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים

86

הסבירים ותרגילים:

שאלות:

(1) תרגיל 1

$$\vec{B} = B_0 \cos(Ax - 2Ay - \omega t) \hat{z}$$

- א. מצא את וקטור הגל של השדה?
- ב. הבא את התדריות באמצעות הפרמטר A.
- ג. מצא את השדה החסמי?
- ד. מה הכוח הפועל על מטען Q הנמצא בראשית עם מהירות $\vec{v}_0 = v_0 \hat{x}$? $t = 0$?
- ה. מצא את הוקטור פויטינג?

(2) מצא שדה מגנטי

$$\vec{E} = E_0 (1, 1, 2) e^{i(2x-z-\omega t)}$$

השדה החסמי בגל אלקטרו מגנטי נתון לפי:
מצא את השדה המגנטי.

(3) גל עומד

$$\text{משוואת הגלים בצורה כללית היא: } \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - \nabla^2 \phi \text{ כאשר } \phi \text{ היא פונקציית הגל}$$

במרחב ו- v היא מהירות הגל $\left(v = \frac{\omega}{k} \right)$. במקרה של גלים אלקטרו מגנטים ϕ תהיה הפונקציה של השדה החסמי או המגנטי, $c = v$.

א. הראה שהפונקציה $\phi(x, t) = A \cos(kx) \sin(\omega t)$ מקיימת את משוואת הגלים ולכן היא פתרון אפשרי למשוואה.

ב. פתרו דלמבר למשוואת הגלים אומר שככל פתרו צריך להיות מהצורה $f(x-vt) + g(x+vt)$, כאשר f ו- g הם פונקציות כלשהן.

הראה שהפונקציה מסעיף א' היא גם פתרון מהצורה הכללית של הפתרון של דלמבר.
רמז: השתמש בזווית טריגונומטריות.

4) תרגיל 4

השدة החשמלי של גל אלקטרו מגנטי המתפשט בריק בכיוון x נתנו לפיה:

$$\vec{E} = E_0 e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} \hat{y} + E_0 e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} \hat{z}$$

כאשר E_0 ו- a הם קבועים חיוביים.

- מהו השדה המגנטי של הגל?
- הראו כי השדה המגנטי מאונך לשدة החשמלי.
- כתבו ביטוי לצפיפות האנרגיה של הגל.

תשובות סופיות:

$$\omega = C \cdot A \cdot \sqrt{S} \quad \text{ב.} \quad \vec{k} = (A, -2A, 0) \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\vec{E} = +C^2 2AB_0 \cos(Ax - 2Ay - \omega t) \cdot \frac{1}{+\omega} \hat{x} + C^2 2AB_0 \cos(Ax - 2Ay - \omega t) \cdot \frac{1}{+\omega} \hat{y} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{S} \cdot \vec{E} = 0 \quad \text{ה.} \quad \vec{F} = Q \left(\frac{C^2 AB_0}{\omega} (2\hat{x} + \hat{y}) + V_0 B_0 (-\hat{y}) \right) \quad \text{ט.}$$

$$\vec{B} = \frac{E_0}{\sqrt{5c}} (1, -5, 2) e^{i(2x-z-\omega t)} \quad (2)$$

3) שאלת הוכחה.

$$2\epsilon_0 E_0^2 e^{-2\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} \quad \text{ג.} \quad \text{ב. הוכחה.} \quad \frac{E_0}{c} e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} (\hat{z} - \hat{y}) \quad \text{א.} \quad (4)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 17 - תרגילים ברמת מבחן

תוכן העניינים

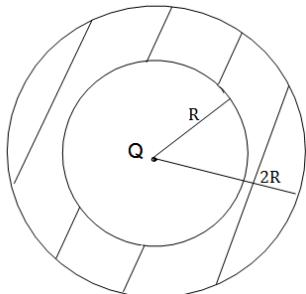
1. תרגילים

88

תרגילים:

שאלות:

1) מטען במרכז קליפה



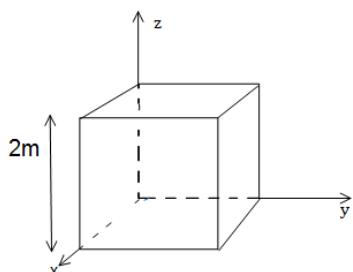
מטען נקודתי Q נמצא במרכזו של קליפה כדורית עבה.
רדיוס הקליפה הפנימי הוא R ורדיוסה החיצוני הוא $2R$.
הקליפה מוליכה ואנייה טעונה.

א. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודה

$$\text{הנמצאת ב-} r = \frac{R}{3} \text{ לבין הנקודה הנמצאת ב-} r = 3R.$$

ב. חזר על סעיף א' עבור המקרה בו הקליפה טעונה במטען כולל Q .

2) מטען אנרגיה ופוטנציאל בקובייה



נתון שדה במרחב: $\vec{E} = 2y\hat{x} + 3y\hat{y}$

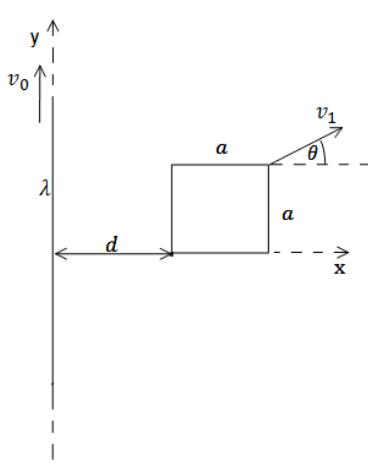
קובייה בעלת צלע של $2m$ נמצא במרכזו הראשון כך שאחד מקדקודיה נמצא על הראשית (ראה ציור).

א. חשב את סך המטען הכלוא בתחום הקובייה.

ב. מהי האנרגיה האלקטרוסטטית בתחום הקובייה?

ג. מצא מהו הפרש הפוטנציאלים בין ראשית הצירים והקדקוד
המצא בנקודה $(0,2,0)$.

3) מסגרת נעה בארכסון ליד תיל נע



תיל אינסופי נמצא לאורכו ציר ה- $x-y$.

התיל טוען בצפיפות מטען איחידה ליחידה

אורך l ונע בכיוון ציר ה- y במהירות קבועה v_0 .

מסגרת מלכנית בעלת צלע a נמצא ב- $t = 0$ ביחסו $y-x$ כך שהפינה השמאלית שלה מרוחקת

מרחק d מהתיל (ראה סרטוט).

התנדות המסגרת היא R .

המסגרת נעה במהירות קבועה v_1 ובזווית טטה

ביחס לציר ה- x .

א. מצא את הזרים במסגרת, גודל וכיוון.

ב. מהו הכוח הפועל על המסגרת על מנת למשוך אותה במהירות קבועה?

ג. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהולך לאיבוד חום נגד?

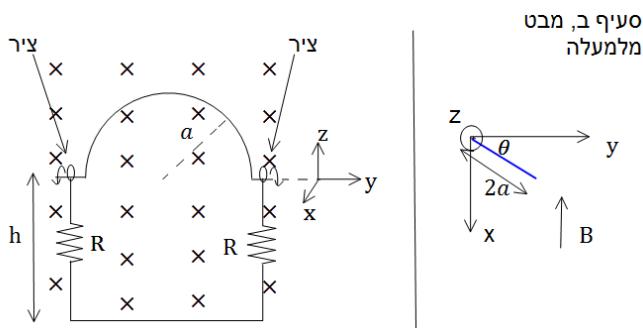
4) כבל מסתובב

במערכת הבאה ישנו כבל מוליך אידיאלי בצורת חצי מעגל ברדיוס a . בשתי הקצוות של חצי המעגל הכבול מחובר לצירים כך שניתן לו סובבו סביבים (סביב ציר ה- y בציור).

הצירים מחוברים למסגרת מלכנית בגובה $a > h$, המסגרת קבועה במקומות. בכל צד של המסגרת קיימים נגד R .

במרחב קיימת שדה מגנטי אחיד B לתוכן הדף (במינוס X).

ב- $t=0$ הכבול נמצא במצב המתוור בציור ומחילהים לו סובבו סביב הצירים (ציר ה- y) ב מהירות זוויתית ω (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל מתקדמות אלינו).



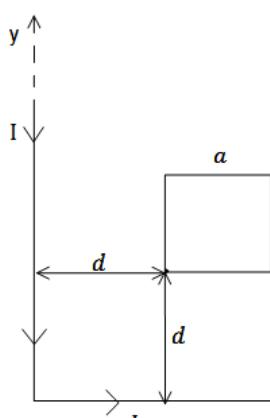
- מהו הזרם בכבול?
- נניח כי העמוד השמאלי של המסגרת נמצא בראשית וניתן לו סובבו את כל המערכת סביב עמוד זה.
- מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שהזרם יקטן פי 2.
- מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שההספק יקטן פי 2.

5) מסגרת נעה בין שני תילים

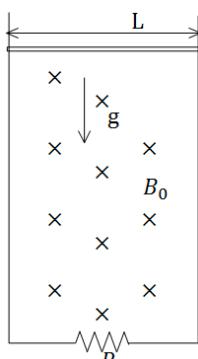
תיל אינסופי מכופף בזווית של 90° כך שחלק אחד של התיל נמצא על החלק החיובי של ציר ה- x והחלק השני על החלק החיובי של ציר ה- y (ראה סרטוט).

בתיל זורם זרם I קבוע, נגד השעון.

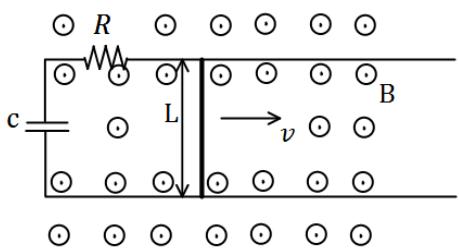
מסגרת מלכנית בעלת צלע a נמצאת ב- $t=0$ במשור $y-x$ כך שהפינה השמאלית התחתונה שלה מרוחקת מרחק d מכל חלק של התיל (ראה סרטוט). התנגדות המסגרת היא R .



- המסגרת נעה ב מהירות קבועה v ובזווית של 45° ביחס לציר ה- x .
- מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון.
 - מהו החוכ הפעול על המסגרת על מנת למשוך אותה ב מהירות קבועה?
 - מהו ההספק של החוכ ומהו ההספק שהולך לאיבוד חום בנגד?



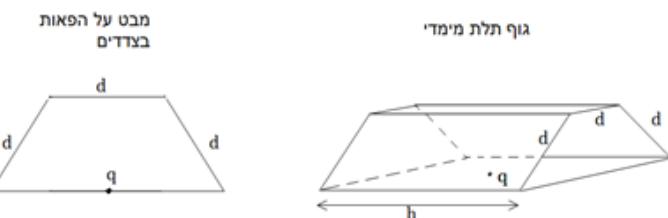
- 6) מוט מוליך מונח על מסילה אנכית ונופל בהשפעת כוח הכבידה. במרחב קיימת שדה מגנטי B לתוכה הדף. רוחב המסילה הוא L ומסת המוט היא M התנגדות המסילה קבועה ושויה ל- R .
- מצא את הכא"ם במעגל כתלות ב מהירות המוט v .
 - מצא את כיוון השדה המשורה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.
 - מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדין כתלות ב מהירות).
 - רשות משווה כוחות על המוט. מהי מהירות הסופית של המוט?
 - מצא את מהירות והזרם כפונקציה של הזמן.

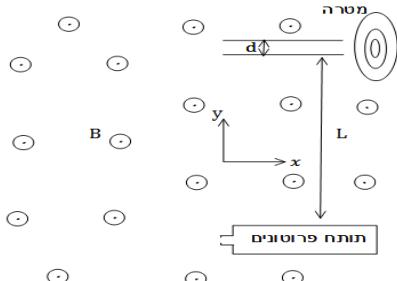


- 7) פארדי עם קבל ונגד ביחד מוט מוליך באורך L נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות קבועה בזמן v . במסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R וקבל בעל קיבול C . בכל המרחב קיימת שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

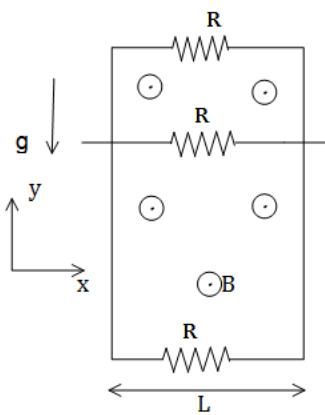
- מצא את הזרם במעגל גודל וכיוון (כתלות בזמן).
- מה הכוח בו צריך למשוך את המוט על מנת שיישאר ב מהירות קבועה?
- מצא מהו ההספק של הכוח הנ"ל (כתלות בזמן).
- מצא מהו ההספק נגד ובקבול (כתלות בזמן).
- הראה כי ההספק של הכוח החיצוני שווה להספק של הקבל והנגד. הסבר מדוע ההספקים שווים.

- 8) שטף דרכ' משושה
בציור ישנו גוף תלת מימדי שפאותיו בצדדים הם חצאי משושה שווה צלעות עם אורך צלע d . המרחק בין הפאות הוא h וידוע $h \gg d$.
מטען נקודתי q נמצא במרכז הבסיס של הגוף.
מצא את השטף דרכ' אחת הפאות המלבניות (באורך h ורוחב d).



**9) תותח פרוטוניים**

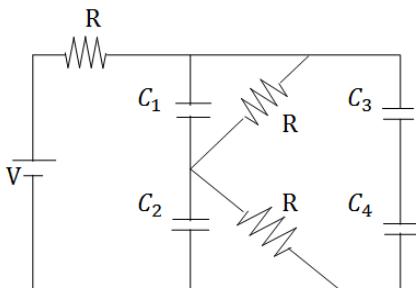
תותח פרוטוניים יורה פרוטוניים ב מהירות
שונות בכיוון מינוס ציר ה- x .
ב מרחק L מעל התותח נמצא קובל לוחות
כאשר המרחק בין הלוחות הוא $L \ll d$.
ב סוף הקובל נמצא מטרה.
ב מרחב קיימים שדה מגנטי B אחיד ובכיוון z .
מצא את המתח ש צריך להפעיל על הקובל על
מנת שהפרוטונים יפגעו במרכז המטרה.



10) נגד נופל במסגרת
מסגרת מלכנית מוליכה, אורך 매우 גבוה ובעל
רווח L , נמצא בשדה הכבוד.
אורכה נמצא על ציר ה- y ורוחבה על ציר ה- x .
בצלע העליון ובצלע התחתונה של המסגרת
קיימים נגדים עם התנגדויות זהה R .
מוחט מוליך בעל התנגדות זהה R מחלק לאורך
ציר ה- y על המסגרת.
מצא את מהירות הסופית של המוחט אם במרחב
קיים שדה מגנטי אחיד B בכיוון Z ונתונה מסת המוחט.

11) אנרגיה של קבליים

ב מעגל הבא נתון מתח המקור וההתנגדות הנגדים (זהה לכל הנגדים).



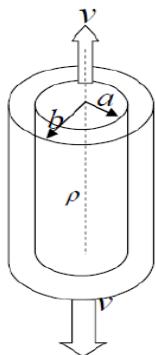
א. מצא את האנרגיה האגורה בקבליים

ב מצב העמיד אם נתון ש-

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$$

ב. כתע נתון שהגדילו את המרוחק בין
الלוחות של קובל C_3 פי 2 ולקובל
הכניסו חומר דיאלקטרי בעל מקדם
דיאלקטרי ϵ_r הממלא את כל הנפח
בתוך הקובל.

מצא שוב את האנרגיה האגורה בקבליים.

12) גליל וקליפה טעוניים ונעימים

במערכת הבאה ישנו גליל מבודד מלא ואינסופי ברדיוס a . מסביב לגלגל ישנה קליפה גלילית מבודדת דקה ברדיוס σ (לגלגל ולקליפה ציר מרכזי מסוות). צפיפות המטען יחידת נפח בתוך הגלגל היא ρ והוא אחידה, וצפיפות המטען יחידת שטח בקליפה היא σ והוא אחידה גם כן.

א. מצא מהו היחס $\frac{\rho}{\sigma}$ כך שהשدة מחוץ לקליפה יתאפס.

ב. מהו השדה החשמלי בכל המרחב?

ג. מהו הפוטנציאלי החשמלי בכל המרחב ומהו הפרש הפוטנציאלי בין הגלגל לקליפה?

cut מזינים את הגלגל במהירות קבועה v כלפי מעלה ואת הקליפה באויה מהירות כלפי מטה.

ד. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?

13) חור בתוך כדור

כדור שרדיויסו R טוען בנסיבות נתונה אשר שווה $-Cr^3 = \rho(r)$.

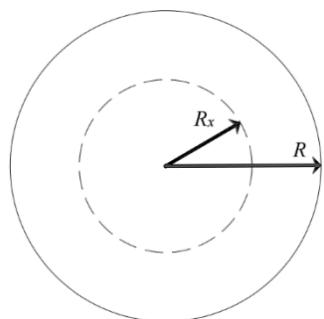
ידוע כי המטען הכלול של הכדור שווה Q .

א. מצא את הפרמטר C .

ב. מהי עוצמת השדה החשמלי בכל המרחב?

ג. מוצאים מהכדור ליבת כדורית שרדיויסה R_x אשר יוצר חלל פנימי אך שאר החומר עديין טוען כמו קודם. הפרמטר x אינו ידוע.

במצב החדש עוצמת השדה החשמלי בכל



התחום $R > x$ נחלשה פי 2.

מצא את עוצמת השדה החשמלי בתחום $R \leq x \leq R$

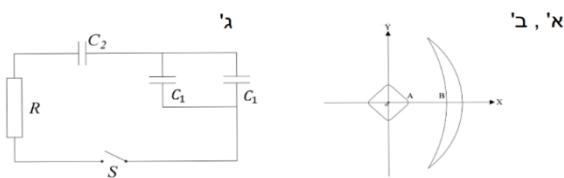
(אפשר אך אין חובה למצוא את R_x).

14) קבל לא סטנדרטי

בתרשים שלפנינו מתואר קבל הבניי משני גופים מוליכים לצורותם איננה סטנדרטיבית. הצירים x, y, z מוגדרים בשרטוט.

נתונות קואורדינטות של הנקודות A , B , $x_A = a$, $x_B = b$.

ידוע כי כאשר קבל זה טוען בטען q הפוטנציאלי על ציר x בין הנקודות A ו- B ניתן לפי הנוסחה $\varphi = \gamma q(x^2 + ax + bx)$.



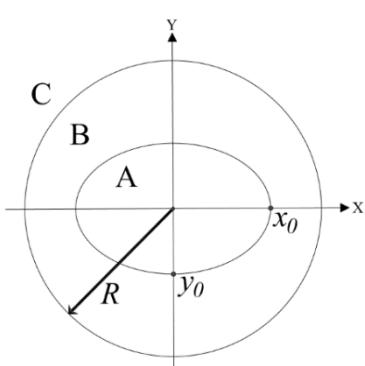
- א. מהו קיבולו של הקובל?
- ב. מלאים את הרכות שבין שני גופי הקובל בחומר דיאלקטרי, בעקבות זאת השדה בתוך הקובל משתנה וקטור השדה בנקודות של ציר z נתון לפי הנוסחה הבאה: $(zy^2, 2xy, x^2 + z^2) = \vec{E}$ מצא את קיבול הקובל במקרה זה.
- ג. טוענים את הקובל של סעיף א' ונותנים לו להתרפק דרך נגד R . כעבור 7 שניות, לאחר תחילת הפריקה נתון כי עוצמת הזרם במעגל ירדה פי 100. בניסוי נספַח מחרבים מעגל בשלושה קבועים כפי שרטוט 2 מראה, המעגל כולל 2 קבועים של סעיף א' (C_1) ועוד קבוע של הסעיף ב' (C_2). טוענים את הקובלים ונותנים להם להתרפק דרך אותו הנגד R . כמה זמן יעבור כתע מרגע סגירת המפסק ועד שהזרם יקטן פי 100.

15) מוליך לא סטנדרטי

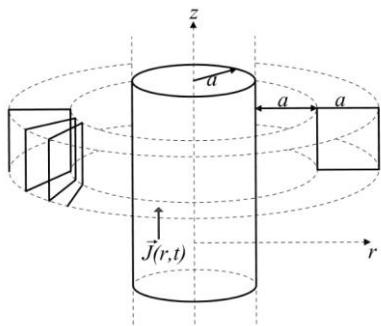
נתונה קליפה גלילית דקה שאינה מוליכה באורך אין סוף. בתוך הקליפה נמצא גוף נוספת, מוליך שאורכו גם אין סוף. באירוע מוצג חתך של המערכת, נסמן ב-A את שטח חתך המוליך, ב-B את התוחום בין המוליך לקליפה וב-C את התוחום שמחוץ למערכת. R הוא רדיוס הקליפה הגלילית אשר טעונה בצפיפות מטען אחידה σ . מערכת הצירים נבחרה כך שציר z מתלכד עם ציר הסימטריה של הקליפה (שימו לב כי צורת החתך המוצגת באירוע הינה להמחשה בלבד).

נתונה נקודת החיתוך $(0,0,x_0)$ של שפת המוליך עם ציר z ראו איור.

$$\vec{E}_C(x, y, z) = \frac{\sigma R(5x, y, 0)}{\epsilon_0(25x^2 + y^2)}$$



- א. מצאו את תרומתה של הקליפה הגלילית לווקטור השדה החשמלי בכל מקום במרחב. (כפונקציה של x ו- y).
- ב. קבלו ביטוי עבור וקטור השדה החשמלי בתחום A ובתחום B.
- ג. חשבו את הפרש הפוטנציאלי $\Delta\phi$ בין הנקודות $(0, y_0, z_0)$ הנמצאת אף היא על שפת המוליך לבין הנקודה $(R, 0, 0)$ שעלה הקליפה הגלילית.

**16) טורואיד מסביב לגליל עם זרם**

נתון גליל מוליך אינסופי שרדיווסו a החושה את הזרם $\hat{J} = crt^2$ (r, t) קבוע c חיובי.

א. מצא את וקטור השדה המגנטי בסביבתו החיצונית ($r > a$).

מקיפים את הגליל בסליל סגור בעל כרכיות

שצורתן ריבוע שאורך צלעותיו a נראה בשרטוט.

בעלת חתך ריבועי כמתואר על ידי הקווים המונוקדים.

הדופן הפנימית של הסליל מרוחקת מרחק a מעטפת הגליל.

בנוסף נתון שהסליל הוא תיל בעל רדיוס חתך $\frac{a}{100}$ והתנודות סגולית m .

ב. חשבו את השטף המגנטי דרך כריכה בודדת בסליל.

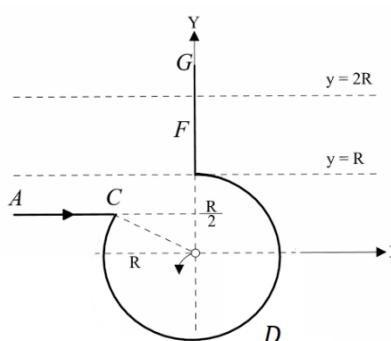
ג. חשבו את הזרם המשורה בסליל כפונקציה של הזמן וציינו את כיונו.

17) חישוב שדה של תיל מיוחד

תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיויסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים.

המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).

בתיל זרים זרם I , כיוון הזרם מסומן בשרטוט.



א. מהו גודלו וכיונו של וקטור השדה המגנטי במרכזו החלק המעגלי של התיל?

ב. חליק טעון עובר דרך מרכזו החלק המעגלי של התיל משלולו מטהעך עקב השפעת השדה המגנטי של התיל. צורת המסלול וכיונו התנועה נתונות בשרטוט. מהו סימן מטענו של החלקיק?

ג. בניסוי נוסף יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחומים $2R < y < R$.

חלק של התיל FG נמצא בתחום זה (ראו בשרטוט).

נתון וקטור השדה $(0,0, ay^2)$, כאשר הקבוע a נתון.

מהו הכוח המגנטי לשדה זה מפעיל על התיל?

18) משולש נכנס הפוך לשדה מגנטי

משולש מתכתי נכנס לאזור ברוחב a בו קיים שדה מגנטי אחיד B . מהירות המשולש קבועה בזמן t ונתונה כ- v .

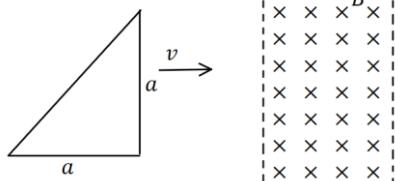
נתון כי הצלע הימנית של המשולש נכנסת לשדה ב- $t = 0$.

המשולש שווה שוקיים ואורך כל שוק הוא a . התנגדות המשולש היא R .

א. חשב את הכאים במסגרת כתלות בזמן t וצייר גרף (t) .

ב. מהו הספק איבוד האנרגיה?

ג. חשב את הכוח הדורש כדי שהמסגרת תנעה במהירות קבועה.

**19) מציאת צפיפות זרם בגליל אינסופי**

גליל אינסופי בעל רדיוס R מונח כך שצירו המרוצאי מקביל לציר ה- x . בתחום הגליל ישנו שדה

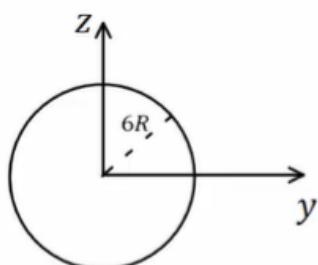
$$\text{מגנטי } \vec{B}(x, y, z) = \frac{\mu_0 J_0 R}{\sqrt{y^2 + z^2}} (-z\hat{y} + y\hat{z}).$$

התנגדות הסגולית של הגליל היא ρ_0 .

א. מצא את צפיפות הזרם בגליל.

ב. מהו השדה החשמלי בתחום הגליל?

ג. מהו השדה המגנטי מחוץ לגליל?



תשובות סופיות:

$$-\frac{KQ}{2R} \cdot 5 \text{ נ.} \quad -\frac{KQ}{6R} \cdot 13 \text{ נ.} \quad (1)$$

$$-6 \text{ נ.} \quad U = \frac{208}{3} \varepsilon_0 \text{ נ.} \quad 24\varepsilon_0 \text{ נ.} \quad (2)$$

$$\text{נ.} \quad I_1(t) = \frac{\mu_0 I_0 a V_1 \cos \theta}{2\pi} \left(\frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \text{ נ.} \quad (3)$$

$$P_{ext} = |F| |V_1| \cos \theta \text{ נ.} \quad \vec{F}_{ext} = \frac{-\mu_0 I_0 I_1 a}{2\pi} \left(\frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \hat{x} \text{ נ.} \quad (4)$$

$$\theta = 45^\circ \text{ נ.} \quad \theta = 60^\circ \text{ נ.} \quad I = \frac{B\pi a^2 \omega}{4R} \sin \omega t \text{ נ.} \quad (4)$$

$$\vec{F}_{ext} = \frac{-\mu_0 I_1 I_0 a}{4\pi} \left(\frac{1}{y_1+a} - \frac{1}{y_1} \right) (\hat{x} + \hat{y}) \text{ נ.} \quad I_1 = \frac{|\varepsilon|}{R} \text{ נ.} \quad (5)$$

$$P_{ext} = \frac{\mu_0 I_1 I_0 a}{4\pi} \left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_1+a} \right) V \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2 \text{ נ.} \quad P_R = I_1^2 R = P_{ext} \text{ נ.}$$

$$\text{ב. שדה מושרחה- בכיוון השדה הקיים, זרם} \quad |\varepsilon| = B_0 L v_y \text{ נ.} \quad (6)$$

$$v_{final} = \frac{mgR}{B_0^2 \cdot L^2} \text{ נ.} \quad F_B = -\frac{B_0^2 L^2}{R} v \hat{y} \text{ נ.} \quad \text{במעגל- בכיוון השעון.}$$

$$v(t) = \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) \frac{mg}{k}, \quad k = \frac{B_0^2 L^2}{R} \text{ נ.}$$

$$\vec{F}_{ext} = \frac{B^2 L^2 V}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \hat{x} \text{ נ.} \quad \text{עם השעון.} \quad I(t) = \frac{BLV}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \text{ נ.} \quad (7)$$

$$P_R = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} e^{-\frac{2t}{RC}}, \quad P_C = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} \left(e^{-\frac{t}{RC}} - e^{-\frac{2t}{RC}} \right) \text{ נ.} \quad P_F = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \text{ נ.}$$

ה. הוכחה.

$$\phi_{E_i} = \frac{q}{6\varepsilon_0} \quad (8)$$

$$V = \frac{qB^2 L d}{2m} \quad (9)$$

$$V = \frac{3Rmg}{2B^2 L^2} \quad (10)$$

$$U_T = \frac{1}{2} \varepsilon_r C \left(\frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} C \left(\frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{C}{3} \left(\frac{2}{3} V \right)^2 \text{ נ.} \quad U_T = 2C \left(\frac{V}{3} \right)^2 \text{ נ.} \quad (11)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho r}{2\epsilon_0} \hat{r} & 0 < r < a \\ \frac{\rho a^2}{2\epsilon_0 r} \hat{r} & a < r < b \\ 0 & b < r \end{cases} . \text{ ב. } \frac{\rho}{\sigma} = -\frac{2b}{a^2} . \text{ נ. (12)}$$

$$\varphi = \begin{cases} \frac{\rho r^2}{4\epsilon_0} + \frac{\rho a^2}{2\epsilon_0} \left(\ln \frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) & 0 < r < a \\ \frac{\rho a^2}{2\epsilon_0} \ln \frac{b}{a} & a < r < b \\ 0 & b < r \end{cases} . \text{ ג.}$$

$$\vec{B} = \begin{cases} \frac{\mu_0 V}{2} (\rho r) \hat{\theta} & 0 < r < a \\ \frac{\mu_0 V}{2} \left(\frac{\rho a^2}{r} \right) \hat{\theta} & a < r < b \\ \frac{\mu_0 V}{2} \left(\frac{\rho a^2 - \sigma 2b}{r} \right) \hat{\theta} & b < r \end{cases} . \text{ ד.}$$

$$E = \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} - \frac{KQ}{2r^2} . \text{ א. } E = \begin{cases} \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} & r < R \\ \frac{KQ}{r^2} & R < r \end{cases} . \text{ ב. } C = \frac{3Q}{2\pi R^6} . \text{ נ. (13)}$$

$$t = 12 \text{ sec} . \text{ ג. } C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \text{ ב. } C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \text{ נ. (14)}$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(5x, y, 0)}{(25x^2 + y^2)} - \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x, y, 0)}{(x^2 + y^2)} . \text{ ב. } \vec{E} = \frac{R\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x\hat{x} + y\hat{y})}{(x^2 + y^2)} . \text{ נ. (15)}$$

$$\Delta\varphi = \frac{4\sigma R}{5\epsilon_0} \ln \frac{R}{x_0} . \text{ ג.}$$

$$\phi_B = \frac{\mu_0 C t^2 a^4}{3} \ln 2 . \text{ ב. } \vec{B}(r, t) = \frac{\mu_0 C t^2 a^3}{3r} \hat{\theta} \quad r > a . \text{ נ. (16)}$$

$$. \text{ ג. נגד כיוון השעון. } I = \frac{\mu_0 C \cdot 2 \cdot \tau a^5 \ln 2 \cdot \pi}{3} \cdot 10^{-4} .$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} . \text{ ג.} \quad \text{ב. שלילי} \quad \vec{B}_z = \frac{0.396 \mu_0 I}{R} \hat{z} . \text{ נ. (17)}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} BV(a - Vt) & t \leq \frac{a}{V} \\ BV(2a - Vt) & \frac{a}{V} \leq t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ נ } (18)$$

$$P(t) = \begin{cases} (BV(a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R} & t < \frac{a}{V} \\ (BV(2a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R} & \frac{a}{V} < t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ ז}$$

$$F = \begin{cases} (BV(a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R \cdot V} & t < \frac{a}{V} \\ (BV(2a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R \cdot V} & \frac{a}{V} < t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ ג}$$

$$\vec{E} = \rho_0 J_0 R \cdot \frac{1}{r} \hat{z} \quad r < 6R . \text{ ג} \quad \vec{J}(r) = \frac{J_0 R}{r} \hat{z} \quad r < 6R . \text{ נ } (19)$$

$$B = \frac{\mu_0 J_0 6R^2}{r} \quad r > 6R . \text{ ג}$$