

# פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250



$$\begin{matrix} & \sqrt{2} \\ 1 & & & 1 \\ & 1 \end{matrix}$$
A diagram showing a square divided into four triangles, illustrating the Pythagorean theorem or the ratio  $\sqrt{2}$ .



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



## תוכן העניינים

1.	מבוא מתמטי .....	1
2.	חוק קולו-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	3
3.	חוק גאוס-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	10
4.	פוטנציאל-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	19
5.	מציאות התפלגות מטען-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	31
6.	אנרגיה הדروשה לבניית מערכת-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	33
7.	מעגלים עם זרם ישן-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	35
8.	חומרים דיאלקטריים-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	39
9.	קבלים-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	41
10.	מבנה הנגד וצפיפות זרם - רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	55
11.	חוק לורנץ וכוח על תייל נושא זרם - רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	59
12.	חוק ביו סבר-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	67
13.	חוק אמפר-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	71
14.	טרנספורמציה יחסותית של השדות עם נסחאות מלאות-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	74
15.	חוק פאראדי-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	75
16.	שדות משתנים בזמן-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	85
17.	וקטור פויינטינג והאנרגיה האגורה בשדות-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	88
18.	מציאות צפיפות זרם משדה מגנטי נתון - רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	90
19.	השראות - לעבור באופן שטחי .....	91
20.	מעגלי זרם חילופין-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	94
21.	משוואות מקסואל-רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	98
22.	דיפול חשמלי - רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	100
23.	דיפול חשמלי - רלוונטי למומ&lt;math>\alpha</math>; .....	61

## תוכן העניינים

24. חומרים דיאלקטריים ברמה יותר מסובכת-רלוונטי לממ&sqn; ג' 61 .....	102
25. מומנט דיפול מגנטי-רלוונטי לממ&sqn; ג' 61 .....	108
26. תרגילים ברמת מבחן .....	110

# פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

## פרק 1 - מבוא מתמטי

### תוכן העניינים

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

## 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  $r$ , מצא את כמות המטען שהוצאה מהדסקה.

**2) מטען כולל בכדור**

מצא את המטען הכלולxcdor בכדור בעל רדיוס  $R$  וצפיפות מטען  $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$

**תשובות סופיות:**

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

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

## קוואורדינטות:

**שאלות:**

**1) שטח דיסקה**

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

**2) חישוב נפח כדור**

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

**תשובות סופיות:**

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

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

# פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

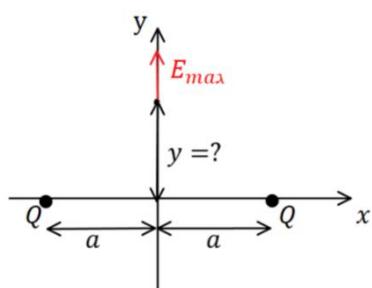
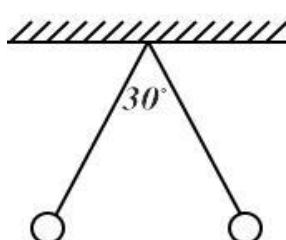
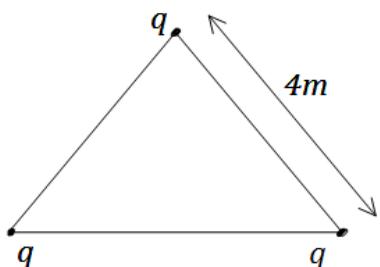
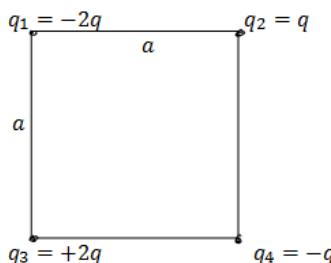
פרק 2 - חוק קולון-רלוונטי למומ"נ 11

## תוכן העניינים

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

## חוק קולון וסופרפוזיציה:

**שאלות:**



### 1) מטען בפינת 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  $30^\circ$  מעלות.  
מצא את מטען הכדורים.

### 4) שדה מקסימלי בין שני מטענים

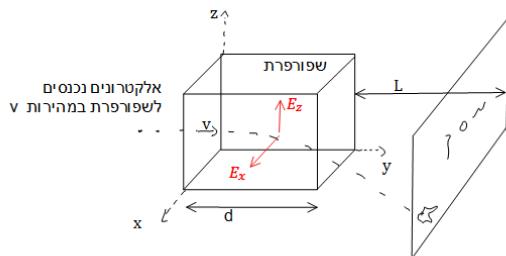
שני מטענים בעלי מטען זהה  $Q$  נמצאים על ציר ה-  $x$  בנקודות  $(0, 0)$  ו-  $(-a, 0)$ .  
א. מצאו את הנקודה על ציר ה-  $y$  כלומר  $(0, y)$  שבה השדה החשמלי  
מקסימלי.

ב. מה גודל השדה בנקודה זו?

ג. באיזה נקודה השדה מקסימלי בציר ה-  $x$ ?

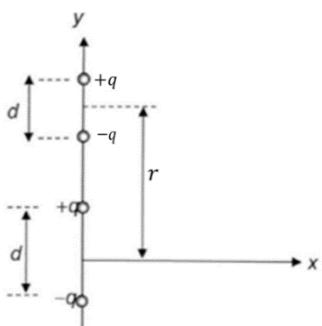
**5) שפופרת טלויזיה**

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

**6) דיפול מפעיל כוח על דיפול**

דיפול חשמלי מרכיב משני מטענים נקודתיים  $\pm q$

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



א. חשבו את השדה החשמלי שיוצר הדיפול

בנקודה  $(0, y, 0)$  שעל ציר ה- $y$ .

ב. השתמשו בתוצאות הסעיף הקודם וחשבו את

הכוח שמאפיין הדיפול הנ"ל על דיפול נוסף

שטען גם כן  $\pm q$  הממוקם זה מזה

מרחק  $d$  (המצוי 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:

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

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

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

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

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

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

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

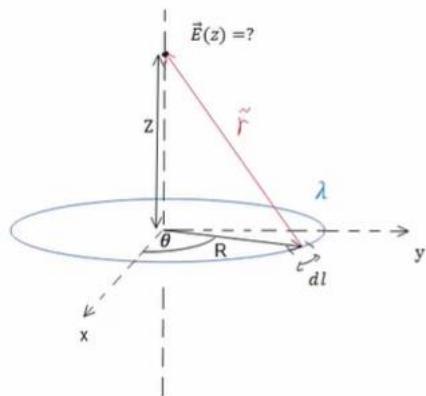
$$\vec{F} = -\frac{6d^2 k q^2}{r^4} \hat{y} \cdot \lambda$$

## התפלגות מטען רציפה:

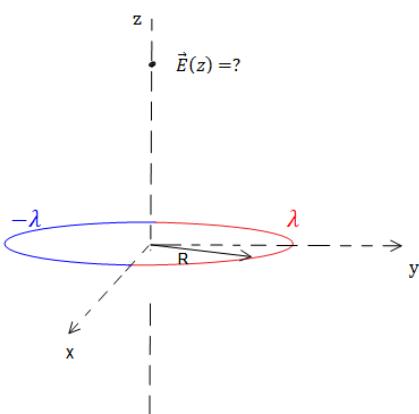
שאלות:



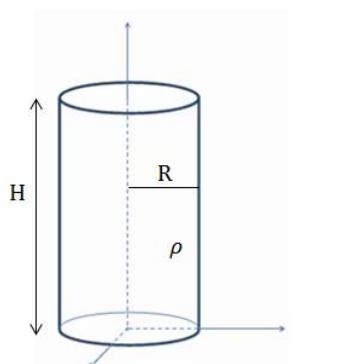
- 1) **התפלגות מטען רציפה-תיל מכופף**  
תיל אינסופי המטען בцепיפות מטען  
לייח' אורך  $\lambda$  מכופף לחצי מעגל  
בעל רדיוס  $R$ .  
מצא את השدة במרכז חצי המעגל.



- 2) **שדה של טבעת וdiska**  
נתונה טבעת בעל רדיוס  $R$  וצפיפות מטען  
לייח' אורך  $\lambda$ .  
א. חשב את השדה של טבעת ברדיוס  $R$   
הטעינה בcepיפות מטען לייח' אורך  $\lambda$  לארוך ציר הסימטריה של  
הטבעת.  
ב. חשב את השדה החשמלי של Diska  
ברדיוס  $R$  הטעינה בcepיפות מטען  $\sigma$   
לאורך ציר הסימטריה של הדיסקה.



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



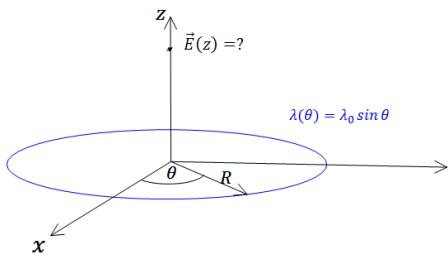
- 4) **שדה של גליל מלא**  
ගליל מלא בעל רדיוס  $R$  וגובה  $H$  טוען בcepיפות מטען  
אחד ליח' נפח  $\rho$ .  
מצא את השدة לאורך ציר הסימטריה של הגליל  
(בתוך ומוחוץ לגליל).

**5) טבעת עם צפיפות לא אחידה**

טבעת ברדיוס  $R$  טעונה בצפיפות מטען משתנה תלוי בזווית  $\theta$  על ציר  $-x$ .

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

$\lambda_0, R$  קבועים נתונים.

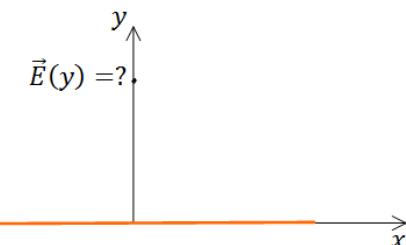


א. מהו סך המטען על הטבעת?

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

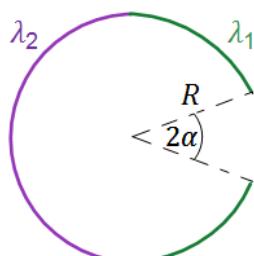
ג. מצא מהו השדה החשמלי מעור R >> z.

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

**6) שדה של תיל סופי**

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

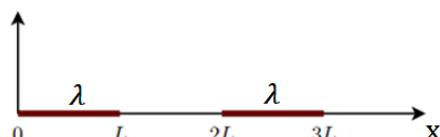
חשב את השدة החשמלי לאורך ציר המאונך לתיל והעובר במרכזו.

**7) שדה של טבעת עם חלק חסר**

במערכת הבאה ישנה טבעת ברדיוס R שהחצי הימני טוען בצפיפות מטען  $\lambda_1$  וחצייה השמאלי טוען בצפיפות מטען  $\lambda_2$ .

לחצייה הימני חסר חלק באורך קשת הנשען מול הזווית  $2\alpha$ .

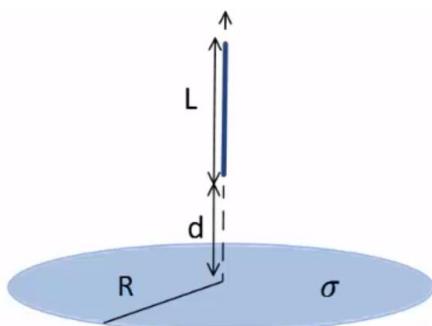
מצא את השدة במרכז הטבעת.

**8) כוח של מוט על מוט**

שני מוטות בעלי אורך L טוענים בצפיפות מטען אחידה ליחידה אורך  $\lambda$ .

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 מטען איחידה ליחידת שטח  $\sigma$ . מוט באורך  $L$  מונח לאורך ציר הסימטריה של הדסקה וגובה  $d$  מעל מרכזה (ראה איור). המוט טוען בצפיפות מטען איחידה ליחידת אורך  $\lambda$ . מצא מה הכוח שפעיל המוט על הדסקה.

**10) חרוט קטום\*\***

מטען  $q$  נמצא בקודקודו של משטח בצורת חרוט בעל חצי זווית מפתח השווה לש- $\theta$  ואורך הקו היוצר הוא  $l$  (ראו איור). החרוט טוען בצפיפות מטען איחידה ליחידת שטח  $\sigma$ . 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, המשטח של טבעת אינפיניטיסימלית בעובי  $dr$  הנמצאת במרחב  $r$  מקודקוד החרוט הוא:  $dS = 2\pi r \sin \theta dr$  בקורסיניות כדוריות).

ג. עבור איזו זווית  $\theta$  הכוח מקסימלי? מה קורה כאשר:  $\theta = ?$

### תשובות סופיות:

$$0 \quad (1)$$

$$2\pi k\sigma z \left( \frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) . \quad \text{ב.} \quad \frac{k\lambda R\pi z}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \begin{cases} \hat{z} & z > 0 \\ -\hat{z} & z < 0 \end{cases} . \quad \text{א.} \quad (2)$$

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

$$2\pi\sigma k \quad (4)$$

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

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

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

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

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

- (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. החירות הקטום הופך לדיסקה עם חור והשדה במרכז מתאפס.

# פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

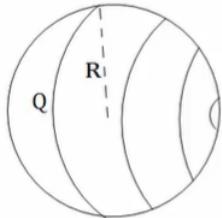
פרק 3 - חוק גאוס-רלוונטי לממ&quot;ן 11

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  $\lambda$ .  
 מצא את השדה במרחב.



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

- 5) שדה של כדור עם צפיפות לא אחידה**  
 נתון כדור בעל רדיוס  $R$  וצפיפות התלויה במרחק ממרכז  

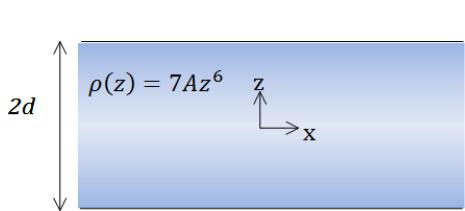
$$\text{הכדור. } z \text{ קבוע ונתון: } \rho_0 = \frac{r}{R} \cdot \rho.$$
  
 מצא את התפלגות השדה במרחב (בתוך ומחוץ לכדור).



- 6) לוח עם עובי**  
 נתון מישור בעל שטח  $A$  ועובי  $d$ .  
 המישור טוון בцеיפיות מטען קבועה  

$$\text{ליחידה נפח } \rho.$$
- א. מצא את השדה רחוק מאוד 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 שцеיפיות המטען במישור חיובית.

**7) מישור עבה עם צפיפות משתנה**

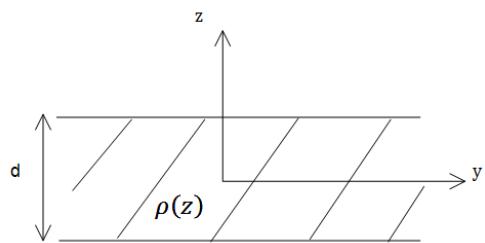
מישור אינסופי בעובי  $d$  טוון בце<sup>פיפות</sup> מטען משתנה  $7Az^6 = \rho(z)$ , כאשר  $A$  קבוע נתון.

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**

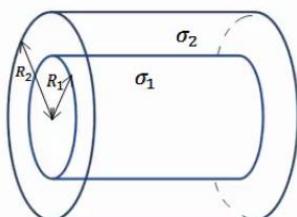
מישור אינסופי בעל עובי  $d$  טוון בце<sup>פיפות</sup> מטען כתלות במרחב ממritz המישור  $Az = \rho(z)$ ,  $A$  קבוע נתון.

מצא את השדה החשמלי בכל המרחב שיווצר המטען במישור.



## תרגול נוסף:

שאלות:



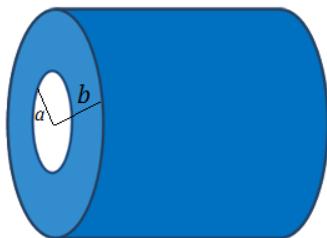
- 1) **שתי קליפות גליליות חלולות**  
נתונות שתי קליפות (חלולות) גליליות אינסופיות בעלות ציר סימטריה משותף.

רדיוס הקליפה הפנימית הוא  $R_1$

וכפיפות המטען המשטחית בה היא  $\sigma_1$ .

רדיוס הקליפה החיצונית הוא  $R_2$  וcanfipot המטען בה היא  $\sigma_2$ .

מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.



- 2) **קליפה גלילית עבה**

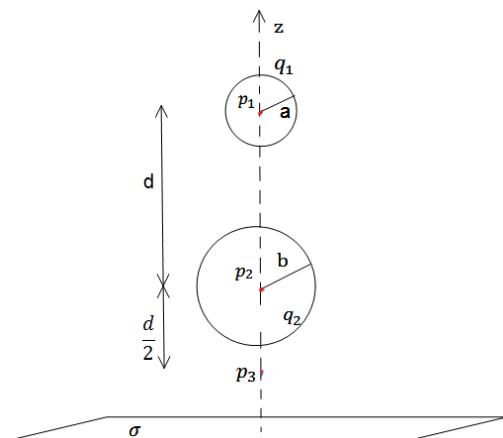
קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי  $a$ , רדיוס חיצוני  $b$  וגובה  $H$  טעונה בcanfipot מטען

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

המרחק מציר הסימטריה 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  $b < a$ , נמצאות במרחק  $d > 2b$  אחד מעל השני.

הקליפות טענות במטעןים  $q_1$ ,  $q_2$  בהתאם.

במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחת

לקlijfa התחתונה (עם רדיוס  $b$ ) מונח מישור

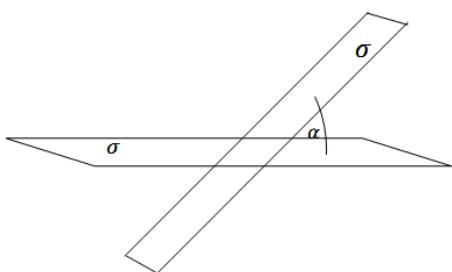
אינסופי הטוען בcanfipot מטען ליחידת שטח  $\sigma$ .

מצא את השדה בנקודות הבאות.

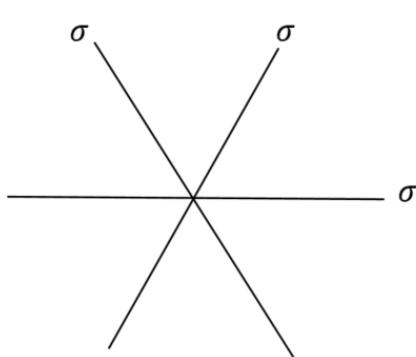
א.  $k_1$  הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס  $a$ .

ב.  $k_2$  הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס  $b$ .

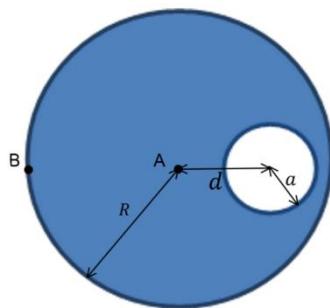
ג.  $k_3$  הנמצאת במרכז  $\frac{d}{2}$  מתחת למרכז הקליפה התחתונה אך מעל המישור.

**4) שני מישורים בזווית**

- שני מישורים אינסופיים טעונים בזווית מטען- לייחידת שטח  $\sigma$ . המישורים נמצאים בזווית  $\alpha$  אחד מהשני.
  - מצא את השدة החשמלי בין המישורים ומעל המישור האופקי.
  - מצא את השدة מעלה המישורים.

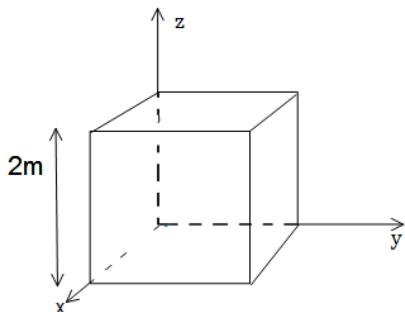
**5) שלושה לוחות בזווית**

- באיור מתוארת מערכת של שלושה לוחות אינסופיים (אינסופיים פנימה והחוצה מהדף) בעלי צפיפות מטען משטחית זהה  $\sigma$ .
- חשבו את השدة בכל נקודה במרחב על ידי סופרפויזיציה של השדות של כל לוח בנפרד.
  - חשבו את השدة החשמלי על ידי שימוש בחוק גאוס, הסבירו מדוע חוק גאוס יסימ ב מקרה זה.
  - חשבו את השدة החשמלי במרחב עבור המקרה של  $N$  משטחים המחלקים את המרחב בזווית שווה. כמה תצטמצם תשובהכם עבור  $1 \gg N$ ? השתמשו ב-  $\theta \approx \theta_{\text{sin}}$ , כאשר  $1 \ll \theta$ .
  - כאשר  $N$  גדול מאוד, המערכת הופכת להיות מטען עם צפיפות מטען נפחית התלויה במרחב מנקודת (או קו) החיתוך.
- מהי צפיפות המטען כתלות במרחב מנקודת (או קו) החיתוך ( $r$ )?

**6) כדור עם חור**

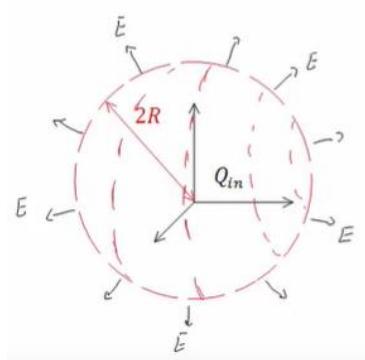
בתוך כדור הטוען בцеיפות מטען אחידה  $\rho$  קיים חלל כדורי בעל רדיוס  $a$ . המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא  $d$ , רדיוס הכדור הגדל הוא  $R$

- מצאו את השدة בנקודה A.
- מצאו את השدة בנקודה B.
- \*. מצאו את השدة החשמלי בתוך החלל (בכל נקודה).

**7) שטף דרך קובייה**

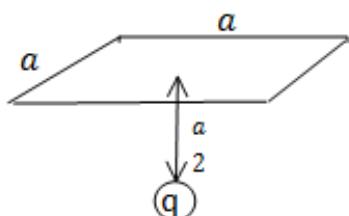
נתון שדה במרחב:  $\vec{E} = -6\hat{x} + (2 - 3y)\hat{y}$ .

- חשב את השטף העובר דרך צלעות קובייה הנמצאת ברביע הראשון כך שאחד מקדקודיה בראשית ואורך צלעה 2m.
- מהו המטען הכלוא בתחום הקובייה?

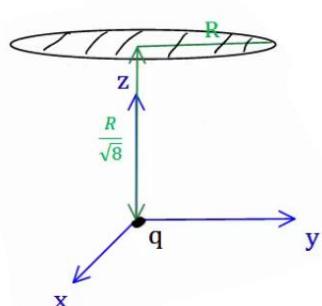
**8) מטען כלוא**

נתונה פונקציית השדה החסמי  $\hat{E} = \frac{\rho_0 R^3}{\epsilon_0 (r^2 + R^2)} \hat{r}$ .

כאשר  $R$ ,  $\rho_0$  קבועים נתונים, ו- $r$  הוא המרחק מהראשית בקו אורדינטוט כדוריות, מצא את כמות המטען הכלוא בתחום מעטה כדורית בעלת רדיוס  $2R$ .

**9) שטף דרך משטח ריבועי**

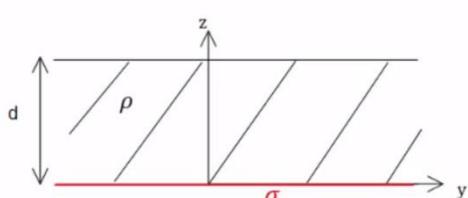
מצא את השטף העובר דרך משטח ריבועי (לא טעון) בעל צלע באורך  $a$  הנמצא בגובה  $\frac{a}{2}$  מעל מטען נקודתי  $q$ .

**10) שטף דרך מעגל**

טען  $q$  נמצא בראשית הצירים.

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

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

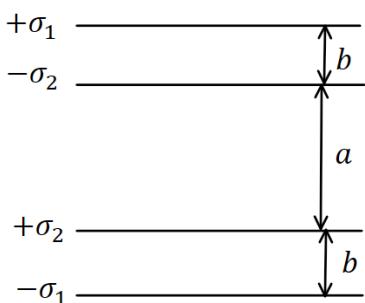
**11) מישור עבה צמוד למישור דק**

מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען

אחדית  $\sigma$  נמצא על מישור  $u-x$ .

מישור אינסופי נוסף בעל עובי  $d$  טעון בצפיפות מטען אחדית  $\rho$ , מונח מעל

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

**12) ארבעה לוחות**

במערכת הבאה ישנו ארבעה לוחות טעוניים בצפיפות מטען  $\frac{c}{m^2}$ .  $\sigma_1 = 0.05 \frac{c}{m^2}$ ,  $\sigma_2 = 0.02 \frac{c}{m^2}$ ,  $a = 3 \text{ c. m}$ ,  $b = 1 \text{ c. m}$ . כפי 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 בצדדי הלוחות).

ב. משחררים פרוטון ממנוחה מהלוּה  $2\text{-}\sigma$ . כמה אנרגיה קינטית "ירוויח" מן המערכת? (הנחה 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. המטען הכלול על הלוח התחתון הוא:  $c^{-6} \cdot 6 = Q$  והטען הכלול על הלוח העליון זהה בגודלו והפוך בסימנו. משחררים אלקטרון 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 התחתון?

ב. מהי מהירותו בזמןפגיעה בלוח?

ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון ברגע הפגיעה?

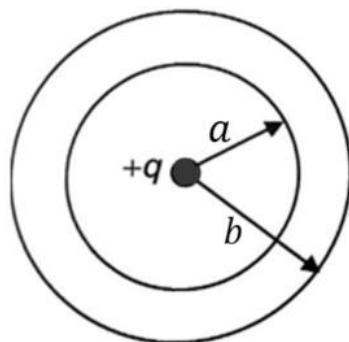
**14) קליפה כדורית עבה עם צפיפות משתנה**

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  $\alpha$  על מנת שהשدة בתחום  $a < r < b$  יהיה קבוע, כלומר בלתי תלוי במרחב.



### תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# פיזיקה 2 חטמל ומגנטיות 20250

## פרק 4 - פוטנציאל-רלוונטי לממ&quot;ן 11

### תוכן העניינים

19	1. מהו פוטנציאל
20	2. שיטה 1, סופרפוזיציה
21	3. תרגילים נוספים
28	4. שיטה 2, שאלות חוק גאוס
30	5. שיטה 3, חישוב מפורש

## מהו פוטנציאל:

שאלות:

1) **עובדת להביה מטען מה אין סוף**

מהי העבודה הדרישה להביה מטען  $C = 2 \cdot 10^{-6} C$

מה אין סוף למרחק  $r = 50 cm$  מטען

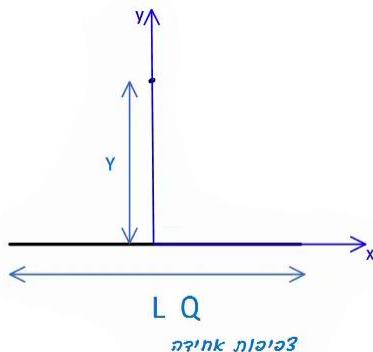
המקובע במקום?

**תשובות סופיות:**

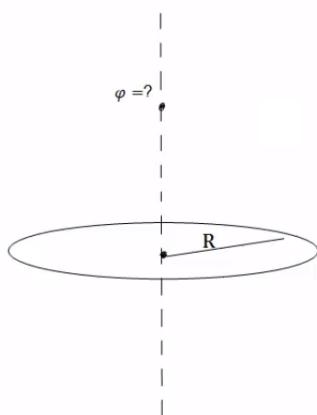
$$W = 108 \cdot 10^{-3} J \quad (1)$$

## שיטת 1, סופרפוזיציה:

שאלות:



- 1) **שיטת ראשונה, סופרפוזיציה**  
 תיל באורך  $L$  טוען בטען כולל  $Q$  המפולג בתיל בצורה אחידה. 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 צפיפותטען ליחידת אורך  $\lambda$  לאורך ציר הסימטריה.

תשובות סופיות:

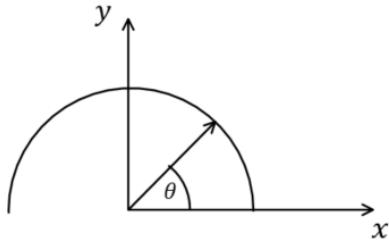
$$\varphi = k\lambda \ln \left| \frac{\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}}{-\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}} \right| \quad (1)$$

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

## 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 נמצאת בחלק החיוובי של ציר ה- $y$  (ראו איור).

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

מצאו את הפוטנציאל בראשית.

**2) ייצורasis קירויים**

בשנת 1944 המדענים גלו סיבורג (חתן פרס נובל לכימיה), ראלף ג'יימס ואלברט גיורסו ייצרו לראשונה את היסוד הכימי שמספרו 96 וקרו לו "קיוריום" על שם מארי קרי. 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 :  $m^{-15} = R$ , 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  $\text{J}$  וגם ביחידות  $\text{eV}$ .

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

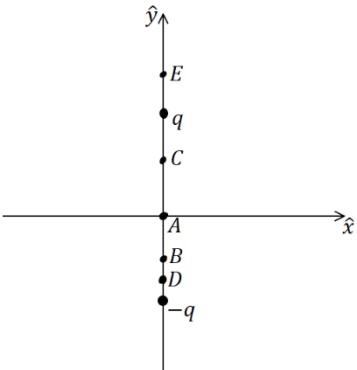
$$\text{הבאות: } \vec{r}_A = 0, \vec{r}_B = -\frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_C = \frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_D = -\frac{3}{4}a\hat{y}, \vec{r}_E = \frac{3}{2}a\hat{y}$$

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  $\varphi$  (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  $x$ .

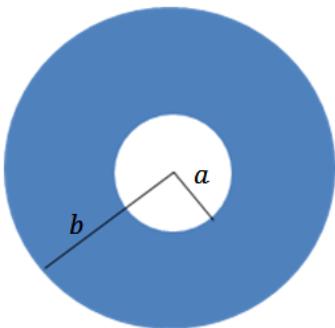
ציינו את המיקומים של נקודות בהן הפוטנציאל ידוע ואת ערכו בהן.

**(5) מטען על השפה בצורה לא אחידה**

מטען  $Q$  מפוזר בצורה לא אחידה על שפה של קליפה כדוריית ברדיוס  $R$ .

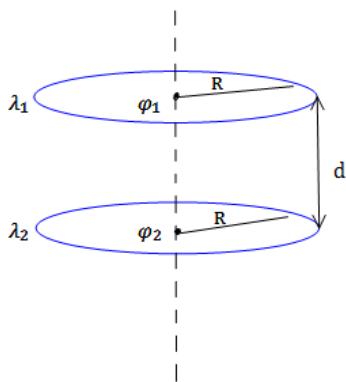
א. מה הפוטנציאל במרכז הקליפה?

ב. האם ניתן לחשב את הפוטנציאל על השפה?

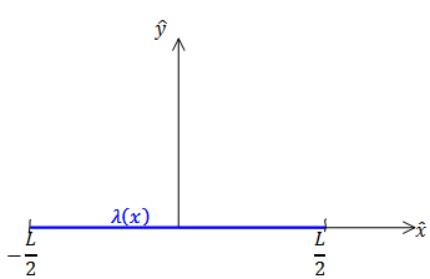
**6) דסקה עם חור**

בדסקה בעלת רדיוס  $b$  קדחו חור במרכזו ברדיוס  $a$ . הדסקה טעונה בCAF מטען יחידת שטח:  $\sigma = \frac{D}{r^2}$ ,  $D$  קבוע לא נתון.

- מצא את היחידות של  $D$ .
- מצא את  $D$  אם נתון גם המטען הכלול בדסקה  $Q$ .
- מצא את הפוטנציאל במרכז הדסקה.
- בדוק מה קורה בגבול של  $b \rightarrow a$ .

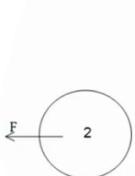
**7) טבעת מעל טבעת**

שתי טבעות זהות בעלות רדיוס  $R$  מונחות האחת מעל ובקבילים לשנייה כך שהמרחק ביןיהן הוא  $d$ . הטבעת העליונה טעונה בCAF מטען יחידת אורך  $\lambda_1$  ונתון כי הפוטנציאל במרכזו הוא  $\varphi_1$ . הטבעת התחתונה טעונה בCAF מטען יחידת אורך  $\lambda_2$  ונתון כי הפוטנציאל במרכזו הוא  $\varphi_2$ . 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:  $\lambda(x) = \lambda_0 \frac{x}{L}$ .

- מצא את המטען הכלול בתיל.
- מצא את הפוטנציאל על ציר ה- $x$  למעט בתחום בו נמצא התיל.

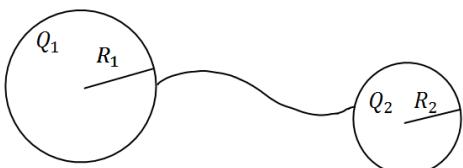
**9) כדור זז מחבר בין שני כדורים**

הכדורים 1 ו-2 בתמונה הם מוליכים המקובעים במקומות וטעונים במטען זהה. הנח שהכדורים מאד 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. לבסוף מרחיכים את הכדור השלישי לגמרי. מהו הכוח בין הכדורים 1 ו-2 לאחר כל התהליך?

**10) שני כדורים מוליכים מחוברים בחרוט**

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

מחברים בין הבודדים באמצעות חוט מוליך.



א. מה יהיה המטען על כל כדור

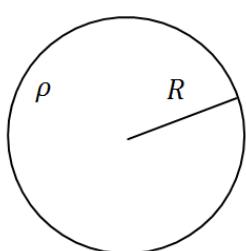
לאחר זמן רב?

ב. כמה מטען זרם דרך החוט

ולאייזה כיוון?

**11) פוטנציאל של גליל מלא טעון בצפיפות אחידה**

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של גליל אינסופי  
ברדיוס  $R$  וצפיפות מטען אחידה ונתונה  $\rho$ .

**12) חור במישור**

לוח אינסופי בעובי  $d$  טעון בצפיפות מטען

אחידה וחיבורית ליחידת נפח  $\rho$ .

בתוך הלוח ישנו חלל כדורי בקוטר  $d$ .

א. חשב את השדה החשמלי בנקודות:

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

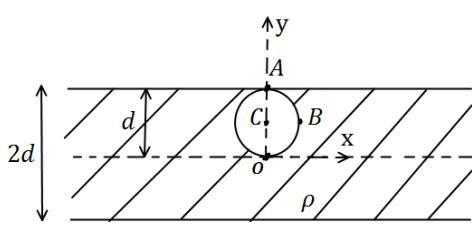
ב. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין

הנקודות A ו-B.

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

ה. לאייזה כיוון יתחיל לנوع המטען אם מתעלמים מהשפעת כוח הכבוד?

ii. מהי מהירות המטען רגע לפני שהוא מגיע לדופן החלל?

**13) כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת**

כדור מוליך בעל רדיוס  $R_1$  טעון בטען  $Q_1$ .

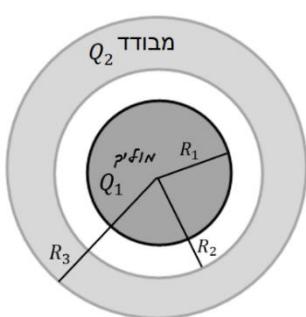
הכדור נמצא במרכז הקליפה של קליפה כדורית מבודדת

בעל רדיוס פנימי  $R_2$  ורדיוס חיצוני  $R_3$ .

הקליפה טעונה באופן הומוגני בטען  $Q_2$ .

א. חשב השדה החשמלי והפוטנציאל בכל המרחב.

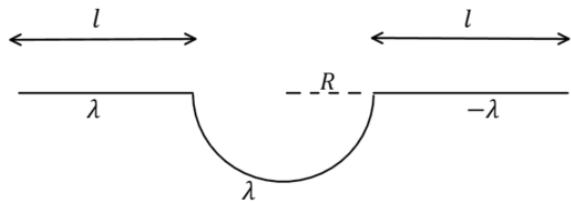
ב. חזר על החישוב הזה במקרה שבו הכדור מוארך.



**14) שדה ופוטנציאל במרכז של תיל עם חצי עיגול**

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

- א. מצאו את  $\lambda$  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:**

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

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

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

$$y = 0 \quad \text{ב.} \quad \text{א. ראה סרטוון} \\ \text{ד. ראה סרטוון} \quad \text{ג. ראה סרטוון} \quad (3)$$

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

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

$$0.27 \frac{kq}{a} \quad \text{ה. איפוס השדה:} \quad x_2 = -3.73a, \quad \text{ה. ראו סרטוון.}$$

$$\text{ב. לא} \quad \frac{kQ}{R} \quad \text{א.} \quad (5)$$

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

$$\frac{kQ}{a} \cdot \tau$$

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

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

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

$$\text{ב. אם } \frac{Q_1}{Q_2} > \frac{R_1}{R_2} \quad \text{או המטען עבר משמאלי לימין,} \quad q'_2 = \frac{R_2(Q_1 + Q_2)}{R_1 + R_2} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$\text{אם } \frac{Q_1}{Q_2} < \frac{R_1}{R_2} \quad \text{או עבר מימן לשמאלי.}$$

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

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

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

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

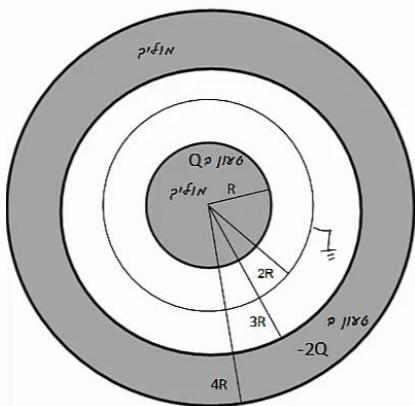
$$\varphi(r) = \begin{cases} C_1 & r < R_1 \\ \frac{kQ_1}{r} + C_2 & R_1 < r < R_2 \\ \frac{kQ_1}{r} - \frac{kQ_2 r^2}{2(R_3^3 - R_2^3)} - \frac{kQ_2 R_2^3}{(R_3^3 - R_2^3) r} + C_3 & R_2 < r < R_3 \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r} + C_4 & R_3 < r \end{cases} \text{ ב.}$$

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

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

## 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 כד/orית 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  $Q$ ,  $R$ ,  $2R$ ,  $3R$ ,  $4R$  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  $Q$  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 נמצא קליפה גלילית עבה מוליכה, בעלת רדיוס פנימי  $2R$  ורדיוס חיצוני  $3R$ .  
 אורך הקליפה הוא  $L$  גם כן.  
 הקליפה טעונה בטען  $-4Q$  כולל של  $Q$ .  
 סביב הקליפה העבה נמצא 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 למרחק  $r=2R$ . 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 למרחב.

### תשובות סופיות:

**התפלגות: ראה סרטון**

$$\varphi = \begin{cases} C_1 & r < R \\ \frac{kQ}{r} + C_2 & R < r < 2R \\ \frac{k(Q+q)}{r} + C_3 & 2R < r < 3R \\ C_4 & 3R < r < 4R \\ \frac{k(q-Q)}{r} + C_5 & 4R < r \end{cases} \quad (1)$$

$$\varphi = \begin{cases} \frac{KQ}{R} & r < R \\ \frac{KQ}{r} & R > r \end{cases} \quad (2)$$

**ראה סרטון**

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

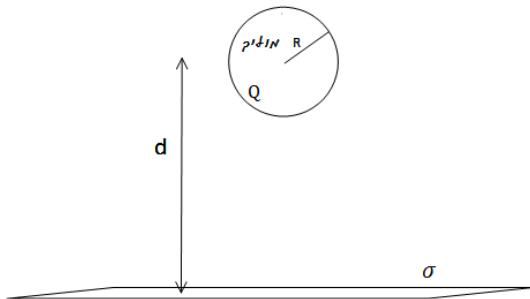
$$v = \sqrt{\frac{|e| Q \ln 2}{\pi L \epsilon_0 m_p}} . \lambda$$

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

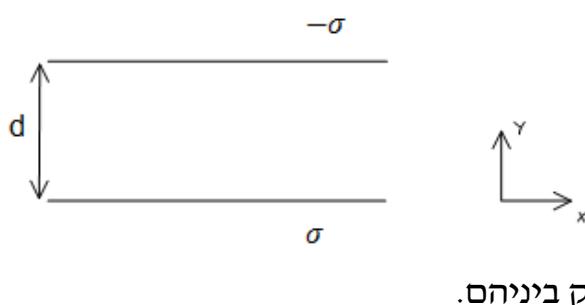
$$E = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_o} \hat{r} & r < R \\ \frac{\rho R^3}{3\epsilon_o r^2} \hat{r} & R < r \end{cases} . \text{א} \quad (4)$$

### שיטת 3, חישוב מפורש:

**שאלות:**



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



- 2) **מתוך בין לוחות**  
 מצא את הפרש הפוטנציאליים בין  
 שני לוחות, כאשר לוח אחד טוען  
 בצפיפות מטען אחידת ליחידה  
 שטח  $\sigma$  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:**

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

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

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 5 - מציאת התפלגות מטען-רלוונטי למספרות 11 ו 12

תוכן העניינים

1. מציאת התפלגות מטען .....

31 .....

## 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 התליוי 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 כדוריות**  
השדה החסמי במרחב נתון לפי הפונקציה הבאה :

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

הקוורדינטות כדוריות.  
מצאו את התפלגות המטען במרחב ותארו את המבנה שלו.

**תשובות סופיות:**

(1) ראה סרטון.

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

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

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

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 6 - אנרגיה הדרישה לבנית מערכת-RELONETI למשך&quot; 11 ו 12

### תוכן העניינים

33 .....	1. הרצאה .....
34 .....	2. תרגילים .....

**הרצאה:****שאלות:****1) הסבר נוסחאות ודוגמה**

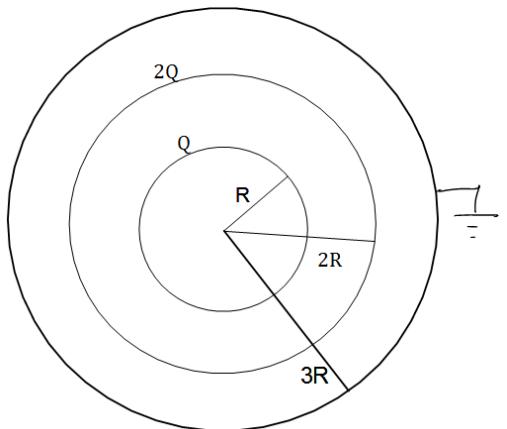
מצא את האנרגייה הדרישה לבניית קליפה כדורית בעלת רדיוס R וצפיפות מטען משטחית  $\sigma$ .

**תשובות סופיות:**

$$U = \frac{1}{2} \frac{KQ^2}{R} \quad (1)$$

## תרגילים:

### שאלות:



- 1) אנרגיה של מערכת שלוש קליפות**  
 קליפה כדורית ברדיוס  $R$  טעונה בטען  $Q$  המפלה בצורה איחוד. הקליפה מוקפת קליפה נוספת בברדיוס  $2R$  הטעונה בטען  $2Q$ . שתי הקליפות מוקפות בקליפה שלישית מוליכה ומורתקת ברדיוס  $3R$ .  
 מצא את האנרגיה הדורשה לבניית המערכת.

- 2)** שתי TYPES מים כדוריות וזהות בעלות רדיוס  $R$  טענות כל אחת בטען  $Q$  המפלה באופן אחד על פניה. מחברים את הTYPES ויוצרים TYPE אחת חדשה וגדולה שגם בה המטען מפולג באופן אחד על השפה.  
 א. מהי האנרגיה העצמית של TYPES לפני שהתחברו?  
 ב. מהי האנרגיה העצמית של TYPE החדשה?  
 ג. מהי האנרגיה העצמית של מערכת TYPES בבדיקה לפני ההתחברות (כלומר, TYPES עם נוגעות אחת בשנית)?  
 הנח שהתפלגות המטען על כל TYPE עדין אחת.  
 ד. מהו היחס בין האנרגיה שחייבת בסעיף ב' לסעיף ג'?

### תשובות סופיות:

$$\frac{KQ^2}{R} \quad (1)$$

$$\text{ד. } \approx 1.058 \quad \text{ג. } \frac{3KQ^2}{2R} \quad \text{ב. } \frac{2KQ^2}{\sqrt[3]{2}R} \quad \text{א. } \frac{KQ^2}{R} \quad (2)$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

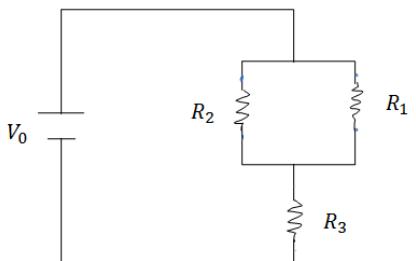
פרק 7 - מעגלים עם זרם ישר-רלוונטי למחם&quot;ן 12

### תוכן העניינים

35 .....	1. זרם, חוק א Ohm וחייבור נגדים
37 .....	2. חוקי קירכוכוף

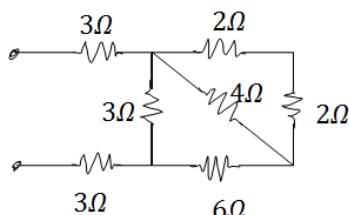
## זרם, חוק א Ohm ו לחבר נגדים

### שאלות



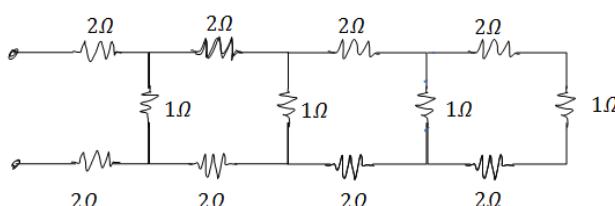
**1) שניים במקביל אחד בטוור**

במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור :  $V_0 = 31V$  ,  $R_1 = 2\Omega$  ,  $R_2 = 3\Omega$  ,  $R_3 = 5\Omega$  .  
 א. מצא את ההתנגדות השקולת של המעגל.  
 ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.  
 חשב את הזרם והמתוח על כל אחד מהנדדים.



**2) מרובע עם אלפסון**

חשב את ההתנגדות השקולת של המעגל הבא בין שני הבדיקהים.



**3) 4 חוליות**

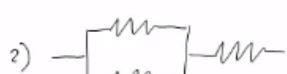
מציא את ההתנגדות השקולת של המעגל בין שני הבדיקהים.



נתונים שלושה נגדים זהים עם ההתנגדות ידועה  $R$ .

א. מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.

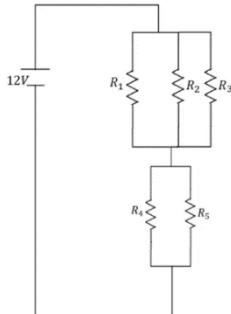
ב. מצא את ההתנגדות השקולת של כל אפשרות.



**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  $\Omega = 8\Omega$ ,  $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega$ ,  $R_5 = R_4 = ?$

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**

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

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

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

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

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

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

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

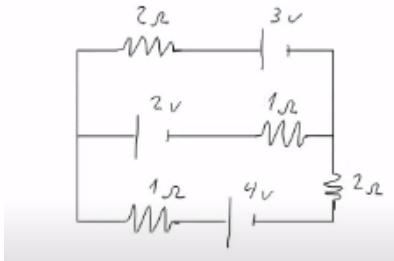
## חוקי קירכהוף:

שאלות:

**1) חוקי קירכהוף**

א. חשב את הזרם בכל נגד במעגל הבא.

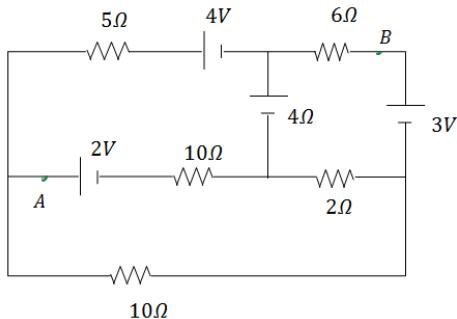
ב. מצא את המתח  $V_{AB}$ .



**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.

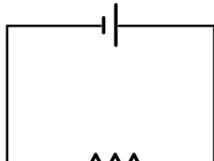
ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא 1 אוהם.

במעגל זורם זרם של 2 אמפר.

א. מהו הכא"ם של הסוללה?

ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

סוללה לא אידיאלית



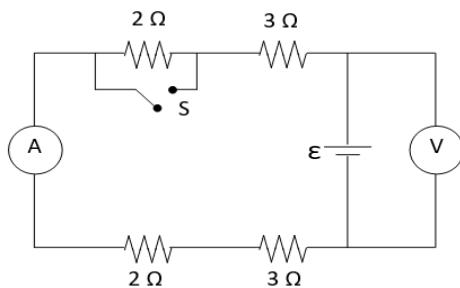
10Ω

**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 הכא"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.

א. האם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק!

ב. מה הוראת מד המתח בשני מצביו המפסק? פרט!/חישוביך!

ג. חשב/י את הcae"ם ואת התנגדות הפנימית של הסוללה.

ד. מה היו מראים אותם שני מכשירי מדידה אילו היו מחברים את מד המתח במקום מד הזרם ולהפץ? נמק!

**תשובות סופיות:**

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

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

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

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

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

$$V = 0 \quad \text{ד. הולטמתר פנימית: } r = 2R \quad \text{ג. התנגדות פנימית: } r = 2R \quad \text{כאי"ם: } 18V \quad \text{א. כאי"ם: } 18V \quad \text{6}$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 8 - חומרים דיאלקטריים-רלוונטי לממ&quot;ן 12

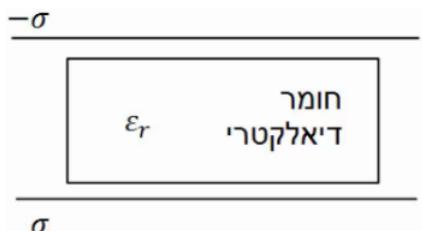
תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים .....

39 .....

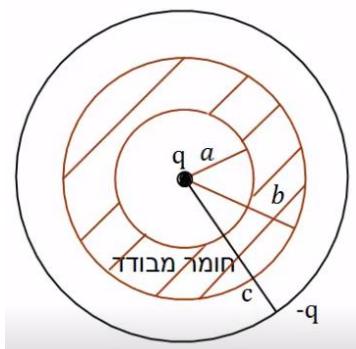
## הסברים ותרגילים:

### שאלות:

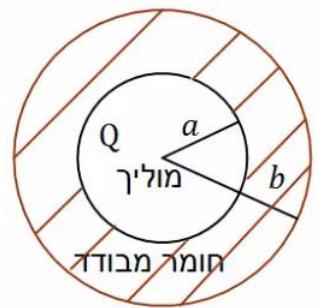


- 1) חומר דיאלקטרי בין שני לוחות חומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_r = 2$  מוכנס בין שני לוחות גדולים מאוד, הטוענים בинфיניטי. מטען משטחית:  $\frac{c}{m^2} = 3 \cdot 10^{-3} \sigma$ .

מהו השדה החשמלי בתחום החומר, אם הINFINITI של הלווחה עליונה שלילית ובתחתונה חיובית.



- 2) מטען נקודתי בתוך מעטפת דיאלקטרית  
טען נקודתי  $c = 2 \cdot 10^{-6} q$  מוקף במעטפת כדורית  
מבזק בעלת רדיוס פנימי  $a = 5c.m$  ורדיוס  
חיצוני  $b = 8c.m$ . המקסם הדיאלקטרי של המעטפת  
המבזק הוא  $\epsilon_r = 3$ . את כל המערכת עוטפת  
קליפה מוליכה דקה ברדיוס  $c = 10c.m$  הטעונה  
בטען  $c = 2 \cdot 10^{-6} q$ .  
מהו השדה החשמלי בכל המרחב אם הקליפה  
המבזק אינה טעונה?



- 3) כדור מוליך בתוך מעטפת דיאלקטרית  
כדור מוליך ברדיוס  $a$  טוען בטען  $Q$ .  
הכדור מוקף במעטפת העשויה חומר דיאלקטרי  
בעל מקדם  $\epsilon_r$ . הרדיוס הפנימי של המעטפת  
הדילקטרית צמוד לרדיווס הבודור  $a$  והרדיוס  
חיצוני שווה ל- $b$ .  
הבא את השדה החשמלי בכל המרחב באמצעות הפרמטרים של הבעיה.

### תשובות סופיות:

$$E = 1.7 \cdot 10^8 \frac{N}{C} \quad (1)$$

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

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

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 9 - קבלים-רלוונטי לmmm&quot; 12 ולmmm&quot; 16!!!

### תוכן העניינים

41 .....	1. הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול .....
43 .....	2. אנרגיה האגורה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי .....
46 .....	3. תרגילים נוספים בקבליים .....

## הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול:

**שאלות:**

**1) קובל גליili**

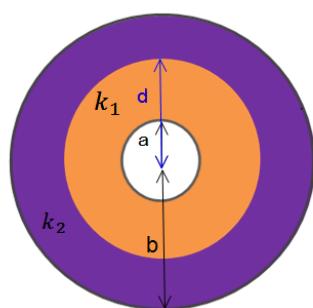
קובל גליili מורכב משתי קליפות גליליות מוליכות באורך  $L$  ורדיויסים  $a, b$ .

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-  $k_2$  כאשר  $a < r < b < d$ .

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



**2) דרך שנייה לחישוב קיבול וחיבור קבלים**

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 למרחק  $x$  מקצת הלוחות. הקבוע הדיאלקטרי של החומר נתון  $\epsilon_r$ .

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?

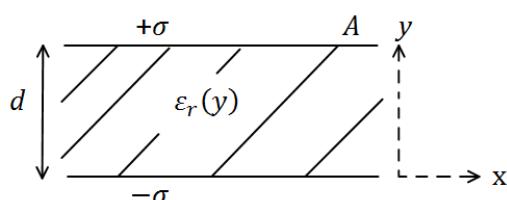
**3) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי תלוי בגובה**

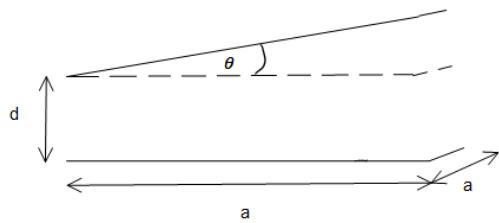
קובל לוחות טעון בצפיפות מטען  $\sigma \pm$ .

שטח הלוחות הוא  $A$  וה מרחק 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 התחתון נמצא ב-0.  $y = 0$  מצא את הקיבול של הקובל.



**(4) קבל לוחות בזווית**

נתון קבל לוחות בעל שטח A ומטען Q.

אורך כל צלע בלוחות הקבל הינה a.

עקב טעות בייצור נוצרה זווית θ קטנה

מאוד בין הלוחות.

א. חשב את קיבולו של הקבל כפונקציה של θ.

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

**תשובות סופיות:**

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

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

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

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

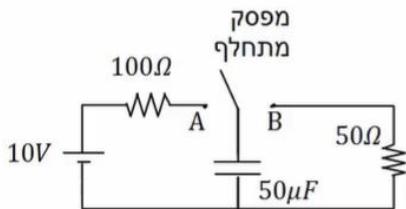
## אנרגיה האgorה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי:

**שאלות:**

**1) מתג מתחלף**

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

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

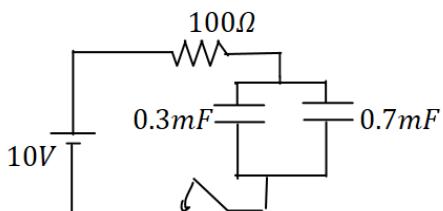


**2) טעינה של שני קבלים**

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$ .

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתג והטען בכל  
זמן:  $t = 0.2 \text{ sec}$ ,  $0.8 \text{ sec}$ .



**3) קבלים בהתחלה ובסיוף**

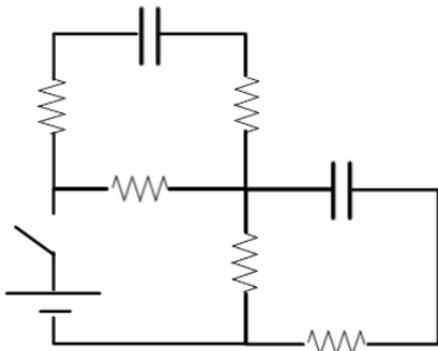
במעגל הבא הקיבול של הקבלים זהה  
ושווה ל- $C$ . התנגדות הנגדים זהה  
ושווה ל- $R$  ומתח הסוללה הוא  $V$ .

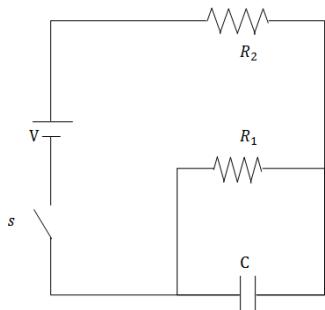
הקבלים אינם טעונים כאשר המפסק פתוח.

א. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת  
המתג.

ב. מצאו את הזרם בסוללה והמתג על כל  
זמן.

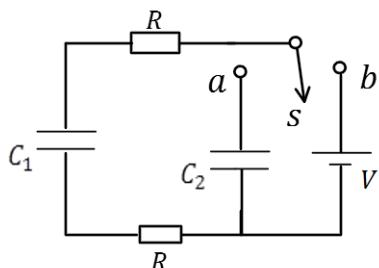
ג. מהו המטען על כל קבל לאחר זמן רב?



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

כאשר הקבל אינו טעון.

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

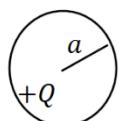
נתון :  $V, R_1, R_2, C$ .**5) פריקה בין שני קבלים**במעגל הבא הקבל  $C_1$  טעון בטען  $Q_0$  לפני

סגירת המdag s לנקודה a.

א. רשם את המשוואה ממנה ניתן לקבל את המטען על הקבל  $C_1$  כתלות בזמן.

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

ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?

**6) קבל של שני כדורים**שני כדורים בעלי רדיוסים a ו- b מרוחקים  
מאוד זה מזה.טוענים את הכדורים בטענים  $Q$  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 בחוט ארוך מאוד עם התנגדות כוללת R,  
מה זמן הפריקה האופייני של המערכת?

**תשובות סופיות:**

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

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

ד. ראה סרטון

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

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

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

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

ג. מטען קבלים :  $\frac{CV}{2}$

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

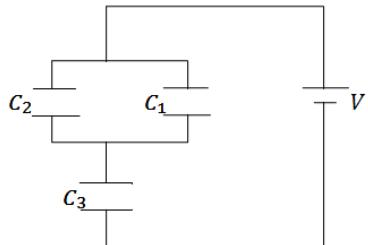
$$, q_1(t) = (\tau \cdot A - Q_0) e^{-\frac{t}{\tau}} . \quad \text{ב.} \quad \frac{C_1 + C_2}{2RC_1C_2} \cdot q_1 + q_1 - \frac{Q_0}{2RC_2} = 0 . \quad \text{א. (5)}$$

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

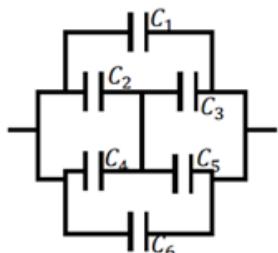
$$\tau = RC = \frac{Rab}{K(a+b)} . \quad C = \frac{a \cdot b}{K(a+b)} . \quad B = \frac{KQ^2}{2} \left( \frac{b+a}{a \cdot b} \right) . \quad \text{א. (6)}$$

## תרגילים נוספים בקבליים:

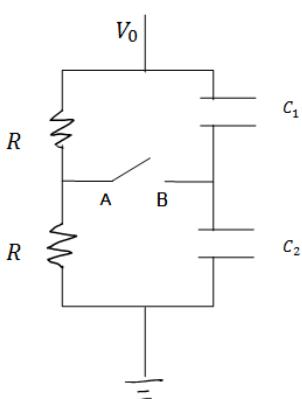
שאלות:



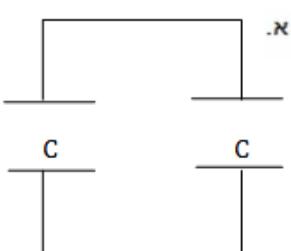
- 1) שלושה קבלים**  
 במעגל הבא נתון מתח הסוללה  $V = 3V$ . והקיבול של כל קבל  $C_1 = 2\mu F, C_2 = 3\mu F, C_3 = 5\mu F$ .  
 מצא את המטען על כל קבל.



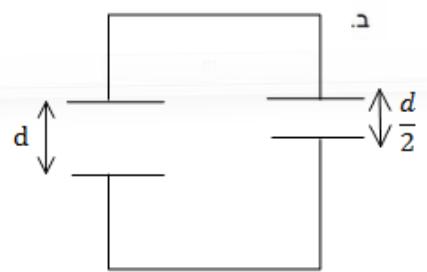
- 2) חיבור קונפיגורציית קבלים**  
 נתונה מערכת קבלים המחוברים על פי השרטוט.  
 מצא את הקיבול השקול של המערכת.



- 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 הפוטנציאלים) בין הנקודות A לנקודת B.  
 ב. סגורים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת תהייצה?

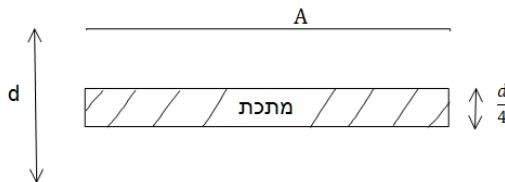


- 4) שני קבלים טעוניים מחוברים אחד לשני**  
 טעוניים בנפרד שני קבלי לוחות זהים עיי' מקור מתח  $V_0$ . לאחר הטעינה מנטקים את הקבלים ומחברים אותם אחד לשני, הדק חיובי ושלילי לשלייל.  
 א. מצא את האנרגיה של המערכת אם קיבול הקבלים הוא C.



- cutting mark lines between the two parallel branches. Part b: b. מצא את המתח על כל קבל לאחר זמן רב, ואת האנרגיה של המערכת.  
 ג. חשב את שינוי האנרגיה והסביר לאן עברה?

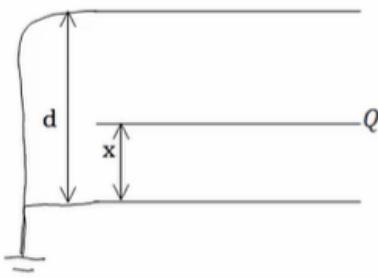


**8) קבל עם פיסת מתכת**

קבל לווחות מחובר למקור מתח 7.

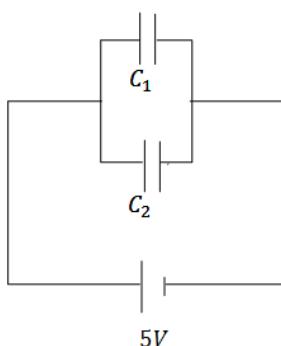
שטח כל לוח בקבל הוא A וה מרחק בין הלחוחות הוא  $d$ , ( $\sqrt{A} \ll d$ ).

- 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.  
חזר על סעיף א.
- כעת מוצאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את מקור המתח. לאחר הניתוק מכניםים את המתכת חוזרת פעם שנייה.  
חזר על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').

**9) שלושה לווחות**

נתונה מערכת המורכבת משני לווחות מוארכים במרחק  $d$ . בין הלחוחות, במרחק  $x$  מהלווח התחתון, מכניםים לוח נוסף זהה עם מטען  $Q$ .  
שטח הלחוחות הוא  $d^2$  ( $d^2 \gg x$ ).

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

**10) שני קבלים טעוניים מחוברים לקבל שלישי**

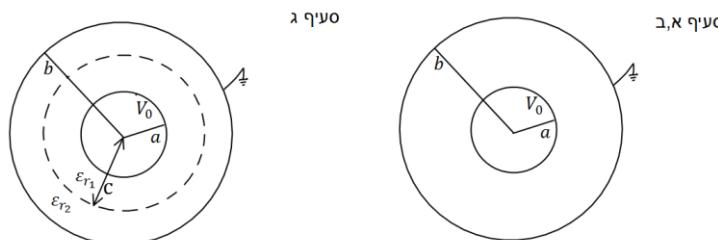
במעגל הבא קיבול הקבלים הוא:  $C_1 = 3\mu F$ ,  $C_2 = 2\mu F$  והמתח בסוללה הוא 5V.

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

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

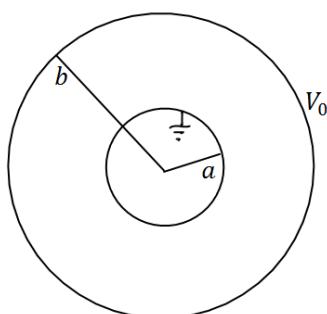
**11) קבל כדורי עם חומר דיאלקטרי מפוצל**

- קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות דקוטר ברדיוסים  $b$ ,  $a$ .  
 הקליפה הפנימית מוחזקת במתח  $V_0$  והקליפה החיצונית מוארקט.  
 א. חשב את המטען על כל קליפה.  
 ב. חשב את הקיבול של הקבל.  
 ממלאים את הקבל בשני חומרים דיאלקטריים.  
 חומר אחד בעל מקדם  $\epsilon_{r_1}$  הממלא את החלל בין הרדיוסים  $a$  ל- $c$   
 וחומר שני בעל מקדם  $\epsilon_{r_2}$  הממלא את החלל בין הרדיוסים  $c$  ל- $b$ .  
 ג. חשב את הקיבול החדש.



סעיף ג

סעיף א,ב

**12) קבל לא אידיאלי**

- קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מולicates דקוטר ברדיוסים  $a$ ,  $b$ .  
 הקליפה החיצונית מוחזקת במתח  $V_0$  והקליפה הפנימית מוארקט.

- א. חשב את המטען על כל קליפה, שים לב שיש שדה מוחזק לקבל!  
 ב. חשב את הקיבול של הקבל.  
 מכנים לקל חומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon$  הממלא את החלל בין הרדיוסים  $a$  ל- $b$ .  
 ג. חשב את הקיבול החדש וחשב את המטען החופשי על הקליפה המוארקט.

**13) מרחקים לוחות בקבל לוחות**

- קבל לוחות בעל אורך צלע  $c$ . m.  $a = 2$  mm ומרחק בין הלוחות  $1 = d$  mm ע"י סוללה במתח  $V_3$ . לאחר שהקבל נתען במלואו מנטקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק  $3d$ .

- א. מצא את הפרש הפוטנציאלי החדש על הקבל.  
 ב. מצא את האנרגיה ההתחלתיות והסופית האגורה בקבל.  
 ג. מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.

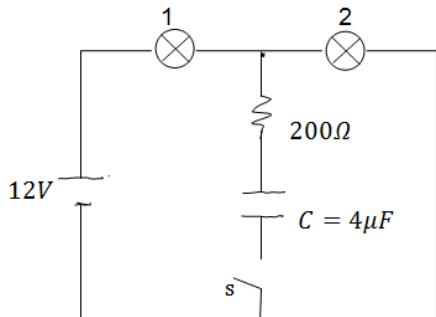
**14) מושכים לוח מקובל גליילי**

קובל גליילי עשוי משני קליפות גלייליות באורך  $L$  ורדיויסים  $L \ll b < a$ . נתון כי הגליל הפנימי טען בטען  $Q$  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.

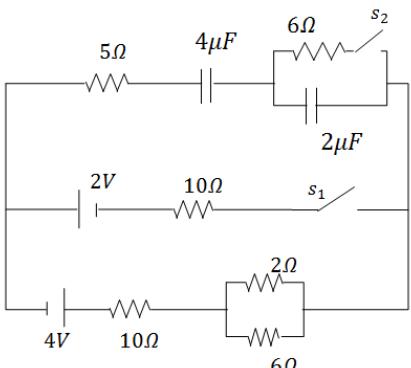
מהו החשמלי הפועל על הגליל הפנימי? (נתון להניה כי השدة החשמלי מתאפס באזוריים בהם אין חפיפה בין הגלילים).



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

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

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

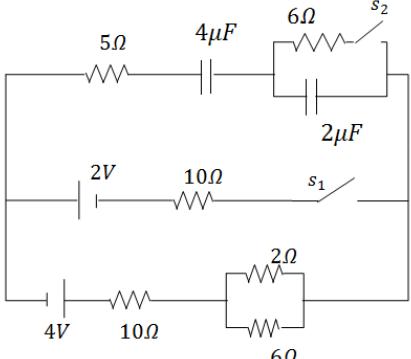
**15) שתי נורות**

חשב את כל הזרמים 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.

**16) מעגל עם קבלים**

חשב את כל הזרמים 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.

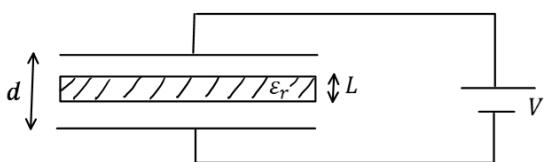
**17) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי ממלא רק חלק מהקובל**

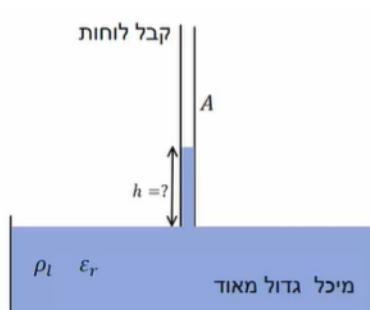
קובל לוחות בניו משני לוחות ריבועיים בעלי צלעות  $a$  המרוחקים מרחק  $d$  זה מזה. בין לוחות הקובל הוכנס חומר דיאלקטרי בעובי  $d < L$  ומקדם דיאלקטרי  $\epsilon_r$ . מחברים את הקובל למקור מתח  $V$ .

א. מהו השדה החשמלי באזורי ללא החומר הדיאלקטרי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי?

ג. מהו המטען המושרָה על השפה של החומר הדיאלקטרי?



**18) גובה נוזל בתוך קובל**

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

המטרה היא למצאו עד איזה גובה עולה הנוזל בקובל.

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

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

ג. מצאו 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-0=y. הקובל מחובר למקור מתח V.

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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$R_1 = 200\Omega$ ,  $V_1 = 5.34V$ ,  $P_1 = 0.143W$  א. נורה 1 : 1 (15)

$R_2 = 250\Omega$ ,  $V_2 = 6.68V$ ,  $P_2 = 0.178W$  נורה 2 : 2

$$V_0 = V_2 = 6.68V \quad \text{ב.}$$

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

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

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

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

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

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

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

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 10 - מבנה הנגד וצפיפות זרם - רלוונטי למח"נ 12

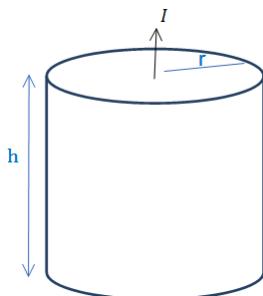
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים .....

55 .....

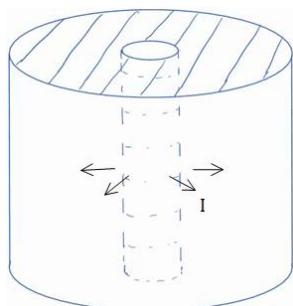
## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:



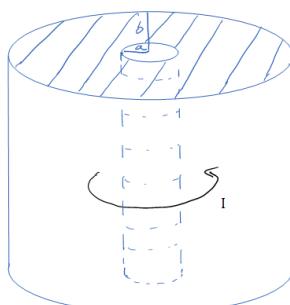
**1) נוסחה לחישוב התנגדות ודוגמה עבור גנד גליילி**  
גלייל מלא בעל רדיוס  $r$  וגובה  $h$  עשוי מחומר בעל התנגדות סגולית משתנה  $\frac{z}{h} = m$  כאשר  $m$  נתון ו- $z$  הוא המרחק מבסיס הגלייל.

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



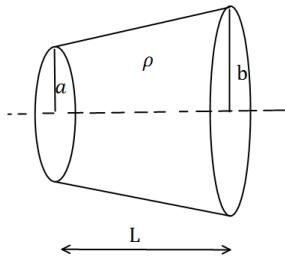
**2) זום רדייאלי**  
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי  $a$  ורדיוס חיצוני  $b$  מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית  $m$  אחידה ונתונה.

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

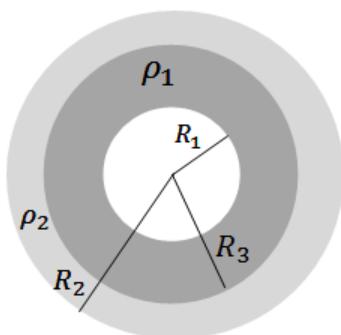


**3) זום מעגלי בגליל**  
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי  $a$  ורדיוס חיצוני  $b$  מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית  $m$  אחידה ונתונה.

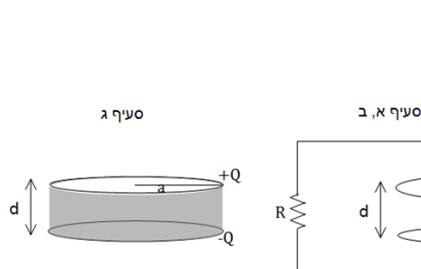
- מצא את התנגדות השקולה של הקליפה אם הזום זום בכיוון טהה (ז"א זום מעגלי).
- נתון הזום הכלול הזום בנגד.  
מצא את הצפיפות כתלות במרחק ממרכז הנגד.
- מצא את השدة החשמלי בתחום הקליפה.



- (4) חroot קטום**  
 נתון חroot קטום שאורכו  $L$ , רדיוס בסיסו הקטן  $a$  ורדיוס בסיסו הגדל  $b$ .  
 בין שני הבסיסים נתון הפרש פוטנציאליים. ההתנגדות הסגולית של החroot היא  $\rho$ .  
 חשבו את ההתנגדות השוקלה של החroots.



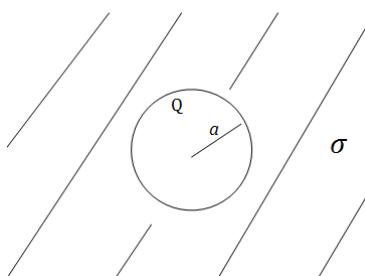
- (5) נגד כדורי מוחלך לשני חומרים שונים**  
 נגד בצורת קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי  $R_1$  ורדיוס חיצוני  $R_2$  מורכב מחומר בעל ההתנגדות סגולית  $\rho_1$  בתחום  $R_1 < r < R_3$  ( $R_3 < R_2$ )  $R_1 < r < R_3$  ( $R_3 < R_2$ ) והתנגדות סגולית  $\rho_2$  בתחום  $r < R_2$ .  
 א. מצא את ההתנגדות השוקלה 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.



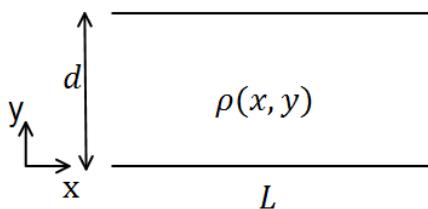
- (6) צפיפות זרם בתוך לוח של קובל לוחות**  
 קובל לוחות עגולים טוען במטען  $Q$  ומהובר כנגד. רדיוס הלוחות הוא  $a$  והמרחק בין הלוחות הוא  $d \ll a$ .  
 התנגדות הנגד היא  $R$ .  
 א. מצא את הזרם בمعالג.

ב. מצא את צפיפות הזרם על פני לוח הקובל.  
 הדריכה: הנה כי צפיפות המטען על הקובל תמיד אחידה.  
 חשב את הזרם שיוציא מחלקת 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  $\rho$  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  $\sigma$ . נתון כי המטען על הקליפה ב-  $t=0$  הוא  $Q$ .
- ממצא את המטען על הקליפה כפונקציה של הזמן.
  - ממצא את צפיפות הזרם ואת השدة החשמלי בנגד.



- 8) **התנדות תליה 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:

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

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

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

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

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

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

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

$$k = \frac{a^2 - r^2}{2\pi r a^2} \frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} \quad . \quad \text{ג.} \quad I = \frac{Q}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \cdot A \quad (6)$$

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

$$\vec{J} = \frac{\sigma q(t)}{\epsilon_0 4\pi r^2} \hat{r} \quad , \quad \vec{E} = \frac{kq(t)}{r^2} \hat{r} \quad . \quad \text{ג.} \quad q(t) = Q e^{-\frac{\sigma}{\epsilon_0} t} \cdot A \quad (7)$$

$$R_T = \frac{\rho_0 d}{L^2} \cdot A \quad \text{ג.} \quad R = \frac{2\rho_0 d}{\pi L^2} \cdot A \quad (8)$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

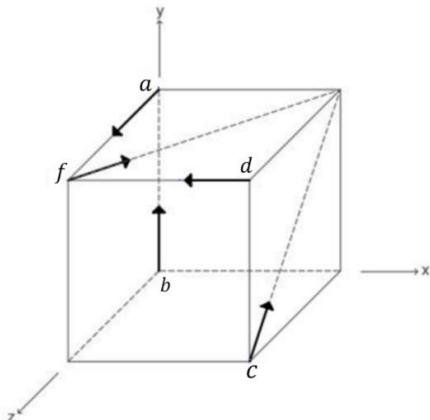
פרק 11 - חוק לורנץ וכוח על תיל נושא זרם - רלוונטי לממ&quot;ן 13

### תוכן העניינים

59 .....	1. חוק לורנץ .....
64 .....	2. כוח על תיל נושא זרם .....

## חוק לורנץ:

**שאלות:**

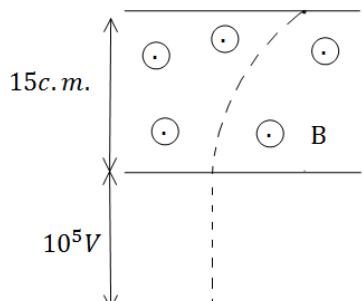


- 1) מצא את הכוח על כל חלקיק החיצים בציור מצוינים מהירות של חלקיקים חיוביים שונים. החלקיקים נמצאים בשדה מגנטי אחיד SCI פוננו הוא  $\hat{x}$ . עבר כל חלקיק מצא: מהו כיוון הכוח ברגע הנתון באיזור? מהי צורת המסלול?

- 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

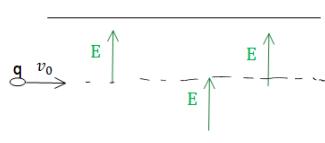
- 3) ספקטוגרפ המסתות של דמפסטור המערכת הבאה מתארת את ספקטוגרפ המסתות של דמפסטור. מטרתה היא להפריד בין חלקיקים בעלי מסות שונות. חלקיקים עםטען חיובי משוחררים ממנוחה ליד לוח הקבל החיובי. החלקיקים מואצים ע"י מקור מתח  $V$  המחבר בין הלוחות. החלקיקים עוברים דרך הלוח השילי ווכנסים לשדה מגנטי אחיד הפועל לתוך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

- 4) פרוטון בזווית פרוטון נכנס בזווית של  $30^\circ$  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 בקבל הנמצא במתה של  $V = 10^5$  V לאחר מכן הפרויקטן עובר בשדה מגנטי אחד עד לפגיעתו במסך הנמצא במרחק  $15\text{ cm}$  מהקבל. עוצמת השדה המגנטי היא  $D = 0.2$  T.

- מצא את המרחק האופקי שעבר הפרויקטן עד לפגיעתו במסך.
- מצא את הזמן עד לפגיעה במסך.
- מהו המרחק המינימי הדרוש על מנת שהפרויקטן יפגע במסך?



מטרע נעה בתוך קבל לוחות עם מהירות קבועה  $v_0$  בקו ישר ובמקביל ללוחות הקבל. בתוך הקבל (ורק בתוכו) ישנו שדה חשמלי אחיד ונתון  $E$ . כאשר המטרע יוצא מהקבל הוא מבצע תנועה מעגלית כלפי מעלה. ידוע כי בכל המרחב (בתוך וממחוץ לקבל) יש שדה מגנטי אחיד אך לא ידוע מה גודלו וכיונו. הזנח את כוח החובב הפועל על המטרע.

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



חלוקת בעל מסה  $m$  ומטרע  $q$  נכנס במרכז של קבל לוחות עם מהירות  $v_0 \hat{x}$ . לוחות הקבל מקבילים למשור ע"ח והמרחק  $x$  ביניהם הוא  $d$ .

הקבל מחובר למקור מתח  $V$ , כאשר הלוח העליון נמצא בпотенциציאלית הגובה.

- מצא את המרחק מקצת הלוח של הקבל בו יפגע המטרע.
- כעת הנה שהקבל אינו מחובר למקור ואינו טען אך במרחב קיים שדה מגנטי אחיד  $\vec{B}_0 = B_0 \hat{y}$ . מצא את המרחק מקצת הלוח בו יפגע המטרע.
- לאיזה כיוון יסטה המטרע אם הקבל מחובר למקור מתח 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- $x$  ( $y < 0$ )

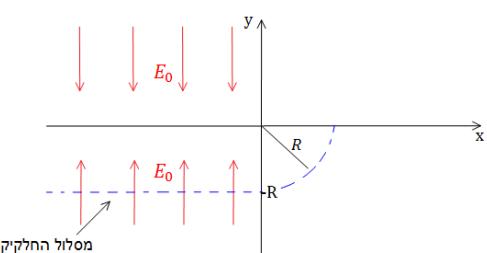
השדה הוא:  $E_0 \hat{y} = \vec{E}$ , ראה שרטוט.

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

חלקיק בעל מסה  $m$  ומטען  $|q|$  מגיע

מן  $-\infty = x$  ונע 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 מהשדה המקורי, כאשר שאר התנאים אינם משתנים.

**9) בורר מהירות ומתוח 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 מהקבל.

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

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

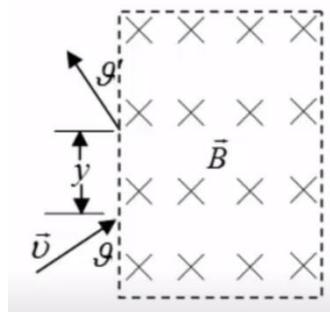
א. באיזו מהירות  $v$  יוצאים החלקיקים מהdelivr הראשון?

ב. מהו המראק  $d$  (ראה ציור)?

ג. תוקן כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?

ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתוח העוצר  $V$  המופעל על הקבל השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעמדו לחЛОוטין?

ה. מחברים את הקבל השני למסלול שמתבה גדוֹל פַי שתיים ממה שחייבת בסעיף ד'. תוקן כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסהו אל בין לוחות הקבל השני כתע?

**10) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית**

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

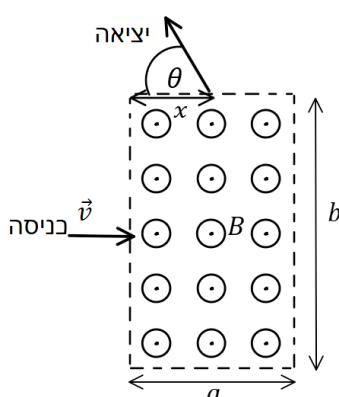
- חשבו את המרחק האנכי  $y$  אותו עברו החלקיקים מנוקודת כניסה לאזור המגנטי ועד ליציאתם ממנו.
- חשבו את זווית היציאה  $\varphi$  (ראו איור).

**11) עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית**

שדה מגנטי אחד  $B$  נמצא בתחום מלבי בגודל  $b \times a$ . מחוץ לתחום השדה הוא אפס. כיון השדה החוצה מהדף. מטען  $|q|$  נכנס לתוך המלבני בדיק במרכז המלבן, במהירות 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  $\theta$  של וקטור המהירות ביציאה ביחס לצלע המלבן?



### תשובות סופיות:

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

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  $x$ .

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

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

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

$$V = 4.312 \cdot 10^4 V \quad (5) \quad t = 3.371 \text{ sec} \quad (6)$$

$$B_{\odot}, B = \frac{E}{V} \quad (7) \quad A. \text{ שלילי}$$

$$x^2 = R^2 - \left( R - \frac{d}{2} \right)^2 \quad (8) \quad x = V_0 \sqrt{\frac{md^2}{qV}}$$

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

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

$$V = \sqrt{\frac{qRE_0}{m}}, \vec{B} = \sqrt{\frac{mE_0}{qR}} \hat{z} \quad (9) \quad A. \text{ ראה סרטון} \quad (10) \quad m_2 = qm_1$$

$$\frac{2BL}{E} \quad (11) \quad \frac{mE^2}{2qB^2} \quad (12) \quad \frac{\pi m}{qB} \quad (13) \quad \frac{2mE}{qB^2} \quad (14) \quad \frac{E}{B} \quad (15)$$

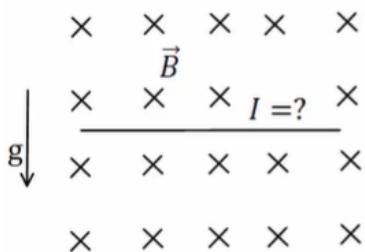
$$\theta' = \theta \quad (16) \quad y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \theta}{Bq} \quad (17) \quad A.$$

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

$$\cos \theta = \frac{b}{2R} - 1 \quad (18) \quad x = \sqrt{b \left( \frac{b}{4} - \frac{mV}{qB} \right)} \quad (19)$$

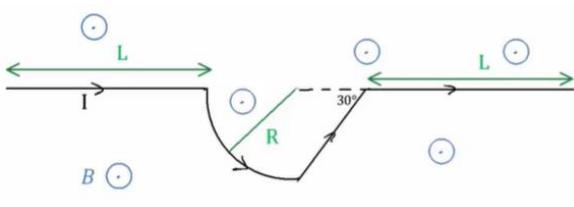
## כוח על תיל נושא זרם:

**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 זורם זרם  $I = 2 \text{ A}$  עם כיוון השעון. נתון:  $a = 0.5 \text{ m}$ .  
 מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת?

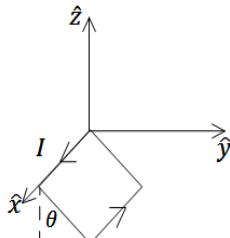


- 3) כוח על תיל מכופף**  
 תיל הנושא זרם  $I$  מכופף כפי שנראה באיור. החלק העגול הוא רבע מעגל בעל רדיוס  $R$ . בכל המרחב יש שדה מגנטי אחיד  $B$  החוצה מהדף. מצא את הכוח השקול על התיל אם  $R$ ,  $I$ ,  $B$ ,  $L$  נתונים.

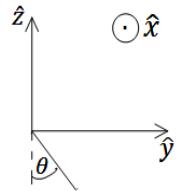
- 4) כוח על תיל מכופף עם חלוקה לחטיות**  
 הנח נתונים זהים לשאלה קודמת.  
 מצא את הכוח השקול על התיל ע"י חלוקה לחטיות, חישוב הכוח ע"י כל חטיכה בנפרד וסכום.

**5) לולאה תלואה**

lolalah Ribouiyut beulat zalu a v'masa m telohia ul tsir ha-x (tsilu shenmazat ul tsir makubut la-tsir) v'ikola lehashtobet sabivo. lolalah zorim zorim I k'zehozrim btsilu shenmazat ul tsir ha-x chiyobi (zorim b'kivun tsir ha-x).



mbut tlat midri



a. maza et godol hashdeha magneti shdruosh lehfeil b'kivun tsir ha-z ul manat shahlolaha tatiyicb b'monoha b'zooit theta b'ichas le-tsir ha-z.

b. maza et godol hashdeha magneti shdruosh lehfeil b'kivun tsir ha-y ul manat shahlolaha tatiyicb b'monoha b'zooit theta b'ichas le-tsir ha-z.

**6) כוח על לולאה סגורה**

hara'i ci :

a. ha'koch magneti ul lolata zorim ribouiyut b'shdeha achid hniyicb lemisur halolaha mataps.

b. ha'koch magneti ul lolata zorim ribouiyut b'shdeha achid hmakbil lemisur halolaha mataps.

c. ha'koch magneti ul lolata zorim ribouiyut b'shdeha achid mataps.

d. ha'koch magneti ul lolata zorim sgorah beulat kol zora sheia b'shdeha achid mataps.

**7) לולאה בצורת חצי גליל ותיל אינסופי - סמי שמעון**

lolalah morchabta mesheni chazi uiygal makbiliim v'sheni kooim isherim makbiliim k'zenozrat hshfa shel chazi galil, rao ayor. tilainsufi uover laoruk tsir hsimetreria shel galil.

rdios chazi uiygal hoa R v'oruk kooim isherim hoa a. lolalah v'betil zorimim zorim I\_1 v'I\_2 v'kivunim matobar baayor.

a. chshbo at ha'koch shmapuil htil ul kol chazi meugal shel halolaha.

b. chshbo at ha'koch shmapuil htil ul kol achid mahkooim isherim (godol v'kivun).

c. ma ha'koch shkoul shmapuil htil ul halolaha?

**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.  $B = \frac{mg}{2aI} \tan \theta \hat{z}$  (5)

ב. שאלת הוכחה. (6)

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

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

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 12 - חוק ביו סבר-רלוונטי למח"נ

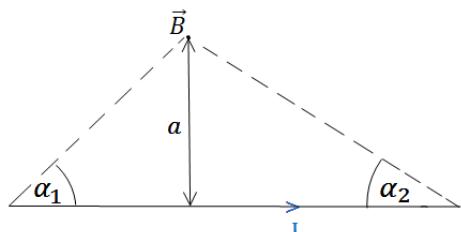
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים .....

67 .....

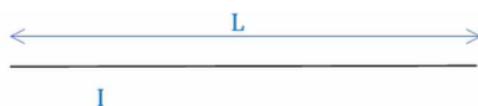
## הרצאות ותרגילים:

### 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.



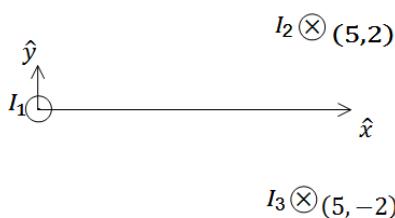
- 2) חישוב שדה של תיל סופי לפי וקטורים נתון תיל סופי באורך L וזרם I. השדה נמצא במרחק y מהראשית. חשב את השדה המגנטי של תיל סופי.



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

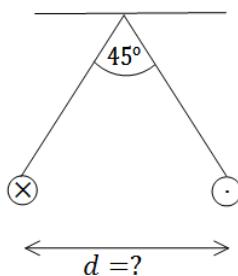


- 4) חישוב שדה של דיסקה  
דיסקה ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משטחית σ. הדיסקה מסתובבת במהירות זוויתית ω סביב ציר הסימטריה שלה.  
מצא את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה.



- 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,  $I_2 = 4A$   $I_3 = A$  גם כן לתוך הדף.  
 מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה-z מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון y?

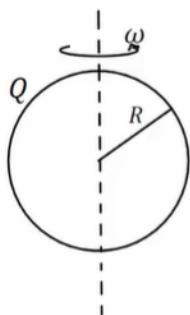


- 6) שני תילים תלויים**  
 שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקלה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע. בתילים זורם זרם של 100 A מפנ' בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת אורך היא:  $2 \frac{\text{gr}}{\text{m}} = \mu$ .  
 מצא את המרחק בין התילים.

- 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  $\lambda$  ו- $-\lambda$ . התילים מקבילים ונמשכים במהירות קבועה  $v_0$  ימינה.  
 מצא את גודל המהירות כך שהכוח המגנטי יתבטל עם הכוח החשמלי?

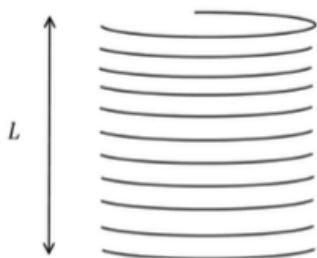
- 9) חישוב שדה של תיל מיוחד**  
 תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים. המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).  
 בתיל זורם זרם I, כיוון הזרם מסומן בשרטוט.  
 א. מהו גודלו וכיוונו של קטור השדה המגנטי במרכזו החלק המעגלי של התיל?  
 ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכז החלק 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  $\omega$ .

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 20250

### פרק 13 - חוק אמפר-רלוונטי למחזור 13

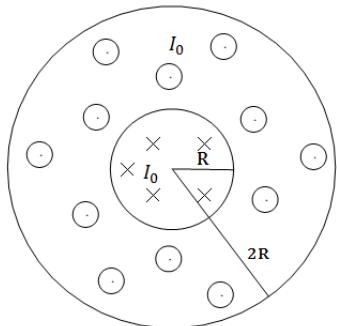
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים .....

71 .....

## 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?

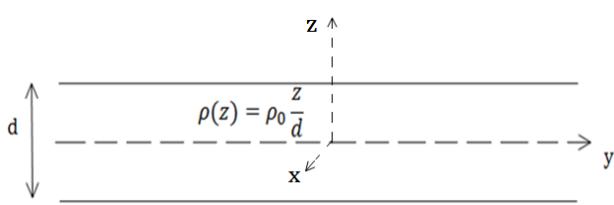


- 2) שדה של מישור דק אינסופי**  
נתון מישור אינסופי דק אשר זורם בו זרם. נניח שהמישור טעון בצפיפות מטען  $s$ . המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר ה- $x$  במהירות קבועה  $V_0$ .  
חשב את השדה המגנטי.



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

- 4) שדה של סליל אינסופי**  
נניח אורך סליל  $l$  ומספר ליפופים כולל של סליל  $N$ .  
צפיפות הליפופים  $a$ , 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  $\frac{z}{d} \rho_0 = \rho(z) m$ .

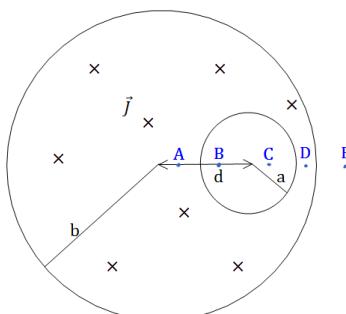
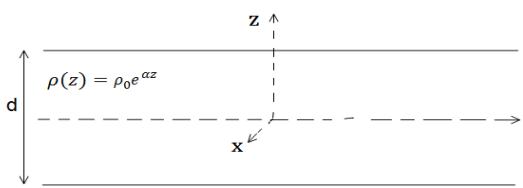
המישור מונח במקביל למישור  $xy$   
וראשית הצירים במרכזה.המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר  $-x$  (הוצאה מהדף) ב מהירות קבועה  $V_0$ .  
מצא את השدة המגנטי מוחז ובתוך המישור.**6) מישור אינסופי עם צפיפות אלספוננציאלית**מישור אינסופי בעובי  $d$  טעון בצפיפות מטען

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

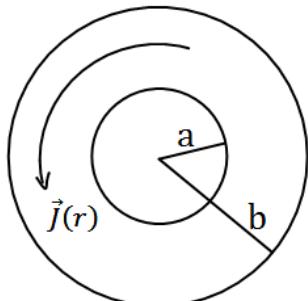
כאשר אלפה קבוע.

המישור מונח במקביל למישור  $xy$  וראשית  
המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר  $-x$   
(הוצאה 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  $E$ ,  $D$ ,  $C$ ,  $B$ ,  $A$  והמסומנות 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 14 - טרנספורמציה יחסותית של השדות עם נוסחאות מלאות-RELATIVISTIC  
FORMULAS 13

תוכן העניינים

1. הסברים ודוגמאות .....

74 .....

## הסברים ודוגמאות:

---

### שאלות:

**1) שדה בכיוון Z במערכת הצופה שנע**

צופה הנע במהירות  $V$  בכיוון ציר  $x$  ביחס למעבדה מודד שדה חשמלי  $E_0$

בכיוון ציר  $z$ , ושדה מגנטי אפס.

מהם השדות המגנטי והחשמלי שימודד הצופה במעבדה?

**2) חישוב שדות וצפיפות בשתי דרכים**

מיישור אינסופי טוען בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma$ .

המיישור מתחילה לנעו במהירות קבועה  $\hat{v} = \vec{v}$  ביחס למעבדה.

בתרגיל זה נמצא את השדות והצפיפות במערכת המעבדה בשתי דרכים:

דרך ראשונה:

א. מצא את השדה החשמלי והмагנטי במערכת המיישר תוך שימוש בצפיפות המטען של המיישר.

ב. מצא את השדה החשמלי והмагנטי במערכת המעבדה באמצעות טרנספורמציה של השדות שמצוות בסעיף א.

ג. מצא את צפיפות המטען וצפיפות הזרם במערכת המעבדה באמצעות השדות שמצוות בסעיף ב.

דרך שנייה:

ד. מצא את צפיפות המטען וצפיפות הזרם במערכת המעבדה תוך שימוש בצפיפות המטען במערכת המיישר בלבד. השווה לסעיף ג.

ה. מצא את השדה החשמלי והмагנטי במערכת המעבדה, מצפיפות המטען שמצוות בסעיף ד. השווה לסעיף ב.

### תשובות סופיות:

$$\vec{E} = \gamma E_0 \hat{z} \quad E, \quad \vec{B} = \gamma \cdot \frac{1}{c^2} V E_0 (-\hat{y}) \quad (1)$$

$$\vec{E} = \frac{\gamma \sigma}{2\epsilon_0} \hat{z}, \quad \vec{B} = \frac{-\gamma \sigma V}{2c^2 \epsilon_0} \hat{y} \quad \text{ב.} \quad \vec{E}' = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z}, \quad \vec{B}' = 0 \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\sigma = \gamma \sigma, \quad k = \gamma \sigma V \hat{x} \quad \text{ד.} \quad \sigma = \gamma \sigma, \quad \vec{k} = \gamma \sigma V \hat{x} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{E} = \frac{\gamma \sigma}{2\epsilon_0} \hat{z}, \quad \vec{B} = -\frac{\mu_0 \gamma \sigma V}{2} \hat{y} \quad \text{ה.}$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 15 - חוק פארדיי-רלוונטי למח"נ 14

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים .....

75 .....

## 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?

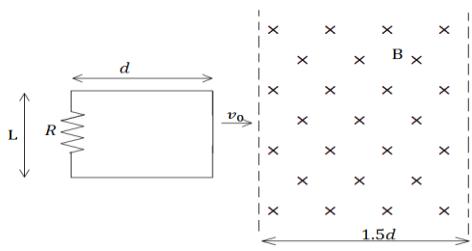
#### 2) מסגרת נעה בתוך שדה

מסגרת מלכנית בעלת אורך d ורוחב L, נעה ב מהירות קבועה V\_0, כלפיו אוזר בו שורר שדה מגנטי אחיד B.

אורך האוזר הוא 1.5d ורוחבו אורך מאד. למסגרת התנודות כוללות R.

נניח כי ב- t=0 הצלע הימנית של המסגרת

כנסת לאוזר 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  
שתנוע 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- $x$ .

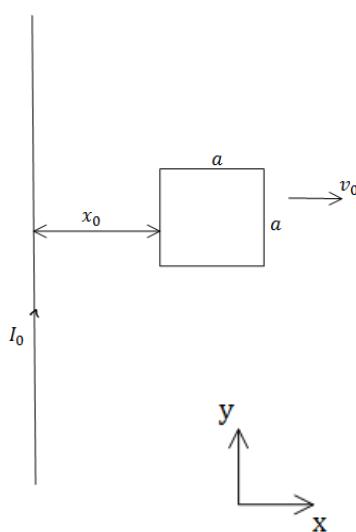
מיקום המסגרת ב- $t=0$  הוא  $x_0$ .

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 הדורש על מנת להזיז את המסגרת ב מהירות קבועה.



### (4) טבעת מסתובבת

טבעת מוליכה ברדיוס  $a$  מונחת במישור  $xy$  ומתחליה להסתובב ב מהירות קבועה  $\omega$  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

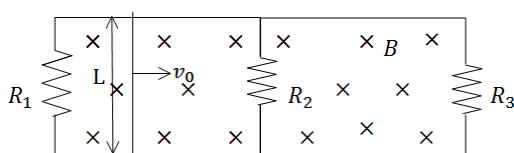
מוט מוליך באורך  $L$  נע על צלעותיו של המעגל הבא.

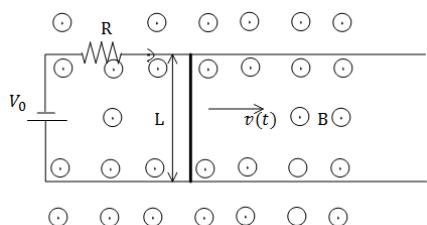
בתוך המעגל קיימים שדה מגנטי אחיד וקבוע לתוך הדף  $B$ .

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

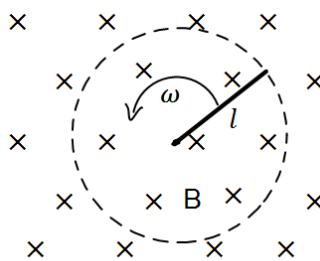
מציאת הזרם משני צידי המוט עבור

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

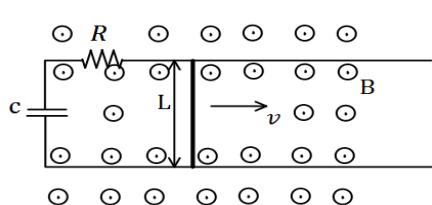




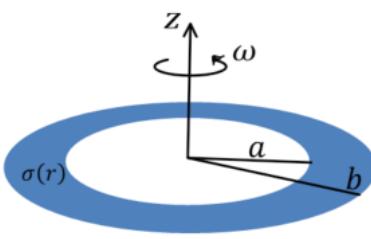
- 6) מוט נע על מסגרת עם מקור מתה**  
 מוט מוליך באורך  $L$  ומסה  $M$  נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות שאינה קבועה בזמן. למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות  $R$  ומקור מתח  $V_0$ .  
 בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד  $B$  החוצה מהדזף.  
 א. מצא את הכא"ם במוט כתלות ב מהירות המוט, ומצא את הזרם ב מעגל גודל וכיוון.  
 ב. רשום משוואת תנועה עבור המוט, מהי מהירותו הסופית.  
 ג. מצא את מהירות המוט כתלות בזמן אם התחיל ממנוחה.  
 ד. מהו הספק החום נגד?



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



- 8) פאראדיי 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 ב מעגל 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. הסבר מדוע ההספקים שווים.

**9) טבעת בתוך טבעת רחבה**

טבעת מבודדת בעלת רדיוס פנימי  $a$  ורדיוס חיצוני  $b$  טעונה בצפיפות מתען משטחית חיובית ולאacha. א.

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

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

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

א. מהו השדה המגנטי במרכז 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.

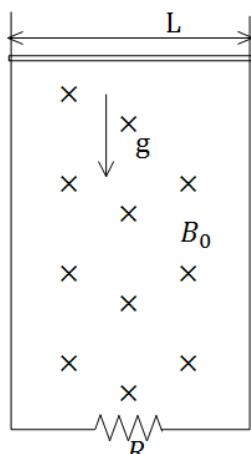
ג. חשבו את הזרם שייוציא בטבעת הקטנה אם התנגדותה  $R$ .

**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

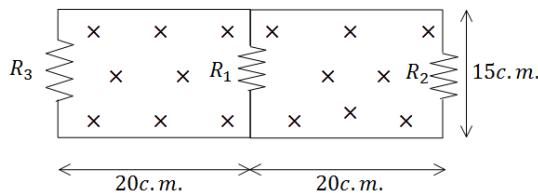
שኖר במעגל.

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"ם בשני מעגלים**

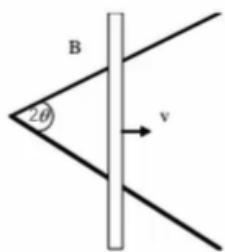
במעגל הבא התנודות הנגדים היא:  
 $\Omega = 3 \text{ rad/s}$ ,  $R_1 = 1\Omega$ ,  $R_2 = 2\Omega$ ,  $R_3 = 2\Omega$ .

במרחב קיים שדה מגנטי  $B = 2 \frac{\text{T}}{\text{sec}} t$ .

אחד לתוכה הדף.

ממדיו המעגל נתונים בشرطות.

מצא את הזרם בכל נגד.

**12) מוט נע על מסילות בזווית**

שתי מסילות מוליכות יוצרות זווית  $2\theta$  ביניהן.

מוט מוליך מונח עליו ויצור משולש שווה שוקיים.

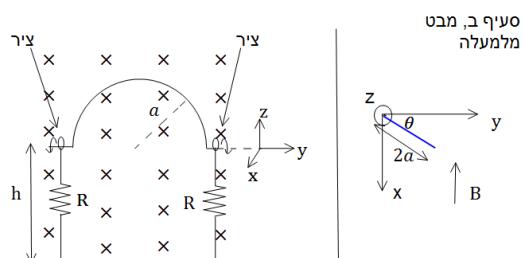
המוט נע לאורכם במהירות קבועה  $v$ , ומתחילה את תנועתו בקדקוד המשולש.

כל המערכת נמצאת בשדה מגנטי אחד  $B$  היוצא מהדף.

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

ב. אם התנודות של המוט יחידת אורך  $R_1$ , והמסילות חסרות התנודות, חשב את הזרם המושרה 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 שנייתן לסובבו סביבם (סביב ציר ה- $x$  בציור).

הציריים מחוברים למסגרת מלבנית בגובה  $a$ , המסגרת קבועה במקום.

בכל צד של המסגרת קיימים נגד  $R$ .

במרחב קיים שדה מגנטי אחד  $B$  לתוכה הדף (במיןוס  $\alpha$ ).

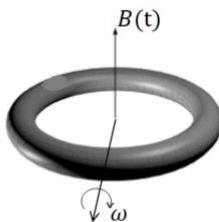
ב- $t=0$  הכבול נמצא במצב המתואר בציור ומחילים לסובבו סביב הציריים (ציר ה- $x$ ) ב מהירות זוויתית  $\omega$  (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל מתקרדות אלינו).

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  $\alpha$  והתנודות סגולית  $\rho$ .  
מעבדים את הנחוות לתיל שרדיויס שטח החתק שלו הוא  $a$ .  
יווצרם 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  $\frac{dB}{dt} \cdot \beta$ .

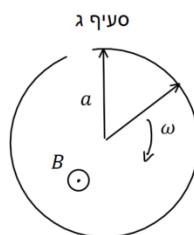
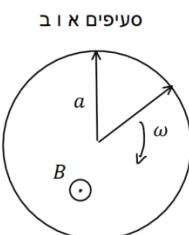
א. חשב את הזרם המושריה בטבעת.

ב. הראה כי אפשר לבטא את הזרם כתלות של  $m, \alpha, \rho, \beta$  וללא תלות במימדי התיל (כלומר אינו תלוי ב- $a$  ו- $b$ ).

ג. כעת מתחילה לסובב את הטבעת ב מהירות זוויתית  $\omega$  סביב ציר העובר במרכזו ומאונך לשדה המגנטי.  
חשב את הזרם הנוצר בטבעת כתלות בזמן.

האם כעת הוא תלוי במימדי התיל?

#### 15) שעון פאודי



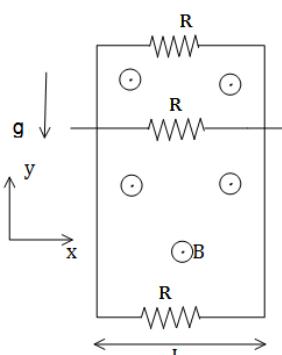
לטבעת מוליכה שאורך מחוגה  $a$  והתנודות- לייחת אורך היא  $z$  מחברים שני מחווגים  
מוליכים שהתנודות כל אחד מהם היא  $R$ .  
המחוגים מחוברים אחד לשני במרכז  
הטבעת ובקצת השני נוגעים בטבעת.  
מחוג אחד קבוע במקומו והשני מסתובב  
ב מהירות זוויתית קבועה  $\omega$ .

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד  $B$  החוצה מהזך.

א. חשבו את התנודות הכוללת של המעלג כתלות בזווית  $\theta$ .

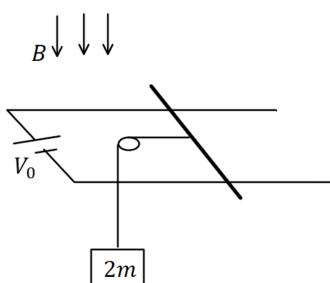
ב. חשבו את גודל וכיוון הזרם כתלות בזמן בכל מחוג עבר הסיבוב הראשון  
(הניחו שהሞט הנע מתחילה תנועתו בצד ימין מوط הначיה).

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

**16) נגד נופל במסגרת**

מסגרת מלבנית מוליכה, אורךה מאד 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  $m$  וההתנגדות  $R$  מונח על מסילה אופקית חלקה למקור מתח  $V_0$ .

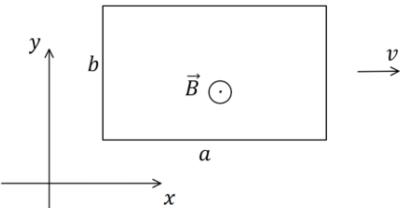
המוליכים מחוברים בקצה למקור מתח  $V_0$ . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד  $B$  המאונך למשור המסילה וככלפי מטה.

משקלות שמסתת  $2m$  מחוברת למוט באמצעות חוט דרכ גלגלת אידיאלית.

- א. חשבו את  $V_0$  אם נתון שהמווט במנוחה.
- ב. חוויכים את החוט.

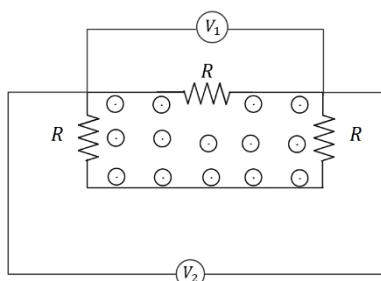
רשמו משוואת תנועה עבור המוט ומצאו את מהירות המירבית של המוט, מה הזרם בмагנט?

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

**18) מסגרת נעה בשדה מגנטי משתנה לינארית**

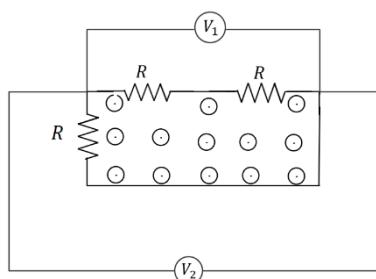
מסגרת מלבנית בגודל  $b \times a$  מסה  $m$  וההתנגדות  $R$  נמצאת על משור  $yx$ . המסגרת נעה באיזור בו קיים שדה מגנטי  $\hat{x}(x) = \alpha(x_0 - x)$ . ברגע  $t = 0$  מהירות המסגרת היא  $\hat{x}v_0$  כאשר  $v_0, x_0, \alpha$  קבועים נתונים.

- 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 פארדיי**

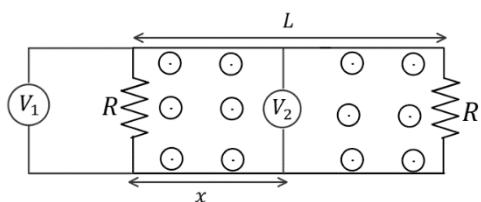
במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד.

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

**20) מעגל עם פארדיי 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 פארדיי 3**

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

המשתנה בזמן. המרחק בין הנגדים הוא  $L$ . מחברים שני מדי מתח אידיאליים כפי שמתוואר באירוע  $x$  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:

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

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

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

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

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

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

$$\varepsilon = \omega B_0 \pi a^2 \sin(2\omega t) \quad \text{ג.} \quad |\varepsilon| = -B_0 \pi a^2 (-\omega) \sin(\omega t) \quad \text{א.} \quad (4)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ב. כיוון השדה המושרحة בכיוון השדה שקיים, לתוך הדף.  $|\varepsilon| = B_0 L V_y \quad \text{א.} \quad (10)$

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



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

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

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

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

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

$$\text{במבחן שעומד בכיוון הרדיאלי ובמבחן שעט בכיוון } \hat{r}. \quad I_T = \frac{B\omega a^2 \pi}{4\pi R + ar\omega t(2\pi - \omega t)} \quad \text{ב.}$$

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

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

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

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

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

$$1mV \quad (19)$$

$$0.5mV \quad (20)$$

$$0.5mV \quad \text{ב.} \quad 0 \quad \text{נ.} \quad (21)$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 16 - שדות משתנים בזמן-RELONETI למשך 15

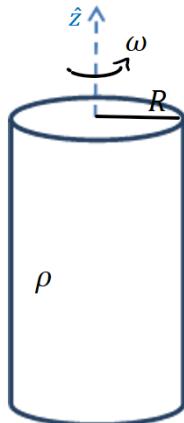
תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים .....

85 .....

## הסבירים ותרגילים:

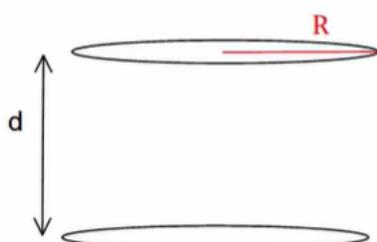
**שאלות:**



**1) גליל טוען מסתובב בתאוצה**

גליל אינסופי מלא ברדיוס  $R$  טוען בCAFIFOT מטען אחד אחיד  
לייחידה נפח  $\rho$ .  
הגליל מסתובב סביב ציר הסימטריה שלו במהירות זוויתית  
המשתנה בזמן  $\alpha t = \omega$  כאשר  $\alpha$  קבועה ונונה.  
א. מה השדה המגנטי בכל המרחב?  
ב. מה השדה החשמלי בכל המרחב?  
ג. מה הכוח שפועל על מטען?

**2) שדה חשמלי תלוי בזמן בתוך קובל לוחות ווקטור פוינטינג על השפה**



קובל לוחות מורכב משני לוחות עגולים ברדיוס  $R$   
המקבילים זה לזה וקיימים במרחק  $d$  אחד  
מהשני  $R < p$ .  
הקובל מחובר למעגל חשמלי המספק לקבל זרם I  
קבוע (ונטו).

- א. מצא את המטען על הקובל כפונקציה של  
הזמן אם נתון  $q(t) = 0$ .
- ב. מצא את השדה החשמלי כפונקציה של הזמן.
- ג. מצא את השדה המגנטי כפונקציה של הזמן והמיקום,  
בתוך הקובל ומחוץ לו.
- ד. מצא את האנרגיה האגורה בין הלוחות.
- ה. מצא את הוקטור פוינטינג על שפת הקובל וחשב את השטף שלו  
על מעטפת הקובל.

**(3) פאודי עם קבל**

קבל לוחות מעגלי ברדיוס  $a$  ומרחק בין הלוחות ( $d \ll a$ )

מחובר למסילה מוליכה חסרת התנגדות.

על המסילה מונח מוט חסר התנגדות באורך  $L$ .

מוסכימים את המוט כך שהוא מתרחק מהקבל

במהירות  $v(t) = At$ .

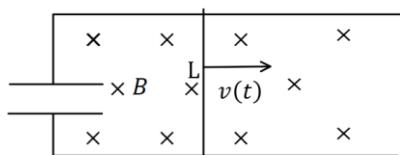
במרחב קיים שדה מגנטי  $B$  אחיד וקבוע לתוך הדף.

א. מהו המטען על הקבל? על איזה לוח המטען החיובי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך הקבל?

ג. מהו השדה המגנטי בתוך הקבל ומוחוץ לו, גודל וכיוון (התעלם מהשدة שנוצר ע"י התילים והמוט)?

ד. מהו הכוח שיש להפעיל על המוט על מנת שינוי ב מהירותו הנזונה אם מסת המוט היא  $M$ ?

**(4) לוחות בקבל מתקרבים בזמן**

קבל לוחות מורכב משני לוחות מעגלים ברדיוס  $a$

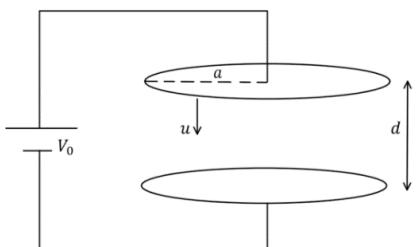
ומרחק  $a \ll d$  ביניהם.

הקבל מחובר למקור מתח קבוע  $V_0$ .

בזמן  $t = 0$  מתחילה לקרב את הלוח העליון אל התחתון ב מהירות קבועה  $u$ .

א. מהו המתח בין לוחות הקבל כתלות בזמן?

ב. מהו השדה החשמלי בין לוחות הקבל כתלות בזמן?



ג. מהו השדה המגנטי בין לוחות הקבל ומוחוץ להן כתלות בזמן?

ד. חזרה על כל הסעיפים אם ניתקו את הקבל מהמקור רגע לפני תחילת ההזזה של הלוח.

**תשובות סופיות:**

$$\vec{B} = 0 \quad r > R \quad , \quad \vec{B} = \mu_0 \rho \omega \frac{R^2 - r^2}{2} \hat{z} \quad r < R \quad . \text{ נ } \quad (1)$$

$$\vec{E} = \frac{-\mu_0 \rho \alpha}{2r} \left( \frac{R^4}{4} \right) \hat{\theta} + (E_r) \hat{r} \quad r > R \quad , \quad \vec{E} = -\mu_0 \rho \alpha \frac{1}{2r} \left( R^2 \frac{r^2}{2} - \frac{r^4}{4} \right) \hat{\theta} + E_r(r) \hat{r} \quad r < R \quad . \text{ ב } \\ \vec{F} = q \vec{E} \quad . \text{ ג }$$

$$\vec{B} = \frac{-\mu_0 I r}{2\pi R^2} \hat{\theta} \quad . \text{ ג } \quad \vec{E} = \frac{-q(t)}{\epsilon_0 \pi R^2} \hat{z} \quad . \text{ ב } \quad q(t) = It \quad . \text{ נ } \quad (2)$$

$$\phi_s = \frac{-I^2 t d}{\epsilon_0 \pi R^2} \quad , \quad S = \frac{-1}{\mu_0} \cdot \frac{q(t)}{\epsilon_0 \pi R^2} \frac{\mu_0 I R}{2\pi R^2} \hat{r} \quad . \text{ ה } \quad U = \frac{I^2 t^2 d}{2\epsilon_0 \pi R^2} + \frac{\mu_0 I^2 d}{16\pi} \quad . \text{ ט } \\ , \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 B_0 L A r}{2d} \hat{\theta} \quad r < a \quad . \text{ ג } \quad \vec{E} = \frac{BLAt}{d} \hat{z} \quad . \text{ ב } \quad , \quad \text{עליזון.} \quad . \text{ ד } \quad q_c = \frac{\epsilon_0 \pi a^2}{d} BLAt \quad . \text{ נ } \quad (3)$$

$$F = MA + \frac{\epsilon_0 \pi a^2}{d} B_0^2 L^2 A \quad . \text{ ז } \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 B L A a^2}{2dr} \hat{\theta} \quad a < r$$

$$, \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 V_0 u r \hat{\theta}}{2(d - ut)^2} \quad r < a \quad . \text{ ג } \quad \vec{E} = \frac{-V_0 \hat{z}}{d - ut} \quad . \text{ ב } \quad V_c(t) = V_0 \quad . \text{ נ } \quad (4)$$

$$V_c(t) = \frac{d - ut}{d} \cdot V_0 \quad , \quad \vec{E} = \frac{-V_0 \hat{z}}{d} \quad , \quad \vec{B} = 0 \quad . \text{ ז } \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 V_0 u a^2 \hat{\theta}}{2(d - ut)^2 r} \quad r > a$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 17 - וקטור פוינטינג והאנרגיה בשדות-RELONETI למשך 15

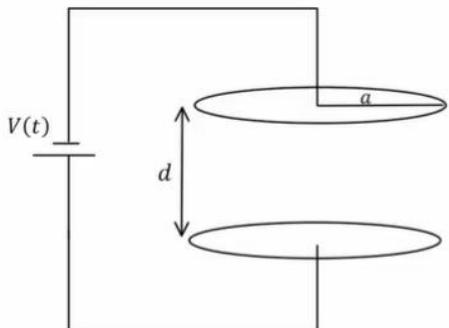
### תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

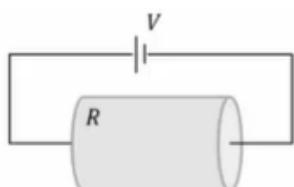
88 .....

## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:



- 1) קבל לוחות עם מתח ליניארי בזמן  $V(t)$ .  
 קבל לוחות מרכיב שני לוחות מעגליים  
 ברדיוס  $a$  הנמצאים במרחב  $a << d$  זה מזה.  
 הקбл מחובר למקור מתח תלוי ליניארית  
 בזמן  $t \cdot A = V(t)$ , כאשר  $A$  קבוע נתון.  
 א. מצא את השדה החשמלי בקбл  
 כתלות בזמן.  
 ב. מצא את השדה המגנטי בתוך הקбл ומוחוץ לו.  
 ג. מצא את האנרגיה האגורה בתוך משטח סגור העוטף את הקבל.  
 ד. מצא את הוקטור פויניינטינג על השפה של המשטח מסעיף ג'.  
 ה. חשב את השטף של הוקטור פויניינטינג על המשטח והראה כי הוא שווה  
 למינוס השינוי בזמן של האנרגיה מסעיף ג'.



- 2) משפט פויניינטינג בנגד גילי  
 נגד גילי בעל אורך  $L$ , רדיוס בסיס  $a$  והתנגדות  $R$   
 מחובר למקור מתח  $V$ .  
 א. חשב את השדה החשמלי והмагנטי בנגד.  
 ב. חשב את הוקטור פויניינטינג על השפה של הנגד.  
 ג. חשב את האנרגיה האלקטרומגנטית בנגד והראה כי משפט פויניינטינג מתקיים.  
 ד. הראה כי המשפט מתקיים גם בצורה הדיפרנציאלית שלו.

- 3) חישוב הספק נפחי משדה חשמלי תלוי בזמן  
 באזור  $x < d$  – קיים שדה חשמלי הנתון לפי הפונקציה  
 הבאה:  $\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \frac{x}{d} e^{-\frac{t}{\tau}} \hat{y}$ . השדה המגנטי במרחב מקיים:  $\vec{B}(0, 0) = 0$ .  
 מצא את צפיפות הזרם האמיטי באזור וחשב את ההספק האוומי הרגעי  
 ליחידה נפח.

### תשובות סופיות:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 A r}{2d} \hat{\theta} \quad r < a , \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 A a^2}{2rd} \hat{\theta} \quad r \geq a . \quad \vec{E} = \frac{A \cdot t}{d} \hat{z} . \text{ נ } \quad (1)$$

ה. הוכחה.  $\vec{S} = \frac{-A^2 \epsilon_0 t a}{d} \pi a . \quad \nabla U = \frac{\epsilon_0 A^2 \pi a^2}{2d} \left( t^2 + \frac{\mu_0 \epsilon_0 a^2}{2} \right) . \quad \text{ג}$

$$U_{em} = \frac{\epsilon_0 V^2 \pi a^2}{2L} + \frac{V^2 L}{16\pi R^2} . \quad \text{ג} \quad \vec{S}_{(r=a)} = \frac{V^2 (-\hat{r})}{2\pi a L R} . \quad \text{ב} \quad \vec{E} = \frac{V}{L} \hat{z} , \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 V r}{2\pi a^2 R} \hat{\theta} . \quad \text{א} . \quad (2)$$

ד. הוכחה.

$$. \vec{J} = \frac{\epsilon_0 E_0 x}{\tau d} e^{-\frac{t}{\tau}} \hat{y} , \quad P = \frac{\epsilon_0 E_0^2 x^2}{\tau d^2} e^{-\frac{2t}{\tau}} \quad (3)$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 18 - מיציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון- רלוונטי למח"נ

תוכן העניינים

1. חוק אמפר הדיפרנציאלי ..... 90

## חוק אמפר הדיפרנציאלי:

שאלות:

(1) מציאות צפיפות זרם משדה מגנטי נתון

מצוא את צפיפות הזרם (משטחית וקווית) היוצרת את השדה המגנטי הבא :

$$\vec{B}_\theta = \begin{cases} Ar + \frac{C}{r} & r < a \\ \frac{D}{r} + \frac{C}{r} & a < r \end{cases}$$

r הוא המרחק מציר ה-z (קוואורדינטות גליליות).

(2) שדה בכיוון z

מצוא את צפיפות הזרם (משטחית וקווית) היוצרת את השדה המגנטי הבא :

$$\vec{B} = \begin{cases} (Ar + C)\hat{z} & r < a \\ 0 & a < r \end{cases}$$

r הוא המרחק מציר ה-z (קוואורדינטות גליליות).

תשובות סופיות:

$$\vec{J} = \frac{1}{\mu_0} \begin{cases} (2A + 0)\hat{z} & r < a \\ 0 & a < r \end{cases} \quad (1)$$

$$\vec{J} = \begin{cases} -\frac{A}{\mu_0}\hat{\theta} & r < a \\ 0 & r < a \end{cases} \quad (2)$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

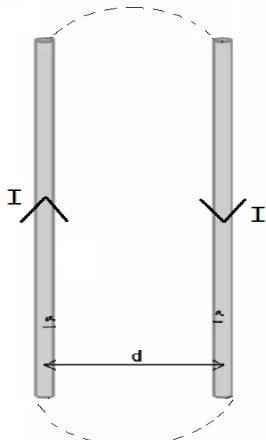
פרק 19 - השראות- עברו באופן שטחי

תוכן העניינים

- 91 ..... 1. השראות עצמית .....

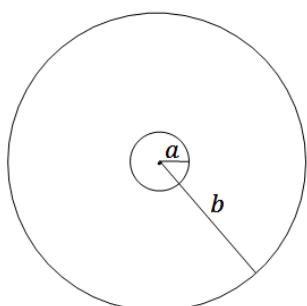
## השראות עצמית:

### שאלות:



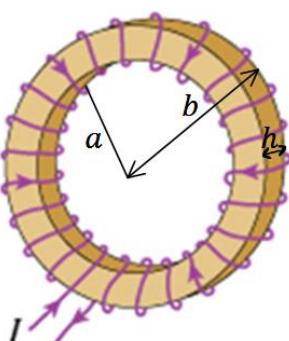
#### 1) שני תיילים ארוכים

נתונים שני תיילים מאד ארוכים שהמרחק ביניהם הוא  $d$ . רדיוס כל אחד מהתיילים הוא  $a$  ונתון שהתיילים מחוברים ביניהם באינסוף. נתון זרם  $I$  במערכת. הנח כי  $a \gg d$  והתיילים אינם משפיעים אחד על השני. חשבו השראות של המערכת ליחידת אורך. ניתן להזניח את השדה בתחום התיילים.



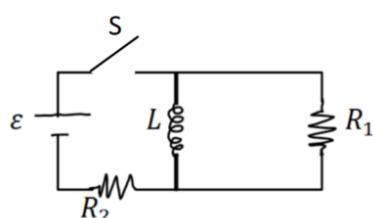
#### 2) השראות כבל קוואקסיאלי

כבל קו אקסיאלי מורכב מתיל פנימי ברדיוס  $a$  ומעטפת דקה ברדיוס  $b$ . התיל והמעטפת באורך  $b$ ,  $a \gg l$ . בתיל הפנימי זורם זרם  $I$  נתון, ומעטפת זורם זרם זהה בכיוון ההפוך. מצאו את ההשראות העצמית ליחידת אורך של המערכת. הזנה את השדה המגנטי בתחום התיל הפנימי.



#### 3) השראות בטوروואיד

בתמונה נתון טרוואיד. הרדיוס הפנימי של הטרוואיד הוא  $a$  והחיצוני  $b$ . גובה (או עובי) הטרוואיד הוא  $h$  ומספר הlipופים  $N$ .  
 א. מצאו את ההשראות של הטרוואיד.  
 ב. מצאו את האנרגיה האגורה בטרוואיד אם זורם בו זרם  $I$ .

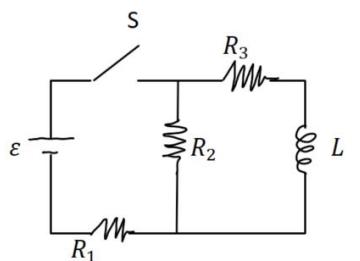


#### 4) תרגיל 1 ב-RL

במעגל הבא המפסק סגור זמן רב, התנגדות הנגדים והשראות הסליל נתונה.  
 א. מצאו את הזרם בכל נגד ואת הזרם בסליל.  
 ב. פותחיכם את המפסק, מהו הזרם ברגע פתיחת המפסק ולאחר זמן רב?  
 ג. מהו הזרם כתלות בזמן לאחר פתיחת המפסק?

**5) תרגיל 2 ב-RL**

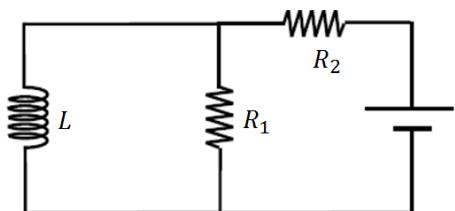
במעגל הבא מתקיים :



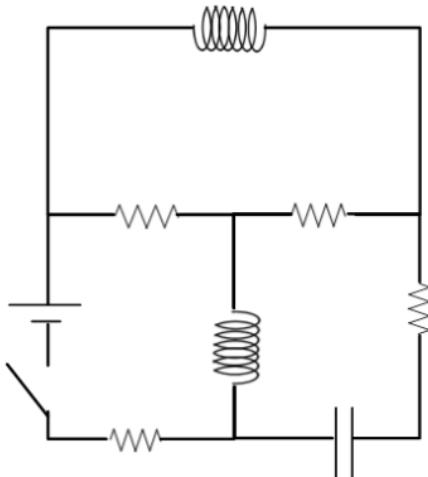
- .  $\epsilon = 5V$ ,  $R_1 = 100\Omega$ ,  $R_2 = 200\Omega$ ,  $R_3 = 300\Omega$ ,  $L = 30mH$
- מה המתאר שמייצר הסליל עם סגירת המפסק?
  - מה הזרם בכל נגד לאחר זמן רב?
  - מהו קבוע הזמן של המעגל?

**6) תרגיל 3 ב-RL**

במעגל הבא נתון כאימ המקור, התנגדות הנגדים והשראות הסליל.



מצאו את הזרם בסליל כפונקציה של הזמן אם

נתון שהזרם בו שווה לאפס ב- $t=0$ .**7) תרגיל 4 ב-RL**במעגל הבא התנגדות כל הנגדים היא R  
ומתח הסוללה הוא V (R ו-V נתונים).

- מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג (הניחו שהקבל אינו טעון ואין זרמים במעגל לפני סגירת המתג).
- מצאו את הזרם בסוללה ובסלילים לאחר זמן רב. מהו המתאר על הקבל?
- חזרו על סעיפים א ו-ב אם במקום כל סליל היה קבל ובמקום הקבל היה סליל.

### תשובות סופיות:

$$L = \frac{1}{\pi} \mu_0 \ln \frac{d-a}{a} \quad (1)$$

$$\frac{L}{1} = \frac{\mu_0 \ln \frac{b}{a}}{2\pi} \quad (2)$$

$$U_L = \frac{1}{2} L I^2 \text{ . ב.} \quad L = \frac{\mu_0 N^2 h \ln \frac{b}{a}}{2\pi} \text{ . נ.} \quad (3)$$

$$I_L(0) = I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_2} , \quad I_L(\infty) = 0 \text{ . ב.} \quad I_L = I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2} , \quad I_1 = 0 \text{ . נ.} \quad (4)$$

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R_2} e^{-\frac{t}{\frac{R_1}{L}}} \text{ . ג.}$$

$$I_1 = 22.7 \text{mA} , \quad I_2 = 13.6 \text{mA} , \quad I_3 = 9.09 \text{mA} \quad \text{ב.} \quad V_L = 3.3 \text{V} \quad \text{נ.} \quad (5)$$

$$\tau = 81.7 \mu\text{s} \quad \text{ג.}$$

$$I_3(t) = \frac{\mathcal{E}}{R_2} \left( 1 - e^{-\frac{RT}{L}t} \right) \quad (6)$$

$$\frac{V}{4R} \quad \text{נ.} \quad (7)$$

ב. סוללה :  $V = \frac{V}{3}$  , סליל עליון :  $I = \frac{2V}{3R}$  , סליל תחתון :  $I = \frac{2V}{3R}$  , קבל :

ג. נ. :  $V = \frac{V}{2}$  , סוללה :  $I = \frac{V}{4R}$  , קבל עליון :  $I = \frac{V}{4R}$  , סליל :

$$V = \frac{V}{2} \quad \text{קבל תחתון :}$$

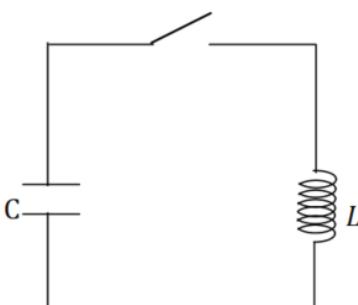
## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 20 - מעגלי זרם חילופין-רלוונטי למשך 15

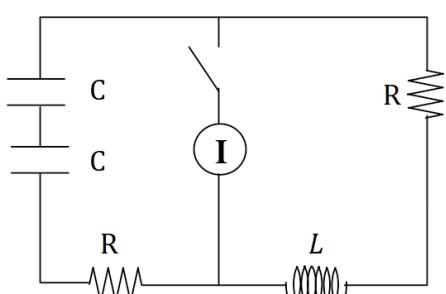
תוכן העניינים

1. מעגלי זרם חילופין .....

94 .....

**מעגלי זרם חילופין:****שאלות:****LC (1)**

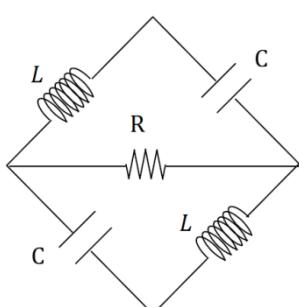
- במעגל הבא  $C = 100\mu F$  ו-  $L = 40mH$ .  
בהתחלת המתג פתוח והקובל טוען ב-  $Q_0 = 12\mu C$ .
- מה הזרם במעגל ברגע סגירת המתג?
  - מהי התדריות וזמן המחזור של המתג?
  - מתי הזרם מקסימלי?
  - מהי האנרגיה בסליל כתלות בזמן?  
מהי האנרגיה בקובל כתלות בזמן?  
ומהי האנרגיה הכוללת כתלות בזמן?

**RLC עם מקור זרם (2)**

- במעגל הבא ישנו מקור המספק זרם קבוע.  
ברגע  $t=0$  סגורים את המפסק.
- מהם הזרמים במעגל כתלות בזמן אם ידוע  $Q_0 < R^2 C$ ?
  - מצא את המתח כתלות בזמן של המקור.

**מעגל RLC יהלום (3)**

- במעגל הבא הקובל העליון טוען ב-  $Q_0$  ברגע  $t=0$  ובמטען  $Q$  והקובל התחתון פרוק.

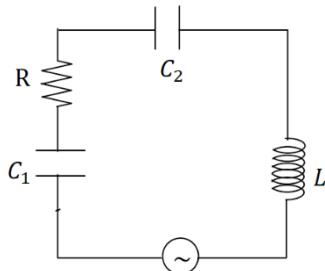


- באותו הזמן גם אין זרם במעגל.  
א. כתוב את המשוואות הדיפרנציאליות עבור ההתקפות בזמן של המטען על כל אחד מהקיבלים.

- ב. פטור את המשוואות بصورة כללית  
(אין צורך להציב את תנאי ההתחלת).

- הדרך: בצע חילפת משתנים ל-  $q_2 - q_1 = q_-$  ו-  $q_+ = q_1 + q_2$ .  
ג. מהם הזרמים בנגד ובקבול לאחר זמן רב?

כמה אנרגיה תהפוך לחום מ-  $t=0$  ועד זמן רב מאוד?



**4) מעגל טורי זרם חילופין**  
במעגל הבא נתון :

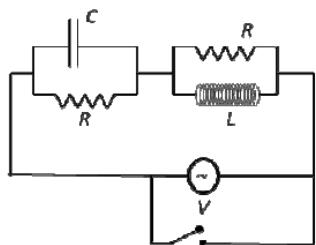
$$V_s(t) = 200 \cos(2000t), I(t) = 4 \cos(2000t + \varphi)$$

$$C_1 = 100\mu F, L = 10mH, R = 10\Omega$$

א. מצא את הקיבול  $C_2$ .

ב. מצא את הפאזה של הזרם.

ג. מצא את ההספק הממוצע של המקור.



**5) מקור, סליל ונגד בטור עם קבל ונגד**  
במעגל הבא נתונים :  $R, C, L$  ומתוך המקור שווה ל- $-V(t) = V_0 \cos(\omega t)$ .

א. מהי העכבה הכוללת של המעגל?

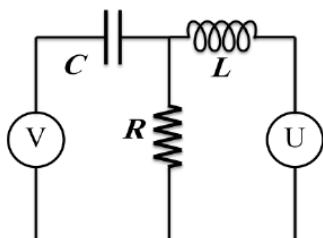
ב. עברו איזה תדר של המקור אין הפרש מופע בין הזרם למתח?

ג. מקנרים את המקור, ונתנו המטען ההתחלתי על הקבל  $Q_0$ .

ה. עברו אילו ערכיהם של  $R$  תהיה דעיכה ללא תנודות?

ו.i. מה הזמן האופייני לאיבוד אנרגיה?

ו.ii. מה הזמן האופייני לכך שהזרם יתפס?

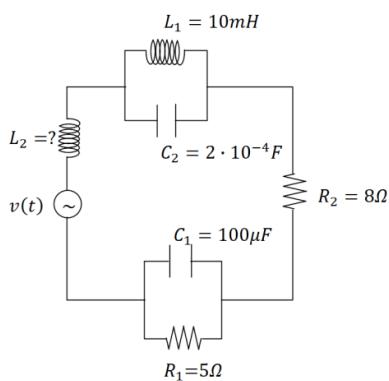


**6) שני מקורות סליל וקбл במקביל לנגד**  
במעגל הבא  $U$  ו- $V$  הם שני מקורות מתח חילופין.

נתון :  $R, L, C$  והמתichen :  $U(t) = U_0 \cos(\omega t), V(t) = V_0 \cos(\omega t)$ .

א. מצא את הזרם בנגד במצב העמיד.

ב. מה התנאי לכך שהזרם יתפס?



**7) מעגל זרם חילופין**  
במעגל הבא נתון כי מתח המקור הוא :

$$v(t) = 50 \cos(1000t)$$

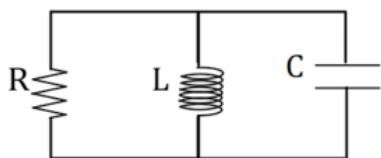
כמו כן הזרם העובר בנגד  $R_2$  הוא :

$$I_2(t) = I_0 \cos\left(1000t - \frac{\pi}{4}\right)$$

- א. מצא את השראות הסליל  $L_2$  ואת  $I_0$ .
- ב. מצא את הזרם בקбл  $C_1$  ב- $I_1 = 2 = t$ .
- ג. חשב את ההספק הממוצע של המקור המתנה.

**8) סליל נגד וקבל בטור**

קבל בעל קיבול  $C$ , סליל בעל השראות  $L$  ונגד  $R$  מחוברים במקביל.



א. נתון כי ב- $t=0$  המטען על הקבל הוא  $q_0$ .

הראו כי המטען על הקבל כתלות בזמן

$$\text{מקיימים את המשוואה: } 0 = \frac{\dot{q}}{RC} + \frac{q}{LC} + \ddot{q}.$$

ב. הראו כי  $q(t) = q_0 e^{-\alpha t} \cos(\omega t)$  הוא פתרון

למשוואה ומצאו מה הערכאים של  $\alpha$  ו- $\omega$  כפונקציה של  $R$ ,  $L$  ו- $C$ .

ג. הראו כי אם אמפליטודת המטען במעגל יורדת לחצי לאחר  $n$  מחזוריים

$$\text{אז: } \sqrt{\frac{\omega_0^2 - \omega}{\omega}} = \frac{\ln 2}{2\pi n}$$

**תשובות סופיות:**

$$\omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, f = 80 \text{Hz}, T = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{sec} \quad \text{ב.ג. 0.א. (1)}$$

.n=1, 2, 3, ... כאשר :  $\pi \cdot 10^{-3} + 2\pi \cdot 10^{-3}$ .

$$\text{ד. בסליל : } U_L(t) = 720 \cdot 10^{-9} J \sin^2(500t)$$

$$\text{בקבול : } U_C(t) = 720 \cdot 10^{-9} J \cos^2(500t)$$

$$\text{כוללת : } E(t) = 720 \cdot 10^{-9} J$$

$$V_s(t) = I_1 R + I_1 L \quad \text{ב.ג.} \quad I_2(t) = I e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega}t), I_1(t) = I(1 - e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega}t)) \quad \text{א.ג. (2)}$$

$$LI_1 + \frac{q_1}{C} + (I_1 - I_2)R = 0, LI_2 + \frac{q_2}{C} + (I_2 - I_1)R = 0 \quad \text{א.ג. (3)}$$

$$, q_1(t) = \frac{1}{2}(A \cos(\omega t + \varphi) + Be^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega}t + \theta)) \quad \text{ב.ג.}$$

$$q_2(t) = \frac{1}{2}(A \cos(\omega t + \varphi) - Be^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega}t + \theta))$$

$$U_F = \frac{Q^2}{4C}, I_1 = q_1 = -\frac{1}{2}A\omega \sin(\omega t + \varphi) = I_2 \quad \text{א.ג.}$$

$$80W \quad \varphi = 78.47 \quad 6.76\mu F \quad \text{א.ג. (4)}$$

$$Z = \left( \frac{\omega^2 L^2}{R^2 + \omega^2 L^2} + \frac{1}{(\omega RC)^2 + 1} \right) R + i \left( \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} - \frac{\omega C}{(\omega RC)^2 + 1} \right) R^2 \quad \text{א.ג. (5)}$$

$$\Gamma = \frac{2}{RC}, \frac{\Gamma}{2} > \omega_0, \omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \frac{1}{R} > \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{i.e.} \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}, Z = \frac{2R}{1 + \frac{R^2 C}{L}} \quad \text{ב.ג.}$$

$$\tau = \frac{RC}{2} \quad \text{ii.e.}$$

$$U_0 = V_0 \omega^2 LC \quad \text{ב.ג.} \quad V_R = V_{R_{\max}} \sin(\omega t + \varphi_R) + Ae^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega}t + \varphi) \quad \text{א.ג. (6)}$$

$$43.5W \quad I_{C_1} = 9.38A \quad I_0 = 2.46A, L_2 = 40.3 \cdot 10^3 H \quad \text{א.ג. (7)}$$

8. שאלת הוכחה.

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 21 - משוואות מקסואל-רלוונטי לממ"נ 15

תוכן העניינים

1. המשוואות והמעברים .....

(ללא ספר) .....

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

פרק 22 - גלים-רלוונטי לממ&quot;ן 15 רק הקטע של איר מוצאים שדה מגנטי מתוך חשמלי, אין צורך בכל התיאוריה של הגלים

### תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים .....

98 .....

## הסבירים ותרגילים:

**שאלות:**

**1) תרגיל 1**

$$\vec{B} = B_0 \cos(\omega t) \hat{z}$$

- 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**

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{1}{v^2} \nabla^2 \phi \quad \text{כאשר } \phi \text{ היא פונקציית הגל}$$

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

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

ב. פתרוון דלמבר למשוואת הגלים אומר שככל פתרוון 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 הפתרוון של דלמבר.

رمز: 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 20250

פרק 23 - דיפול חשמלי - רלוונטי למספר 16

תוכן העניינים

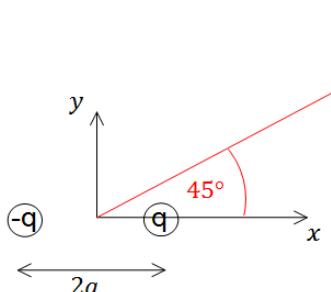
1. הכל על דיפול .....

## 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 ממרכז בין המטענים והזווית של וקטור

מיקום המטען עם ציר  $x$  הוא  $45^\circ$ .

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 והראה כי התשובה זהה לתשובה של סעיף ב'.

**2) דיפול בראשית מזיז אלקטרוון**

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

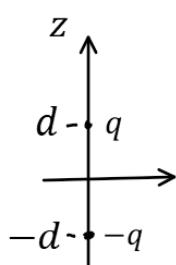
א. מצא את הגודל  $p$  כך שאלקטרוון הממוקם בנקודה  $(a, 0, 0)$  עם מהירות  $(v, 0, 0)$  ייעצר בנקודה  $(b, 0, 0)$ .

ב. מצא את הגודל  $p$  כך שאלקטרוון 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 האמתי?

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

**תשובות סופיות:**

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

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

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

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

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

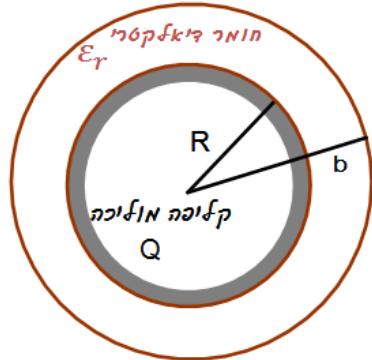
פרק 24 - חומרים דיאלקטריים בrama יותר מסובכת-רלוונטי לממ&quot;ן  
16

### תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים בסיסיים .....	102
2. תרגול נוסף .....	105

## הרצאות ותרגילים בסיסיים:

**שאלות:**

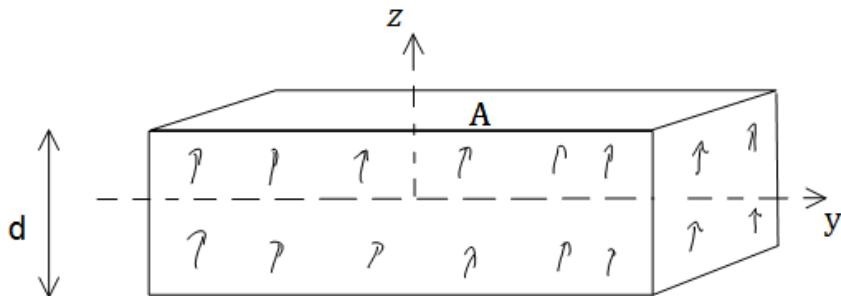


- 1) חומר דיאלקטרי מסביב לקליפה מוליכה קליפה מולlica (דקה) ברדיוס R טעונה במטען Q. מסביב לקליפה נמצאת קליפה נוספת עבה עם רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני  $b$ . מצא את השدة בכל המרחב ואת התפלגות המטען המושנית (קשרורה).

2) **תיבה מוקוטבת**

תיבה בעלת שטח A ועובי  $d$  מוקוטבת עם ציפוי קיטוב נתונה:  $\vec{P} = P_0 \frac{z}{d} \hat{z}$  כאשר ראשית הצירים במרכז התיבה.

- א. מצא את ציפוי המטען הקשור (משטחית נפחית) בתיבה.  
ב. מצא את סך המטען הקשור בתיבה.



3) **כדור מוקוטב רדיאלית**

כדור ברדיוס  $R$  מוקוטב לפי:  $\vec{P} = Ar$  כאשר  $A$  קבוע ו-  $r$  הוא וקטור ממרכז הכדור.

- א. מצא את ציפוי המטען הקשור (משטחית וනפחית).  
ב. מצא את השدة מחוץ ובתוך הכדור.

4) **גליל מוקוטב באופן אחד**

גליל מוקוטב באופן אחד ובמקביל לציר הסימטריה. רדיוס הגליל הוא  $R$  ואורכו  $L$ .  
חשב את התפלגות המטען הקשור וצייר את קווי השدة במקרים הבאים :

- א.  $R \ll L$   
ב.  $L \ll R$   
ג.  $R \approx L$

**5) שדה של כדור עם צפיפות קיטוב אחידה**

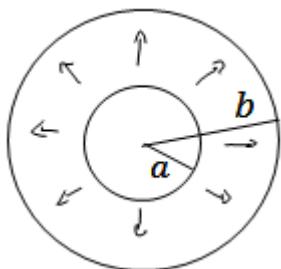
חשב את השדה של כדור מלא עם צפיפות קיטוב אחידה.

הדרך : חשב את צפיפות המטען הקשור.

ניתן לתאר צפיפות מטען כזו באמצעות שני כדורים הטעונים בצפיפות מטען

אחידה ליחס נפח הנמצאים למרחק קטן אחד מהשני.

מצא מה צריכה להיות הצפיפות של כל כדור (תלויה גם למרחק הקטן) ולאחר מכן חשב את השדה בכל המרחב כסופרפוזיציה של השדות של שני הכדורים.

**6) קליפה כדורית דיאלקטרית**

קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי  $a$  ורדיוס חיצוני  $b$

עשוי מחומר דיאלקטרי בעל צפיפות קיטוב

נתונה :  $\frac{A}{r} = \frac{\rho}{r}$  כאשר  $A$  קבוע ו-  $r$  הוא המרחק  
מרכז הקליפה.

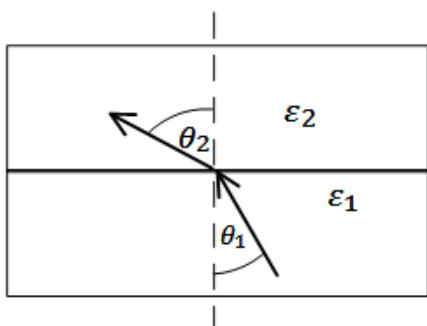
ממצא את השדה בכל המרחב פעמיים בעזרת צפיפות המטען  
המושר ופעמיים באמצעות השימוש בשדה העתקה.

**7) חוק סנל**

קרן אוור מרכיבת משדה חשמלי ושדה מגנטי המתקדמים במרחב, הראה כי אם קרן האור עוברת מחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_1$  לחומר בעל מקדם  
דיאלקטרי  $\epsilon_2$  אז מתקיים חוק סנל (התעלם מהשדה המגנטי).

$$\tan \theta_2 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \tan \theta_1$$

כאשר  $\theta_1$  היא זווית הפגיעה של הקרן עם האנך ו-  $\theta_2$  היא זווית השבירה עם  
האנך בחומר.



### תשובות סופיות:

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

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 המושרית :

$$(2) \quad \text{א. צפיפות המטען משטחית : } \rho_b = -\frac{P_0}{d}, \quad \text{נפחית : } \sigma_b = \frac{P_0}{2}$$

$$(3) \quad \text{א. צפיפות המטען משטחית : } \rho_b = -3A, \quad \sigma_b = A \cdot R, \quad \text{נפחית :}$$

$$\text{ב. שדה בתוך הכלור : } \vec{E} = \frac{Ar}{\epsilon_0} \hat{r}, \quad \text{מחוץ לכלור : } 0$$

$$(4) \quad \text{ג. ראה סרטון} \quad \vec{E} = \frac{P_0}{\epsilon_0} \hat{z} \quad \text{ב.} \quad \vec{p} = qL \hat{z} \quad \text{א.}$$

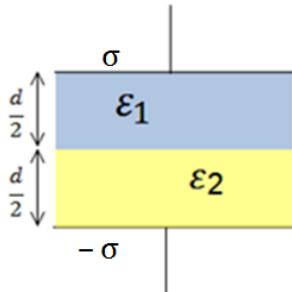
$$(5) \quad \vec{E} = \begin{cases} -\frac{P_0}{3\epsilon_0} \hat{z} & r < R \\ \frac{k(3(\vec{p} \cdot \hat{r}) \hat{r} - \vec{p})}{r^3} & r > R \end{cases}$$

$$(6) \quad \vec{E} = 0$$

(7) שאלת הוכחה

## תרגול נוסף:

שאלות:



1) חומר דיאלקטרי מפוצל בין שני לוחות

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

נתון המקדם הדיאלקטרי של כל חומר  $\epsilon_1$  ו-  $\epsilon_2$ .

- 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.

ה. מצאו את גודל ומיקום המטען הקשור בחומרים הדיאלקטריים.

ו. מצאו שוב את השدة בכל המרחב ע"י שימוש בטען הקשורים והחופשיים.

2) כדור דיאלקטרי טוען

כדור ברדיוס  $R$  מורכב מחומר דיאלקטרי ליניארי בעל קבוע דיאלקטרי אחד  $\epsilon_r$ . בתוך החומר הדיאלקטרי ישנה ציפויות של מטען חופשי (בנוסף לחומר הדיאלקטרי עצמו) מפוזרת באופן אחיד ושווה ל-  $-Q$ . 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 ל-  $\frac{r}{R} \rho_0 = (r) \rho$ .

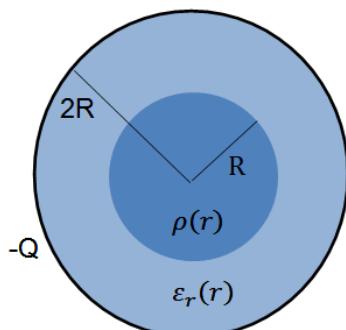
מסביב לכדור ישנה קליפה מבודדת עבה בעלת רדיוס פנימי  $R$  ורדיוס חיצוני  $2R$ .

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  $\vec{Q}$ .

א. מצא את וקטור העתקה  $\vec{D}$  בין כל המרחב.

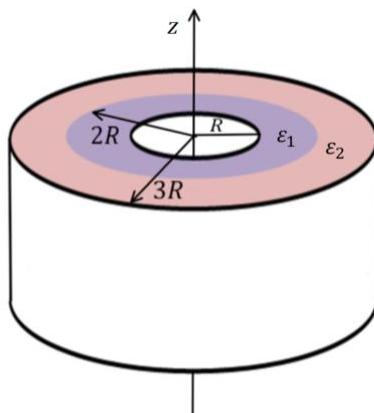
ב. מצא את השدة החשמלי בכל המרחב.



- 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  $\epsilon_1$  מלא את התווך בין  $R$  ל- $2R$  וחומר בעל מקדם  $\epsilon_2$  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 20250

פרק 25 - מומנט דיפול מגנטי-רלוונטי למים 16

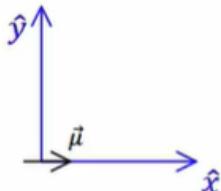
תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים .....

108 .....

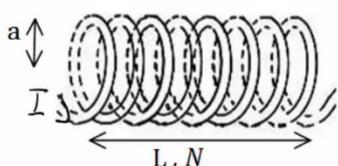
## הסברים ותרגילים:

**שאלות:**



**1) מטען מסתובב סיבוב דיפול בראשית**

נתון דיפול מגנטי הממוקם בראשית  $(0, 0, 0)$ .  
מצא את  $\mu$  כך שאלקטרון הממוקם בנקודה  $(0, -a, 0)$  עם מהירות  $(v, 0, 0)$  יבצע תנועה מעגלית.

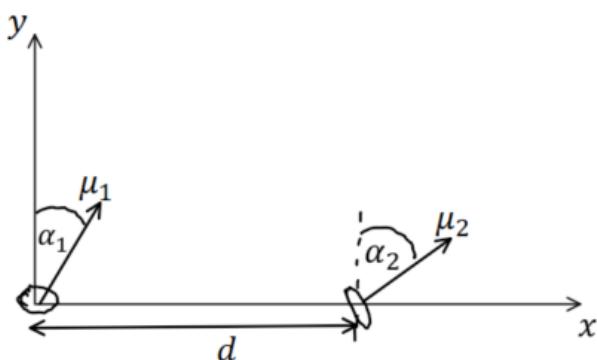


**2) מומנט דיפול מגנטי של סליל**

חשב את מומנט הדיפול המגנטי של סליל.

**3) אנרגיית דיפול דיפול**

שני דיפולים מגנטיים נמצאים במרחב  $d$  זה מזוה לאורך ציר ה- $x$ .  
לשני הדיפולים מומנט מגנטי זהה בגודלו:  $\mu = |\vec{\mu}_1| = |\vec{\mu}_2|$ .  
שני וקטורי מומנט הדיפול נמצאים על מישור  $y - x$  והזוויתות שלהם עם ציר  
ה- $y$  הן  $\alpha_1$  ו-  $\alpha_2$  בהתאם. מצאו את העובודה הדורשת להרחק את הדיפולים  
ממצב זה עד אינסוף. הניחו שהדיפולים אינם משנים את כיוונם בזמן שהם  
מתרחקים.



### תשובות סופיות:

$$|e| \frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi a^2} = m_e v \quad (1)$$

$$\mu_T = NI\pi a^2 \quad (2)$$

$$\frac{\mu_0 \mu_1 \mu_2}{4\pi d^3} (2 \sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2)) \quad (3)$$

## פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 20250

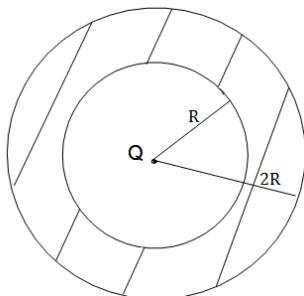
פרק 26 - תרגילים ברמת מבחן

תוכן העניינים

110 ..... 1. תרגילים .....

## תרגילים:

### שאלות:



#### 1) מטען במרכז קליפה

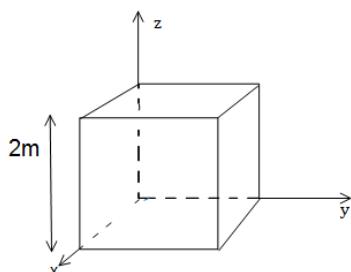
מטען נקודתי  $Q$  נמצא במרכזו של קליפה כדורית עבה.  
רדיוס הקליפה הפנימי הוא  $R$  ורדיוסה החיצוני הוא  $2R$ .  
הקליפה מוליכה ואנייה טעונה.

א. מצא את הפרש הפוטנציאליים בין הנקודה

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

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

#### 2) מטען אנרגיה ופוטנציאל בקובייה



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

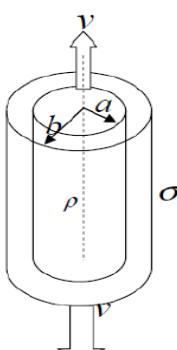
קובייה בעלת צלע של  $2m$  נמצא במרכזו הראשון כך שאחד מקדקודיה נמצא על הראשית (ראח ציור).

א. חשב את סך המטען הכלוא בתחום קובייה.

ב. מהי האנרגיה האלקטרוסטטית בתחום הקובייה?

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

#### 3) גליל וקליפה טעוניים ונעימים



במערכת הבאה ישנו גליל מבודד מלא ואינסובי ברדיוס  $a$ .  
מסביב לגלגל ישנה קליפה גלילית מבודדת דקה ברדיוס  $a$   
(לגלגל ולקליפה ציר מרכזי משותף).

צפיפות המטען יחידת נפח בתחום הגלגל היא  $\kappa$  והוא אחידה,  
וצפיפות המטען יחידת שטח בклיפה היא  $\sigma$  והוא אחידה גם כן.

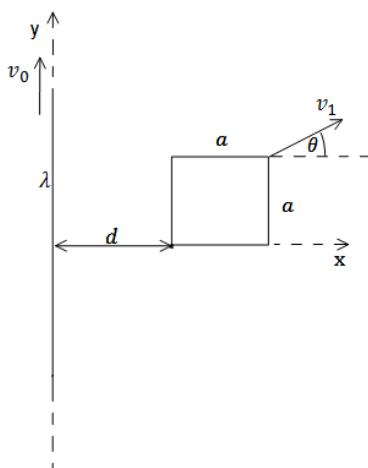
א. מצא מהו היחס  $\frac{\rho}{\sigma}$  כך שהשدة מחוץ לקליפה יתאפשר.

ב. מהו השדה החשמלי בכל המרחב?

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

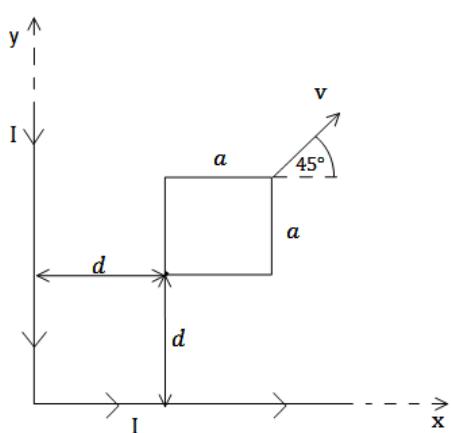
icut מזיזים את הגלגל במחירות קבועה  $\gamma$  כלפי מעלה ואת הקליפה  
באותה המהירות כלפי מטה.

ד. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?



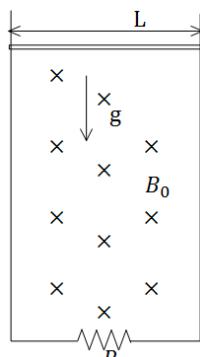
**4) מסגרת נעה באלכסון ליד תיל נע**  
 תיל אינסופי נמצא לאורך ציר ה- $x$ .  
 התיל טוען בצפיפות מטען אחידה ליחידת  
 אורך  $\lambda$  וגע בכיוון ציר ה- $y$  ב מהירות קבועה  $v_0$ .  
 מסגרת מלכנית בעלת צלע  $a$  נמצאת ב- $t = 0$   
 במשורט  $y-x$  כך שהפינה השמאלית שלה מרוחקת  
 מרחק  $d$  מהתיל (ראה סרטוט).  
 התנודות המסגרת היא  $R$ .  
 המסגרת נעה ב מהירות קבועה  $v_1$  ובזווית טטה  
 ביחס לציר ה- $x$ .

- א. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון.
- ב. מהו הכוח הפועל על המסגרת על מנת למשוך אותה ב מהירות קבועה?
- ג. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהולך לאיבוד חום בנגד?

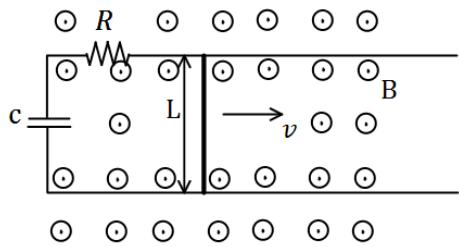


**5) מסגרת נעה בין שני תיליים**  
 תיל אינסופי מכופף בזווית של  $90^\circ$  כך  
 שחלק אחד של התיל נמצא על החלק החיובי  
 של ציר ה- $x$  והחלק השני על החלק החיובי  
 של ציר ה- $y$  (ראה סרטוט).  
 בתיל זורם זרם  $I_0$  קבוע, נגד השעון.  
 מסגרת מלכנית בעלת צלע  $a$  נמצאת ב- $t = 0$ .  
 במשורט  $y-x$  כך שהפינה השמאלית התחתונה  
 שלה מרוחקת מרחק  $d$  מכל חלק של התיל  
 (ראה סרטוט). התנודות המסגרת היא  $R$ .  
 המסגרת נעה ב מהירות קבועה  $v$  ובזווית של  $45^\circ$  ביחס לציר ה- $x$ .

- א. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון.
- ב. מהו הכוח הפועל על המסגרת על מנת למשוך אותה ב מהירות קבועה?
- ג. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהולך לאיבוד חום ב נגד?

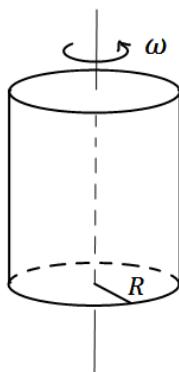


- 6) מוט מוליך מונח על מסילה אנכית ונופל בהשפעת כוח הכבידה. במרחב קיימת שדה מגנטי  $B$  לתוך הדף. רוחב המסילה הוא  $L$  ומסת המוט היא  $M$  התנגדות המסילה קבועה ושויה ל- $R$ .
- מצא את הכא"ם במעגל כתלות ב מהירות המוט  $v$ .
  - מצא את כיוון השדה המשורה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.
  - מצא את הכוח המגנטי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



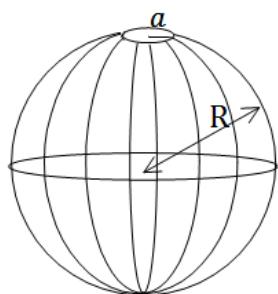
- 7) פארדי עם קבל ונגד ביחד מוט מוליך באורך  $L$  נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות קבועה בזמן  $t$ . למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות  $R$  וקבל בעל קיבול  $C$ . בכל המרחב קיימת שדה מגנטי אחיד  $B$  החוצה מהדף.

- 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 ובקבל (כתלות בזמן).
- הראה כי ההספק של הכוח החיצוני שווה להספק של הקבל והנגד. הסבר מדוע ההספקים שווים.



- 8) גליל טוען מסתובב קליפה גלילית דקה ואינסופית בעלי רדיוס  $R$  טעונה ב ציפוי מתען לייחิดת שטח  $\sigma$ . הקליפה מסתובבת ב מהירות זוויתית  $\omega$  סביב ציר הסימטריה שלה.

- מצא את השדה המגנטי בכל המרחב.
- מצא את השדה המגנטי בכל המרחב אם במקום הקליפה היה גליל מלא עם ציפוי מתען אחידת לייחידת נפח  $\sigma$ .

**9) חור בקיליפה כדורית**

בקיליפה כדורית ברדיוס  $R$  יש מטען כולל  $Q$  המפולג בצורה איחידה על הקיליפה.

בחלקה העליון של הקיליפה ישנו חור ברדיוס  $a$  כך ש- $R \gg a$ .

- מצא את השدة טיפה מעל החור וטיפה מתחתיו.
- מצא את השدة במרחק  $a$  מעל החור.
- מצא את השدة והפוטנציאל במרכז הקיליפה.

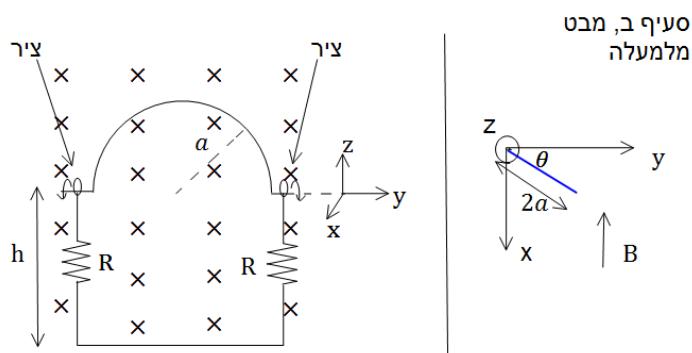
**10) כבל מסתובב**

במערכת הבאה ישנו כבל מוליך אידיאלי בצורת חצי מעגל ברדיוס  $a$ . בשתי הקצוות של חצי המעגל הכבול מחובר לציריים כך שניתן לסובבו סבבים (סיבוב ציר ה- $y$  בציור).

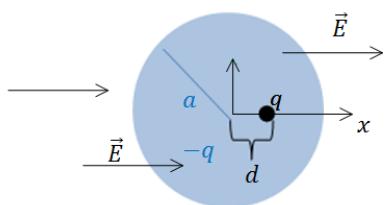
הציריים מחוברים למסגרת מלכנית בגובה  $a > h$ , המסגרת קבועה במקום. בכל צד של המסגרת קיימים נגד  $R$ .

במרחב קיימים שדה מגנטי אחיד  $B$  לתוכך הדף (במיןוס  $X$ ).

ב- $t=0$  הכבול נמצא במצב המתוור בציור ומתייחסים לסובבו סיבוב הציריים (ציר ה- $y$ ) ב מהירות זוויתית  $\omega$  (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל מתקרדות אלינו).



- מהו הזורם בכבל?
- נניח כי העמוד השמאלי של המסגרת נמצא בראשית וניתן לסובב את כל המערכת סיבוב 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.

**11) אטום בשדה חשמלי**

מטען נקודתי  $q$  נמצא במרכז כדור הטוען במטען כולל  $q$  – וצפיפות אחידה ליחידת נפח.

רדיוס הכדור הוא  $a$  (מבנה זה הוא מודל פשוט לאטום כאשר המטען הנקודתי הוא סך המטען בגרעין והכדור הטוען מסמל "ענן אלקטרוני").

מכניסים את המערכת לשדה חשמלי אחיד  $\hat{E} = E_0 \hat{x}$ .

א. מצא את המרחק הנוצר בין מיקום המטען הנקודתי למרצ'ה הכדור במצב שיווי משקל. (סמן את המרחק  $b-d$  והנה כי  $a \ll d$ ).

ב. חשב את העבודה הכוללת שביצע השדה החשמלי על המערכת בזמן ההכנסה לשדה.

חלק לשני מקרים :

1 - כאשר השדה מופעל על המערכת וגדל מאפס עד  $E_0$  בצורה איטית.

2- כאשר המערכת נכנסה בפתאומיות לשדה.

ג. חשב את השדה שיוצרת המערכת מחוץ לכדור לאורך ציר ה- $x$  לפי סופרפוזיציה של מטען נקודתי וכדור.

השתמש בקירוב  $a \ll d$  ופשט את הביטויו לסדר ראשון.

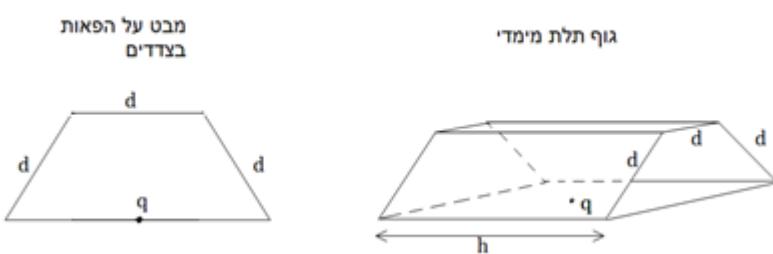
ד. השווה את התשובה שבסעיף הקודם לשדה של דיפול, מהו מומנט הדיפול היוצא מהשוואה זו (גודל וכיוון)?

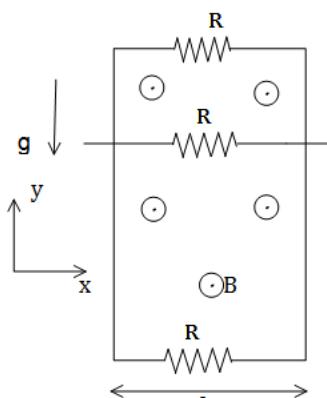
**12) שטף דרך משושה**

בציור ישנו גוף תלת מימדי שפאוטיו בצדדים הם חזאי משושה שווה צלעות עם אורך צלע  $d$ . המרחק בין הפאות הוא  $h$  וידוע  $h > d$ .

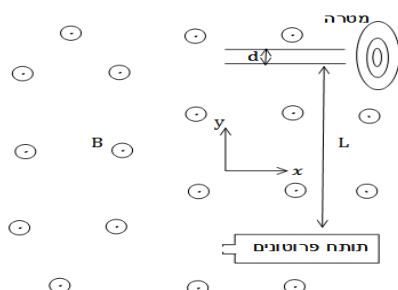
מטען נקודתי  $q$  נמצא במרכז הבסיס של הגוף.

מצא את השטף דרך אחת הפאות המלבניות (באורך  $h$  ורוחב  $d$ ).

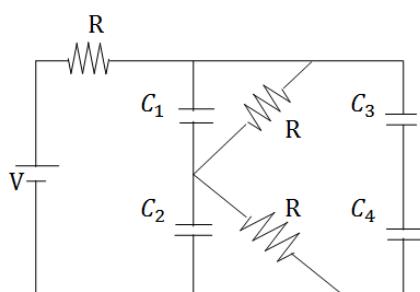




- 13) נגד נופל במסגרת**  
 מסגרת מלבנית מוליכה, אורך 매우 גבוה ובעל רוחב  $L$ , נמצא בשדה הכבוד. אורך נמצא על ציר ה- $y$  ורוחבה על ציר ה- $x$ . בצלע העליונה ובצלע התחתונה של המסגרת קיימים נגדים עם התנגדות זהה  $R$ . מוט מוליך בעל התנגדות זהה  $R$  מחליק לאורך ציר ה- $y$  על המסגרת.  
 מצא את המהירות הסופית של המוט אם במרחב קיים שדה מגנטי אחיד  $B$  בכיוון  $Z$  ונתונה מסת המוט.



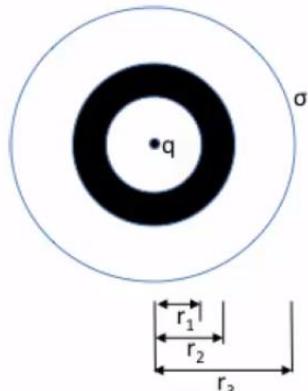
- 14) תותח פרוטוני**  
 תותח פרוטוני יורה פרוטונים ב מהירות שוונות בכיוון מינוס ציר ה- $x$ . במרחב  $L$  מעל התותח נמצא קובל לוחות כאשר המרחק בין הלוחות הוא  $L \ll d$ . בסוף הקובל נמצא מטרה. במרחב קיים שדה מגנטי  $B$  אחיד ובכיוון  $Z$ . מצא את המתח שצורך להפעיל על הקובל על מנת שהפרוטונים יפגעו במרכז המטרה.



- 15) אנרגיה של קבליים**  
 במעגל הבא נתון מתח המקור וההתנגדות הנגדים (זהה לכל הנגדים).  
 א. מצא את האנרגיה האגורה בקבליים  
 במצב העמיד אם נתון  $\phi$ -  
 $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$   
 ב. כתע נתון שהגדילו את המרוחק בין  
 הלוחות של קובל  $C_3$  פי 2 ולקובל  
 הכניסו חומר דיאלקטרי בעל מקדם  
 דיאלקטרי  $\epsilon_r$  הממלא את כל הנפח  
 בתוך הקובל.  
 מצא שוב את האנרגיה האגורה בקבליים.

**הערה:**

שאלות 18-16 לקוחות מבחן של הנדסת חשמל באוניברסיטת תא, 2014 מועד A סמסטר A.



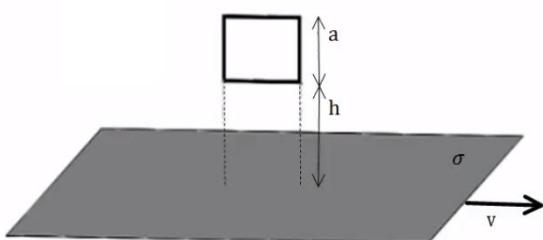
**16)** נתונה המערכת הבאה, המתוארת בקואורדינטות כדוריות: בראשית הצירים נמצא מטען נקודתי  $q$ . בתחום הרדייאלי  $r_2 < r < r_1$  ישנה קליפה כדורית

- עבה, מוליכה ובלתי טעונה.  
 ברדיוס  $r_3$  (כאשר  $r_2 < r_3$ ) ישנה קליפה כדורית דקה, מבודדת וטעונה בצפיפות מטען שטחית  $\sigma$ .  
 א. מהו וקטור השדה החשמלי בכל המרחב?  
 ב. מהי פונקציית הפוטנציאל בכל המרחב?  
 (קחו את הפוטנציאלי להיות 0 ב- $\infty = x$ ).

ג. רשמו את מיקומיהם וגדיליהם של כל צפיפות המטען המשטחיות במערכת, פרט לזו שב- $r_3$ .

- ד. מזיזים את המטען הנקודתי למקום  $(\frac{r_1}{2}, 0, 0)$ .  
 בכמה משתנה הפוטנציאלי בנקודה  $(2r_3, 0, 0)$ ?

**17)** במישור  $xy$  נמצא משטח אינסופי דק, הטוען בצפיפות מטען משטחית אחת  $\sigma$ . המשטח נע בלהירות  $\hat{z}t\beta$  כאשר  $\beta$  קבוע. בגובה  $a$  מעל המשטח, במישור  $zx$ , נמצאת לולאה ריבועית נייחת בעלת צלע  $a$  (ראו איור). ענו על כל הסעיפים כפונקציה של הזמן.



א. מהי צפיפות הזרם הקווית הנובעת מתנועת המשטח?

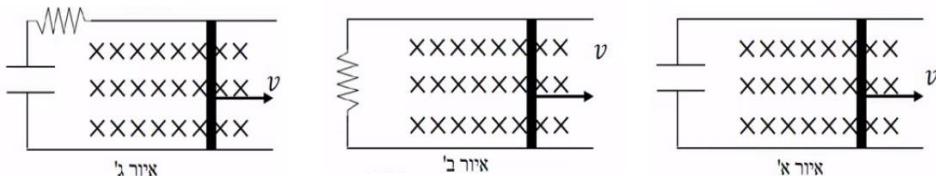
ב. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?

ג. מהו שטף השדה המגנטי דרך הלולאה?

ד. נתון שלמסגרת התנגדות  $R$ .

מהו גודל הזרם במסגרת ומהו כיוונו (ציירו את הכיוון לפי האיור)?

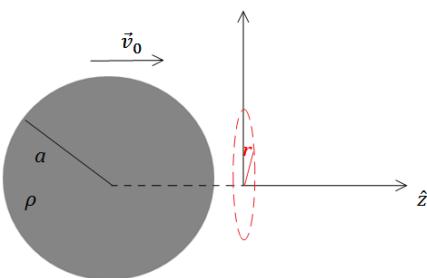
18) קיבל שקיולו C מחובר לשני מוטות חצי אינסופיים וחסרי התנגדות. מוט שלישי, בעל אורך H וחסר התנגדות, נוגע בקצוותיו במוטות החצי אינסופיים ומתרחק מהקבל במהירות קבועה  $v$  (ראו איור A'). באזור המוט הנע פועל שדה מגנטי  $B_0$  הניצב למשור המעגל (השדה נכנס לדף). שדה זה אינו קיים באזור הקובל. הזינו את התנגדות התילים ואת השדה המגנטי שיוצא הזרם המושרה.



- מהו הכך'ם המושרה בעגל?
- מהו המטען על הקובל?
- מחליפים את הקובל בCOND שהתנגדותו R (ראו איור B'). מהו הזרם בעגל? (גודלו וכיוונו – ציינו את הכיוון באופן ברור).
- מחזירים את הקובל למגל, כך שהוא מחובר בטור עם נגד (ראו איור G'). כתבו את משווה המתנים של המעגל ומצאו את הזרם כפונקציה של הזמן, כאשר נתון שהקובל אינו טוען בזמן  $t = 0$ .

### 19) לולה דימונית בתוך כדור טוען נע

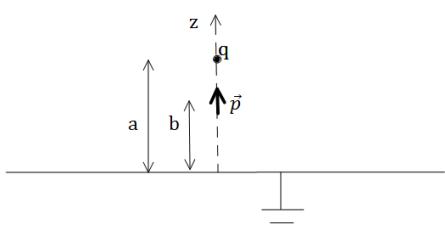
כדור ברדיוס  $a$  טוען בציפויו מטען אחידת יחידת נפח  $\rho$ . מרכז הכדור נמצא על ציר ה- $z$  ונთנו כי הכדור נע במהירות קבועה  $\vec{v}_0 = \hat{z}$ . טבעת דימונית ברדיוס  $a < r < r_0$  נמצאת על משור ע- $x$  ומרכזה בראשית הצירים. פטור את סעיפי השאלה רק עבור הרגעים בו מרכז הכדור נמצא על ראשית הצירים (הכדור עדין נع).



- מה השדה החשמלי במרחב?
- מהו זרם העתקה העובר דרך הטעבת?
- מהו הזרם האמתי העובר דרך הטעבת?
- מצא את השדה המגנטי על נקודה בטבעת.

### 20) מטען נקודתי ודיפול מעיל מישור

טען נקודתי  $q$  נמצא על ציר ה- $z$  במרחק  $a$  מהראשית. דיפול חשמלי  $(d, 0, 0) = \vec{p}$  נמצא גם כן על ציר ה- $z$  במרחק  $b$  מהראשית. לאורך ורוחבו של משור ע- $x$  מונח מישור אינסופי מוארך.



- מצא את הכוח הפועל על המטען  $q$ .
- מצא את העבודה הדורשת להביא את המטען מאינסוף לנקודה בה הוא נמצא.

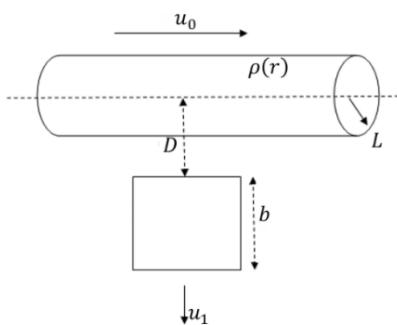
## 21) גליל טעון נע

נתון גליל אינסובי בעל רדיוס  $L$  הטוען בצפיפות מטען נפחית  $\rho(r) = \rho_0 \left(\frac{r}{L}\right)^2$ . כאשר  $z$  מייצג את המרחק מציר הסימטריה של הגליל (ציר  $z$ ).

א. קובל ביטוי לוקטור השדה החשמלי בכל המרחב.  
 ב. קובל ביטוי לפוטנציאל החשמלי בכל המרחב. הניחו כי  $V_0 = 0$ .  
 ג. בשלב זה הגליל נע במהירות קבועה  $u$  בכיוון  $z$ .

מה וקטור השדה המגנטי בכל המרחב?

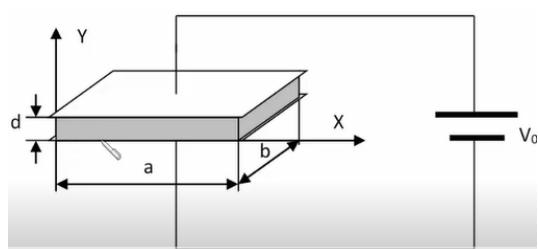
- ד. במרחב  $D$  ממרכז הגליל נמצאת לולה ריבועית בעלי צלע  $a$  והתנגדות חשמלית  $R$ . נתון  $Sh - L > D$  והלווה וציר הגליל נמצאים באותו מישור, ושתיים מצלעות הלווה ניצבות לציר הגליל. הלווה מתחילה לנوع  $B = 0$  במהירות קבועה  $u$  בכיוון הרדיאלי. מהו הזרם הזורם בלולאה ומה כוונו עבור ציפויות מטען חיובית.



במידה ולא פתרת סעיף ג' אתה רשאי להניח זרם חשמלי I בגליל הנע.

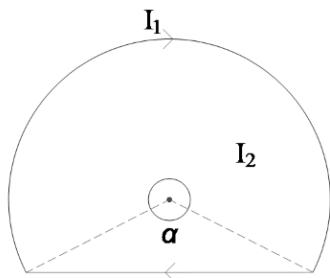
## 22) קובל לוחות עם חומר תלוי במיקום

נתון קובל לוחות עם שטח חתך מרובע  $a \times a$  (ראה תרשיס). בין הלוחות שהמרחב ביניהם  $d$  מצוי חומר דיאלקטרי בעל דיאלקטריות

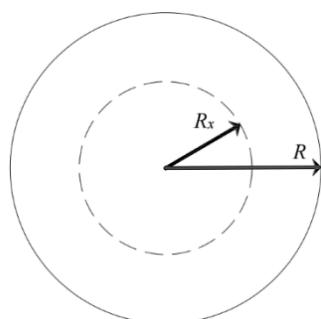


יחסית  $\epsilon = \epsilon_r + \frac{y}{d}$  כאשר  $y$  הוא המרחק מהמשטח התחתון (מהאלקטrozדה) אשר מיקומו במערכת הצירים מוגדר כ- $y = 0$ . הלוחות מחוברים להפרש פוטנציאליים קבוע  $V_0$ .

- א. פתח את הביטוי עבור קיבול הקובל.  
 ב. מהו המטען וצפיפות המטען הנמצאת על כל לוח?  
 ג. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי כפונקציה של המיקום?  
 ד. השתמש בצפיפות האנרגיה בתוך החומר הדיאלקטרי וחשב את האנרגיה האצורה בחצי התחתון של הקובל.



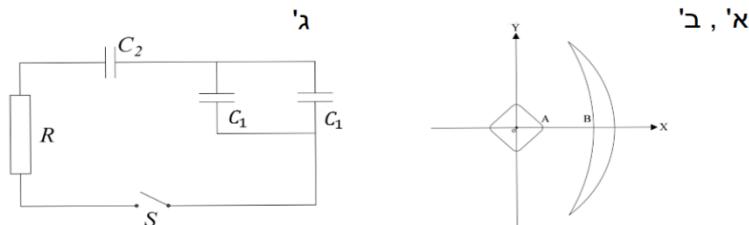
**23) מומנט כוח של תיל העובר בתוך גלגל עם פנצ'יר**  
 בלולאה טבענית ברדיוס  $R$  הוחלפה קשת בזווית  $\alpha$  במיתר ישר. בלולאה זורם זרם  $I_1$ . מוליך ישר אינסופי ניצב למשור הלולאה וחוצה אותו במרכזה של הטבעת. במוליך זורם זרם  $I_2$ . מהם הכוח ומומנט הכוח הפועלים על הלולאה?



**24) חור בתוך כדור**  
 כדור שרדיוסו  $R$  טענו בصفיפות 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 כדורי שרדיוסה  $R_x$  אשר יוצר חלל פנימי אך שאר החומר עديין טען כמו קודם. הפרמטר  $x$   $R_x$ ינו ידוע.  
 במצב החדש עוצמת השדה החשמלי בכל התחומי  $R > r$  נחלשה פי 2.  
 מצא את עוצמת השדה החשמלי בתחום  $R \leq r \leq R_x$ .  
 (אפשר אך אין חובה למצוא את  $R_x$ ).

### 25) קבל לא סטנדרטי

בתרשים שלפנינו מתואר קבל הבוני משני גופים מוליכים לצורותם איננה סטנדרטית. הצירים  $x, y, z$  מוגדרים בשרטוט.  
 נתונות קואורדינטות של הנקודות  $A, B$ ,  $x_A = a, x_B = b$ .  
 ידוע כי כאשר קובל זהה טעון במטען  $q$  הפוטנציאלי על ציר  $-x$  בין הנקודות  $A$  ו-  $B$  ניתן לפי הנוסחה  $\varphi = \gamma q(x^2 + ax + bx)$ .



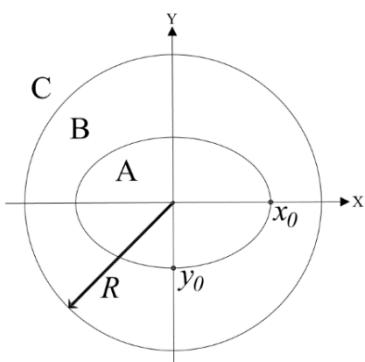
א. מהו קיבולו של הקובל?  
 ב. ממלאים את הרווח שבין שני גופי הקובל בחומר דיאלקטרי, בעקבות זאת השדה בתוך הקובל משתנה וקטור השדה בנקודות של ציר  $-x$  נתון לפי הנוסחה הבאה:  $(ax^2 + 2xy, x^2 + z^2, 2yz) - \vec{E} = \frac{\gamma q}{3a}$  מצא את קיבול הקובל במקרה זה.

ג. טוענים את הקבל של סעיף א' ונותנים לו להתרפק דרך נגד R.  
בעבור 7 שניות, לאחר תחילת הפריקה נתנו כי עצמת הזרם במעגל ירדה  
פי 100. בניסוי נוסף מוחברים מעגל משולשה קבלים כפי שרטוט 2 מראה,  
המעגל כולל 2 קבלים של סעיף א' ( $C_1$ ) ועוד קבל של הסעיף ב' ( $C_2$ ).  
טוענים את הקבלים ונותנים להם להתרפק דרך אותו הנגד R.  
כמה זמן יעבור בעת מרגע סגירת המפסק ועד שהזרם יקטן פי 100.

### (26) מוליך לא סטנדרטי

נתונה קליפה גלילית דקה שאינה מוליכה באורך אין סוף.  
בתוך הקליפה נמצא גופ נוסף, מוליך שאורכו גם אין סוף.  
באזור מוצג חתך של המערכת, נסמן ב-A את שטח חתך המוליך, ב-B את  
התחום בין המוליך לקליפה וב-C את התחום שמחוץ למערכת.  
R הוא רדיוס הקליפה הגלילית אשר טעונה בצפיפות מטען אחידה  $\sigma$ .  
מערכת הצירים נבחרה כך שציר  $z$  מתלכד עם ציר הסימטריה של הקליפה  
(שימו לב כי צורת החתך המוצגת באזור 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  
לזוקטור השדה החשמלי בכל מקום במרחב.  
(כפונקציה של  $x$  ו- $y$ ).

ב. קובלו ביטוי עבור וקטור השדה החשמלי  
בתחומי 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  $(R, 0, 0)$   
של הקליפה הגלילית.

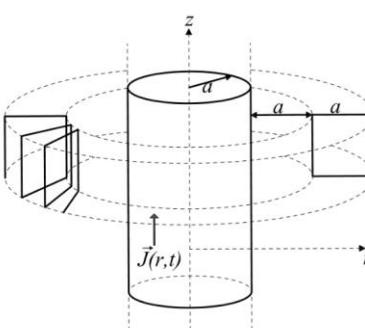
### (27) טורואיד מסביב לגליל עם זרם

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

א. מצא את וקטור השדה המגנטי בסביבתו  
החיצונית ( $z < a$ ).

מקיפים את הגליל בסליל סגור בעל קריקות

צורתן ריבוע שאורך צלעותיו a נראה בשרטוט.  
בעל חתך ריבועי כמתואר על ידי הקווים המנוקדים.



הדוֹפָן הפנימית של הסליל מרוחקת מרחק  $a$  ממעטפת הגליל.

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

ב. חשבו את השטף המגנטי דרך כיריכת בודצת בסליל.

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

### (28) 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 בشرطוט).

בתיל זורם זרם  $I$ , כיון הזורם מסומן בشرطוט.

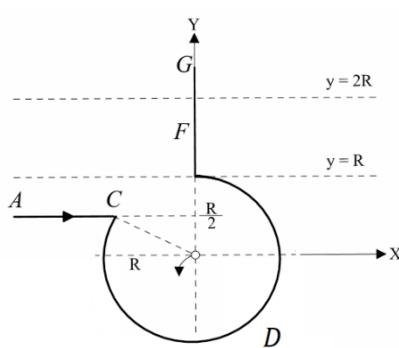
א. מהו גודלו וכיונו של וקטור השדה המגנטי במרכזו של התיל?

ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכזו החלק המעגלי של התיל  
המעגלי של התיל מסלולו מתעקל עקב השפעת השדה המגנטי של התיל. צורת המסלול וכיונו התנועה נתונים בشرطוט.  
מהו סימן מטען של החלקיק?

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

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

נתון וקטור השדה  $(0, 0, ay^2)$ , כאשר הקבוע  $a$  נתון.  
מהו הכוח המגנטי ששהה זה מפעיל על התיל?



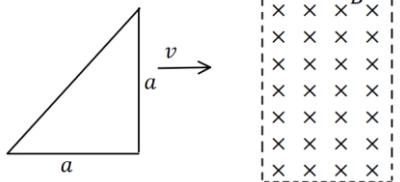
### (29) משולש נכנס הפוך לשדה מגנטי

משולש מתחתי 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  $a$ .  
התנודות המשולש היא  $R$ .



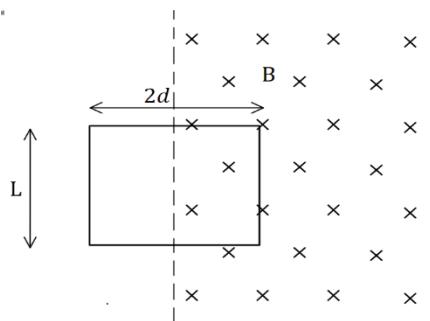
א. חשב את הכאים במסגרת כתלות בזמן וצייר גרף  $(t, \epsilon)$ .

ב. מהו הספק אייבוד האנרגיה?

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

**(30) מסגרת נעה בשדה שקטן**

מסגרת מלכנית בעלת אורך  $2d$  ורוחב  $L$  מונחת כך שرك ח齊ה הימני נמצא בתוך שדה מגנטי (ראה איור). כיוון השדה הוא לתוך הדף וגודלו משתנה בהתאם הבא:  $B = t_0 + 2t < t < 2t_0$  גודל השדה יורד בקצב קבוע עד שהוא מגיע לערך 0 בזמן  $t_0$ . לאחר מכן גודל השדה נשאר אפס. התנודות המסגרת היא  $R$ .



א. חשב את הכאים המושרحة מרגע  $t = 0$  בהנחה שהמסגרת מוקൂעת במקום.

ב. שרטט את הזרם כתלות בזמן. מה כיוון הזרם במסגרת?

ג. כתע נינוח כי מהרגע  $t_0$  מושכים את המסגרת ימינה במהירות קבועה

$$\text{קבועה} = \frac{d}{t_0} \cdot v.$$

חובב את הזרם המושרحة במסגרת בפרק הזמן  $t_0 < t < 2t_0$ .

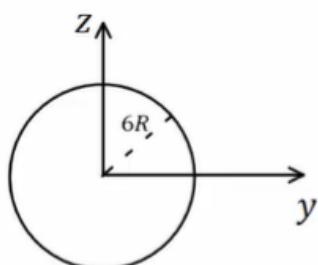
ד. חשב את העבודה שביצע הכוח שמשך את המסגרת בפרק הזמן של סעיף ג'.

**(31) מציאת צפיפות זרם בגליל אינסופי**

ගליל אינסופי בעל רדיוס  $R$  מונח כך שצירו המרכזי מקביל לציר ה- $x$ . בתוך הגליל ישנו שדה

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

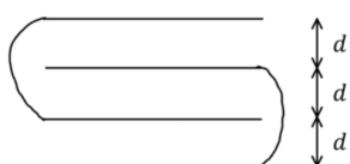
התנודות הסגולית של הגליל היא  $\rho$ .



א. מצא את צפיפות הזרם בגליל.

ב. מהו השדה החשמלי בתוך הגליל?

ג. מהו השדה המגנטי מחוץ לגליל?

**(32) קבל מרובעת לוחות**

קיבל מרכיב מרובעת לוחות מוליכים ומקבילים בעלי שטח  $A$ , הממוקמים כך שהמרחק בין לוח

ללוח הבא אחוריו הוא  $d$ . ( $A <> d$ ) הלוח הראשון מחובר בחותט אידיאלי ללוח השלישי והלוח השני לריבועי.

חובב את קיבול המערכת.

שים לב שמטעני סימטריה צפיפות המטען על הלוחות הראשון והרביעי שווה והפוכה בסימן, וכך גם עבור הלוח השני והשלישי.

### 33) טבעת גמישה מחליקה על חרוט

נתונה טבעת מוליכה בעלת רדיוס  $r$  ושטח חתך A כך שנפח הטעעתו הוא  $A2\pi r = V$ .

הטעעת העשויה מחומר גמיש במיוחד כך שבכל רגע נתנו ניתן לשנות את רדיוס הטעעת ושטוח החתך שלה (ללא הפעלת כוח או השקעת אנרגיה בקירוב), כל עוד נפח הטעעת נשאר קבוע. מוליכות הטעעת היא  $\sigma$  ומסתה היא  $m$ .

א. מצא את התנודות הכלולות של הטעעת R באמצעות  $r$ ,  $V$ ,  $\sigma$ .

ב. מניחים את הטעעת על חרוט מעגלי חסר

חיכוך בעל זווית בסיס  $\alpha$ , ונונאים לה

להחליק כלפי מטה בהשפעת כוח הכבוד.

נתנו כי קיימים בכל המרחב שדה מגנטי אחיד B בכיוון ציר החירות.

חשב את הכא"ם והזרם בטבעת כתלות

ב- $r$  וב- $v$  מהירות הרגעים של הטעעת.

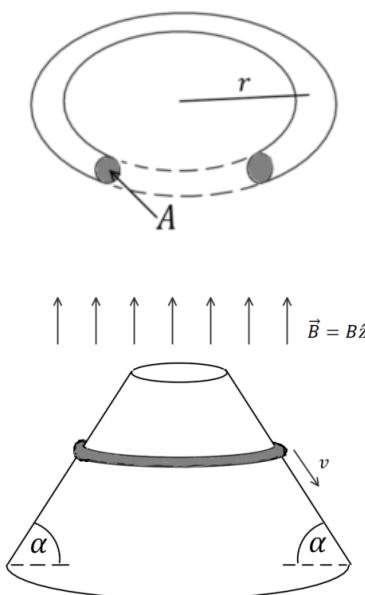
מהו כיוון הזרם ביחס לשדה המגנטי?

ג. מצאו את הכוח המגנטי (גודל וכיוון) הפועל על אלמנט אורך של הטעעת  $dv$ .

ד. הראו כי קיימות מהירות שאינה תלולה

ב- $r$  בה שקול הכוחות על האלמנט אורך  $dv$  בכיוון מקביל למהירות מתאפס.

בטאו את המהירות באמצעות  $B$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $\alpha$ ,  $V$ .



### 34) קובל וקפיץ לא לינארי

קובל לוחות מורכב משני לוחות מעגליים בעלי שטח A.

בין הלוחות מחובר קפיץ לא מוליך המפעיל כוח לא לינארי שגודלו הוא  $k\Delta l^2 = F$ . כאשר  $\Delta l$  היא ההתרומות של הקפיץ מהמצב הרופוי.

האורך הרופוי של הקפיץ הוא  $\ell_0$  ונתנו כי  $\bar{A} \ll \ell_0$ .

א. מחברים את הקובל לסלוללה בעלת מתח V.

מה המטען על הקובל ומהי ההתרומות של הקפיץ במצב היציב?

ב. מקרבים את הלוחות של הקובל אחד אל השני לפחות כך שהמרחק

בניהם נתנו על ידי  $ut - \ell_0 = (t)x$ .

מה הספק של הסוללה בתחילץ?

מהו קצב שינוי האנרגיה בקובל?

הסבר מדוע הגדים אינם שוויים.

ג. מחזירים את הלוחות למצב של סעיף א',

מנתקים את הסוללה ומחברים במקומה נגד R.

הディפרנציאלית שפתרוניה ייתן את המטען על הקובל כתלות בזמן,

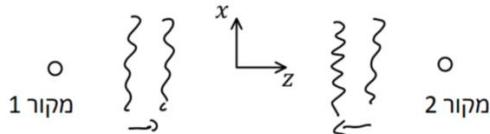
הנি�חו שמסת הלוחות קבועה. אין צורך לפתור את המשוואה.

### 35) גלים-צפיפות אנרגיה בהתארכות

נתונים שני מקורות המשדרים גלים אלקטרומגנטיים בתדר זהה  $\omega$  אך באמפליטודה שונה  $E_1$  ו- $E_2$ . שני המקורות נמצאים למרחק גדול אחד מהשני על ציר  $z$  ומשדרים גלים אחד כלפי השני.

מקור אחד משדר גלים המתקדמיים בכיוון החיובי של ציר  $z$  והמקור השני בכיוון השיליי של ציר  $z$ .

נקבע את ראשית הצירים באמצעותם בין המקורות ונניח שבאזור הראשית הגלים הם בקרוב גלים מישוריים.

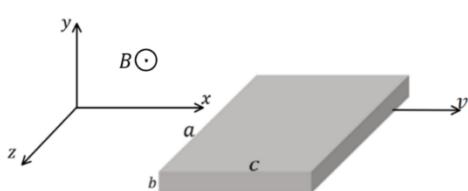


- א. רשמו ביטוי לשדה החשמלי והмагנטי של כל אחד מהמקורות בנפרד. ככלומר כאיילו רק אחד מהם פועל.
- ב. רשמו ביטוי לצפיפות האנרגיה של כל אחד מהגלים בנפרד באזור הראשית. מומלץ לבצע ממוצע על זמן מחזור.
- ג. כתעת מפעילים את שני המקורות ייחדיו והגלים מתארכים. רשמו ביטוי לצפיפות האנרגיה כאשר שני המשדרים עובדים באותו הפאות וב הפרש פאות של  $\pi$ . האם בהתארכות נשמרת צפיפות האנרגיה?

### 36) תיבת דקה נעה בשדה מגנטי

תיבת דקה עשויה מחומר מוליך ומונחת במקביל לציריהם.

במידת התיבה  $c$ ,  $b$ ,  $a$ ,  $c < a < b$  ראה איור. במרחב קיים שדה מגנטי  $\hat{B}$ . נתון כי התיבה ניטרלית. התיבה נעה במהירות קבועה  $\hat{v}$  ביחס למעבדה.



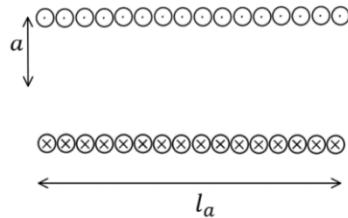
א. מצאו את צפיפות המטען המשטחית והנפחית בתיבה ביחס למערכת המעבדה.

ב. פתרו שוב את סעיף א' מຕוך מערכת המנוחה של התיבה.

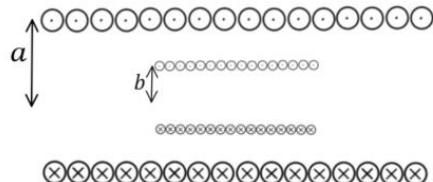
ג. חשבו את הוקטור פוינטינג במערכת המעבדה בתוך ומחוץ לתיבה. הסבירו את התשובה שקיבלתם.

**37) סליל בתוך סליל בתוך שדה**

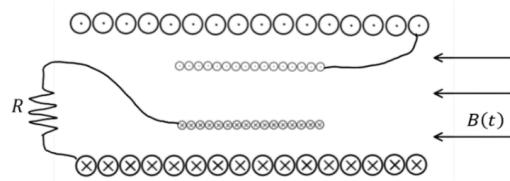
- נתון סליל באורך  $a$ , רדיוס  $a$  ו- $a$  ליפופים ליחידת אורך. נתנו  $|a| \ll a$ .
- א. מצא את הפוטנציאל הוקטורי בכיוול קולון בכל המרחב כתלות בזרם הזורם בסליל.



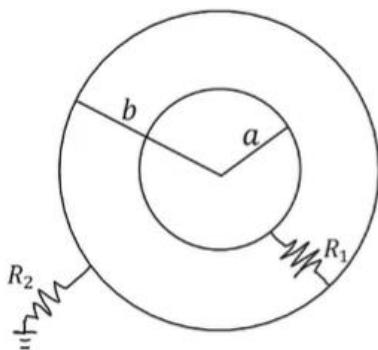
- ב. מכניםים לתוך הסליל סליל נוסף קטן יותר בעל אורך  $b$  ורדיוס  $b$  וצפיפות ליפופים ליחידת אורך  $b/a$ . הנח כי  $b \ll a$ . מצא את ההשראות החזידית בין הסלים.



- ג. לחברים את הסלים בטור דרך נגד  $R$  כך שכיוון הזרם בשני הסלים זהה. מدلיקים שדה מגנטי תלוי בזמן  $B(t) = \beta t$  כאשר  $\beta$  קבוע חיובי בכיוון ציר הסימטריה של הסלים. מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?

**38) שתי קליפות נפרקות**

- שתי קליפות כדוריות מוליכות בעלות מרכז משותף ורדיוסים  $a$  ו- $b$  טעונות במטענים  $Q_0$  ו- $-Q_0$  – בהתאם. לחברים את הקליפה בנגד  $R_1$  ומאրיקים את הקליפה החיצונית דרך נגד  $R_2$ .



- א. מהו המשוואות הדיפרנציאליות המתארות את המטענים על הקליפה כתלות בזמן?
- ב. מצאו את המטען על כל קליפה כתלות בזמן.

**39) היפרבולואיד מוליך**

גוף בצורת היפרבולואיד מלא (ראו איור) עשוי מחומר מוליך וטעון בצפיפות מטען לא ידועה. נקודות על פניו היפרבולואיד מקיימות

את הקשר:  $ax^2 + by^2 - cz^2 = 1$ . כאשר  $a, b$  ו- $c$  הם קבועים חיוביים נתונים. השדה מחוץ להיפרבולואיד נתון לפי:

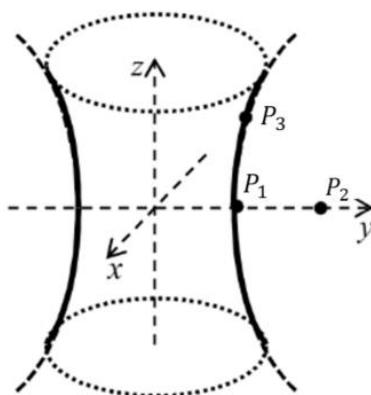
$$\vec{E}(x, y, z) = \frac{2E_0}{3(ax^2 + by^2 - cz^2)^{4/3}}(ax, by, -cz)$$

א. מהי צפיפות המטען המשטחית בנקודה  $(0, y_1, 0) = P_1$  הנמצאת על פניו היפרבולואיד?

ב. אם נתון שבנקודה  $(0, y_1, 0) = P_1$  הפוטנציאל הוא אפס. השתמשו במשוואת היפרבולואיד והראו כי הפוטנציאל הוא אכן אפס גם בכל נקודה אחרת על פניו היפרבולואיד.

ג. חשבו את עבודת הכוח החשמלי הכרוכה בהעברת המטען נקודתי  $q$  מנקודה  $(0, y_2, 0) = P_2$  הנמצאת על ציר ה- $y$  מחוץ להיפרבולואיד, אל הנקודה  $(0, y_3, z_3) = P_3$  הנמצאת גם על פניו היפרבולואיד.

ד. כיצד תשתנה התוצאה של סעיף ג' אם בכל התווך שמחוץ להיפרבולואיד יהיה חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי  $\epsilon_r = 1.5$ ?



**תשובות סופיות:**

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

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

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho r}{2\varepsilon_0} \hat{r} & 0 < r < a \\ \frac{\rho a^2}{2\varepsilon_0 r} \hat{r} & a < r < b \text{ ב.ג.} \\ 0 & b < r \end{cases} \quad \frac{\rho}{\sigma} = -\frac{2b}{a^2} \text{ נ.א.} \quad (3)$$

$$\varphi = \begin{cases} \frac{\rho r^2}{4\varepsilon_0} + \frac{\rho a^2}{2\varepsilon_0} \left( \ln \frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) & 0 < r < a \\ \frac{\rho a^2}{2\varepsilon_0} \ln \frac{b}{a} & a < r < b \text{ נ.א.} \\ 0 & b < r \end{cases}$$

$$\vec{B} = \begin{cases} \frac{\mu_0 V}{2} (\rho r) \hat{\theta} & 0 < r < a \\ \frac{\mu_0 V}{2} \left( \frac{\rho a^2}{r} \right) \hat{\theta} & a < r < b \text{ נ.א.} \\ \frac{\mu_0 V}{2} \left( \frac{\rho a^2 - \sigma 2b}{r} \right) \hat{\theta} & b < r \end{cases} \quad (4)$$

$$P_{ext} = |F| |V_i| \cos \theta, \quad P_R = I_i^2 R \text{ נ.א.} \quad I_i(t) = \frac{\mu_0 I_0 a V_i \cos \theta}{2\pi} \left( \frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \text{ נ.א.} \quad (5)$$

$$\vec{F}_{ext} = \frac{-\mu_0 I_0 I_1 a}{2\pi} \left( \frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \hat{x} \text{ ב.ג.} \quad (6)$$

$$\vec{F}_{ext} = \frac{-\mu_0 I_1 I_0 a}{4\pi} \left( \frac{1}{y_1+a} - \frac{1}{y_1} \right) (\hat{x} + \hat{y}) \text{ ב.ג.} \quad (7)$$

$$P_{ext} = \frac{\mu_0 I_1 I_0 a}{4\pi} \left( \frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_1+a} \right) V \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2, \quad P_R = I_i^2 R = P_{ext} \text{ נ.א.} \quad (8)$$

ב. שדה מושרחה- בכיוון השדה הקיים, זרם  $|ε| = B_0 L v_y$ . נ **(6)**

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

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

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

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

ה. הוכחה.

$$\vec{B} = \mu_0 \rho \omega \left( \frac{R^2 - r^2}{2} \right) \hat{z} \text{. ב.} \quad \vec{B} = \mu_0 \sigma R \omega \hat{z} \text{. נ} \quad (8)$$

$$E_2 = \frac{KQ}{2R^2} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \text{. ב.} \quad E_2^+ = \frac{KQ}{2R^2} \text{. נ} \quad (9)$$

$$E_2 = 0 - \left( -\frac{KQa^2}{4R^4} \hat{z} \right), \quad \varphi_2 = \frac{KQ}{R} \left( 1 - \frac{a^2}{4R^2} \right) \text{. ג.}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ ג.} \quad \theta = 60^\circ \text{ ב.} \quad I = \frac{B\pi a^2 \omega}{4R} \sin \omega t \text{. נ} \quad (10)$$

$$W_1 = E_0 \frac{a^3 E_0}{k} : 2 \text{ מקרה 2, } W_1 = \frac{a^3 E_0^2}{2k} \text{ ב. מקרה 1 :} \quad d = \frac{a^3 E_0}{kq} \text{ נ} \quad (11)$$

$$\vec{P} = qd\hat{x} \text{. ט.} \quad \vec{E} = \frac{K2qd}{x^3} \hat{x} \text{. ג.}$$

$$\phi_{E_1} = \frac{q}{6\epsilon_0} \quad (12)$$

$$V = \frac{3Rmg}{2B^2 L^2} \quad (13)$$

$$V = \frac{qB^2 L d}{2m} \quad (14)$$

$$U_T = \frac{1}{2} \epsilon_r C \left( \frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} C \left( \frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{C}{3} \left( \frac{2}{3} V \right)^2 \text{. ב.} \quad U_T = 2C \left( \frac{V}{3} \right)^2 \text{. נ} \quad (15)$$

$$E = \begin{cases} \frac{kq}{r^2} \hat{r} & r < r_1 \\ 0 & r_1 < r < r_2 \\ \frac{kq}{r^2} \hat{r} & r_2 < r < r_3 \\ \frac{k(q + \sigma 4\pi r_3^2)}{r^2} & r_3 < r \end{cases} . \text{ נ } \quad (16)$$

$$\varphi = \begin{cases} \frac{kq}{r} + C_1 & r < r_1 \\ C_2 & r_1 < r < r_2 \\ \frac{kq}{r} + C_3 & r_2 < r < r_3 \\ \frac{k(q + \sigma 4\pi r_3^2)}{r} & r_3 < r \end{cases} . \text{ ב}$$

. ז. אין השפעה.  $\sigma(r_1) = \frac{-q}{4\pi r_1^2}, \sigma(r_2) = \frac{q}{4\pi r_2^2} . \lambda$

$$\vec{B} = \frac{\sigma \beta t}{2} \begin{cases} -\hat{y} & z > 0 \\ +\hat{y} & z < 0 \end{cases} . \text{ ב} \quad \vec{k} = \sigma \cdot \beta \cdot t \hat{x} . \text{ נ } \quad (17)$$

$$. \tau \quad I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} \quad \phi_B = Ba^2 . \lambda$$

. ג.  $I = \frac{B_0 HV}{R}, I$  נגד כיוון השעון.  $q = C \cdot B_0 HV . \text{ ב}$   $\varepsilon = -B \cdot HV . \text{ נ } \quad (18)$

$$I = \dot{q} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{RC}} . \tau$$

$$I_d = \frac{-\rho V_0}{3} \cdot \pi r^2 . \text{ ב} \quad \vec{E} = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r} \quad r < a, \quad \vec{E} = \frac{\rho a^3}{3\epsilon_0 r^2} \hat{r} \quad r > a . \text{ נ } \quad (19)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \rho V_0 r}{3} \hat{\theta} . \tau \quad I = \rho V_0 \pi r^2 . \lambda$$

$$\vec{F}_T = \left( -\frac{kq^2}{(2a)^2} + 2kqp \left( \frac{1}{(a-b)^3} + \frac{1}{(a+b)^3} \right) \right) \hat{z} . \text{ נ } \quad (20)$$

$$W_{ext} = -\frac{kq^2}{4a} + kqp \left( \frac{1}{(a-b)^2} + \frac{1}{(a+b)^2} \right) . \text{ ב}$$

$$\varphi = \begin{cases} -\frac{\rho_0 r^4}{16\epsilon_0 L^2} + V_0 & r \leq L \\ -\frac{\rho_0 L^2}{4\epsilon_0} \ln r + V_0 - \frac{\rho_0 L^2}{4\epsilon_0} \left( \frac{1}{4} - \ln L \right) & r \geq L \end{cases} . \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho_0 r^3}{4\epsilon_0 L^2} \hat{r} & r < L \\ \frac{\rho_0 L^2}{4r} \hat{r} & r > L \end{cases} . \quad \text{א (21)}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \rho_0 u_0}{4} \begin{cases} \frac{r^3}{L^2} \hat{\theta} & r < L \\ \frac{L^2}{r} \hat{\theta} & r > L \end{cases} .$$

$$I = \frac{\mu_0 I b}{2\pi R} \left( \frac{1}{D+b+u_1} u_1 - \frac{1}{D+u_1 t} u_1 \right) . \quad \text{ט}$$

$$Q = \frac{\epsilon_0 V_0}{d \cdot \ln 2} \cdot V_0 , \quad \sigma = \frac{\epsilon_0 V_0}{d \cdot \ln 2} . \quad \text{ב.} \quad C_T = \frac{\epsilon_0 \cdot a \cdot b}{d \cdot \ln 2} . \quad \text{א (22)}$$

$$U = \frac{ab\sigma^2 d}{2\epsilon_0} \ln \left( \frac{3}{2} \right) . \quad \text{ט} \quad \vec{E} = -\frac{\sigma}{\epsilon_0 \left( 1 + \frac{y}{d} \right)} \hat{y} . \quad \text{א}$$

$$\varepsilon F = 0! , \quad \vec{\tau} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \hat{y}}{2\pi} 2R \left( \sin \frac{\alpha}{2} - \alpha \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad \text{(23)}$$

$$E = \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} - \frac{KQ}{2r^2} . \quad \lambda \quad E = \begin{cases} \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} & r < R \\ \frac{KQ}{r^2} & R < r \end{cases} . \quad \text{ב.} \quad C = \frac{3Q}{2\pi R^6} . \quad \text{א (24)}$$

$$t = 12 \text{ sec} . \quad \lambda \quad C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \quad \text{ב.} \quad C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \quad \text{א (25)}$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(5x, y, 0)}{(25x^2 + y^2)} - \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x, y, 0)}{(x^2 + y^2)} . \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{R\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x\hat{x} + y\hat{y})}{(x^2 + y^2)} . \quad \text{א (26)}$$

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

$$\phi_B = \frac{\mu_0 C t^2 a^4}{3} \ln 2 . \quad \text{ב.} \quad \vec{B}(r, t) = \frac{\mu_0 C t^2 a^3}{3r} \hat{\theta} \quad r > a . \quad \text{א (27)}$$

$$I = \frac{\mu_0 C \cdot 2 \cdot t a^5 \ln 2 \cdot \pi}{3} \cdot 10^{-4} . \quad \lambda$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} . \quad \lambda \quad \text{ב. שלילי} \quad \vec{B}_z = \frac{0.396 \mu_0 I}{R} \hat{z} . \quad \text{א (28)}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} BV(a - Vt) & t \leq \frac{a}{V} \\ BV(2a - Vt) & \frac{a}{V} \leq t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ נ } (29)$$

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

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

$$I = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_0 \\ \frac{d \cdot L \cdot B}{R \cdot t_0} & t_0 < t < 2t_0 \\ 0 & 2t_0 < t \end{cases} . \text{ ב}$$

$$|\varepsilon| = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_0 \\ \frac{d \cdot L \cdot B}{t_0} & t_0 < t < 2t_0 \\ 0 & 2t_0 < t \end{cases} . \text{ נ } (30)$$

$$W = \frac{-B^2 L^2 d^2}{3 R t_0} . \tau \quad , I = \frac{2 B L d}{R t_0} \left( \frac{t}{t_0} - 1 \right) . \lambda$$

$$\vec{E} = \rho_0 J_0 R \cdot \frac{1}{r} \hat{z} \quad r < 6R . \text{ ב} \quad \vec{J}(r) = \frac{J_0 R}{r} \hat{z} \quad r < 6R . \text{ נ } (31)$$

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

$$. c = \frac{3 \varepsilon_0 A}{d} (32)$$

$$\varepsilon = B \cdot 2\pi r V \cos \alpha , I = \frac{B \sigma V v \cos \alpha}{2\pi r} \quad -\hat{\theta} \quad \text{ב. בכיוון} \quad R = \frac{(2\pi r)^2}{\sigma V} . \text{ נ } (33)$$

$$V = \frac{mg \sin \alpha}{B^2 \sigma V \cos^2 \alpha} . \tau \quad d\vec{F} = \frac{B^2 \sigma V v \cos \alpha}{2\pi r} (-\hat{r}) d . \lambda$$

$$\Delta l = \frac{l_0 - \sqrt{l_0 - 4\sqrt{\frac{\epsilon_0 A V^2}{2k}}}}{2}, Q = \frac{2\epsilon_0 A V}{l_0 + \sqrt{l_0^2 - 4\sqrt{\frac{\epsilon_0 A V^2}{2k}}}} . \text{ נ } (34)$$

$$Q \left( \frac{l_0 - \frac{Q}{\sqrt{2\epsilon_0 A k}}}{\epsilon_0 A} \right) = -QR . \text{ ג}$$

$$p = \frac{\epsilon A u V^2}{(l_0 - ut)^2}, \frac{du}{dt} = \frac{\epsilon_0 A u V^2}{2(l_0 - ut)^2} . \text{ ב}$$

$$\vec{E}_1 = E_1 \cos\left(\frac{\omega}{c} - \omega t\right) \hat{x}, \vec{B}_1 = \frac{E_1}{c} \cos\left(\frac{\omega z}{c} - \omega t\right) \hat{y} . \text{ נ } (35)$$

$$\vec{E}_2 = E_2 \cos\left(\frac{\omega z}{c} + \omega t\right) \hat{x}, \vec{B}_2 = \frac{E_2}{c} \cos\left(\frac{\omega z}{c} + \omega t\right) (-\hat{y})$$

$$u_2 = \epsilon_0 E_2^2 \cos^2 \omega t, \bar{u}_2 = \frac{\epsilon_0 E_2^2}{2}, u_1 = \epsilon_0 E_1^2 \cos^2 \omega t, \bar{u}_1 = \frac{\epsilon_0 E_1^2}{2} . \text{ ב}$$

$$, \bar{u}_T = \frac{1}{2} \epsilon_0 (E_1^2 + E_2^2), u_T = \epsilon_0 \left( E_1^2 \cos^2 \left( \frac{\omega z}{c} - \omega t \right) + E_2^2 \cos^2 \left( \frac{\omega z}{c} + \omega t \right) \right) . \text{ ג}$$

האנרגייה נשמרת.

$$\vec{S} = \frac{\gamma^4 V B^2}{\mu_0} \hat{x} . \text{ ג} \quad \sigma' = \pm \epsilon_0 V \gamma B . \text{ ב} \quad \sigma = \pm \epsilon_0 V \gamma^2 B . \text{ נ } (36)$$

$$M = \mu_0 n_a n_b l_b \pi b^2 . \text{ ב} \quad \vec{A} = \frac{\mu_0 n_a I}{2} \begin{cases} r \hat{\theta} & r < a \\ \frac{a^2}{r} \hat{\theta} & a < r \end{cases} . \text{ נ } (37)$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \tau = \frac{R}{L}, V_0 = \beta \pi b^2 n_b l_b . \text{ ג}$$

$$L = \mu_0 \pi a^2 R_a^2 l_a + \mu_0 \pi b^2 n_b^2 l_b + 2 \mu_0 n_a n_b l_b \pi b^2$$

$$q_1 K = \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) = -\dot{q}_1 R_1, \frac{K(q_1 + q_2)}{b} = -\left( \dot{q}_1 + \dot{q}_2 \right) R_2 . \text{ נ } (38)$$

$$q_1(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = -q_2(t), \tau = \frac{R_1}{K \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} . \text{ ב}$$

$$E_0 b^{-\frac{1}{3}} q \left( y_2^{-\frac{2}{3}} - y_1^{-\frac{2}{3}} \right) . \text{ ג} \quad \frac{2}{3} \epsilon_0 E_0 b^{-\frac{1}{3}} y_1^{-\frac{5}{3}} . \text{ נ } (39)$$

ד. התוצאות תקוטן פי 1.5