

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות



$$\begin{matrix} & \sqrt{2} \\ 1 & & & 1 \\ & \diagdown \end{matrix}$$
A square diagram on a white background divided by a diagonal line from bottom-left to top-right, with the numbers 1 and $\sqrt{2}$ placed at the vertices.



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



תוכן העניינים

1	1. מבוא מתמטי
3	2. חוק קולון
10	3. חוק גאוס
19	4. פוטנציאל
31	5. דיפול חשמלי
35	6. מציאת התפלגות מטען
37	7. אנרגיה הדרושה לבניית מערכת
39	8. מטען דמות
45	9. חומרים דיאלקטריים
48	10. מעגלים עם זרם ישיר
53	11. קבילים
68	12. בניית הנגד וצפיפות זרם
72	13. חוק לורנץ וכוח על תייל נושא זרם
80	14. חוק ביו סבר
84	15. חוק אמפר
87	16. מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון
88	17. חוק פארדי
98	18. שדות משתנים בזמן
101	19. מומנט דיפול מגנטי
103	20. השראות
(לא ספר)	21. משוואות מקסואל
108	22. מעגלי זרם חילופין
112	23. גלים אלקטرومגנטיים

תוכן העניינים

114	24. יחסות פרטית
130	25. תרגילים ברמת מבחן

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

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

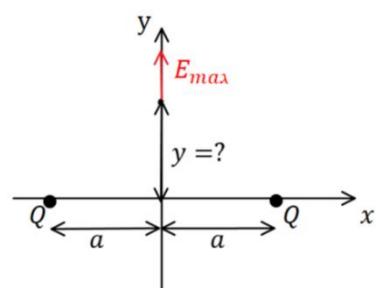
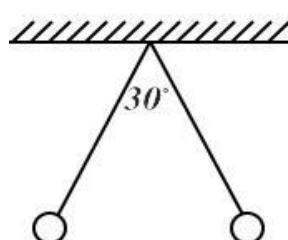
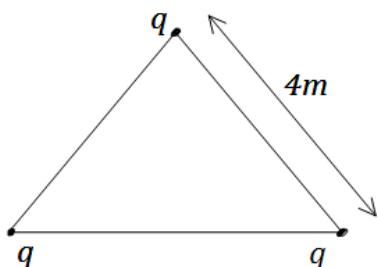
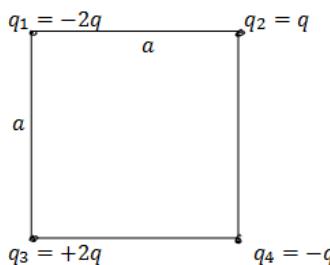
פרק 2 - חוק קולון

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° מעלות.
מצא את מטען הכדורים.

4) שדה מקסימלי בין שני מטענים

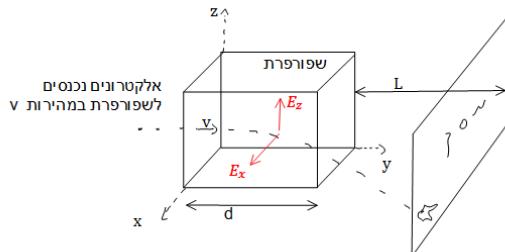
שני מטענים בעלי מטען Q נמצאים על ציר ה- x בנקודות $(0, a)$ ו- $(0, -a)$.
א. מצאו את הנקודה על ציר ה- y כלומר $(y, 0)$ שבה השדה החשמלי
מקסימלי.

ב. מה גודל השדה בנקודה זו?

ג. באיזה נקודה השדה מקסימלי בציר ה- x ?

5) שפופרת תלוייה

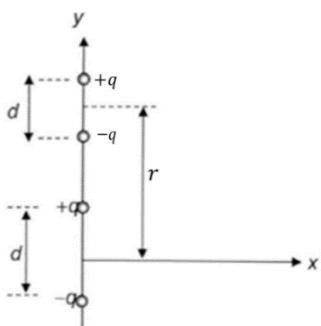
אלקטטרוניים נוכנים לשפופרת ב מהירות V נתונה.
שפופרת יש שדה קבוע בשני הכוונים הניצבים ל מהירות כניסה האלקטרוניים.
אורך השפופרת הוא L .
חשב את נקודת הפגיעה של האלקטרוניים בمسך הנמצא במרחק L מקצה השפופרת.
הנח כי $L > p$ וכי מסת ומטען האלקטרון ידועים.



6) דיפול מפעיל כוח על דיפול

דיפול חשמלי מורכב משני מטענים נקודתיים $\pm q$

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



א. חשבו את השדה החשמלי שיוצר הדיפול

בנקודה $(0, y, 0)$ שעלה ציר ה- y .

ב. השתמשו בתוצאות הסעיף הקודם וחשבו את

הכוח שמאפיין הדיפול הניל על דיפול נוסף

שטען גם $\pm q$ המרחקים זה מזה

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

במרחק r ממרכז הדיפול הראשון. הניחו $-d < r$.

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

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

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

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

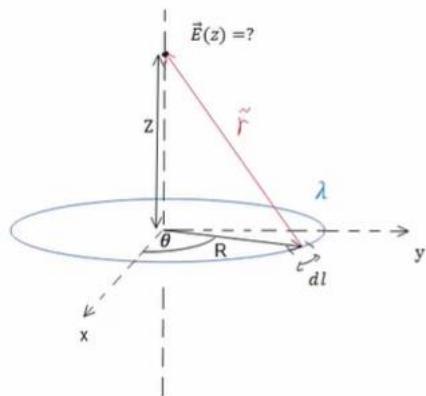
$$\vec{F} = -\frac{6d^2 k q^2}{r^4} \hat{y} \cdot \lambda$$

התפלגות מטען רציפה:

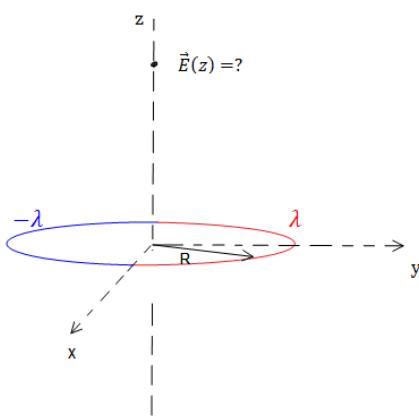
שאלות:



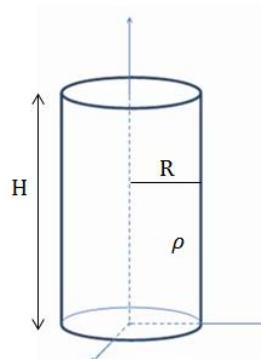
- 1) **התפלגות מטען רציפה-תיל מכופף**
תיל אינסופי המטען בцепיפות מטען
לייח' אורך λ מכופף לחצי מעגל
בעל רדיוס R .
מצא את השדה במרכזו לחצי המעגל.



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



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



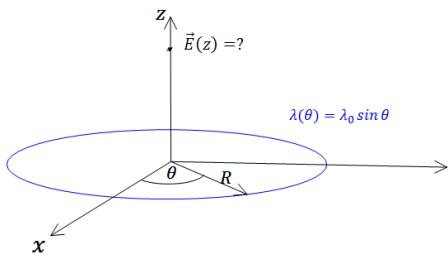
- 4) **שדה של גליל מלא**
ගליל מלא בעל רדיוס R וגובה H טעון בcepיפות מטען
אחד ליח' נפח ρ .
מצא את השדה לאורך ציר הסימטריה של הגליל
(בתוך ומוחוץ לגליל).

5) טבעת עם צפיפות לא אחידה

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

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

, λ_0 קבועים נתוניים.

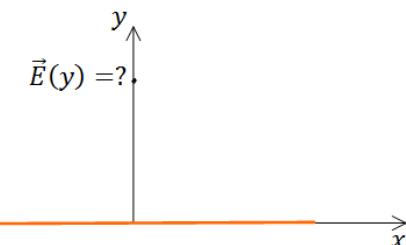


א. מהו סך המטען על הטבעת?

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

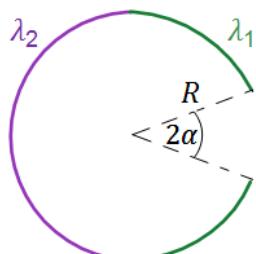
ג. מצא מהו השדה החשמלי מעור R >> z.

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

**6) שדה של תיל סופי**

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

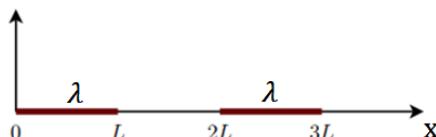
חשב את השدة החשמלי לאורך ציר המאונך לתיל והעובר במרכזו.

**7) שדה של טבעת עם חלק חסר**

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

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

מצא את השدة במרכז הטבעת.

**8) כוח של מוט על מוט**

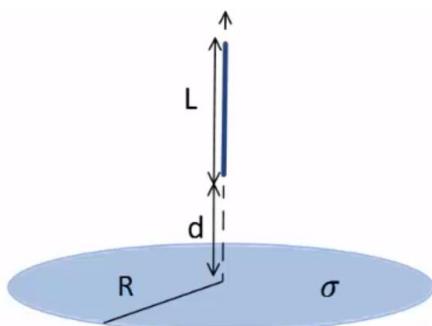
שני מוטות בעלי אורך L טוענים

בצפיפות מטען אחידה ליחידה אורך λ .

שני המוטות מונחים על ציר $-x$

כפי שנראה בציור.

מצא את הכוחות שפעילים המוטות אחד על השני.

**9) כוח של מוט על דסקה**

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

מצא מה הכוח שפעיל המוט על הדסקה.

10) חרוט קטום**

מטען q נמצא בקודקודו של משטח בצורת חרוט בעל חצי זווית מפתח השווה $-\theta$ ואורך הקו היוצר הוא l (ראו איור).

החרוט טוען בצפיפות מטען איחידה ליחידת שטח σ .

א. האם ניתן לחשב את הכוח על המטען אם המטען נמצא ממש בקצה החרוט?

כעת מסרירים 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 מוקוד החרוט הוא: $dS = 2\pi r \sin \theta dr$ בקואורדינטות כדוריות).

ג. עבור איזו זווית θ 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. החרוט הקטום הופך לדיסקה עם חור והשדה במרכז מתאפס.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

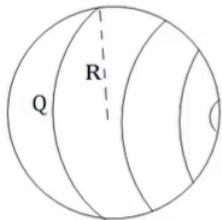
פרק 3 - חוק גאוס

תוכן העניינים

10	1. הסברים בסיסיים
13	2. תרגול נוסף

הסברים בסיסיים:

שאלות:



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



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



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

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

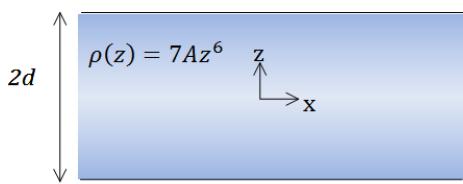


- 6) לוח עם עובי**
נתון מישור בעל שטח A ועובי d .
המישור טוען בצפיפות מטען קבועה
לייחידה נפח ρ .

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 שצפיפות המטען במישור חיובית.

**7) מישור עבה עם צפיפות משתנה**

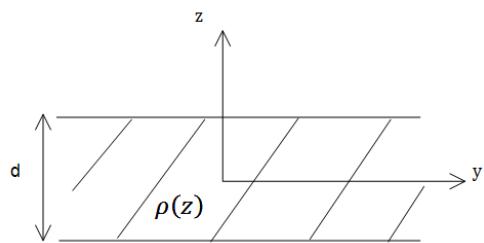
מישור אינסופי בעובי d טוען בצפיפות מטען משתנה $\rho(z) = 7Az^6$, כאשר A קבוע נתון.

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

א. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

ב. הראה שחוק גאוס הדיפרנציאלי מתקיים בכל המרחב.

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

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

מישור אינסופי בעל עובי d טוען בצפיפות מטען כתלות במרחק ממרכזו המישור $\rho(z) = Az$, A קבוע נתון.

מצא את השדה החשמלי בכל המרחב שיווצר המטען במישור.

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

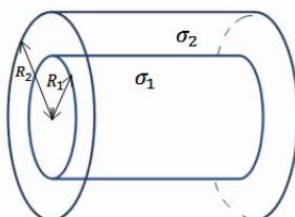
$$z(t) = A \cos \left(\sqrt{\frac{|e|\rho}{\epsilon_0 m}} t \right) \quad . \text{ג.} \quad \vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z > \frac{d}{2} \\ -\frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad . \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{kpdA}{r^2} \hat{r} \quad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

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

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

תרגול נוסף:

שאלות:



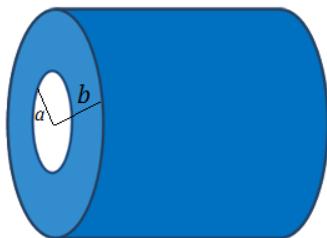
- 1) שתי קליפות גליליות חלולות**
נתונות שתי קליפות (חלולות) גליליות אינסופיות בעלות ציר סימטריה משותף.

רדיוס הקליפה הפנימית הוא R_1

וכפיפות המטען המשטחית בה היא σ_1 .

רדיוס הקליפה החיצונית הוא R_2 וcanfipot המטען בה היא σ_2 .

מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.



- 2) קליפה גלילית עבה**

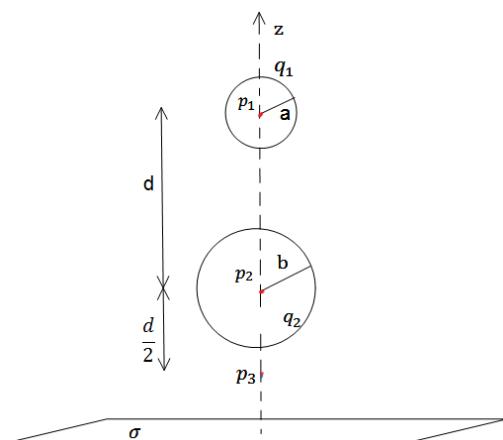
קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי a , רדיוס חיצוני b וגובה H טעונה בcanfipot מטען

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

המרחק מציר הסימטרי של הקליפה.

א. מצא את המטען הכלול בклיפה.

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



- 3) משטח ושתי קליפות כדוריות**

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

הקליפות טענות בטען q_1 , q_2 בהתאם.

במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחתן

לקlipah התחתונה (עם רדיוס b) מונח מישור

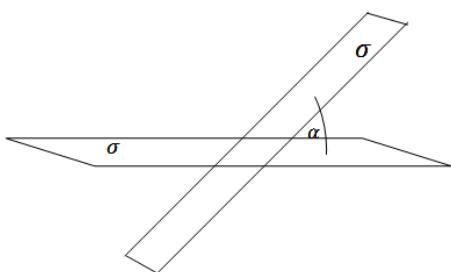
אינסופי הטוען בcanfipot מטען ליחידת שטח σ .

מצא את השדה בנקודות הבאות.

א. k_1 הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס a .

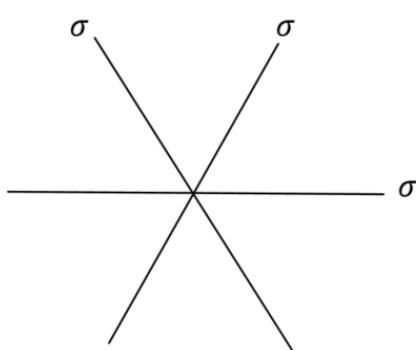
ב. k_2 הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס b .

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

4) שני מישורים בזווית

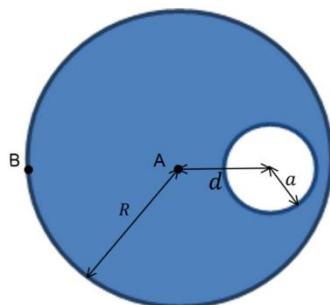
שני מישורים אינסופיים טעונים בזווית מטען
לייחידת שטח σ . המישורים נמצאים בזווית α
אחד מהשני.

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

**5) שלושה לוחות בזווית**

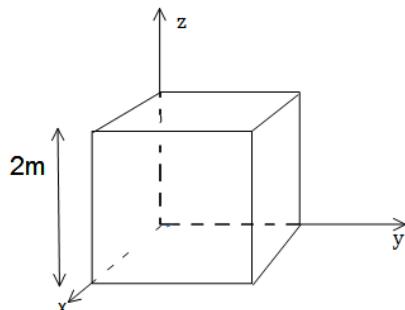
באיור מתוארת מערכת של שלושה לוחות אינסופיים (אין סופיים פנימה והחוצה מהדף) בעלי צפיפות מטען משטחית זהה σ .

- חשבו את השדה בכל נקודה במרחב על ידי סופרפויזיציה של השדות של כל לוח בנפרד.
- חשבו את השדה החסמי על ידי שימוש בחוק גאוס, הסבירו מדוע חוק גאוס יסימ ב מקרה זה.
- חשבו את השדה החסמי במרחב עבור המקרה של N משטחים המחלקים את המרחב בזווית שווה.
למה תצטמצם תשובהכם עבור $1 \gg N$?
השתמשו ב- $\theta \approx \theta_{\text{tip}}$, כאשר $1 \ll \theta$.
- כאשר N גדול מאוד, המערכת הופכת להיות מטען בעל צפיפות מטען נפחית התלויה במרחב מנקודת (או קו) החיתוך.
מהי צפיפות המטען כתלות במרחב מנקודת (או קו) החיתוך (r)?

**6) כדור עם חור**

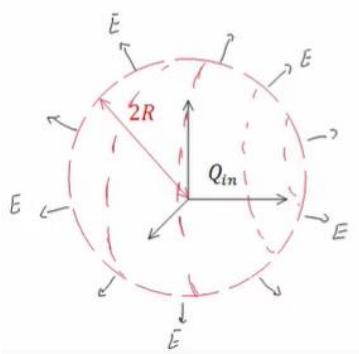
בתוך כדור הטוען בцеיפות מטען אחידה ρ קיים חלל כדוררי בעל רדיוס a . המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא d , רדיוס הכדור הגדול הוא R

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

**7) שטף דרך קובייה**

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

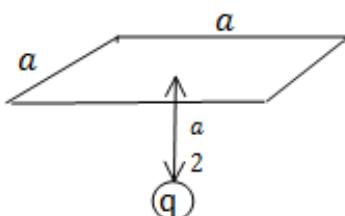
- חשב את השטף העובר דרך צלעות קובייה הנמצאת בربיע הראשוון כך אחד מקדקודיה בראשית ואורך צלעה 2m.
- מהו המטען הכלוא בתחום הקובייה?

**8) מטען כלוא**

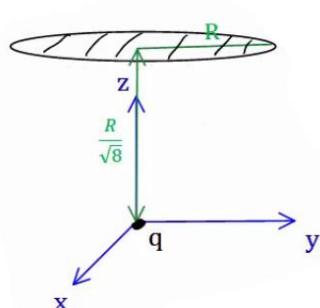
נתונה פונקציית השדה החשמלי

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

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

**9) שטף דרך משטח ריבועי**

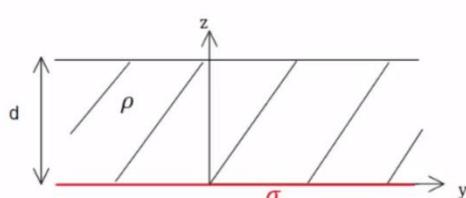
מצא את השטף העובר דרך משטח ריבועי (לא טעון) בעל צלע באורך a הנמצא בגובה $\frac{a}{2}$ מעל מטען נקודתי q .

**10) שטף דרך מעגל**

מטען q נמצא בראשית הציריים.

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

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

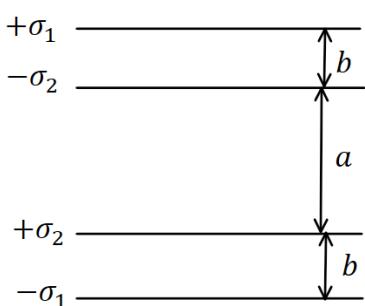
**11) מישור עבה צמוד למישור דק**

מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען

אחדית σ נמצא על מישור $u-x$.

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

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

**12) ארבעה לוחות**

במערכת הבאה ישנו ארבעה לוחות טעוניים בצפיפות מטען $\frac{c}{m^2}$. $\sigma_1 = 0.05 \frac{c}{m^2}$, $\sigma_2 = 0.02 \frac{c}{m^2}$, $a = 3 \text{ c. m}$, $b = 1 \text{ c. m}$. המרחקים בין הלוחות הם: 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 מהלוח 2σ . 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.

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

א. כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?

ב. מהי מהירותו בזמןפגיעה בלוח?

ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון ברגע הפגיעה?

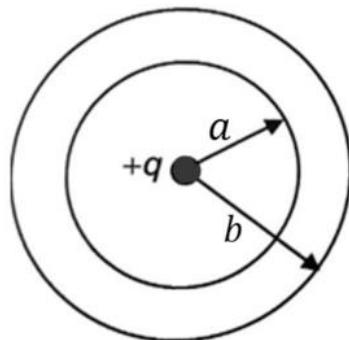
14) קליפה כדורית עבה עם צפיפות משתנה

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



תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 4 - פוטנציאל

תוכן העניינים

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

מהו פוטנציאל:

שאלות:

1) **עבודה להביא מטען מהאינסוף**

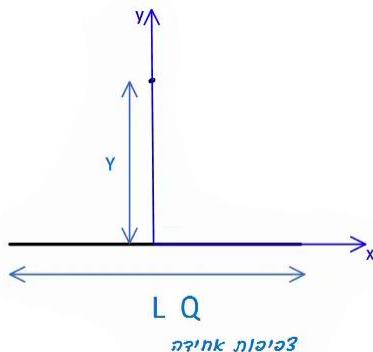
מהי העבודה הדרושים להביא מטען $C = 2 \cdot 10^{-6} C$
 $Q = 3 \cdot 10^{-6} C$ מ�ען $r = 50 cm$ מהאינסוף למרחק
 המקובע במקום?

תשובות סופיות:

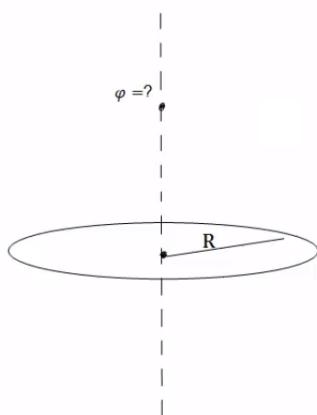
$$W = 108 \cdot 10^{-3} J \quad (1)$$

שיטת 1, סופרפוזיציה:

שאלות:



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



- 2) **פוטנציאל של טבעת לאורץ ציר הסימטריה**
 מצא את הפוטנציאל של טבעת ברדיוס R עם צפיפותטען ליחידת אורץ λ לאורץ ציר הסימטריה.

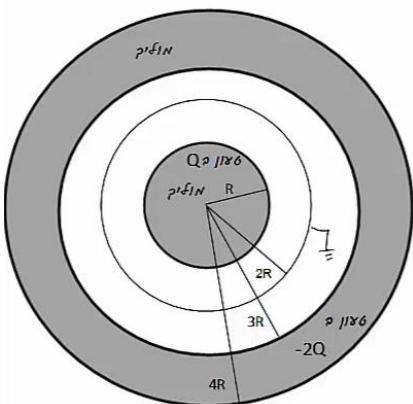
תשובות סופיות:

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

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

שיטת 2, שאלות חוק גאוס:

שאלות:



1) דרך שנייה, שאלות חוק גאוס

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

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

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

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

2) פוטנציאל של קליפה כדורית

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

3) קליפות גליליות מוליכות

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

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

אורך הקליפה הוא L גם כן.

הקליפה טעונה בטען כולל של $-4Q$.

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

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



- א. כיצד מתפלג המטען במערכת?

- ב. מה הפוטנציאל בכל המרחב?

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

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 במרחב.

תשובות סופיות:

ה��לגות: ראה סרטון

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

(1) א. פוטנציאל: ראה סרטון

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

(2)

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

(3) א. ראה סרטון

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

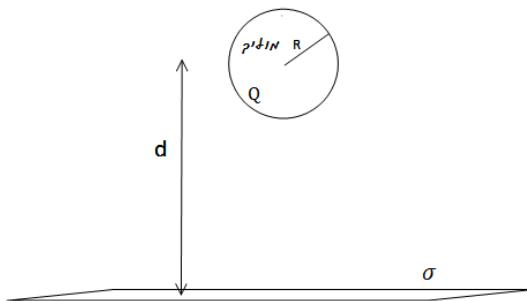
$$\varphi = \begin{cases} -\frac{\rho r^2}{6\epsilon_o} + C_1 & r < R \\ -\left(-\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r}\right) + C_2 & R < r \end{cases}$$

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

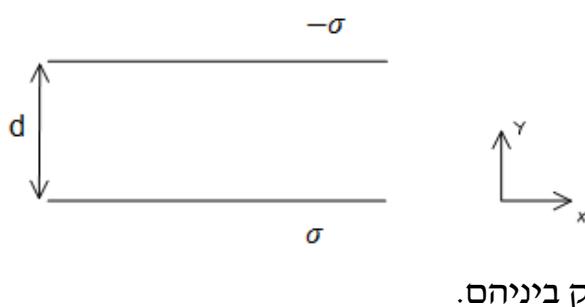
(4)

שיטת 3, חישוב מפורש:

שאלות:



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



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

תשובות סופיות:

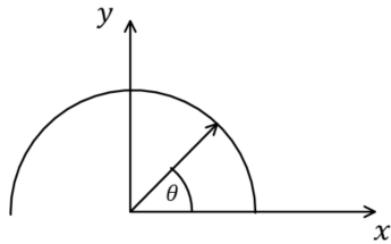
$$\Delta \varphi_{B \rightarrow A} = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0}(d-R) + \frac{kQ}{R} - \left[Q + \frac{KQ}{\lambda} \right] \quad (1)$$

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

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) חישוב פוטנציאל במרכז חצי טבעת עם צפיפות משתנה



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

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

מצאו את הפוטנציאל בראשית.

2) ייצורasis קירויים

בשנת 1944 המדענים גלו סיבורג (חתנו פרס נובל לכימיה),RALF 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: $m^{-15} \times 7 = R$, בו המטען של 94 הפרוטונים מפוזר באופן אחיד בPeriphו.

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

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

תנו את התשובה גם ביחידות J וגם ביחידות eV .

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

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

(3) דיפול

במרחב נמצאים שני מטענים:

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

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

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

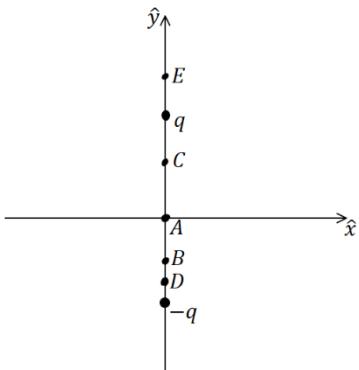
$$\text{הבאות: } \vec{r}_A = 0, \vec{r}_B = -\frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_C = \frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_D = -\frac{3}{4}a\hat{y}, \vec{r}_E = \frac{3}{2}a\hat{y}$$

ב. היכן הפוטנציאל (יחסית לאינסוף) מתאפס?

תארו את המיקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן זה קורה.

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

ד. ציירו את קווי השדה ואת המשטחים שווים הפוטנציאל.

**(4) מטען q ומטען $-q$**

במרחב נמצאים שני מטענים.

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

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

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

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

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

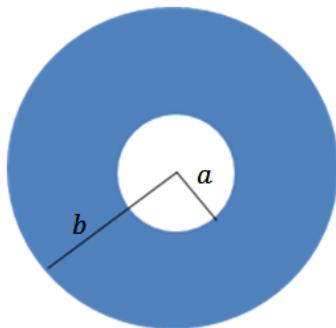
ו. ציירו גרף סכמטי של הפוטנציאל לאורך ציר x .

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

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

א. מה הפוטנציאל במרכז הקליפה?

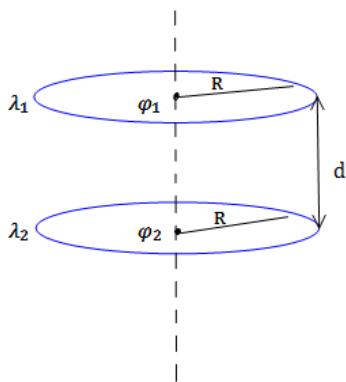
ב. האם ניתן לחשב את הפוטנציאל על השפה?

6) דסקה עם חור

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

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

- 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 $b \rightarrow a$.

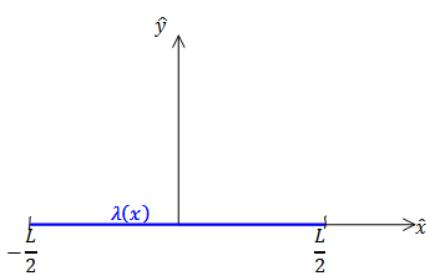
7) טבעת מעל טבעת

שתי טבעות זהות בעלות רדיוס R מונחות האחת מעל והשנייה כך שהמרחק ביניהן הוא d .

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

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

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

**8) תיל עם צפיפות משתנה**

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

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

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

9) כדור 2 מחבר בין שני כדורים

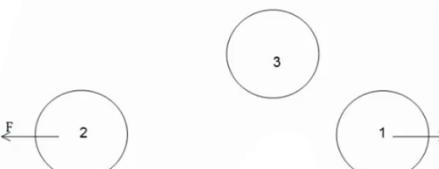
ה כדורים 1 ו-2 בתמונה הם מוליכים המקובעים במקומות טעונים במטען זהה. הנח שה כדורים

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

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

תהייצב. לאחר מכן מנטקים את ה כדור השלישי ומציגים אותו לכדור השני. שוב ממשיכים עד שהמערכת

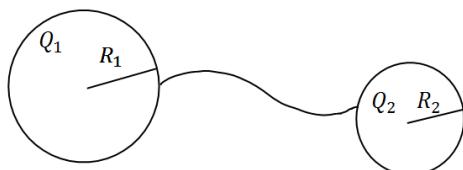
לבסוף מרחיקים את ה כדור השלישי לגמרי. מהו הכוח בין ה כדורים 1 ו-2 לאחר כל התהליך?



10) שני כדורים מוליכים מחוברים בחוט

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

מחברים בין ה כדורים באמצעות חוט מוליך.

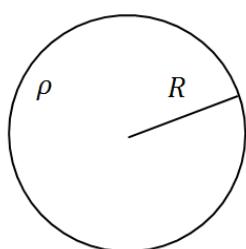


- מה יהיה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

- כמה מטען זרם דרך החוט ולאיזה כיוון?

11) פוטנציאל של גליל מלא טעון בצפיפות אחידה

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

**12) חור במישור**

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

בתוך הלוח ישנו חלל כדורי בקוטר d .

- חשב את השדה החשמלי בנקודות :

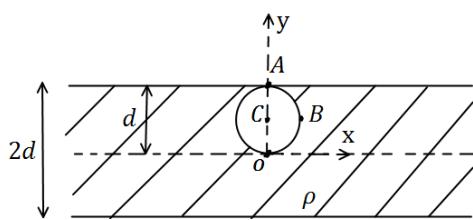
$$(0,0,0), (0,0,0.5d), (0,0.5d, 0), (0,d, 0)$$

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

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

ו. לאיזה כיוון יתחיל לנوع המטען אם מתעלמים מהשפעת כוח הכבוד?

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

**13) כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת**

כדור מוליך בעל רדיוס R_1 טעון במטען Q_1 .

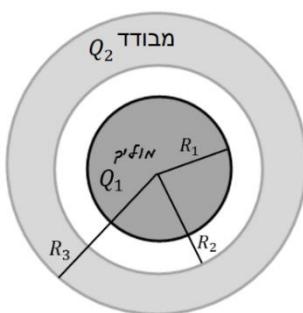
הכדור נמצא במרכז הקליפה כדורית מבודדת

בעל רדיוס פנימי R_2 ורדיוס חיצוני R_3 .

הקליפה טעונה באופן הומוגני במטען Q_2 .

- חשב השדה החשמלי והפוטנציאל בכל המרחב.

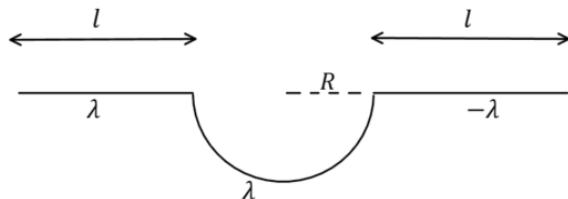
- חזור על החישוב הזה במקרה שבו הכדור מוארך.



14) שדה ופוטנציאל במרכז של תיל עם חצי עיגול

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

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



תשובות סופיות:

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

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

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

- (3) א. ראה סרטון
ג. ראה סרטון
ב. $y = 0$
ד. ראה סרטון

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

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

ה. איפוס השדה: $x_2 = -3.73a$, הפוטנציאל בנקודה זו:
ו. ראו סרטון.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\varphi = K\lambda\pi \cdot \lambda$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 5 - דיפול חשמלי

תוכן העניינים

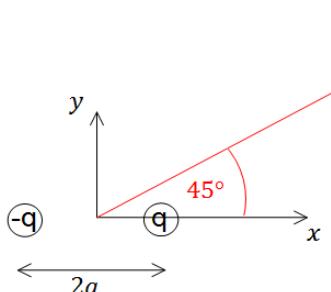
1. הכל על דיפול 31

הכל על דיפול:

שאלות:

1) תרגיל ופיתוח הנוסחה של דיפול מהשדה

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



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

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

מיקום המטען עם ציר ה- x הוא 45° .

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

ג. חשב את וקטור מומנט הדיפול שיוצרים המטענים.

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

2) דיפול בראשית מזיז אלקטרוון

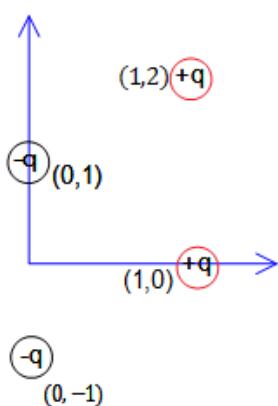
נתון דיפול $\vec{p} = (p, 0, 0)$ הנמצא בראשית.

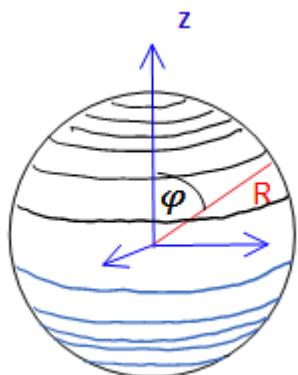
א. מצא את הגודל p כך שאלקטרוון הממוקם בנקודה $(a, 0, 0)$ עם מהירות $(v, 0, 0)$ ייעצר בנקודה $(b, 0, 0)$.

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

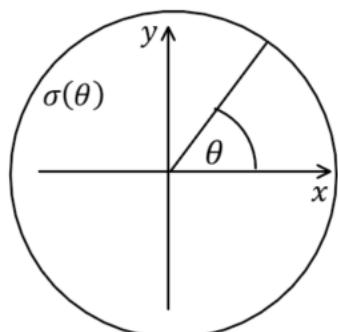
3) מציאת מומנט דיפול של מערכת

מציאת מומנט הדיפול החסמי של התפלגות המטענים המתוארת בציור.

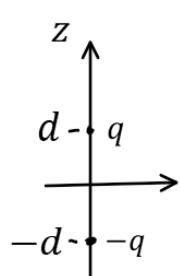




- 4) מציאת מומנט דיפול של מערכת**
 (באוטו השרטו כmo השאלה הקודמת)
 מצא את מומנט הדיפול של קליפה כדורית הטוענה
 בצפיפות מתუן משטחית לא אחידה $\sigma = \sigma_0 \cos \varphi$
 כאשר σ_0 קבוע נתון ו- φ היא הזווית עם ציר ה-z.



- 5) דיסקה עם התפלגות מתუן שטוחה בזווית**
 דיסקה מלאה בעלת רדיוס R טוענה בצפיפות מתუן
 ליחידת שטח (θ) σ .
 מצא את השدة החסמי במרחק z מעלה מרכז
 הדיסקה בגבול בו $R \gg z$:
 א. במקרה בו $\sigma(\theta) = \sigma_0 \sin(\theta)$.
 ב. במקרה בו $\sigma(\theta) = \sigma_0 \sin(2\theta)$ רק עד
 הסדר של הדיפול.



- 6) חישוב שגיאה**
 מטען q נמצא ב- $(0, 0, d)$ ומטען $-q$ נמצא ב- $(0, 0, -d)$.
 א. חשב את הפוטנציאל המדויק בנקודה כלשהיא על
 ציר z.
 ב. מהו הערך המינימלי של z כך שהקירוב של
 הפוטנציאל של דיפול לא יסטה יותר מ אחוז אחד
 מהפוטנציאל האמיתי?
 ג. מהו הערך המינימלי של z כך שהקירוב של השدة
 של דיפול לא יסטה יותר מ אחוז אחד מהשدة האמיתי?

- 7) מטען נקודתי ודיפול (כולל אנרגיה וכוח)**
 דיפול חסמי בעל מומנט דיפול \vec{p} נמצא במקום \vec{r} .
 מטען נקודתי q נמצא בראשית. התייחס ל- q , \vec{p} ו- \vec{r} כנתונים.
 א. חשב את מומנט הכוח שפועל על הדיפול.
 ב. חשב את האנרגיה של הדיפול.
 ג. הראה כי הכוח הפועל על הדיפול הוא :

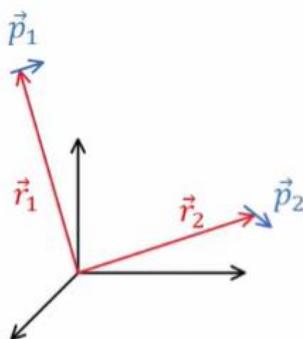
$$\vec{F} = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r}^2 - (\vec{p} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{r})}{r^5}$$

8) אנרגיית דיפול-דיפול

דיפול \vec{p}_1 ממוקם ב- \vec{r}_1 ודיפול \vec{p}_2 ממוקם ב- \vec{r}_2 .

א. הראה שהאנרגיה של \vec{p}_2 בשדה של \vec{p}_1 היא:

$$\cdot \tilde{\vec{r}} = \frac{\tilde{\vec{r}}}{\tilde{r}} \text{ ו- } \tilde{r} = |\tilde{\vec{r}}|, \quad \tilde{\vec{r}} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \quad \text{כasher } U = \frac{k}{\tilde{r}^3} \left[\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 - 3(\vec{p}_1 \cdot \tilde{\vec{r}})(\vec{p}_2 \cdot \tilde{\vec{r}}) \right]$$



ב. אנרגיה זו היא בעצם אנרגיה של מערכת דיפול-דיפול, הראה שאם היינו מחשבים את האנרגיה של \vec{p}_1 בשדה של \vec{p}_2 היינו מקבלים תוצאה זהה.

ג. מצא את הכוח הפועל על \vec{p}_2 והכוח על \vec{p}_1 .

ד. מה שווה הכוח על \vec{p}_2 במקרה ש- \vec{p}_2 מקביל ל- \vec{p}_1 ומקביל ל- $\tilde{\vec{r}}$? ומה הכוח אם \vec{p}_2 מקביל ל- \vec{p}_1 ומאונך ל- $\tilde{\vec{r}}$.

תשובות סופיות:

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

ד. שאלת הוכחה.

$$q2a\hat{x}$$

$$\frac{kq}{r^3}(a\hat{x} + 3ay\hat{y})$$

$$|e| \frac{K\sqrt{2}p}{3\sqrt{3}a^3}$$

$$\rho = \frac{mv^2}{2e^k} \left(\frac{a^2b^2}{b^2-a^2} \right)$$

ב. 0

$$\left(0, 0, \frac{4}{3}\sigma_0 R^3 2\pi \right) \quad \mathbf{(4)}$$

$$0.$$

$$-\frac{k\pi r_0 R^3 \hat{y}}{3z^3}$$

$$z_{\min} \approx 14.14d$$

$$z_{\min} = 10d$$

$$\varphi(q) = \frac{kq2d}{z^2-d^2}$$

ג. שאלת הוכחה

$$-\frac{kq}{r^3}(\vec{p} \cdot \vec{r})$$

$$\frac{kq}{r^3}(\vec{p} \cdot \vec{r})$$

ב. שאלת הוכחה

א. שאלת הוכחה

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2, \quad \vec{F}_2 = \frac{3k}{\tilde{r}^4} \left[\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 \cdot \hat{\tilde{r}} + (\vec{p}_2 \cdot \hat{\tilde{r}}) \cdot \vec{p}_1 + (\vec{p}_1 \cdot \hat{\tilde{r}}) \vec{p}_2 - 5(\vec{p}_1 \cdot \hat{\tilde{r}})(\vec{p}_2 \cdot \hat{\tilde{r}})\hat{\tilde{r}} \right]. \text{ג.}$$

$$\vec{F}_2 = -\frac{3K}{\tilde{r}^4} p_1 p_2 \hat{\tilde{r}} \quad : \vec{p}_1 \parallel \vec{p}_2 \perp \vec{r}, \quad \vec{F}_2 = -\frac{6K}{\tilde{r}^4} p_1 p_2 \hat{\tilde{r}} \quad : \vec{p}_1 \parallel \vec{p}_2 \parallel \vec{r}. \text{ט.}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 6 - מציאת התפלגות מטען

תוכן העניינים

1. מציאת התפלגות מטען 35

מציאת התפלגות מטען:

שאלות:

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

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

A , B , C , D נתוניים.

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

- 2) שדה התלו依 בזווית**

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

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

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

- 3) התפלגות בכדוריות**

השדה החסמי במרחב נתון לפי הפונקציה הבאה :

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

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

תשובות סופיות:

(1) ראה סרטון.

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 7 - אנרגיה הדרישה לבניית מערכת

תוכן העניינים

37	1. הרצאה
38	2. תרגילים

הרצאה:**שאלות:**

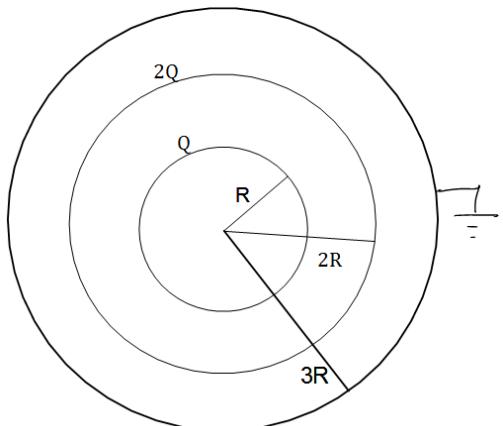
- 1) הסבר נוסחאות ודוגמה**
 מצא את האנרגיה הדרישה לבניית קליפה כדורית בעלת רדיוס R וצפיפות מטען משטחית σ .

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
 ברדיוס $2R$ הטעונה בטען $2Q$.
 שתי הקליפות מוקפות בקליפה שלישית מוליכה
 ומור Arket 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 לפניו שהתחברו?
 ב. מהי האנרגיה העצמית של TYPE החדש?
 ג. מהי האנרגיה העצמית של מערכת TYPES בדיק לפניהם ההתחברות (כלומר, TYPES כמעט נוגעות אחת בשנית)?
 הניח שהתפלגות המטען על כל TYPE עדין איחוד.
 ד. מהו היחס בין האנרגיה שחישבת 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

פרק 8 - מטעני דמota

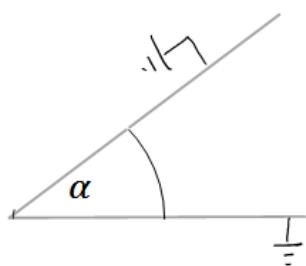
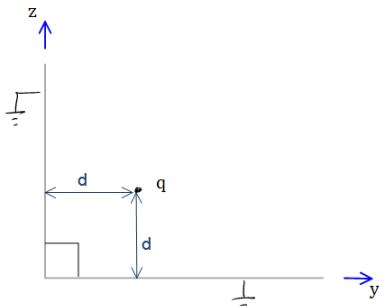
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

39

הרצאות ותרגילים:

שאלות:



1) לוחות בזווית 90 מעלות

נתונים שני מישוריים מוארכים המחוברים בזווית ישרה. במרחב \mathbf{p} משני המישוריים ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט. מצא את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.

2) לוחות בזווית אלפא

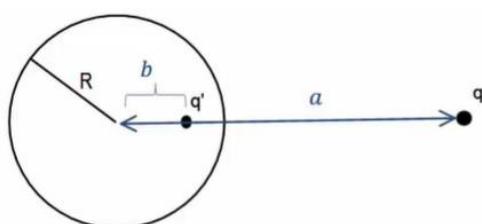
נתונים שני מישוריים מוארכים המחוברים בזווית α . במרחב \mathbf{p} משני המישוריים ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט. מצא את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.

3) מציאת התפלגות המטען על שפת המוליך

נתון מישור אינסופי מוארך. במרחב \mathbf{z} מעל המישור נמצא חלקיק בעל מטען q . מצא את התפלגות המטען σ על שפת המישור.

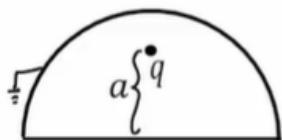
4) כוח ואנרגיה במטעני דמות

נתון מישור אינסופי מוארך ובמרחב \mathbf{z} מעליו נמצא חלקיק בעל מטען q . מהו הכוח שמרגישי החלקיק?



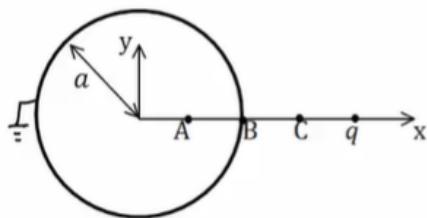
5) מציאת התפלגות מטען עם ספירה

נתונה ספירה מולlica ומוארכת ברדיוס R . מול הספירה ישנו מטען נקודתי q במרחב a ממרכז הספירה. מצא את התפלגות המטען על השפה של הספירה.

**6) מטען בתוך חצי ספירה**

מטען נקודתי q נמצא בתחום חצי ספירה צדוריית, מוארכת ברדיוס R .

המטען נמצא בגובה a מעל מרכזו הספירה. מצא את מטעני הדמות בעזרתם נוכל לחשב את הפוטנציאל בכל המרחב.

**7) ספירה, מטען ושלוש נקודות**

קליפה צדورية ברדיוס a מוארכת.

מטען q נמצא במרחק $2a$ ממרכזו הקליפה ועל ציר ה- x כך ש: $x_A = \frac{a}{2}$, $x_B = a$, $x_C = \frac{3a}{2}$

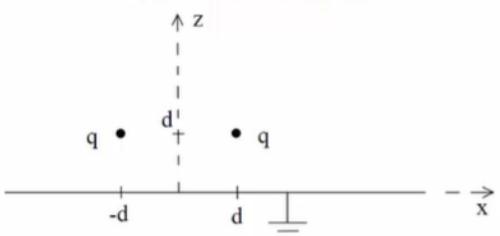
- .A. מצא את הפוטנציאל בנקודות: A, B, C
- .B. מהי התפלגות המטען המשטחית בנקודה B?
- .C. מה הכוח הפועל על המטען q ?
- .D. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

8) שני מטענים מעלה מישור

נתונים שני מטענים q במקומות $(d, 0, d)$

ו- $(-d, 0, d)$ מעלה משטח אינסובי

מוארך כבאיור.



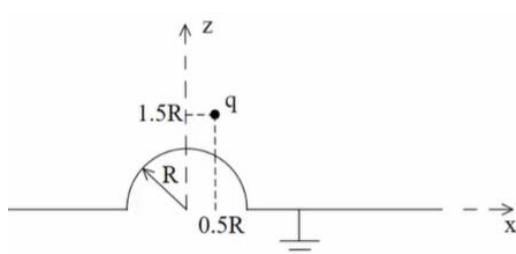
- A. אילו מטעני שייקוף דרושים כדי לבטא פוטנציאל ושדה $B > z$?

- B. איזה כוח ירגש המטען הימני (גודל וכיוון)?

יש לנרמל $1 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2}$ ולהגיע לתשובה מספרית.

- C. מהי התפלגות המטען על המוליך?
ומהו המטען הכלול על המוליך?

- D. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

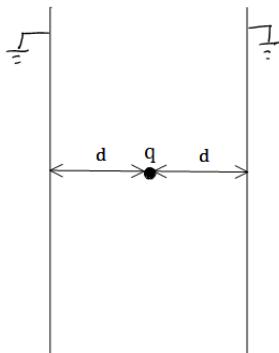


9) מטען מעל חצי ספירה ולא במרכזו
 נתון חצי כדור מוליך מושלם בעלי רדיוס R המונע על חצי מרחב מישור מוליך מושלם, כבאיור. מעלה המוליך יש מטען q בקואורדינטה $(0.5R, 0, 1.5R)$.

- מצא את גודל ומיקום מטען השיקוף הדרושים בשבייל לבטא את הפוטנציאל במרחב שמעל המבנה.
- מצא את הפוטנציאל בנקודות $(0,0,0.5R)$, $(0,0,1.5R)$.

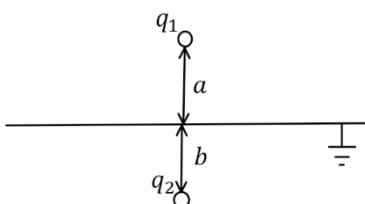
ג. מהי צפיפות המטען המשטחית על שפת המוליך בנקודה ?

- מה הכוח הפועל על המטען?
- מהי האנרגיה הדרישה לבניית המערכת?



10) מטען בין שני לוחות אינסופיים
 נתונים שני לוחות אינסופיים מוארכים במרחב p_2 זה מזה. בדוק באמצעותם מיקום חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט.

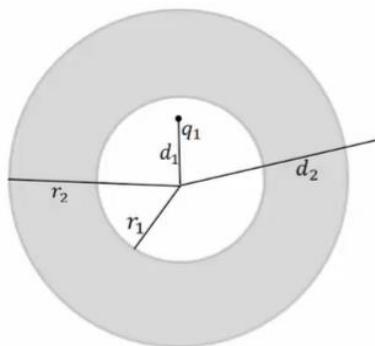
- מצא את פונקציית הפוטנציאל במרחב.
- מצא את העבודה הדרישה לבניית המערכת.



11) מטענים משני צידי מישור מוארך
 מטען q_1 נמצא במרחב a מעלה מישור אינסופי מוארך.

مטען q_2 נמצא במרחב b מתחת למישור.

- מצא את השدة והפוטנציאל בכל המרחב.
- מהי התפלגות המטען על המישור?
ומהו המטען הכולל על המישור?

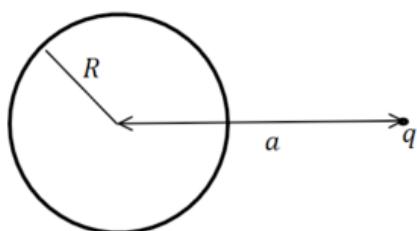


- 12) קליפה עבה עם מטען פנימי ובחוץ**
- נתונה קליפה כדורית עבה ומוליכה בעלי רדיוס פנימי r_1 ורדיוס חיצוני r_2 .
 מטען q_1 נמצא במרחק d_1 ממרכז הקליפה כך ש- $r_1 < d_1$.
 מטען q_2 נמצא במרחק d_2 ממרכז הקליפה כך ש- $d_2 > r_2$.
 המטענים לא נמצאים על אותו רדיוס.
- מצא את הפוטנציאל בו נמצא הקליפה.
 - מצא את הכוח הפועל על המטען q_2 .
 - מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

13) דיפול מעלה מישור



- דיפול מונח במרחב \vec{r}_0 מלוח אינסופי מוארך.
 מומנט הדיפול הוא: $\vec{p} = (0, 0, p)$.
- מצא את השدة בכל המרחב.
 - מצא את צפיפות המטען על המישור.
 - מצא את סך המטען על המישור.



- 14) ספירה ניטרלית**
- טען נקודתי q מונח במרחב a מספירה מוליכה ברדיוס R .
 הספירה אינה מוארכת ואינה מחוברת לפוטנציאל כלשהו.
 ניתן להניח כי הספירה ניטרלית.
 מהו הפוטנציאל על הספירה?
 ומהם מטעני הדמות המתאים לפתרון הבעיה?
 رمز : השתמש בחוק שימור המטען.

תשובות סופיות:

$$\varphi = \frac{kq}{r_1} - \frac{kq}{r_2} \quad (1)$$

ראה סרטון (2)

$$\sigma = -kq\epsilon_0 \frac{2d}{(r^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

$$F = -\frac{q^2}{(2d)^2} \quad (4)$$

$$E(r, \theta) = \frac{kq(r - a \cos \theta)}{(r^2 + a^2 - 2ra \cos \theta)^{\frac{3}{2}}} + \frac{-kq \left(r \left(\frac{a}{R} \right)^2 - a \cos \theta \right)}{\left(R^2 + \left(\frac{ra}{R} \right)^2 - 2ra \cos \theta \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

ראה סרטון (6)

$$\vec{F} = \frac{2kq^2}{qa^2}(-\hat{x}) \quad \lambda \quad \sigma_B = \epsilon_0 \left(-\frac{3kq}{a^2} \right) \cdot \beth \quad \varphi_A = \varphi_B = 0, \quad \varphi_C = \frac{3kq}{2a} \quad \aleph \quad (7)$$

$$U = \frac{-kq^2}{6a} \cdot \daleth$$

$$-0.338\hat{z} + 0.162\hat{x} \cdot \beth \quad (-d, 0, d), (d, 0, -d) \cdot \aleph \quad (8)$$

$$Q_T = -2q, \quad \sigma = -\frac{1}{2\pi} qd \left(\frac{1}{\left((x-d)^2 + y^2 + d^2 \right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{\left((x+d)^2 + y^2 + d^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \right) \cdot \lambda$$

$$U = \frac{-kq^2}{\sqrt{2} \cdot 2d} \cdot \daleth$$

$$q_3 = \sqrt{\frac{2}{5}}q, \quad \vec{r}_3 = \left(\frac{R}{5}, 0, -\frac{3}{5}R \right), \quad q_4 = -q, \quad \vec{r}_4 = (0.5R, 0, -1.5R) \quad \aleph \quad (9)$$

$$\frac{kq}{R^2} 1.04\epsilon_0 \cdot \lambda \quad \mathbf{0} : (0, 0, 0.5R), \quad \varphi \approx 0.71 \frac{kq}{R} : (0, 0, 1.5R) \cdot \beth$$

$$U = \frac{kq^2}{2R} (-0.7) \cdot \aleph \quad \vec{F} = \frac{kq^2}{R^2} (-0.2, 0, -0.64) \cdot \daleth$$

$$\frac{kq^2}{2d} (-\ln(2)) \cdot \beth \quad V_r = \frac{k(-1)^n q}{\left((x-2dn)^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \aleph \quad (10)$$

$$\sigma_T = \frac{-1}{2\pi} \left(\frac{q_1 a}{(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{q_2 b}{(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \right) . \text{ ב}$$

$$E_{up} = \frac{kq_1}{|r_+|^2} \hat{r}_+ + \frac{-kq_1}{|r_-|^2} \hat{r}_-. \text{ נ } (11)$$

$$\vec{F} = \frac{-k \frac{r_2}{d_2} q_2^2 \hat{r}}{\left(d_2 - \frac{r_2^2}{d_2}\right)^2} + \frac{k \left(q_1 + \frac{r_2 q_2}{d_2}\right) q_2 \hat{r}}{d_2^2} . \text{ ב}$$

$$\varphi_2(r_2) = \frac{kq_1}{r_2} + \frac{kq_2}{d_2} . \text{ נ } (12)$$

$$U = \frac{1}{2} \left[\frac{-k \frac{r_2}{d_2} q_2^2}{\left(d_2 - \frac{r_2^2}{d_2}\right)} + \frac{k \left(q_1 + \frac{r_2 q_2}{d_2}\right) q_2}{d_2} - \frac{kq_1^2 \cdot \frac{r_1}{d_1}}{\left(\frac{r_1^2}{d_1} - d_1\right)} + \frac{kq_1^2}{r_2} + \frac{kq_1 q_2}{d_2} \right] . \text{ ז}$$

$$\vec{E}_T = \frac{k \left(3p(z-z_0)r, 0, -pr^2 + 2p(z-z_0)^2\right)}{\left(r^2 + (z-z_0)^2\right)^{\frac{5}{2}}} + \frac{k \left(3p(z+z_0)r, 0, -pr^2 + 2p(z+z_0)^2\right)}{\left(r^2 + (z+z_0)^2\right)^{\frac{5}{2}}} . \text{ נ } (13)$$

$$0. \text{ ג} \quad \sigma(r) = \frac{(-2pr^2 + 4pz_0^2)}{4\pi(r^2 + z_0^2)^{\frac{5}{2}}} . \text{ ב}$$

$$(14) \text{ פוטנציאל על הספירה : } \varphi = \frac{kq}{a}$$

$$\text{טען הדמות הם : } q' = q \frac{R}{a}, b = \frac{R^2}{a} \text{ במקומות } q' = -q \frac{R}{a} \text{ במרכזי}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

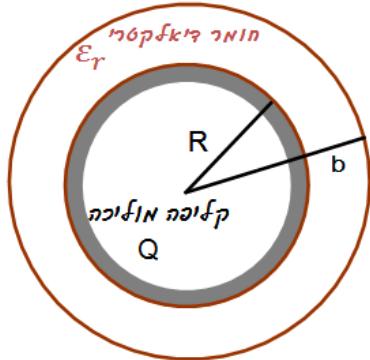
פרק 9 - חומרים דיאלקטריים

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים בסיסיים 45

הרצאות ותרגילים בסיסיים:

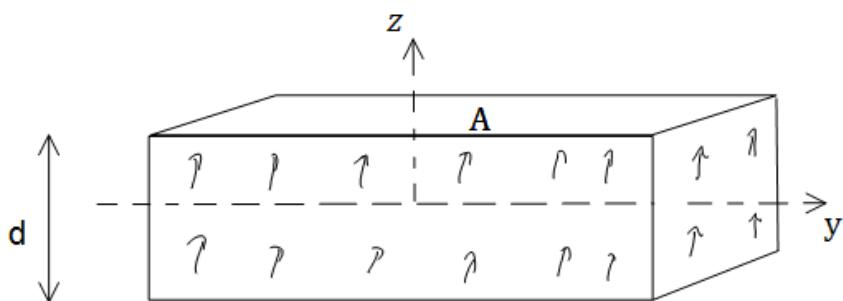
שאלות:



- 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
המושרית (קשורה).

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 הקשורה (משטחית נפחית) בתיבה.
 ב. מצא את סך המטען הקשור בתיבה.



3) **כדור מוקוטב רדיאלית**

- כדור ברדיוס R מוקוטב לפי:
 $\vec{P} = A \vec{r}$ כאשר A קבוע ו- \vec{r} הוא וקטור ממרכז הכדור.
 א. מצא את ציפוי המטען הקשורה (משטחית ונפחית).
 ב. מצא את השדה 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 השדה במקרים הבאים:

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

5) שדה של כדור עם צפיפות קיטוב אחידה

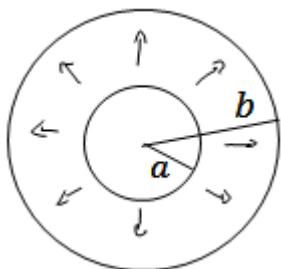
חשב את השדה של כדור מלא עם צפיפות קיטוב אחידה.

הדרך : חשב את צפיפות המטען הקשור.

ניתן לתאר צפיפות מטען כזו באמצעות שני כדורים הטעוניים בцеיפות 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 : $\frac{A}{r} = \frac{P}{r}$ כאשר A קבוע ו- r הוא המרחק
מרכזו הקליפה.

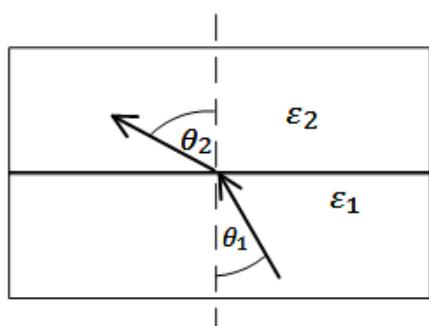
ממצא את השדה בכל המרחב פעמיות צפיפות המטען
המושר ופעם באמצעות השימוש בשדה העתקה.

7) חוק סנל

קרן אוור מרכיבת משדה חשמלי ושדה מגנטי המתקדמיים במרחב, הראה כי אם קרן האור עוברת מחומר דיאלקטרי בעל מקדם ϵ_1 לחומר בעל מקדם
דיאלקטרי ϵ_2 אז מתקיים חוק סnal (התעלם מהשדה המגנטי).

$$\text{חוק סnal: } \tan \theta_1 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \tan \theta_2$$

כאשר θ_1 היא זווית הפגיעה של הקרן עם האנך ו- θ_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 :

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

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

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

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

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

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

(7) שאלת הוכחה

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

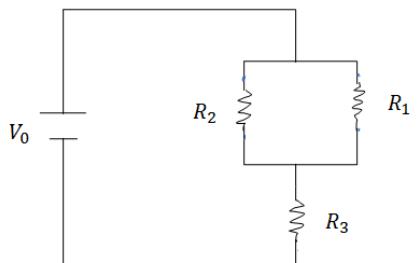
פרק 10 - מעגלים עם זרם ישר

תוכן העניינים

48	1. זרם, חוק א Ohm וחייבור נגדים.
50	2. חוקי קירכוכוף.
52	3. מעגלים אינטואטיביים

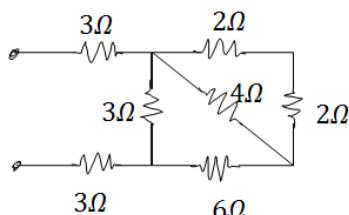
זרם, חוק א Ohm וchipor נגדים

שאלות



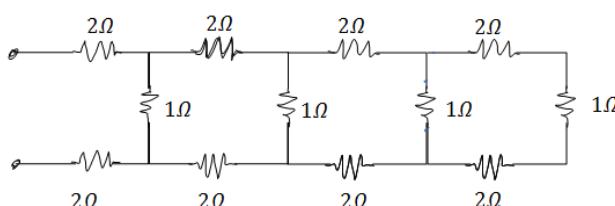
1) שניים במקביל אחד בטוור

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



2) מרובע עם אלפסון

חשב את התנגדויות השקולה של המעגל הבא בין שני הבדיקהים.



3) 4 חוליות

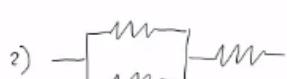
מציאת התנגדויות השקולה של המעגל בין שני הבדיקהים.



נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R .

א. מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.

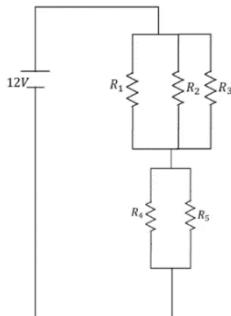
ב. מציאת התנגדויות השקולה של כל אפשרות.



5) שניים של 1 שניים של 2 ושניים של 3

חישוב 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

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

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

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

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

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

$$\text{נגד 1 - מתח: } 2V \quad \text{זרם: } 2A \quad \text{נגד 2 - מתח: } 8V \quad \text{זרם: } 4A \quad \text{נגד 3 - מתח: } 27V \quad \text{זרם: } 9A \quad (5)$$

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

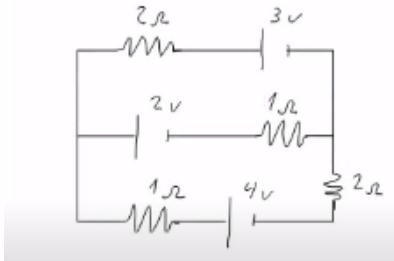
חוקי קירכהוף:

שאלות:

1) חוקי קירכהוף

א. חשב את הזרם בכל נגד במעגל הבא.

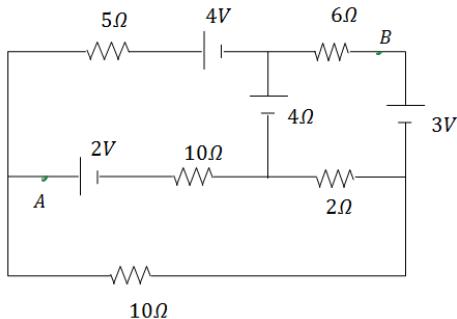
ב. מצא את המתח V_{AB} .



2) חוגים

א. חשב את הזרם בכל נגד במעגל הבא.

ב. מצא את המתח V_{AB} .



סוללה לא אידיאלית



10Ω

3) דוגמה 1

המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית

המחוברת לנגד של 10 אוהם.

התנגדות הפנימית של הסוללה היא 1 אוהם.

במעגל זורם זרם של 2 אמפר.

א. מהו הcac"ם של הסוללה?

ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

4) דוגמה 2

מחברים סוללה לא אידיאלית לנגד של 10 אוהם ומודדים את הזרם במעגל.

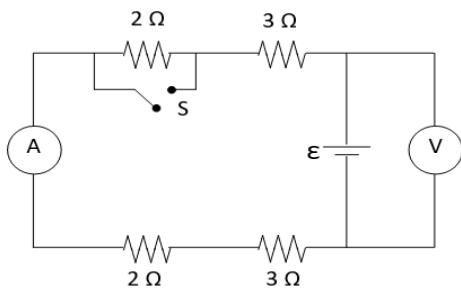
המדידה מראה כי הזרם הוא 2 אמפר. לאחר מכן מנקים את הסוללה מהנגד

ומוחברים אותה לנגד של 6 אוהם. מודדים שוב את הזרם במעגל ורואים כי

הזרם השתנה ל-3 אמפר.

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

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



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:

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

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

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

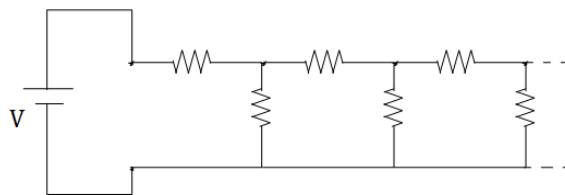
$$V_2 = 18V, V_1 = 20V \quad \text{ב.} \quad .24V \quad \text{א. התנגדות פנימית: } r = 2R, \text{ כא"ם: } .24V \quad \text{4}$$

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

$$\text{ד. הולטמתר פנימית: } r = 2R \quad \text{ב. כא"ם: } 18V \quad \text{ג. התנגדות פנימית: } r = 2R \quad \text{א. כא"ם: } 18V \quad \text{5}$$

מעגלים אינסופיים:

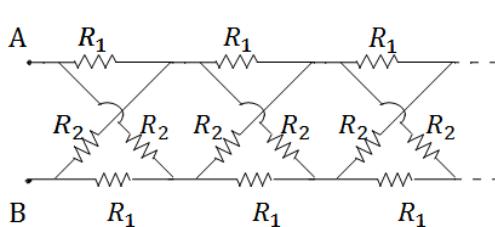
שאלות:



- 1) חישוב התנגדות של טור אינסופי**
במעגל הבא טור אינסופי של נגדים.
התנגדות כל הנגדים זהה ושווה R .
מצא את ההתנגדות השוקלה והזרם
במקורה המקורי.

2) מתח וזרם בטור אינסופי

- א. מצא נוסחה למתח על כל נגד במעגל של התרגיל הקודם.
ב. חשב את הזרם כנגד האנכי ה-23 אם נתון מתח המקור.



3) טור אינסופי של נגדים בהצלבה

- א. חשב את ההתנגדות הכוללת
במעגל האינסופי הבא
(ההתנגדות בין A ל-B).
ב. מצא את הזרם בכל נגד במקרה
 $R_1 = R_2$.

תשובות סופיות:

$$R_T = \frac{1+\sqrt{5}}{2} R \quad (1)$$

$$\tilde{I}_{23} = \frac{V}{R} \left(\frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1} \right)^{23}. \quad (2)$$

ב. הזרם שווה בינהם והוא $2A$.

א. $R_T = R$. (3)

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 11 - קבליים

תוכן העניינים

53	1. הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול
55	2. אנרגיה האגורה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי
58	3. טור אינסופי של קבליים
59	4. תרגילים נוספים בקבליים

הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול:

שאלות:

1) קובל גלי

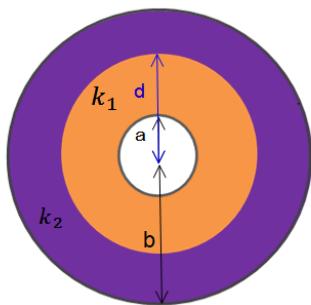
קובל גלי מרכיב משתי קליפות גליליות מוליכות באורך L ורדיויסים a , b .

א. מצא את הקיבול של הקובל $b >> a$.

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

ג. כאשר $d < r < b$ ו- $k_1 < a < d$. מצא את הקיבול החדש.

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



2) דרך שנייה לחישוב קיבול וחיבור קבליים

קובל לוחות מרכיב שני לוחות מלבנים בעלי

אורך a ורוחב a . המרחק בין הלוחות הוא d .

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

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

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

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

3) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי תלוי בגובה

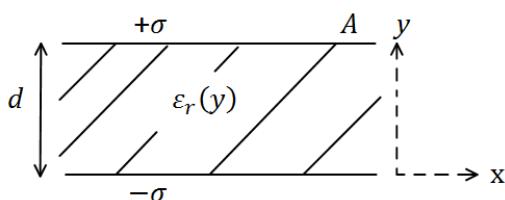
קובל לוחות טעון בצפיפות מטען $\sigma \pm$.

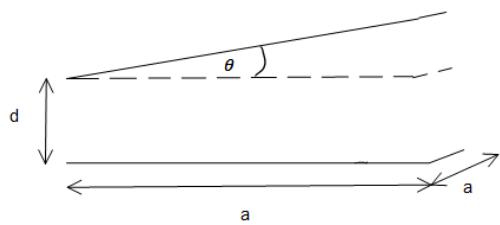
שטח הלוחות הוא A והמרחב בין הלוחות

הוא d . בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי

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

כאשר הלווחת התחתונה נמצא ב-0. $y = 0$. מצא את הקיבול של הקובל.



**(4) קובל לוחות בזווית**

נתון קובל לוחות בעל שטח A ומטען Q.

אורך כל צלע בלוחות הקובל הינה a.

עקב טעות בייצור נוצרה זווית θ קטנה מאוד בין הלוחות.

א. חשב את קיבולו של הקובל כפונקציה של θ .

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

תשובות סופיות:

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

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

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

$$\frac{\pi d}{4\epsilon_0 A} \quad (3)$$

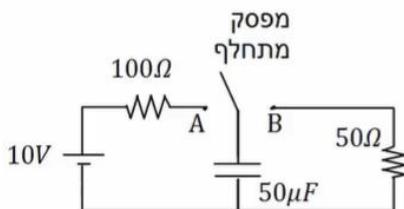
$$\sigma_{(x)} = \frac{\epsilon_0 V_0}{d + x t \theta} . \text{ב} \quad \frac{\epsilon_0 a}{\theta} \ln \left(1 + \frac{a}{b} \theta \right) . \text{ג} \quad (4)$$

אנרגיה האgorה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי:

שאלות:

1) מתג מתחלף

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



א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.

ב. מה המטען על הקבל ב- $t=0.02$.

ג. רשום שוב את הזרם כתלות בזמן.

ד. צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

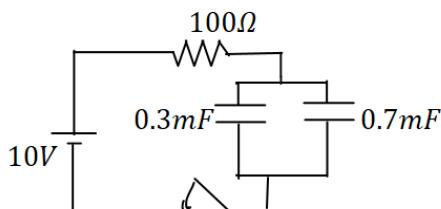
2) טעינה של שני קבליים

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$.

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והטען בכל

קבלי בזמןים: $t=0.2\text{ sec}$, 0.8 sec .



3) קבליים בהתחלה ובסיוף

במעגל הבא הקיבול של הקבליים זהה

ושווה ל-C התנגדות הנגדים זהה ושווה

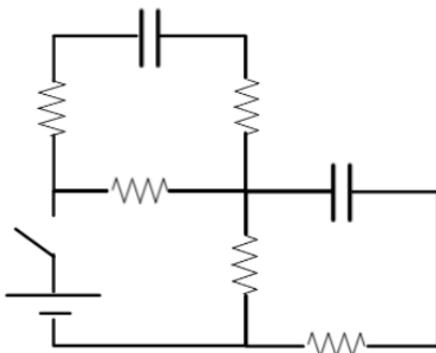
$L-R$ ומתח הסוללה הוא V.

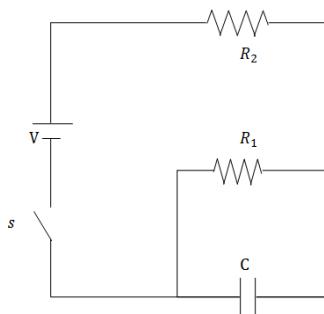
הקבליים אינם טעוניים כאשר המפסק פתוח.

א. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג.

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

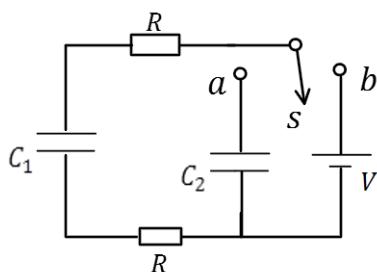
ג. מהו המטען על כל קבל לאחר זמן רב?



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

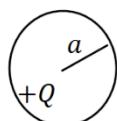
כאשר הקובל אינו טעון.

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

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

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

ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?

**6) קובל של שני כדורים**שני כדורים בעלי רדיוסים a ו- b מרוחקים מאוד זה מזה.טוענים את הכדורים בטען Q ו- $-Q$ בהתאם.

א. חשב את האנרגיה האלקטרוSTATICית הכוללת של המערכת.

ב. חשב את הקיבול של המערכת דרך התוצאה שקיבלה עבור האנרגיה.

ג. אם לחברים את הכדורים בחות אروم מאוד עם התנדות כוללת R , מה זמן הפריקה האופייני של המערכת?

תשובות סופיות:

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

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

ד. ראה סרטון

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

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

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

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

ג. מטען קבלים : $\frac{CV}{2}$

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

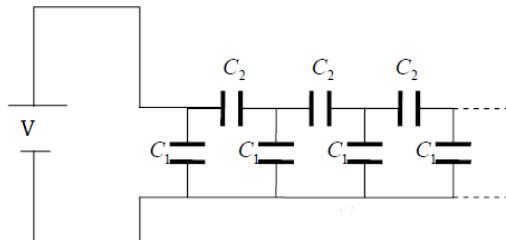
$$, q_1(t) = (\tau \cdot A - Q_0) e^{-\frac{t}{\tau}} . \quad \text{ב.} \quad \frac{C_1 + C_2}{2RC_1 C_2} \cdot q_1 + q_1 - \frac{Q_0}{2RC_2} = 0 . \quad \text{א. (5)}$$

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

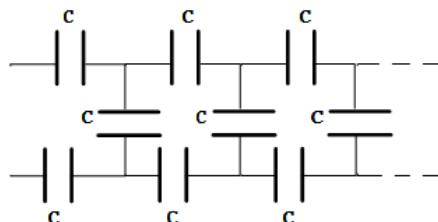
$$\tau = RC = \frac{Rab}{K(a+b)} . \lambda \quad C = \frac{a \cdot b}{K(a+b)} . \quad B \quad U = \frac{KQ^2}{2} \left(\frac{b+a}{a \cdot b}\right) . \quad \text{א. (6)}$$

טור אינסופי של קבליים:

שאלות:



- 1) תרגיל 1 והסביר**
חשב את הקיבול של הטור האינסופי הבא.
הקיבול של הקבליים נתון.



- 2) טור אינסופי של קבליים זהים**
במערכת הבאה הקיבול של כל הקבליים זהה ונットו.

- מצא את קיבול כל הטור.
- מצא את המטען על כל קבל במערכת
אם נתנו שהמערכת מחוברת למקור
מתח V_1 .

הדרך לסעיף ב':

סמן את המטען על כל אחד מהקבליים העליונים C_n .
הראה ש- Q_n - מקיים סדרה הנדסית ומצא את המכפיל.
לאחר מכן השתמש במתח הנットו למציאת Q_1 .

תשובות סופיות:

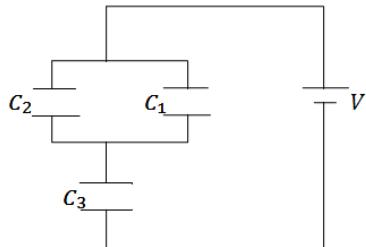
$$C_T = \frac{C_1 + \sqrt{C_1^2 + 4C_1C_2}}{2} \quad (1)$$

$$Q_n = \frac{C}{2} (\sqrt{3} - 1) V_1 (2 - \sqrt{3})^n, \quad Q'_n = C V_1 (2 - \sqrt{3})^{n+1} \quad \text{ב.}$$

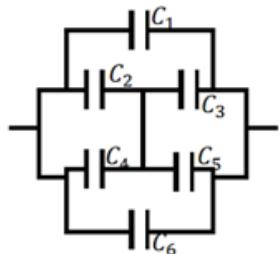
$$C_T = \frac{C}{2} (\sqrt{3} - 1) \quad \text{א.} \quad (2)$$

תרגילים נוספים בקבלים:

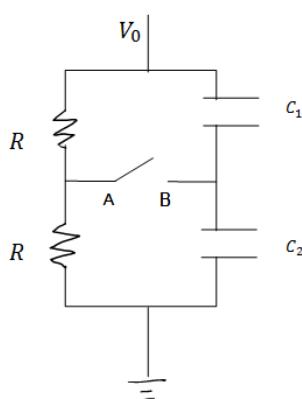
שאלות:



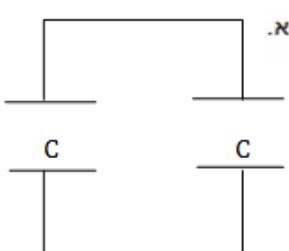
- 1) **שלושה קבלים**
 במעגל הבא נתון מתח הסוללה $V = 3V$. והקיבול של כל קובל $C_1 = 2\mu F$, $C_2 = 3\mu F$, $C_3 = 5\mu F$.
 מצא את המטען על כל קובל.



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

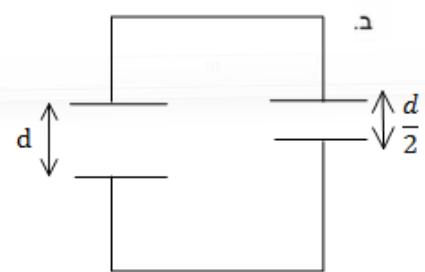


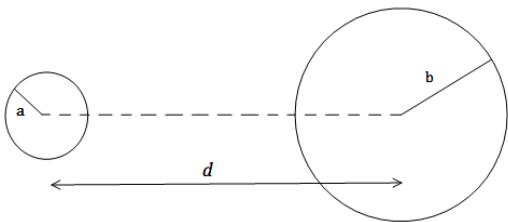
- 3) **קבלים עם מפסק**
 במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע ונתנו V_0 . הקצה התיכון מוארך.
 נתון: הקיבול של כל קובל, ההתנגדות הזזה של הנגדים.
 א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאליים) בין הנקודה A לנקודה B.
 ב. סגורים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת תהייצבה?



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

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

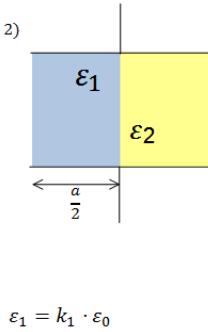
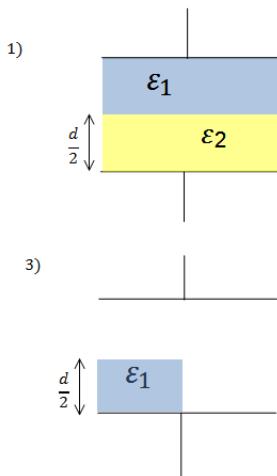




- 5) שני כדורים מרוחקים**
 שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים שונים
 ונתוני b , a טעוניים במטיענים שווים
 ומוגדים $-b$, $-a$.
 המרחק בין מרכזי הconductors הוא d .
 נתון כי $b \gg d$

- א. מהו השדה החשמלי לאורץ החיבור בין הconductors (ומחוצה להם)?
 ב. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין משטחי הconductors.

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



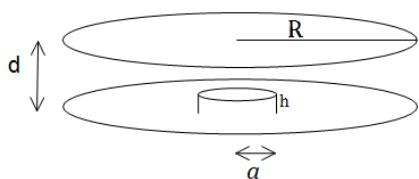
$$\epsilon_1 = k_1 \cdot \epsilon_0$$

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

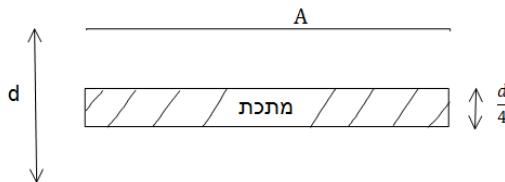
- א. מצא עבור כל מצב את הקיבול
 של הקובל.
 ב. מחברים את הקובל למקור מתח V נתון, מהו השדה החשמלי בתוך הקובל
 בכל אחד מהמצבים?
 ג. מצא את התפלגות המטען החופשית והמושנית בכל אחד מהמצבים.

7) קובל לוחות עם בליטה

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



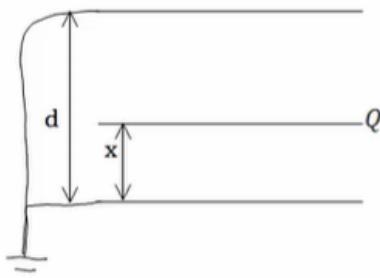
- מרכז הבליטה במרכז הלוח התחתון.
 א. מצא את הקיבול של הקובל.
 ב. מהו השדה בכל מקום בתוך הקובל
 אם נתון שהקובל מחובר למקור מתח V .
 ג. מצא את התפלגות המטען על הלוחות.

8) קבל עם פיסת מתכת

קבל לוחות מחובר למקור מתח 7.

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

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

9) שלושה לוחות

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

שטח הלוות הוא d^2 ($d \gg d^2$).

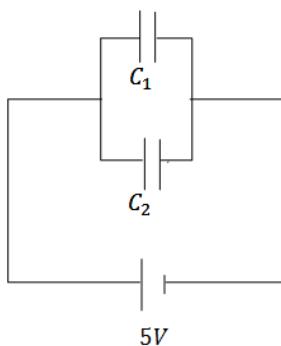
- מצא את הקיבול של המערכת.
- מצא את המטען על כל לוח.
- מצא את האנרגיה של המערכת כפונקציה של x .
- מהו החוכם הפועל על הלוות?

10) שני קבליים טעוניים מחוברים לקבל שלישי

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

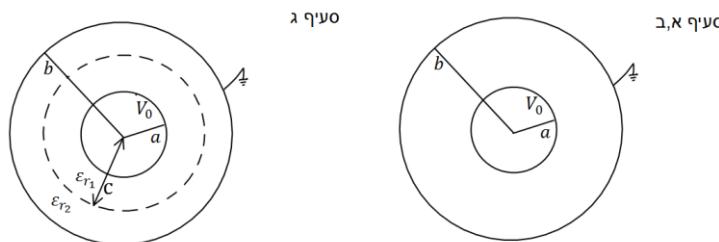
לאחר שהקבליים נטענים מנתקים את המקור ומחליפים אותו בקבל של $C_3 = 5\mu F$.

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

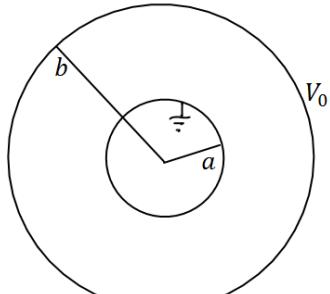


11) קבל כדורי עם חומר דיאלקטרי מפוצל

- 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 ϵ_{r_1} הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל- c
 וחומר שני בעל מקדם ϵ_{r_2} הממלא את החלל בין הרדיוסים c ל- b .
 ג. חשב את הקיבול החדש.

**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 מחוץ לקבל!
 ב. חשב את הקיבול של הקבל.
 מכנים לקלbol חומר דיאלקטרי בעל מקדם ϵ 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 mm ומרחק בין הלוחות $1 = d$ mm ע"י סוללה במתח V_3 . לאחר שהקלbol נתען במלואו מנטקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק pd .
- 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.

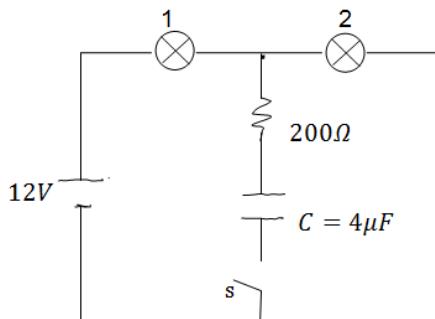
14) מושכים לוח מקובל גליילי

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

א. מצא את הקיבול של הקובל.

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

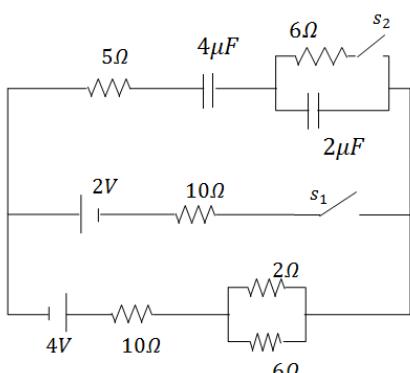
מהו החשמלי הפועל על הגליל הפנימי? (נתון להניה כי השדה החשמלי מתאפס באזוריים בהם אין חפיפה בין הגלילים).

**15) שתי נורות**

במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של 70V הוא 0.5W . ההספק של נורה מס' 2 באותו המתח הוא 0.4W . התנגדות הנגד היא 200Ω .

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

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

**16) מעגל עם קבלים**

חשב את כל הזרים במעגל ואת המטען על כל קובל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

א. s_1 פתוח ו- s_2 סגור.

ב. s_2 פתוח ו- s_1 סגור.

ג. שני המפסקים סגורים.

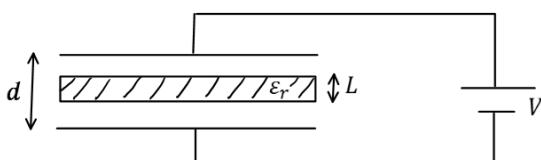
17) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי ממלא רק חלק מהקובל

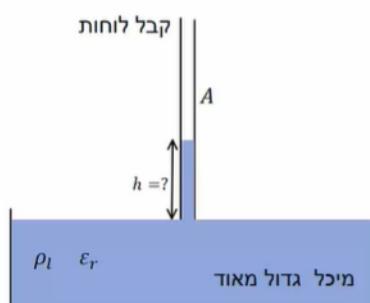
קובל לוחות בניוי משני לוחות ריבועיים בעלי צלעות a המרוחקים מרחק d זה מזה. בין לוחות הקובל הוכנס חומר דיאלקטרי בעובי $d < L$ ומקדם דיאלקטרי ϵ_r . מחברים את הקובל למקור מתח V .

א. מהו השדה החשמלי באזורי ללא החומר הדיאלקטרי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי?

ג. מהו המטען המושרה על השפה של החומר הדיאלקטרי?



**18) גובה נוזל בתוך קובל**

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

המטרה היא למצאו עד איזה גובה עולה הנוזל בקובל.

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

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

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

19) קובל לוחות עם חומר לא אחיד

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

א. מצאו את הקיבול של הקובל.

ב. חשבו את צפיפות המטען על לוחות הקובל.

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

ד. מהי האנרגיה האגורה בקובל.

תשובות סופיות:

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

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

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

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

ג. האנרגיה ירדה ועברה לכוח שהזיז את הלוחות.

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

מצב 1 :

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

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

מצב 2 :

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

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

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

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

מצב 3 :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$V_0 = V_2 = 6.68V \quad \text{ב.}$$

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

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

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

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

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 12 - מבנה הנגד וצפיפות זרם

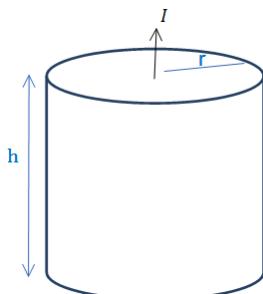
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

68

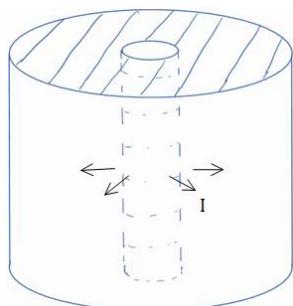
הרצאות ותרגילים:

שאלות:



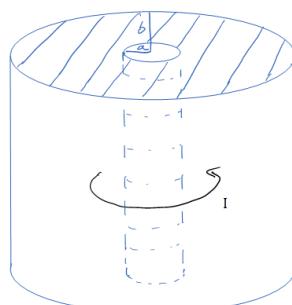
1) נוסחה לחישוב התנגדות ודוגמה עבור גנד גליילி
גלייל מלא בעל רדיוס r וגובה h עשוי מחומר בעל התנגדות סגולית משתנה $\frac{z}{h} = m$ כאשר m נתון ו- z הוא המרחק מבסיס הגלייל.

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



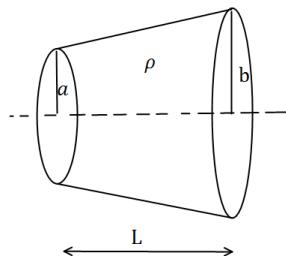
2) זרם רדייאלי
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית m איחידה ונתונה.

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

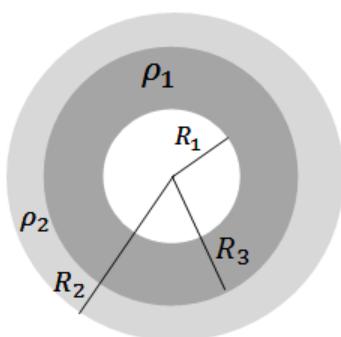


3) זרם מעגלי בגליל
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית m איחידה ונתונה.

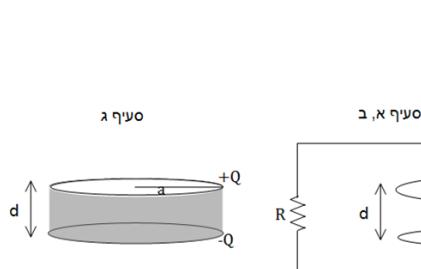
- מצא את התנגדות השקולה של הקליפה אם הזורם זורם בכיוון טטה (ז"א זרם מעגלי).
- נתון הזורם הכלול הזורם בנגד.
מצא את הצפיפות כתלות במרחב מרכז הנגד.
- מצא את השدة החשמלי בתחום הקליפה.



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

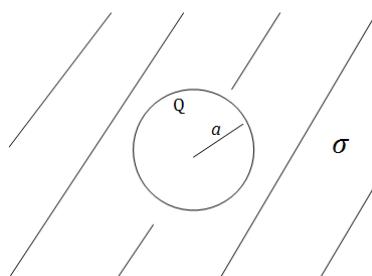


- (5) נגד כדורי מוחלך לשני חומרים שונים**
 נגד בצורת קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2 מורכב מחומר בעל ההתנגדות סגולית ρ_1 בתחום $R_1 < r < R_3$ ($R_3 < R_2$) $R_1 < r < R_3$ ($R_3 < R_2$) והתנגדות סגולית ρ_2 בתחום $R_3 < r < R_2$.
 א. מצא את ההתנגדות השוקולה של הקליפה (זרם בכיוון רדיאל).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

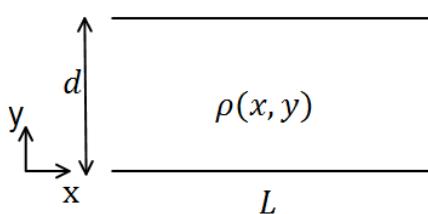


- (6) צפיפות זרם בתוך לוח של קובל לוחות**
 קובל לוחות עגולים טוען במטען Q ומחובר לנגד. רדיוס הלוחות הוא a והמרחק בין הלוחות הוא $a \ll d$, ההתנגדות הנגד היא R .
 א. מצא את הזרם במעגל.

- ב. מצא את צפיפות הזרם על פני לוח הקובל.
 הדריכה: הנה כי צפיפות המטען על הקובל תמיד אחידה.
 חשב את הזרם שיוציא מחלק הלוח בין a לבין $-a$.
 חשוב אייזו סוג של צפיפות ישנה על הלוח.
 מצא את הצפיפות ע"י חלוקה של הזרם ב��זך.
 ג. בסעיף זה הנגד לא קיים, במקומו ממלאים את הקובל בחומר בעל ההתנגדות סגולית ρ אחידה. חזור על סעיפים א' ו-'ב'.



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



- 8) **התנדות 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

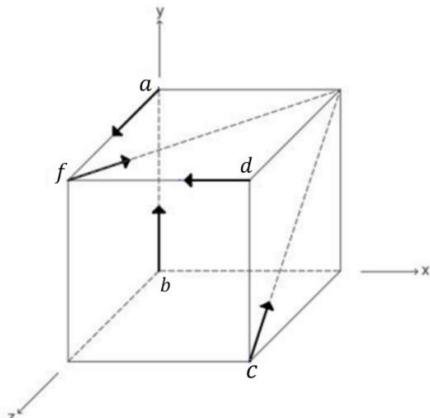
פרק 13 - חוק לורנץ וכוח על תיל נשא זרם

תוכן העניינים

72	1. חוק לורנץ
77	2. כוח על תיל נשא זרם

חוק לורןץ:

שאלות:

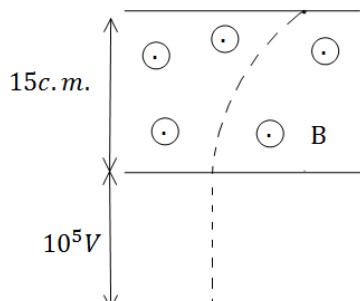


- 1) מצא את הכוח על כל חלקיק החיצים בציור מצוינים מהירות של חלקיקים חיוביים שונים. החלקיקים נמצאים בשדה מגנטי אחיד SCIOWNO הוא \hat{x} . עברו כל חלקיק מצא: מהו כיוון הכוח ברגע הנתון באוויר? מהי צורת המסלול?

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

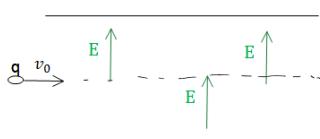
- 3) ספקטוגרפ המסתות של דמפסטור המערכת הבאה מתארת את ספקטוגרפ המסתות של דמפסטור. מטרתה היא להפריד בין חלקיקים בעלי מסות שונות. חלקיקים עםטען חיובי משוחררים ממנוחה ליד לוח הקבל החיובי. החלקיקים מואצים ע"י מקור מתח V המחבר בין הלוחות. החלקיקים עוברים דרך הלוח השילי ווכנסים לשדה מגנטי אחיד הפועל לתוך הדף.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

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

**5) פרוטון פוגע במסך**

פרוטון מואץ בקובל הנמצא במתה של V^5 . לאחר מכן הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד לפגיעתו במסך הנמצא במרחק $15c.m.$ מהקובל. עוצמת השדה המגנטי היא $0.2T$.

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

**6) מטען עובר קובל**

טען נע בתוך קובל לוחות עם מהירות קבועה v_0 בקו ישר ובמקביל ללוחות הקובל. בתוך הקובל (וירק בתוכו) ישנו שדה חשמלי אחיד ונתון E . כאשר המטען יוצא מהקובל הוא מבצע תנועה מעגלית כלפי מעלה. ידוע כי בכל המרחב (בתוך ומחרוץ לקובל) יש שדה מגנטי אחיד אך לא ידוע מה גודלו וכיונו. הזנח את כוח הכבוד הפועל על המטען.

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

**7) מטען פוגע בלוחות קובל**

חלקיים בעל מסה m ומטען $q > 0$ נכנס במרכז של קובל לוחות עם מהירות v_0 בזווית θ ליחסים מקבילים למשור ע"ח והמרחב ביןיהם הוא d .

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

- מצא את המרחק מקצה הלוח של הקובל בו יפגע המטען.
- כעת הנה שהקובל אינו מחובר למקור ואינו טוען אך במרחב קיים שדה מגנטי אחיד $\vec{B}_0 = \vec{B}$. מצא את המרחק מקצה הלוח בו יפגע המטען.
- לאיזה כיוון יסטה המטען אם הקובל מחובר למקור מתה ובמרחב קיים שדה מגנטי.

8) מטען בשדה מגנטי וחשמלי

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

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

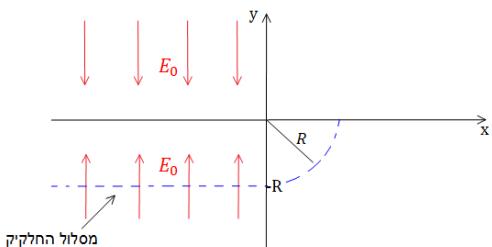
השדה הוא: $E_0 \hat{y} = \vec{E}$, ראה שרטוט.

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

חלקיק בעל מסה m ומטען $|q|$ מגיע

מ- ∞ $= x$ וגע בקו ישר ובמהירות קבועה.

גובה המסלול של החלקיק הוא $R = y$.



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

נתון: R , m , $|q|$, E_0 .

א. שרטט את המשך מסלול המטען.

ב. מה סימן המטען?

ג. מצא את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.

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

9) בורר מהירות ומתח עצירה

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

בין לוחות הקובל 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 מהකובל.

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

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

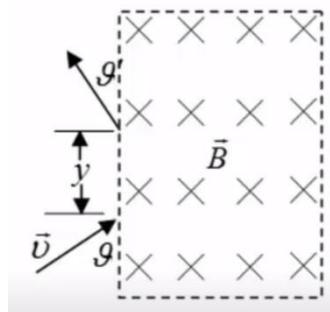
א. באיזו מהירות v יוצאים החלקיקים מהקבול הראשון?

ב. מהו המראק d (ראה ציור)?

ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?

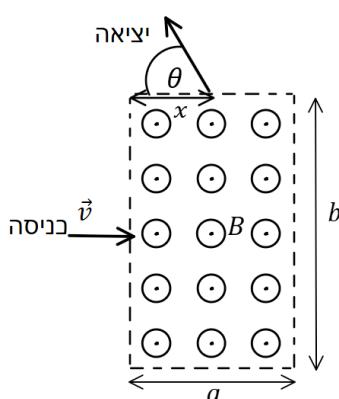
ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V המופעל על הקובל השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעמדו לחЛОוטין?

ה. מחברים את הקובל השני למסלול שמתבה גدول פי שתים ממה שחייבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסהו אל בין לוחות הקובל השני כתם?

10) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

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

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

11) עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

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

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

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

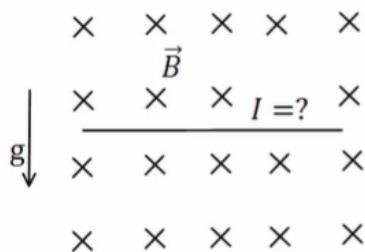
$$\theta' = \theta \quad (16) \quad y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \theta}{Bq} \quad (17) \quad A.$$

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

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

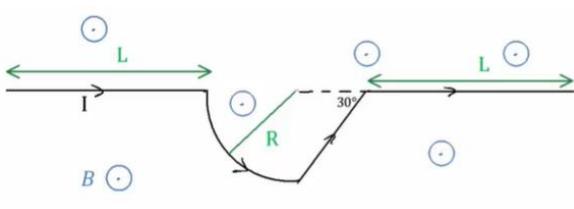
כוח על תיל נושא זרם:

שאלות:



- 1) דוגמה-תיל מרוחך**
 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 במישור 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?

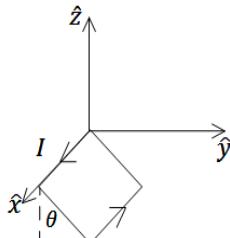


- 3) כוח על תיל מכופף**
 תיל הנושא זרם I מכופף כפי שנראה באיור. החלק העגול הוא רבע מעגל בעל רדיוס R . בכל המרחב יש שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף. מצא את הכוח השקול על התיל אם R , I , B , L נתונים.

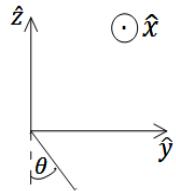
- 4) כוח על תיל מכופף עם חלוקה לחטיות**
 הנח נתונים זהים לשאלה קודמת.
 מצא את הכוח השקול על התיל ע"י חלוקה לחטיות, חישוב הכוח ע"י כל חטיכה בנפרד וסכום.

5) לולאה תלואה

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



mbut tlat midri



a. maza et godol hashdeha magneti shdruosh
shdruosh lehfeil b'kiono tsir ha-z ul
mant shololaea tatiyicb b'monoha
bzooit theta b'ichas le-tsir ha-z.

b. maza et godol hashdeha magneti shdruosh
lehfeil b'kiono tsir ha-y ul mant
shololaea tatiyicb b'monoha bzooit theta
mbut do-mimdu b'ichas le-tsir ha-z.

6) כוח על לולאה סגורה

hara'i ci :

a. hoco magneti ul lolata zorim ribouiyit b'shdeha achid hniyicb lemisur
hololaea mataps.

b. hoco magneti ul lolata zorim ribouiyit b'shdeha achid mukbil lemisur
hololaea mataps.

c. hoco magneti ul lolata zorim ribouiyit b'shdeha achid mataps.

d. hoco magneti ul lolata zorim segura beulat cel zora sheia b'shdeha
achid mataps.

7) לולאה בצורת חצי גליל ותיל אינסופי - סמי שמעון

lolaea morchabta mesheni chazi uigol mukbiliim vesheni kooim
ishrim mukbiliim ck shnuzeret hashfa shel chazi galil, rao ayor.
tilainsufi uover laoruk tsir hsimteria shel galil.

rdios chazi uigol hoa R vaooruk kooim ishrim hoa a.
bololaea vbetil zorimim zorimim I₁ v I₂ vkiyot mtoar baayor.

a. chsbu at hoco shmfpil htil ul cel chazi meugal
shel hololaea.

b. chsbu at hoco shmfpil htil ul cel achd makoim
ishrim (godol vkiyon).

c. ma hoco shkoul shmfpil htil ul hololaea?

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

6) שאלת הוכחה.

$$7) \text{ a. } 0. \quad \text{b. עברו שנייהם, שמאליה,} \quad \frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{2\pi R}$$

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 14 - חוק ביו סבר

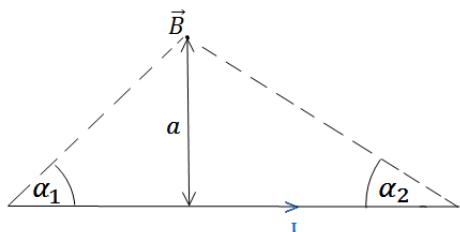
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

80

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.



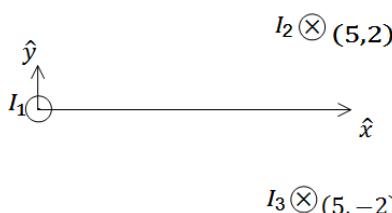
- 2) חישוב שדה של תיל סופי לפי וקטוריים נתון תיל סופי באורך L וזרם I . השדה נמצא במרחק y מהראשית. חשב את השדה המגנטי של תיל סופי.



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

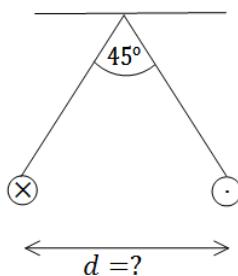


- 4) חישוב שדה של דיסקה
דיסקה ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משטחית s . הדיסקה מסתובבת במהירות זוויתית ω סביב ציר הסימטריה שלה.
מצא את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה.



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

$I_1 = 3A$ החוצה מהדף, $I_2 = 5A$ לתוך הדף, $I_3 = 4A$ גם כן לתוך הדף.
מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה-z מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון z ?

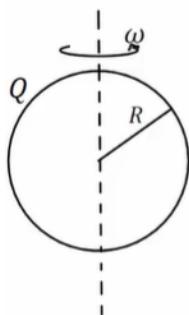


- 6) שני תילים תלויים**
 שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקלה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע. בתילים זורם זרם של 100 A מפנ' בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת אורך היא: $2 \frac{\text{gr}}{\text{m}} = \mu$.
 מצא את המרחק בין התילים.

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

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

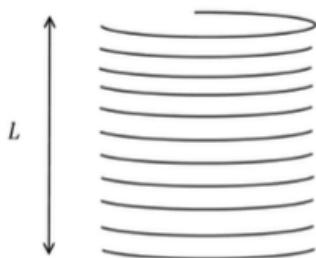
- 9) חישוב שדה של תיל מיוחד**
 תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים. המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).
 בתיל זורם זרם I, כיוון הזרם מסומן בשרטוט.
 א. מהו גודלו וכיוונו של קטור השדה המגנטי במרכזו החלק המעגלי של התיל?
 ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכז החלק המעגלי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

**10) שדה במרכז קליפה כדורית מסתובבת**

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

הקליפה מסתובבת סביב צירה במהירות זוויתית קבועה ω .

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

**11) שדה של סליל סופי**

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

חשבו את השדה המגנטי ב:

- מרכז הסליל.
- הקצה העליון של הסליל.

תשובות סופיות:**(1)** שאלת הוכחה.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 15 - חוק אמפר

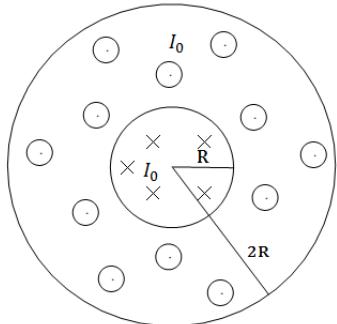
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

84

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?

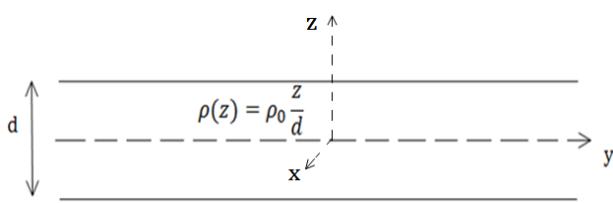


- 2) שדה של מישור דק אינסופי**
 נתון מישור אינסופי דק אשר זורם בו זרם. נניח שהמישור טעון בצפיפות מטען s . המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר ה- x במהירות קבועה V_0 .
 חשב את השדה המגנטי.



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

- 4) שדה של סליל אינסופי**
 נניח אורץ סליל A ומספר ליפופים כולל של סליל N . צפיפות הליפופים α , 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 טען

בצפיפות מטען משתנה ליחידה

נפח $\frac{z}{d} \rho_0 = \rho(z)$.

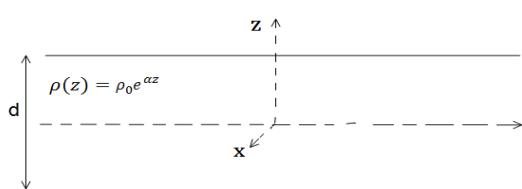
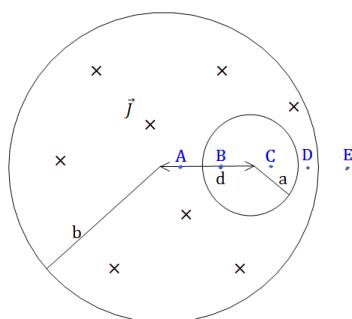
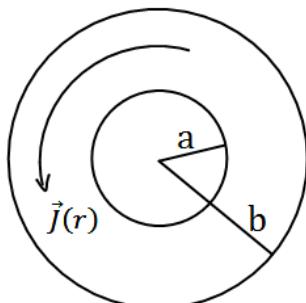
המישור מונח במקביל למישור xy
וראשית הצירים במרכזה.המישור מתחילה לנوع בכיוון ציר $-x$ (הוצאה מהדף) ב מהירות קבועה V_0 .
מצא את השدة המגנטי מוחז ובתוך המישור.**6) מישור אינסופי עם צפיפות אלספוננטיאלית**מישור אינסופי בעובי d טען בצפיפות מטען

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

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

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

מצא את השدة המגנטי בכל המרחב.
קבוע נתון.

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 16 - מיציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון

תוכן העניינים

1. חוק אמפר הדיפרנציאלי 87

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

פרק 17 - חוק פאראדי

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים

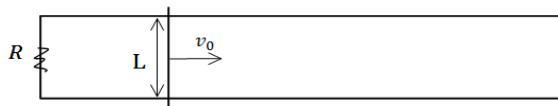
88

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,

נעя ב מהירות קבועה V_0, לכיוון אוזור בו

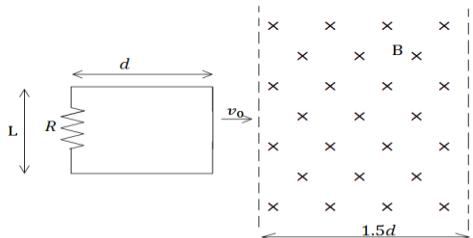
שורר שדה מגנטי אחיד B.

אורך האוזור הוא 1.5d ורוחבו אורך מאד.

למסגרת התנודות כוללות R.

הנח כי ב-t=0 הצלע הימנית של המסגרת

נכנת לאוזור עם השדה.



א. מצא את הכא"ם במסגרת (כתלות בזמן).

ב. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון

(כתלות בזמן).

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

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

(3) מסגרת נעה ליד תיל אינסופי

מסגרת ריבועית מוליכה עם צלע a נמצאת על מישור xy .

ונע ב מהירות קבועה v_0 בכיוון ציר ה- x .

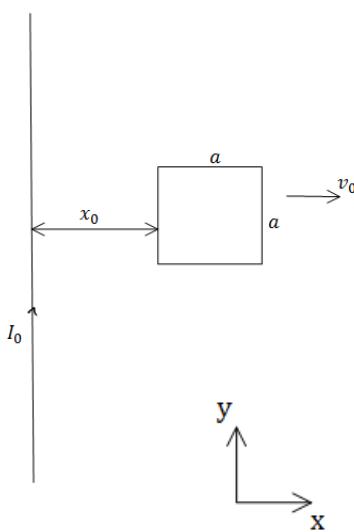
מיקום המסגרת ב- $t=0$ הוא x_0 .

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

א. מצא את הכא"ם במסגרת.

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

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



(4) טבעת מסתובבת

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

במרחב קיימים שדה מגנטי אחיד B_0 בכיוון ציר y .

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

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

(5) מוט וז בתוך מעגל

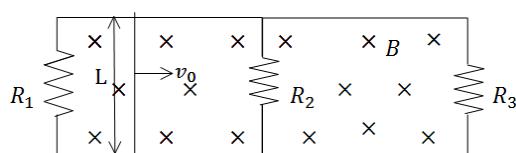
מוט מוליך באורך L נע על צלעותיו של המעגל הבא.

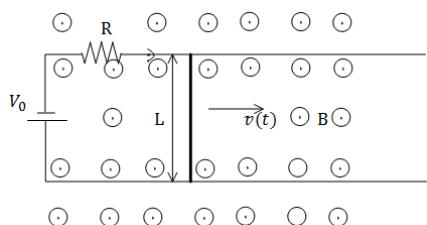
בתוך המעגל קיימים שדה מגנטי אחיד וקבוע לתוך הדף B .

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

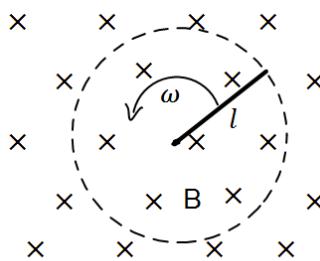
מציאת הזרם משני צידי המוט עבור

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

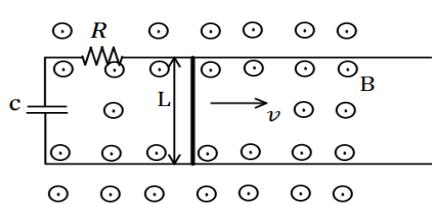




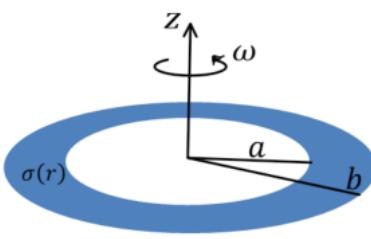
- 6) מוט נע על מסגרת עם מקור מתה**
מוט מוליך באורך L ומסה M נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות שאינה קבועה בזמן. למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R ומקור מתח V_0 .
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדזף.
- מצא את הcurrentים במעגל גודל וכיוון.
 - רשות משווה תנועה עברו המוט, מהי מהירותו הסופית.
 - מצא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



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



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

**9) טבעת בתוך טבעת רחבה**

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

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

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

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

א. מהו השדה המגנטי במרכזו הטבעת?

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

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

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

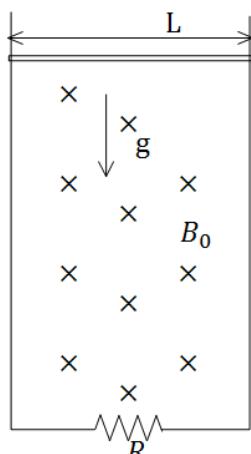
ג. חשבו את הזרם שייוציא בטבעת הקטנה אם התנגדותה R .

10) מוט נופל מחובר למסילה

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

רוחב המסילה הוא L ומשקל המוט היא M .

התנגדות המסילה קבועה ושווה ל- R .



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

ב. מצא את כיוון השדה המושרה ואת כיוון הזרם

שኖר במעגל.

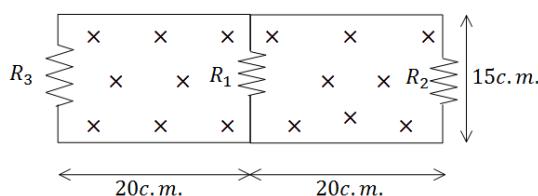
ג. מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדין

כתלות ב מהירות).

ד. רשום משווהות כוחות על המוט.

מהי מהירות הסופית של המוט?

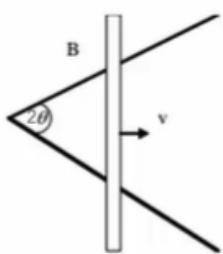
ה. מצא את מהירות והזרם כפונקציה של הזמן.

**11) כא"מ בשני מעגלים**

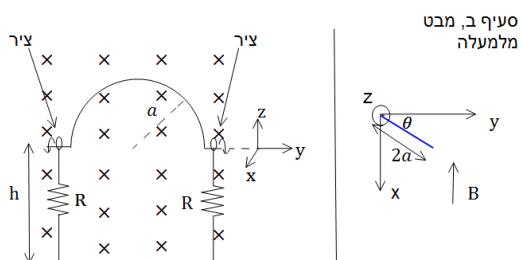
במעגל הבא התנודות הנגדים היא:
 $\Omega = 3$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 2\Omega$.

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

ממדיהם המוגדרים בשרטוט.
 מצא את הזרם בכל נגד.

**12) מוט נע על מסילות בזווית**

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

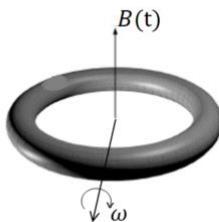
**13) כבל מסתובב**

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

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

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

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



14) גוש נחוות מעוצב לטבעת

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

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

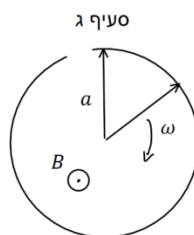
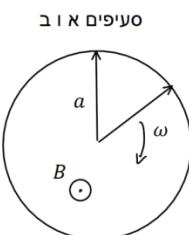
א. חשב את הזרם המושריה בטבעת.

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

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

האם כעת הוא תלוי במימדי התיל?

15) שעון פאראדי



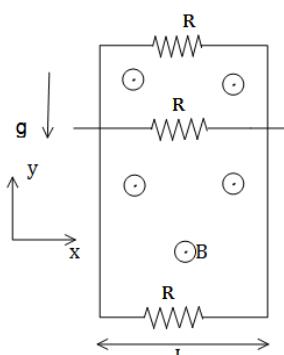
לטבעת מוליכה שאורך מחוoga a והתנודות
לייחdet אורך היא z מחברים שני מחווגים
מוליכים שהתנודות כל אחד מהם היא R .
המחוגים מחוברים אחד לשני במרכז
הטבעת ובקצת השני נוגעים בטבעת.
מחוג אחד קבוע במקומו והשני מסתובב
ב מהירות זוויתית קבועה ω .

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדז.

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

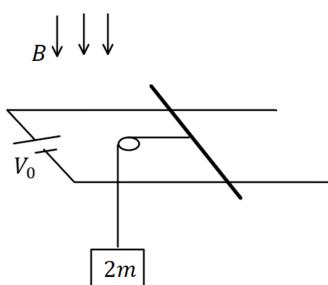
ב. חשבו את גודל וכיוון הזרם כתלות בזמן בכל מחוג עבר הסיבוב הראשון
(הניחו שהሞות הנע מתחילה תנועתו בצד ימין מوط הначיה).

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 והנגדות R מונח על מסילה אופקית חלקה למקור מתח V_0 העשויה משני מוליכים ארכיים מאד וחסרי התנגדות.

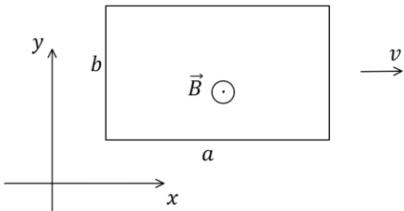
המוליכים מחוברים בקצה למקור מתח V_0 . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B המאונך למשור המסילה וככלפי מטה.

משקלות שמסתת m_2 מחוברת למוט באמצעות חוט דרכ גלגלת אידיאלית.

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

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

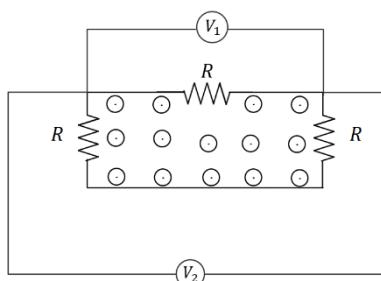
- ג. מצאו את מהירות המוט כתלות בזמן והשו לתשובה של סעיף ב.

18) מסגרת נעה בשדה מגנטי משתנה לינארית

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

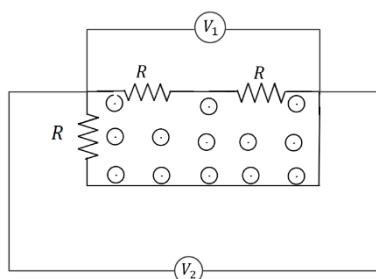
ברגע $t = 0$ מהירות המסגרת היא v_0 כאשר v_0, x_0, α קבועים נתונים.

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

**19) מעגל עם פארדי**

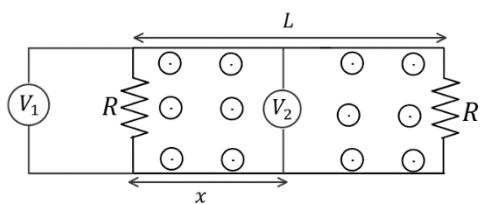
במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד.

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

**20) מעגל עם פארדי 2**

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

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

**21) מעגל עם פארדי 3**

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

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

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

$$\text{א. } x = \frac{1}{2}L$$

$$\text{ב. } x = \frac{1}{4}L$$

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$1mV \quad (19)$$

$$0.5mV \quad (20)$$

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 18 - שדות משתנים בזמן

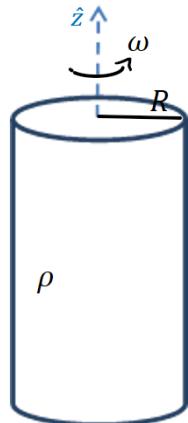
תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים

98

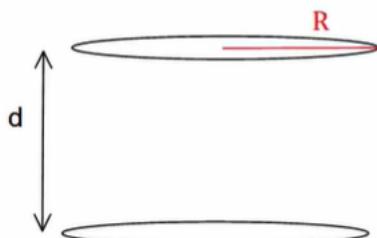
הסבירים ותרגילים:

שאלות:



- 1) **גליל טוען מסתובב בתאוצה**
 גליל אינסופי מלא ברדיוס R טוען בCAFIFOT מטען אחד אחיד
 ליחידה נפח ρ .
 הגלגל מסתובב סביב ציר הסימטריה שלו במהירות זוויתית
 המשתנה בזמן $\alpha t = \omega$ כאשר α קבועה ונונה.
 א. מה השדה המגנטי בכל המרחב?
 ב. מה השדה החשמלי בכל המרחב?
 ג. מה הכוח שפועל על מטען?

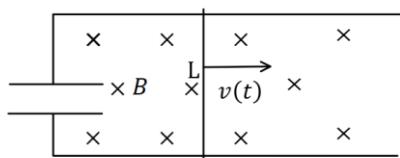
- 2) **שדה חשמלי תלוי בזמן בתוך קובל לוחות וקוטור פוינטינג על השפה**
 קובל לוחות מורכב משני לוחות עגולים ברדיוס R
 המקבילים זה לזה ונמצאים במרחק d אחד
 מהשני $R < d$.



- 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,
 בתחום הקובל ומהו זERO.
 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 קובל

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



מחובר למסילה מוליכה חסרת התנגדות. על המסילה מונח מוט חסר התנגדות באורך L . מושכים את המוט כך שהוא מתרחק מהקובל ב מהירות $v = At$.

במרחב קיים שדה מגנטי B אחיד וקבוע לתוך הדף.

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

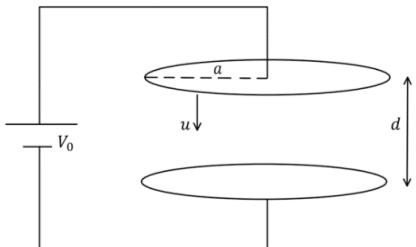
ב. מהו השדה החשמלי בתוך הקובל?

ג. מהו השדה המגנטי בתוך הקובל 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 בקובל מתקרבים בזמן

קבל לוחות מורכב משני לוחות מעגליים ברדיוס a



ומרחק $a \ll d$ ביניהם.

הקובל 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 הקובל כתלות בזמן?

ב. מהו השדה החשמלי בין לוחות הקובל כתלות בזמן?

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

ד. חזר על כל הסעיפים אם ניתקו את הקובל מהמקור רגע לפני תחילת ההזזה של הלוח.

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 19 - מומנט דיפול מגנטי

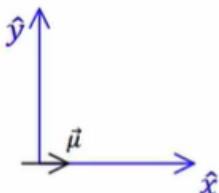
תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים

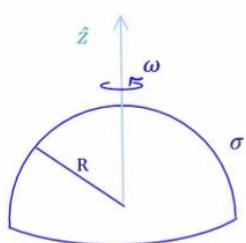
101

הסבירים ותרגילים:

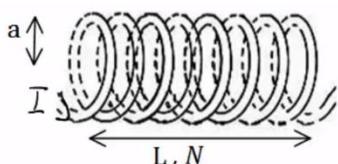
שאלות:



- 1) מטען מסתובב סיבוב דיפול בראשית
נתון דיפול מגנטי הממוקם בראשית $(0, 0, 0)$.
מצא את μ כך שאלקטרון הממוקם בנקודה $(0, -a, 0)$ עם מהירות $(v, 0, 0)$ יבצע תנועה מעגלית.

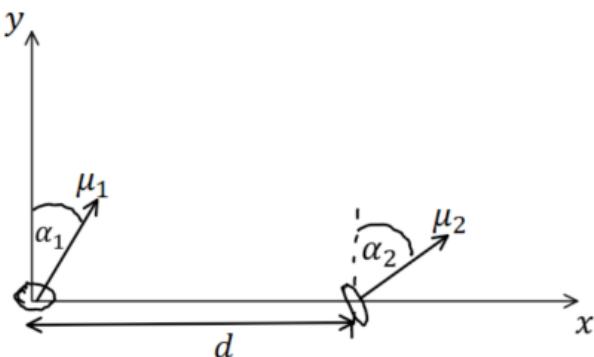


- 2) חצי קליפה כדורית מסתובבת
חצי קליפה כדורית, טעונה בצפיפות מטען משטחית σ ומסתובבת סביב ציר z .
מצא את מומנט הדיפול המגנטי של הקליפה.



- 3) מומנט דיפול מגנטי של סליל
חשב את מומנט הדיפול המגנטי של סליל.

- 4) אנרגיית דיפול דיפול
שני דיפולים מגנטיים נמצאים למרחק d זה מזה לאורך ציר ה- x .
לשני הדיפולים מומנט מגנטי זהה בגודלו: $\mu = |\vec{\mu}_1| = |\vec{\mu}_2|$.
שני וקטורי מומנט הדיפול נמצאים על מישור $y - x$ והזווית שלהם עם ציר ה- y הן α_1 ו- α_2 בהתאם. מצאו את העבודה הדורשת להרחק את הדיפולים ממקבץ זה עד אינסוף. הניחו שהדיפולים אינם משנהים את כיוונם בזמן שהם מתרחקים.



תשובות סופיות:

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

$$\vec{\mu} = \frac{2\pi R^4}{3} \sigma \omega \cdot \hat{z} \quad (2)$$

$$\mu_T = NI\pi a^2 \quad (3)$$

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

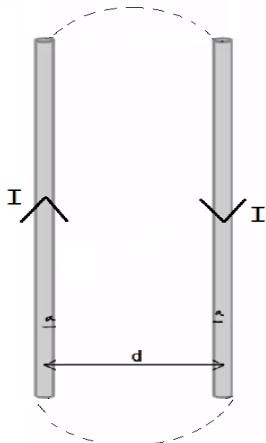
פרק 20 - השראות

תוכן העניינים

103	1. השראות עצמית
106	2. השראות הדדית

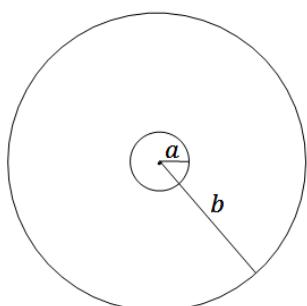
השראות עצמית:

שאלות:



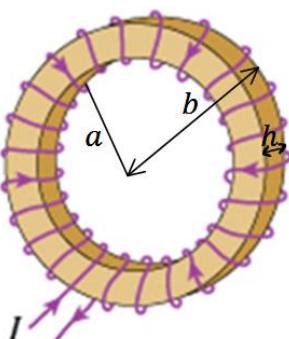
1) שני תיילים ארוכים

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 להזנין את השدة בתחום התיילים.



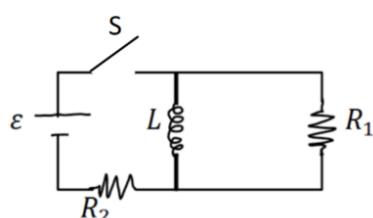
2) השראות בכבל קוואקסיאלי

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. הזנח את השدة המגנטית 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 .

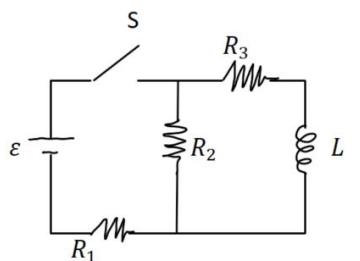


4) תרגיל 1 ב-RL

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

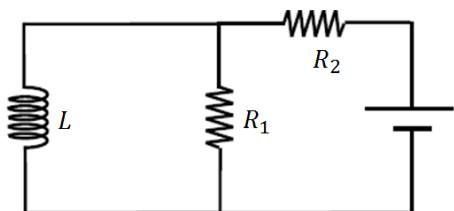
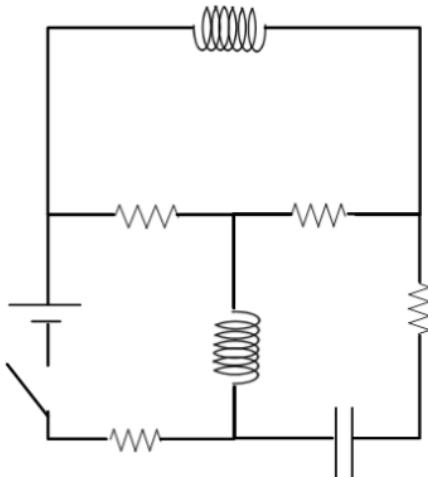
במעגל הבא נתונים:



- . $\epsilon = 5V$, $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 200\Omega$, $R_3 = 300\Omega$, $L = 30mH$
- 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 נתונים כאיים 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:

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

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

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

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

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

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

$$\tau = 81.7 \mu s \quad \text{ג.}$$

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

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

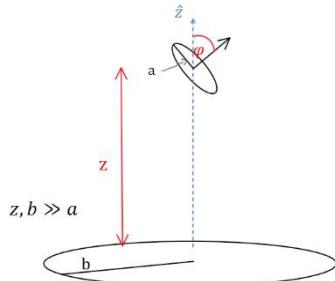
ב. סוללה : $V = \frac{V}{3}$, סליל עליון : $I = \frac{2V}{3R}$, סליל תחתון : $I = \frac{2V}{3R}$, קובל :

ג. נ. : $V = \frac{V}{2}$: ב. סוללה , $I = \frac{V}{4R}$: סליל , קובל עליון : $I = \frac{2V}{3R}$

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

השראות הדדיות:

שאלות:



1) טבעת בזווית מעל טבעת גדולה
טבעת ברדיוס a מונחת על מישור $y - x$ במקביל לקרקע.

טבעת נוספת ברדיוס a שקטן מאוד ביחס ל- a מונחת

בגובה z מעל מישור $y - x$.

מרכזי הטעאות נמצאים על ציר $h - z$ אחד מעל השני.

הטבעת הקטנה גם מותת ביחס למישור $y - x$ כך

שהוקטור המאונך למישור הטבעת יוצר זווית φ עם ציר $h - z$.

א. מצא את $M_{1,2}$.

ב. התנגדות הטעת הקטנה נתונה ומסומנת ב- R_a .

כמו כן ידוע הזרם כתלות בזמן בטעת הגדולה והוא

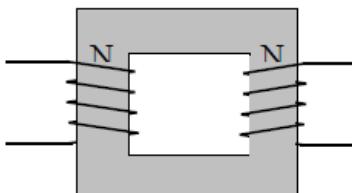
שווה ל- $I_0 \cos(\omega t)$. I_0 ו- ω קבועים נתונים.

מצא את הזרם בטעת הקטנה.

ג. מהו מומנט הכוח הפועל על הטעת הגדולה?

2) שניי

שניי מורכב משני סילילים בעלי מספר ליפופים שונה
המקיפים ליבת מגנטית מלכנית משני צידי הליבה.

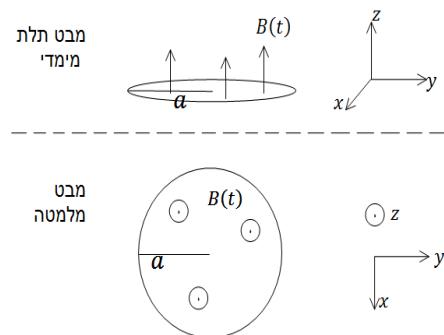


הנץ כי ליבת מגנטית שומרת את כל קווי השדה
המגנטי בתוכה, או לחופיו, כי השטף המגנטי אחיד
בכל חתך של הליבה.

נתון כי המתח על הסליל השמאלי הוא מתח חילופין
(מתח מהצורה $\omega t \sin \omega t = V_0 \sin(\omega t)$).

מצא את המתח על הסליל הימני כתלות במתח של הסליל השמאלי.

נתון N_2, N_1 מספר הליפופים בכל סליל.

**(3) שטף חיצוני השראות ונגד בטבעת**

טבעת מוליכת ברדיוס a והתנגדות R נמצאת בתוך שדה מגנטי אחידה במרחב ומשתנה בזמן $B(t) = At$ כאשר A קבוע חיובי. כיוון השדה בניצב למישור בו נמצא הטבעת (השטף מקסימלי).

א. מצא את סך הכא"ם הפועל על הטבעת כתלות בזמן, אם ההשראות העצמיות

של הטבעת L נתונה.

ב. מצא משואה על הזרם כתלות בזמן ופתרו אותה למציאת הזרם כתלות בזמן. (היעזר בפתרונו של סליל במעגל טעינה).

ג. מצא את הזרם והשטף הכללי כתלות בזמן בקירוב $0 \rightarrow R$. התעלם מהרגעים הראשוניים.

תשובות סופיות:

$$I_a = \frac{-MI_0(-\omega \sin \omega t)}{R_a} . \quad \text{ב.} \quad M = \frac{\mu_0 b^2 \pi a^2 \cos \varphi}{2} (b^2 + z^\alpha)^{-\frac{3}{2}} . \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$|\vec{\tau}| = \mu_a B_z \sin \varphi . \quad \lambda$$

$$\varepsilon_2 = \frac{N_2}{N_1} V_0 \sin \omega t \quad (2)$$

$$I(t) = -\frac{A\pi a^2}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) . \quad \text{ב.} \quad \varepsilon = -A\pi a^2 - LI . \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$\phi_{BT} = 0 , I(t) = -\frac{A\pi a^2}{L} t . \quad \lambda$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 21 - משוואות מקסואל

תוכן העניינים

1. המשוואות והמעברים

(ללא ספר)

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

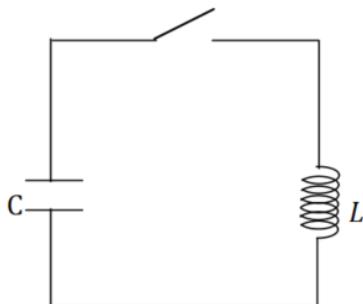
פרק 22 - מעגלי זרם חילופין

תוכן העניינים

108	1. מעגלי זרם חילופין
(לא ספר)	2. למחוק - פאזהרים ועקבות

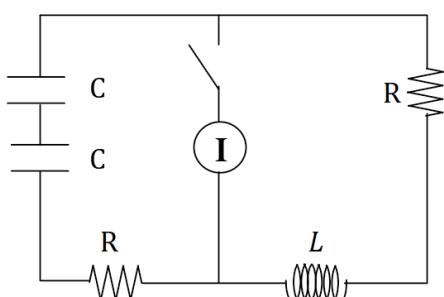
מעגלי זרם חילופין:

שאלות:



LC (1)

- במעגל הבא $C = 100\mu F$ ו- $L = 40mH$.
 בהתחלה 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?

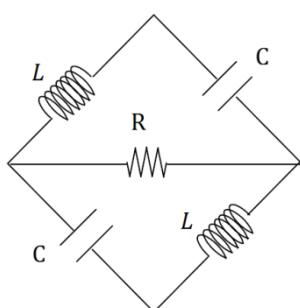


RLC עם מקור זרם (2)

- 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 $t=0$ ומטען והקובל התחתון פרוק.



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

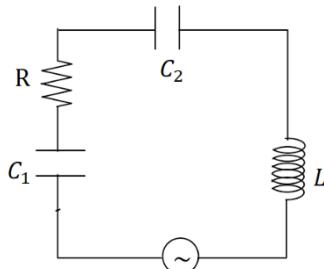
- ב. פטור את המשוואות بصورة כללית
 (אין צורך להציב את תנאי ההתחלה).

- הדרך: בצע חילוף 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 :



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

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

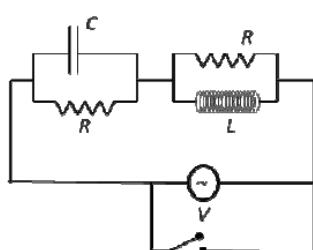
א. מצא את הקיבול C_2 .

ב. מצא את הפאזה של הזרם.

ג. מצא את ההספק הממוצע של המקור.

5) מקור, סליל ונגד בטור עם קבל ונגדבמעגל הבא נתונים : R, C, L ומתוך המקור

$$\text{שווה ל-} -(V_0 \cos(\omega t))$$



א. מהי העכבה הכוללת של המעגל?

ב. עברו איזה תדר של המקור אין הפרש מופע בין

ג. מקנרים את המקור, ונתנו המטען ההתחלתי על הקבל Q_0 .ה. עברו אילו ערכיהם של R תהיה דעיכה ללא תנודות?

ii. מה הזמן האופייני לאיבוד אנרגיה?

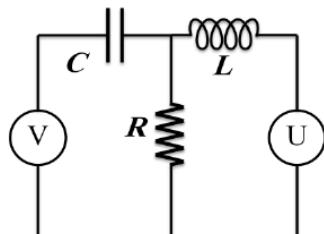
6) שני מקורות סליל וקбл במקביל לנגדבמעגל הבא U ו- V הם שני מקורות מתוך חילופין.

$$\text{נתון : } R, L, C$$

$$\text{והמתichenim : } U(t) = U_0 \cos(\omega t), V(t) = V_0 \cos(\omega t)$$

א. מצא את הזרם בנגד במצב העמיד.

ב. מה התנאי לכך שהזרם יתאפשר?

**7) מעגל זרם חילופין**

במעגל הבא נתון כי מתוך המקור הוא :

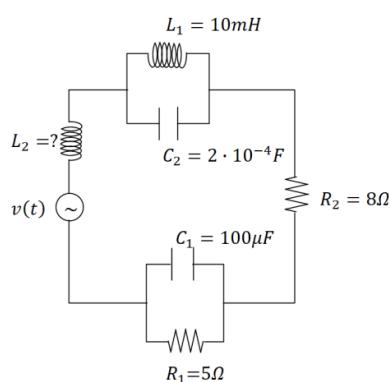
$$v(t) = 50 \cos(1000t)$$

כמו כן הזרם העובר בנגד R_2 הוא :

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

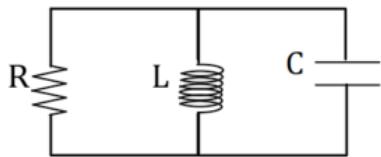
א. מצא את השראות הסליל L_2 ואת I_0 .ב. מצא את הזרם בקבל C_1 ב- $I_2 = 2 = t$.

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

למשוואת ומצאו מה הערכים של α ו- ω 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: $\pi \cdot 10^{-3} + 2\pi \cdot 10^{-3}$.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. שאלת הוכחה.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

פרק 23 - גלים אלקטרומגנטיים

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים

112

הסברים ותרגילים:

שאלות:

1) תרגיל 1

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

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

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

משוואת הגלים בצורה כללית היא: $\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - \nabla^2 \phi = 0$ כאשר ϕ היא פונקציית הגל

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

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

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

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

4) תרגיל 4

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

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

כאשר E_0 ו- a הם קבועים חיוביים.

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

תשובות סופיות:

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

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

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

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

3) שאלת הוכחה.

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

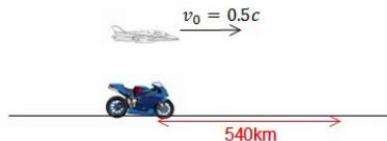
פרק 24 - יחסות פרטיות

תוכן העניינים

114	1. טרנספרמציה לורנץ למיקום והזמן
116	2. טרנספורמציה לורנץ לזמן
117	3. תרגילים לטרנספרמציה מיקום ומהירות
120	4. דינמיקה יחסותית
123	5. תרגילים לדינמיקה יחסותית
125	6. כוחות ודינמיקה יחסותית
127	7. תרגילים נוספים

טרנספורמציה לורנץ למיקום וזמן:

שאלות:

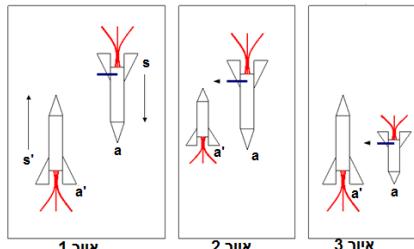


1) מציאת מהירות ומיקום אופנווע

אופנווע נסע ב מהירות קבועה בקו ישר. צופה על הקרקע מודד כי האופנווע נסע מרחק של 540km.

צופה הנע ב מוטוס מש מהיר $v = 0.5c$, בכיוון נסיעת האופנווע מודד כי זמן זמן נסיעת האופנווע היה 0.01 שניות.

- מצא את מהירות האופנווע ב מערכת כדיה'א.
- מצא את המרחק שעבר האופנווע כפי שמדד הצופה ב מוטוס.



2) בדיקת ירי

שתי חלליות בעלות אורך מנוחה זהה, עוברות זו במקביל זו ב מהירות גובהה. בזנב החללית S מצוי תותח המכובן בניצב לכיוון תנועת החללית ולעבר מסלול התנועה של החללית 's (איור 1).

בחללית S מתבצעת בדיקת ירי בתווחה ברגע

שהנקודה a בראש החללית מטלכדת עם הנקודה 'a' (זנב 's').

מכיוון שאורך החללית 's' קצר מהאורך העצמי בחללית 's' מניחים כי הטיל יפספס את החללית השניה (איור 2).

אולם ב מערכת 's' אורך החללית S קצר מהאורך העצמי ולכן כאמור a ו-'a' מטלכדות האסטרונואוט S יפגע (איור 3). ישביי את הفرضוקס.

3) מוט פולט אור לשירוגין

מוט בעל אורץ l_0 נע ב מהירות v נתונה ביחס לכדיה'א.

נתון כי $t = 0$ הקצה השמאלי של המוט נמצא ב- $x = 0$.

ברגע זה המוט פולט אור מקצתו הימני.

לאחר זמן τ המוט פולט אור מקצתו הימני.

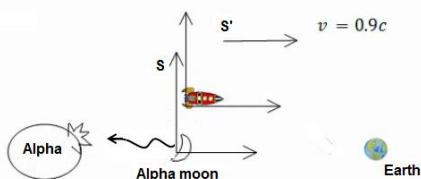
מצא את הפרש הזמןים כפי שראה אותם צופה מכדיה'א (הפרש הזמןים בין הגעת האור משני המאורעות בראשית).



(4) פיצוץ בכוכב אלפה

החללית אנטרייז יוצאת מכוכב אלפה חוזרת לכדה"א. בדרך היא עוברת ליד הירח של כוכב אלפה ורואה פולס אלקטרו מגנטי חזק יוצא לכיוון הכוכב. ידוע שבירח ישנה קבוצת חייזרים תוקפניים בשם "קליגונים". 1.3 שניות מאוחר יותר היא רואה פיצוץ בכוכב. המרחק בין הכוכב לירח שלו הוא 500 מיליון מטרים כפי שנמדד במערכת החללית.

מהירות החללית ביחס לכוכב ולירח היא $c = 0.9c$.



- מהו מרוחך הזמן בין גילוי הגל לפיצוץ במערכת הכוכב והירח?
- מה משמעות הסימן בהפרש הזמן?
- אם הפולס גורם לפיצוץ או להיפך?

תשובות סופיות:

$$(1) \text{ א. } x'_2 = -10.32 \cdot 10^5 \text{ m} \quad \text{ב. } v = 5.65 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

(2) ראה סרטון.

$$(3) \Delta t = \gamma_0 (1 + \beta) \left(\tau - \frac{l_0}{c} \right)$$

$$(4) \text{ א. } t_3 = -3.525 \text{ sec} \quad \text{ב. הפיצוץ היה לפני הגעת הגל לכוכב וגם לפני ירי הגל.}$$

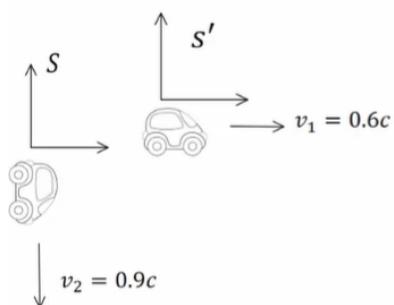
ג. לא יכול להיות שהפיצוץ גורם לירוי של הפולס, $m \cdot 10^8 \cdot 10^8 \text{ m} > 10.575 \cdot 10^8 \text{ m}$

טרנספורמציה לורנץ ל מהירות:

שאלות:

1) מהירות יחסית בין מכוניות

שתי מכוניות נסעות האחת במאונך לשנייה כך שמהירות המכונית הראשונה היא $0.6c$ ומהירות המכונית השנייה היא $0.9c$.
מצא את המהירות היחסית.

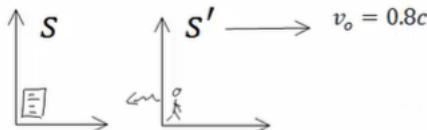


תשובות סופיות:

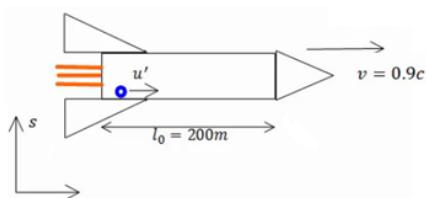
$$v'_{2_x} = -0.6c, v'_{2_y} = -0.72c \quad (1)$$

תרגילים לתרנספרמציה מיקום ומהירות:

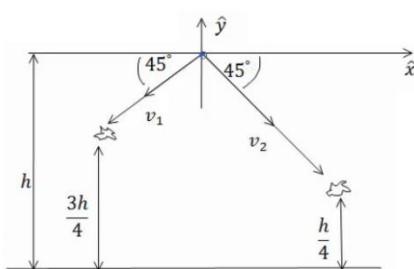
שאלות:



- 1) דודה יוצאה לטiol**
 המבחן בפיזיקה התחיל בשעה 00:00 והמשגיחה
 יצאה לטiol ב מהירות c (דודה זריזה במיוחד).
 לאחר שעה לפি שעונה היא שולחת לסטודנטים
 אותן רדיו לסייע לבחינה.
 כמה זמן ארכה הבחינה עבור הסטודנטים?



- 2) כדור מתגלגל בחללית**
 חללית בעלת אורך עצמי של 200 מטר נעה
 ב מהירות c ביחס למערכת אינרציאלית S.
 כדור קטן מתגלגל לאורכה ב מהירות $c = u'$ ב
 בכיוון ציר x, כפי שנמדד ע"י צופה ב החללית.
 א. מהי מהירות הכדור כפי שנמדד ע"י צופה ב-S?
 (הבא את התשובה ביחידות של c).
 ב. מהו הזמן שייקח לכדור לעבור מקצת לקצה של החללית כפי שנמדד ב-S?
 (הבא את התשובה ב מיליוןיות שנייה).
 ג. איזה מרחק עבר הכדור לפי צופה ב מערכת S? (ביחידות של ק"מ).



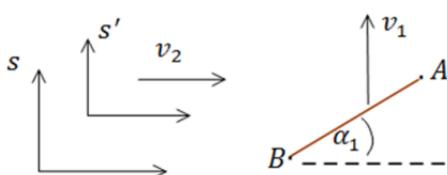
- 3) חלקיקים נוצרים בגובה ומתרפרקים**
 שני חלקיקים נוצרים בגובה h מעל הקרקע.
 אחד נפלט בזווית 225 מעלות עם ציר ה- x
 והשני בזווית 45 – מעלות עם ציר ה- x .

החלקיק הראשון מתרפרק לאחר זמן T בגובה $\frac{3h}{4}$
 והחלקיק השני מתרפרק לאחר זמן T_2 בגובה $\frac{h}{4}$.
 התעלם מהכבידה בבבואה.

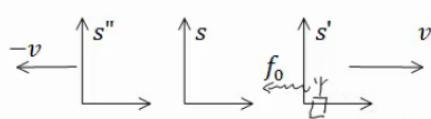
- א. הביא את מהירותיו החלקיים באמצעות h ו- T .
 ב. מצא את זמן החיים העצמי של כל חלקיק (זמן החיים במערכת המנוחה).
 ג. מצא מערכת 'S' הנעה בכיוון החיובי של ציר ה- x בה התפרוקיות
 מתרחשות באותו הזמן.
 ד. מה המרחק בין התפרוקיות במערכת 'S'?

4) מיוואו מתפרק ליד אלקטרון

- מיוואו (μ) נוצר ברגע מסוים ונע ב מהירות $c_0 = 0.7$ ביחס לקרקע. המיוואו מתפרק לאחר שגע 3 ק"מ ממקום היוצרו.
- כמה זמן חי המיוואו במערכת העצמית שלו?
 - אלקטרון נע במקביל למיוואו וב מהירות $c_0 = 0.5$ ביחס למעבده.
 - מהי מהירות המיוואו ביחס לאלקטרון?
 - איזה מרחק נע המיוואו ביחס לאלקטרון.

**5) זווית של מוט נע**

מוט בעל אורך 1 (לא נתון) נע ב מהירות v_1 בכיוון ציר ה- y ביחס לצופה הנמצא במעבדה. הצופה במעבדה מודד זווית α_1 של המוט ביחס לציר ה- x . איזו זווית ימודד צופה הנע ב מהירות \hat{v}_2 ביחס למעבדה?

**6) תדר יחסי**

במערכת s' הנעה ב מהירות v ביחס למערכת המעבדה S , נמצא משדר רדיו הפולטאותות בתדרות f_0 ?

- מה תהיה התדריות שתיקלט במעבדה?
- מה תהיה התדריות שתיקלט במערכת s' הנעה ב מהירות $\hat{v} = -v$ ביחס למעבדה?

תשובות סופיות:

$$\Delta t = 1.08 \cdot 10^4 \text{ sec} \quad (1)$$

$$x_1 = 10.78 \text{ km} . \lambda \quad t_1 = 39.62 \mu\text{s} . \beth \quad v_x = 0.907c . \aleph \quad (2)$$

$$\tau_1 = T \sqrt{1 - \frac{h^2}{8T^2c^2}}, \quad \tau_2 = 2T \sqrt{1 - \frac{9h^2}{64T^2c^2}} . \beth \quad v_1 = \frac{h}{2\sqrt{2}T}, \quad v_2 = \frac{3h}{4\sqrt{2}T} . \aleph \quad (3)$$

$$d'^2 = \frac{\frac{5h^4}{4} - 3c^2T^2h^2 + c^4T^4}{h^2 - c^2T^2} . \beth \quad v_0 = \frac{c^2T}{h} . \lambda$$

$$\Delta x_{12} = 0.98 \text{ km} . \lambda \quad V_{12} = 0.31c . \beth \quad \tau = 10^{-5} \text{ sec} . \aleph \quad (4)$$

$$\tan \alpha' = \gamma_2 \left(\tan \alpha_1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} \right) \quad (5)$$

$$f'' = \sqrt{\left(\frac{1-\beta}{1+\beta} \right)^2} f_0 . \beth \quad f_s = \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} f_0 . \aleph \quad (6)$$

динамיקה יחסותית:

שאלות:

1) הגעת נויטרונו ממרחקים

מצא את האנרגיה הדרישה לנויטרונו להגיע לכדור הארץ מרחק של 5 שנות אור בהינתן שזמן החיים של נויטרונו הוא 881 שנים והמסה שלו היא: $M_n = 940Me \frac{V}{c^2}$.

2) התנגשויות בסיסית

חלקיק בעל מסה m מתנגש בחלקיק בעל מסה $3m$.

לחקליק הראשון אנרגיה כוללת לפני ההתנגשיות $5mc^2$ ונתון כי התנע הכלול שלהם במערכת המעבדה הוא אפס. כהוצאה מהתנגשויות שני החלקיקים מושמדים ונוצר חלקיק חדש הנמצא במנוחה.

א. מצאו את האנרגיה הקינטית של החלקיק הראשון.

ב. מצאו את פקטורי לורנץ של החלקיקים לפני ההתנגשויות ואת האנרגיה הקינטית של החלקיק השני.

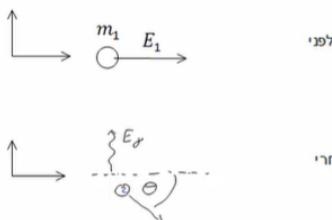
ג. מצאו את מסת החלקיק הנוצר לאחר ההתנגשויות.

3) חלקיק מתפרק לפוטון וחלקיק נוסף

חלקיק בעל אנרגיה כוללת E_1 ומסת מנוחה m_1 נע במעבדה בכיוון החיוויי של ציר ה- x .

ברגע מסוים מתפרק החלקיק לפוטון וחלקיק נוסף.

אנרגיה הפוטון נתונה E_y וידוע כי הפוטון נע בציר ה- y , בכיוון החיוויי.



א. מהו התנע של החלקיק הראשון לפני ההתפרקות?

ב. מהי הזווית של התנע של חלקיק 2 ביחס לציר ה- x ?

ג. מצא מערכת ייחוס חדשה 'S' שבה הפוטון יפלט בכיוון נגדי לכיוון תנועתו של חלקיק מס' 2.

מה מהירותה של מערכת זו ביחס למערכת המעבדה?

4) פוטון פוגע בפרוטון ויוצר פיאו

פוטון פוגע בפרוטון הנמצא במנוחה במערכת המעבדה.

נתונות מסת הפרוטון והפיאו M_p, M_π .

מהי האנרגיה המינימלית הדרישה לפוטון על מנת שלאחר ההתנגשויות ייווצרו פרוטון ופיון (π)?

5) דוגמה - חישוב תנע ואנרגיה קינטית של אלקטרון ופרוטון
חשבו את התנע והאנרגיה הקינטית של פרוטון ואלקטרון בעלי אנרגיה של 1GeV במערכת המעבדה.

6) דוגמה - גמה וביטה של אלקטרון
מסת האלקטרון היא: $9.10938188 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ומהירות האור היא: 299792458 m/sec .
מצאו בדיק ש 6 ספירות את γ ו- β של אלקטרון שהאנרגיה הקינטית שלו היא: $K = 100.000 \text{ MeV}$ במערכת המעבדה.

7) בטיח של מיליאונים מתפרקים
מסת מיליאון היא פי 207 מסת האלקטרון.
זמן מחצית החיים הממוצע של מיליאון הוא $2.20 \mu\text{s}$.
מייאונים נעים ביחס למעבדה בניסוי קלשו.
זמן החיים הנמדד של המיליאונים ביחס למערכת המעבדה הוא: $6.90 \mu\text{s}$.
מהם β , התנע והאנרגיה הקינטית של המיליאונים ביחידות $\frac{\text{MeV}}{\text{c}}$?

תשובות סופיות:

$$E_n = 1.69 \cdot 10^8 \text{ MeV} \quad (1)$$

$$m_3 = 6.91m_e \quad \gamma_1 = 5, \quad \gamma_2 = \sqrt{\frac{11}{3}}, \quad E_{k_2} = 3mc \left(\sqrt{\frac{11}{3}} - 1 \right) \cdot v \quad E_{k_1=4mc^2} \cdot v \quad (2)$$

$$\tan \theta = -\frac{E_\gamma}{\sqrt{E_1^2 - m_1^2 c^4}} \cdot v \quad \vec{p}_1 = \sqrt{\left(\frac{E_1}{c}\right)^2 - m_1^2 c^2} \cdot \hat{x} \cdot v \quad (3)$$

$$v_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{m_1 c^2}{E_1}\right)^2} \cdot c \cdot v$$

$$E_\gamma = \frac{1}{2m_p} (m_\pi^2 + 2m_\pi m_p) c^2 \quad (4)$$

$$K = 0.999 \text{ GeV}, P = 1 \frac{\text{GeV}}{c} : \text{אלקטرون} \quad (5)$$

$$K = 0.062 \text{ GeV}, P = 0.347 \frac{\text{GeV}}{c} : \text{פרוטון}$$

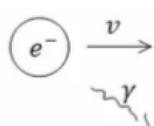
$$\gamma = 196.695, \beta = 0.999987 \quad (6)$$

$$\beta = 0.898, P = 314 \frac{\text{MeV}}{c}, K = 226 \text{ MeV} \quad (7)$$

תרגילים לדינמיקה יחסותית:

שאלות:

- 1) חלקיק מתפרק לשני חלקיקים**
 חלקיק בעל מסה m הנמצא במנוחה מתפרק לשני חלקיקים בעלי מסות מנוחה m_1 , m_2 .
 מה יהיו האנרגיה והתנע של החלקיקים שנוצרו? (כל המסות נתונות).



- 2) אלקטرون חופשי פולט פוטון**
 הראו כי אלקטرون חופשי הנע בזווית אינו יכול לפולט פוטון בודד.

- 3) התנגשות חלקיקים זהים ויצירת חלקיקים**
 חלקיק בעל מסת מנוחה m פוגע בחלקיק זהה לו הנמצא במנוחה. כתוצאה מההתנגשות נוצרים שני חלקיקים בעלי מסות מנוחה m_1 ו- m_2 .
 מצא את אנרגיית הסף לייצור ריאקציה זו. (הנש ש: $(m_1 + m_2) > 2m$).

- 4) פיוון מתפרק**
 פיוון (π^+) מתפרק למיאוון חיובי ($M_\mu = 160Me \frac{c}{c^2}$) לפני ההתרפרקות
 וניטרינו חסר מסה.
 מצא את מסת המנוחה של הפיוון אם למיאוון אנרגיה קינטית של $5MeV$.

- 5) פוטון מתנגש אלסטי באלקטרון**
 אלקטרון נע במהירות v ומתנגש בפוטון בעל אנרגיה E_γ הנע ל夸רכתו.
 מצא את הערך של v אם ידוע כי הפוטון מוחזר באותו אנרגיה בה פגע.
 הנש כי מסת האלקטרון ידועה.

תשובות סופיות:

$$, E_1 = m_1 c^2 \gamma_1 = \frac{c^2}{2m} (m^2 + m_1^2 - m_2^2) , p_1 = c \sqrt{\frac{1}{2m} (m^2 + m_1^2 - m_2^2)^2 - 1} \quad (1)$$

$$E_2 = m_2 c^2 \gamma_2 = \frac{c^2}{2m} (m^2 + m_2^2 - m_1^2) , p_2 = m_2 c \sqrt{\gamma_2^2 - 1} = c \sqrt{\frac{1}{2m} (m^2 + m_2^2 - m_1^2)^2 - 1} \quad (2)$$

שאלה הוכחה.

$$E_{\min} = \frac{1}{2m} c^2 ((m_1 + m_2)^2 - 2m^2) \quad (3)$$

$$M_\pi = 144 \frac{MeV}{c^2} \quad (4)$$

$$v = c \left| 1 - \left(\left(\frac{E_\gamma}{m_e c^2} \right)^2 + 1 \right)^{-1} \right|^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

כוחות ודינמיקה יחסותית:

שאלות:

1) דוגמה-כוח קבוע בזמן

כוח קבוע F פועל על חלקיק בעל מסה m הנמצא במנוחה.
מצא את מהירות החלקיק כתלות בזמן.

2) כוח קבוע

כוח קבוע F פועל על חלקיק יחסותי בעל מסה m המתחיל תנועתו ממנוחה.

- כתוב את משוואת התנועה של החלקיק.
- מצא את מהירות החלקיק כתלות בזמן.
- מצא את מיקום החלקיק כתלות בזמן.
- רשום תנאי ומהירות נוכחות והראה שהביוטי שקיבלה למהירות ולמיקום מתכנס לפתרון הקליני ב מהירות נוכחות.

$$\text{ה. ציר גוף של מהירות היחסותית והקליני כתלות בזמן עד זמן } t = \frac{mc}{F}.$$

$$\text{ו. ציר גוף של המיקום היחסותי והקליני כתלות בזמן עד זמן } t = \frac{mc}{F}.$$

3) כוח גורר מתכונתי לתנועה היחסותי

כוח קבוע F פועל על מסה m המתחילה תנועתה במערכת המעבדה.
בנוסף פועל על המסה כוח גורר המתכונתי לתנועה היחסותי $p = -f\lambda$ כאשר λ קבוע נתון.

א. רשום משוואת תנועה לתנועה היחסותי.

ב. פטור את המשוואת ומצא מהו קבוע הזמן האופייני להתייכבות התנועה על ערך קבוע.

ג. מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן.

ד. מהי מהירות בגבול של זמנים קצרים וזמן ארכויים ביחס ל קבוע הזמן שמצויה בסעיף ב? להזכיר הפתרון של המקרה הקליני בו פועל כוח קבוע F על גוף וכוח גורר $p = -f\lambda$ הוא:

$$v(t) = \frac{F}{\lambda m} (1 - e^{-\lambda t}).$$

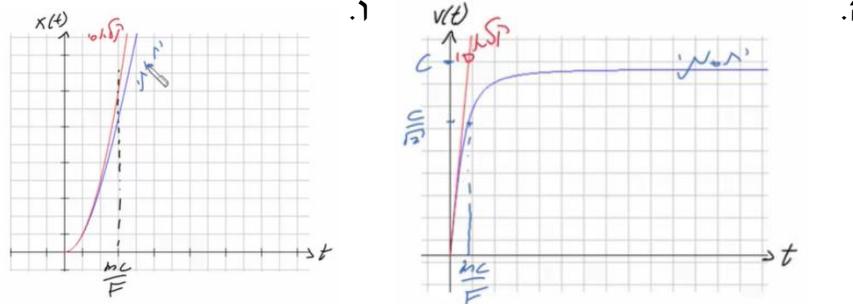
תשובות סופיות:

$$v(t) = \frac{\frac{F \cdot t}{m}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F \cdot t}{mc}\right)^2}} \quad (1)$$

$$v = \frac{\frac{Ft}{m}}{\left(1 + \left(\frac{Ft}{mc}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

ד. ראה סרטון.

$$x(t) = \frac{mc^2}{F} \left(\left(1 + \left(\frac{Ft}{mc}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right) \quad (2)$$



$$p(t) = \frac{F}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}), \quad \tau = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

$$F - \lambda p = \frac{dp}{dt} \quad (3)$$

ד. זמן קצר $v(t) \approx \frac{F}{\lambda m} (1 - e^{-\lambda t}) = v(t)$

$$v(t) = \frac{\frac{F}{\lambda m} (1 - e^{-\lambda t})}{\left(1 + \left(\frac{F}{\lambda mc} (1 - e^{-\lambda t})\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

זמן ארוך: $v(t) \approx \frac{\frac{F}{\lambda m}}{\left(1 + \left(\frac{F}{\lambda mc}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \neq v(t) = \frac{F}{\lambda m}$

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) פוטון מתנגן ומעבר למרכז מסה



פוטון עם אנרגיה E_0 מתנגן אלסטית עם חלקיק בעל מסה m הנמצא במנוחה (במערכת המעבדה).

- מצא את מהירות מערכת מרכז המסה של המערכת פוטון פלוס חלקיק.
- מצא את התנוע והאנרגיה של החלקיק והפוטון לפני ההתנגשות במערכת מרכז המסה.
- מצא את התנוע והאנרגיה של הפוטון והחלקיק אחרי ההתנגשות אם ידוע שהפוטון מפוזר בזווית θ ביחס לכיוון בפגיעה במערכת מרכז המסה (ראה איור).
- מהם האנרגיה והערך המוחלט של התנוע של הפוטון והחלקיק לאחר ההתנגשות במערכת המעבדה?
- מצא את הזווית θ עבורה האנרגיה של הפוטון במערכת המעבדה תהיה מינימלית.

2) שאלת 1

נתונים שני גופים הנעים בניצב זה לזה. ידוע כי מסת הגוף זהה ושווה ל- M , וכן כי התנעים של הגוף הם : p_1, p_2 .

ברגע מסוים, הגוף מתנגשים ומופיעים ארבעה גופים חדשים. מסות הגוף החדש שנוצרו הן : $m, 2m, 3m, 4m$. מהו m המקסימלי האפשרי?

$$\text{נתון : } p_1 = 6Mc, p_2 = 17Mc$$

3) שאלת 2

נתונים שני חלקיקים בעלי מסה m , וכן נתונות האנרגיות שלהם E_1, E_2 . החלקיקים נעים זה אל עבר זה, ומתנגשים.

חשבו את מסת החלקיק M הנוצר כתוצאה מההתנגשות החלקיקים. נתון : $E_1 = 4mc^2, E_2 = 7mc^2$.

4) שאלה 3

שתי חלליות יוצאות מאותה נקודת, בכיוון ניצב אחת לשנייה.

חללית א' טסה ב מהירות v_1 , וחללית ב' טסה ב מהירות v_2 .

חשבו את וקטור המהירות של חללית ב' ביחס לחללית א'.

$$\text{נתון : } v_1 = 0.8c(+\hat{x}), v_2 = 0.9c(-\hat{y})$$

5) שאלה 4

חלקיקים 1,2 נוצרים במעבדה ונמצאים במנוחה.

ידוע לגבי זמני החיים שלהם כי: $t_2 = 0.75t_1$ (במצב מנוחה חלקיק 2 נעלם

לפני חלקיק 1).

מהי המהירות אליה יש להאיץ את חלקיק 2, כדי שלא ידעך לפני חלקיק 1?

6) זריקה אופקית יחסותית

מסלולו של חלקיק במערכת S נתון ע"י: $y = \frac{1}{2}at^2$, $y = vt$, $x = at$ כאשר a , v קבועים ידועים.

מצא את תאוצת החלקיק במערכת S הנעה ב מהירות v בכיוון ציר ה- x ביחס ל- S .

תאר את צורת המסלול בשתי המערכות (v אינה זיניה ביחס ל מהירות האור).

תשובות סופיות:

$$v_{c.m} = \frac{E_0 \cdot c}{mc^2 + E_0} . \quad (1)$$

$E'_{pH} = E_0 \sqrt{\frac{mc^2}{2E_0 + mc^2}}$, $P'_{pH} = \frac{E_0}{c} \sqrt{\frac{mc^2}{2E_0 + mc^2}}$: ב. פוטון לפני ההתנגשות:

חלוקת לפני ההתנגשות: $E'_m = mc^2 \left(\frac{mc^2 + E_0}{\sqrt{m^2 c^4 + 2E_0 mc^2}} \right)$, $P'_{m_x} = \frac{-mE_0 c}{\sqrt{m^2 c^4 + 2E_0 mc^2}}$

פוטון אחרי ההתנגשות: אותו דבר כמו לפני ההתנגשות.

חלוקת אחרי ההתנגשות: אותו דבר כמו לפני ההתנגשות.

כיוון התנועה: $\vec{P}_{pH} = (P(-\cos \theta), P \sin(\theta), 0)$, $\vec{P}_m = -\vec{P}_{pH} = (P \cos \theta, P \sin \theta, 0)$

$$E'_m = mc^2 \left(\frac{mc^2 + E_0}{\sqrt{m^2 c^4 + 2E_0 mc^2}} \right), |P_m| = \sqrt{\left(\frac{E_m}{c} \right)^2 - m^2 c^2} . \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} . \quad (3)$$

$$m_{max} \approx 1.45M \quad (4)$$

$$M \approx \sqrt{112}m \quad (5)$$

$$\vec{v} = (-0.8c, -0.54c, 0) \quad (6)$$

$$v \approx 0.66c \quad (7)$$

$$x' = 0, y' = \frac{1}{2} a \gamma_0^2 t'^2 \quad (8)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

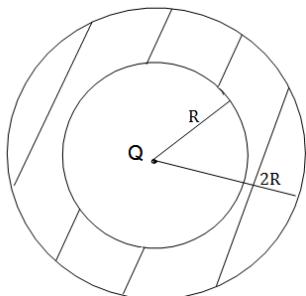
פרק 25 - תרגילים ברמת מבחן

תוכן העניינים

1. תרגילים.....
130

תרגילים:

שאלות:



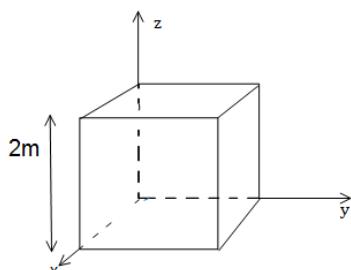
1) מטען במרכז קליפה

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

א. מצא את הפרש הפוטנציאליים בין הנקודה

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

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



2) מטען אנרגיה ופוטנציאל בקובייה

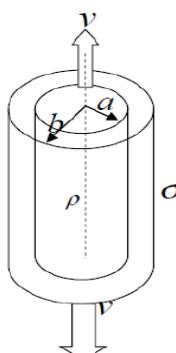
נתון שדה במרחב: $\vec{E} = 2y\hat{x} + 3y\hat{y}$

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

א. חשב את סך המטען הכלוא בתחום קובייה.

ב. מהי האנרגיה האלקטרוסטטית בתוך הקובייה?

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



3) גליל וקליפה טעוניים ונעים

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

צפיפות המטען יחידת נפח בתוך הגלגל היא ρ והוא אחידה,
וצפיפות המטען יחידת שטח בклיפה היא σ והוא אחידה גם כן.

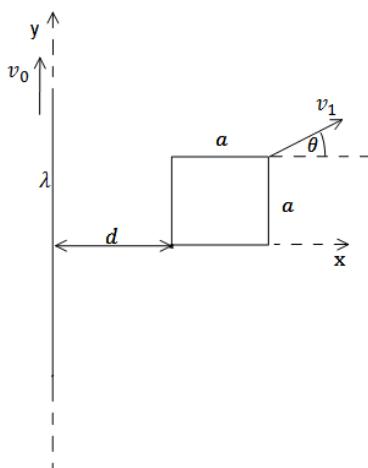
א. מצא מהו היחס $\frac{\rho}{\sigma}$ כך שהשدة מחוץ לקליפה יתאפשר.

ב. מהו השדה החשמלי בכל המרחב?

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

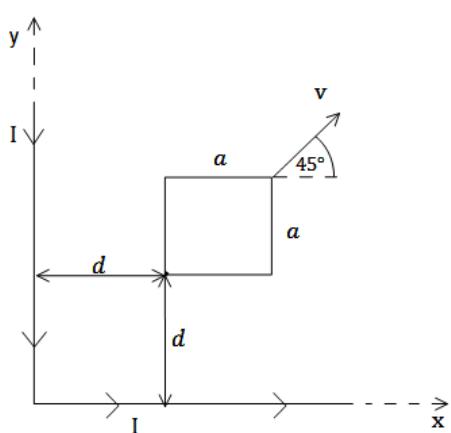
cut מזיזים את הגלגל במחירות קבועה γ כלפי מעלה ואת הקליפה
באותה המהירות כלפי מטה.

ד. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?



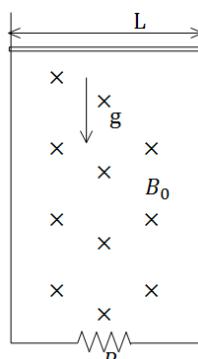
4) מסגרת נעה באלכסון ליד תיל נע
 תיל אינסופי נמצא לאורך ציר ה- x .
 התיל טוען בצפיפות מטען אחידה ליחידת
 אורך l וגע בכיוון ציר ה- y ב מהירות קבועה v_0 .
 מסגרת מלכנית בעלת צלע a נמצאת ב- $t = 0$
 במשורט $u-x$ כך שהפינה השמאלית שלה מרוחקת
 מרחק d מהתיל (ראה סרטוט).
 התנודות המסגרת היא R .
 המסגרת נעה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

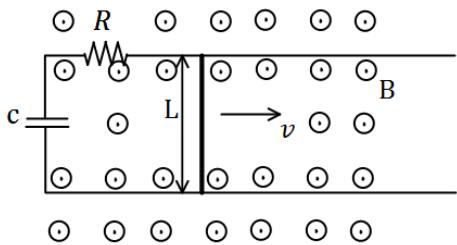


5) מסגרת נעה בין שני תילים
 תיל אינסופי מכופף בזווית של 90° כך
 שחלק אחד של התיל נמצא על החלק החיובי
 של ציר ה- x והחלק השני על החלק החיובי
 של ציר ה- y (ראה סרטוט).
 בתיל זורם זרם I_0 קבוע, נגד השעון.
 מסגרת מלכנית בעלת צלע a נמצאת ב- $t = 0$.
 במשורט $u-x$ כך שהפינה השמאלית התחתונה
 שלה מרוחקת מרחק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

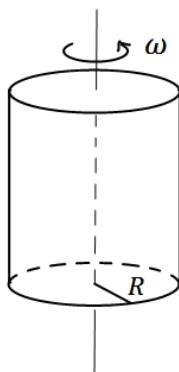


- 6) מוט מוליך מונח על מסילה אנכית ונופל בהשפעת כוח הכבידה. במרחב קיימת שדה מגנטי B לתוך הדף. רוחב המסילה הוא L ומסת המוט היא M התנגדות המסילה קבועה ושויה ל- R .
- מצא את הכא"ם במעגל כתלות ב מהירות המוט v .
 - מצא את כיוון השדה המשורה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.
 - מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדין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



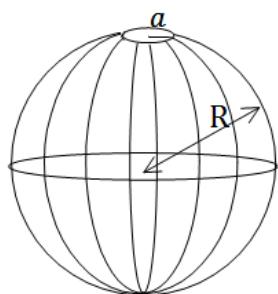
- 7) פארדי עם קבל ונגד ביחד מוט מוליך באורך L נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות קבועה בזמן v . למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R וקבל בעל קיבול C . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

- 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 σ . הקליפה מסתובבת ב מהירות זוויתית ω 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 σ .

**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- $R \gg a$.

- א. מצא את השدة טיפה מעל החור וטיפה מתחתיו.
- ב. מצא את השدة למרחק a מעל החור.
- ג. מצא את השدة והפוטנציאל במרכז הקיליפה.

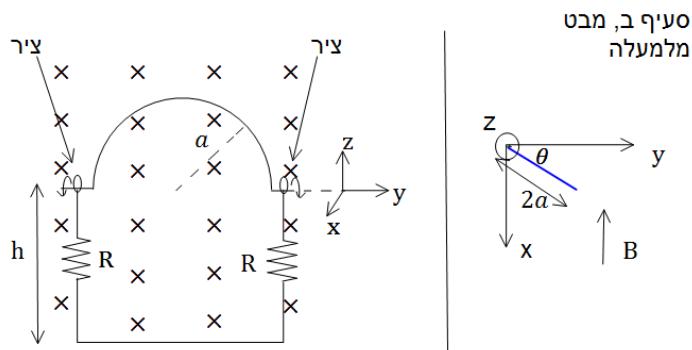
10) כבל מסתובב

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).

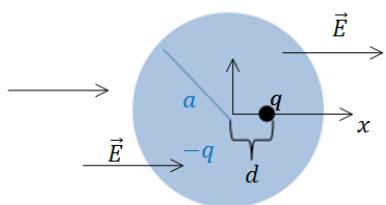
הציריים מחוברים למסגרת מלכנית בגובה $a > h$, המסגרת קבועה במקום. בכל צד של המסגרת קיימים נגד R .

במרחב קיימים שדה מגנטי אחיד B לתוך הדף (במינוס X).

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



- א. מהו הזורם בכבל?
- ב. 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.
- ג. 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 למרוץ 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 נכנסת בפתאומיות לשדה.

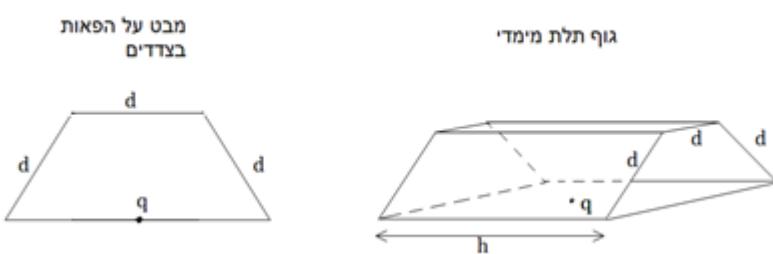
ג. חשב את השדה שיוצרת המערכת מחוץ לכדור לאורך ציר ה- x לפי סופרפויזיציה של מטען נקודתי וכדור.
השתמש בקירוב $a \ll d$ ופשט את הביטויו לסדר ראשון.
ד. השווה את התשובה שבסעיף הקודם לשדה של דיפול, מהו מומנט הדיפול היוצא מהשוואה זו (גודל וכיוון)?

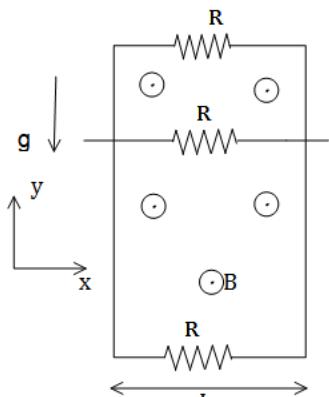
12) שטף דרך משושה

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

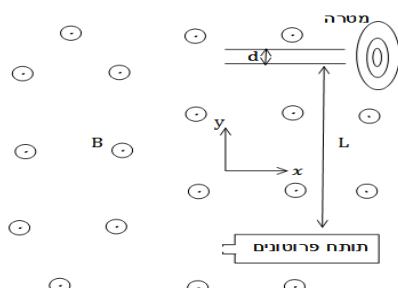
מטען נקודתי q נמצא במרכז הבסיס של הגוף.

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

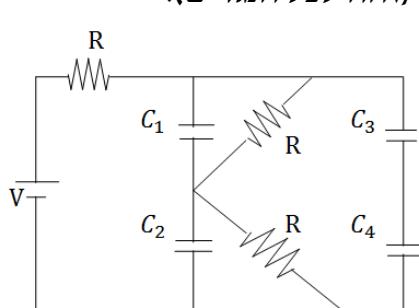




13) נגד נופל במסגרת
 מסגרת מלכנית מולlica, אורך 매우 גבוה ובעל רוחב L , נמצא בשדה הכבוד. אורך נמצא על ציר ה- y ורוחבה על ציר ה- x . בצלע העליון ובצלע התחתונה של המסגרת קיימים נגדים עם התנגדות זהה R . מוט מוליך בעל התנגדות זהה R מחליק לאורך ציר ה- y על המסגרת. קיים שדה מגנטי אחיד B בכיוון Z ונtauונה מסת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



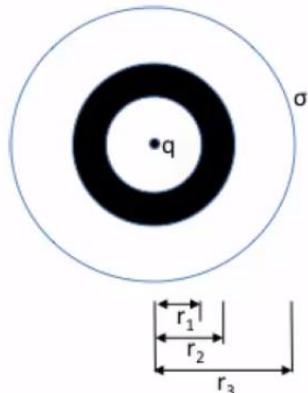
14) תותח פרוטוניים
 תותח פרוטוניים יורה פרוטוניים ב מהירות שוונות בכיוון מינוס ציר ה- x . במרחב L מעל התותח נמצא קובל לוחות כאשר המרחק בין הלוחות הוא $L \ll d$. בסוף הקובל נמצא מטרה. במרחב קיימן שדה מגנטי B אחיד ובכיוון Z . מצא את המתח שצורך להפעיל על הקובל על מנת שהפרוטונים יפגעו במרכז המטרה.



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

הערה:

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



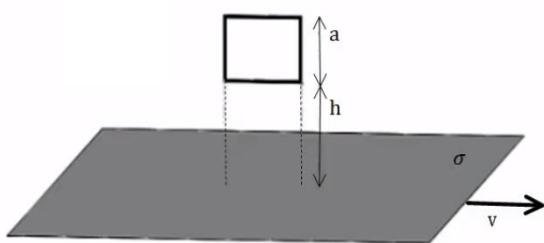
16) נתונה המערכת הבאה, המתוארת בקואורדינטות כדוריות: בראשית הצירים נמצא מטען נקודתי q . בתחום הרדייאלי $r_2 < r < r_1$ ישנה קליפה כדורית

- עבה, מוליכה ובלתי טעונה.
 ברדיוס r_3 (כאשר $r_2 < r_3$) ישנה קליפה כדורית דקה, מבודדת וטעונה בצפיפות מטען שטחית σ .
 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 למיקום $(\frac{r_1}{2}, 0, 0)$.
 בכמה משתנה הפוטנציאלי בנקודה $(2r_3, 0, 0)$?

17) במישור xy נמצא משטח אינסופי דק, הטוען בצפיפות מטען משטחית איחידה σ . המשטח נע במחירות $\hat{x}\hat{t}\hat{y}$ כאשר β קבוע. בגובה a מעל המשטח, במישור zx , נמצאת לולה ריבועית נייחת בעלת צלע a (ראו איור). ענו על כל הסעיפים כפונקציה של הזמן.



א. מהי צפיפות הזרם הקווית הנובעת מתנועת המשטח?

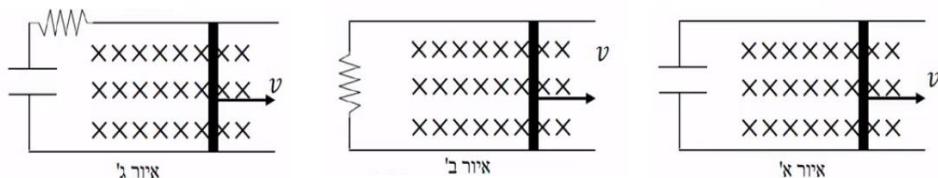
ב. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?

ג. מהו שטף השדה המגנטי דרך הלולאה?

ד. נתון שלמסגרת התנגדות R .

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

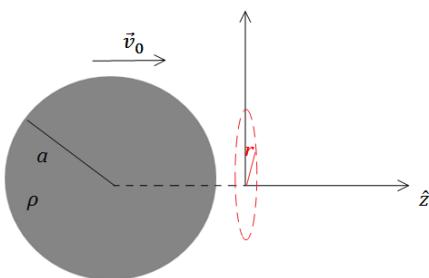
18) קיבל שקיולו C מחובר לשני מוטות חצי אינסופיים וחסרי התנגדות. מוט שלישי, בעל אורך H וחסר התנגדות, נוגע בקצוותיו במוטות החצי אינסופיים ומתרחק מהקבל במהירות קבועה v (ראו איור A'). באזור המוט הנע פועל שדה מגנטי B_0 הניצב למשור המעגל (השדה נכנס לדף). שדה זה אינו קיים באזור הקובל. הזינו את התנגדות התילים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

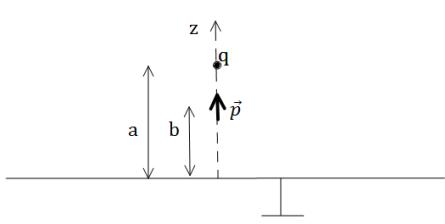
כדור ברדיוס a טוען בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח ρ . מרכז הכדור נמצא על ציר z ונთנו כי הכדור נע במהירות קבועה $\vec{v}_0 = \hat{z}$. טבעת דימויונית ברדיוס $a < r$ נמצאת על משור x - y ומרכזה בראשית הצירים. פטור את סעיפי השאלה רק עבור הרגעים בו מרכז הכדור נמצא על ראשית הצירים (הכדור עדין נע).



- 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 z במרחק a מהראשית. דיפול חשמלי $(d, 0, 0) = \vec{q}$ נמצא גם כן על ציר z במרחק b מהראשית. לאורך ורוחבו של משור xy 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 $V_0 = V(r=0)$.

ג. בשלב זה הגליל נע במהירות קבועה u בכיוון z .

מה וקטור השדה המגנטי בכל המרחב?

ד. במרחב D ממרכז הגליל נמצא תולאה ריבועית בעלת צלע a והתנגדות חשמלית R .

נתון $Sh - L > D$ והtolaea וציר הגליל נמצאים

באותו מישור, ושתיים מצלעות tolaea

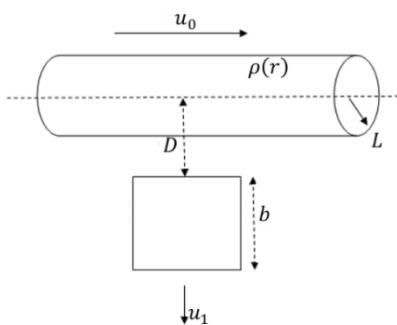
ニיצבות לציר הגליל. tolaea מתחילה לנوع

$B = 0$ במהירות קבועה u בכיוון הרדיאלי.

מהו זרם הזורם בtolaea ומה כוונו עבור

צפיפות 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 $a \times a$

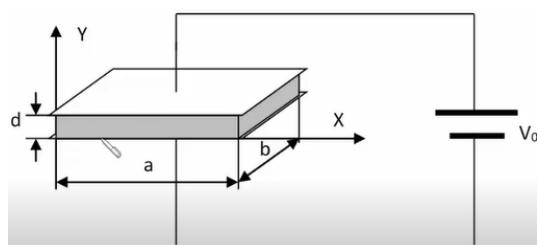
(ראה תרשימים). בין הלוחות שהמרחב ביןיהם d מצוי חומר דיאלקטרי בעל דיאלקטריות

יחסית $\epsilon_r = 1 + \frac{y}{d}$ כאשר y הוא המרחק מהמשטח התחתון (מהאלקטrozda) אשר

מיומו במערכת הצירים מוגדר $C = 0$.

اللוחות מחוברים להפרש פוטנציאליים

קבוע V_0 .

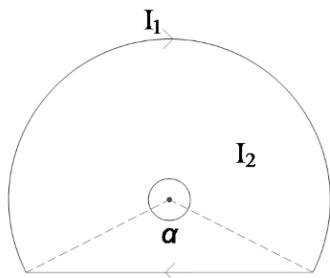


א. פתח את הביטוי עבור קיבול הקובל.

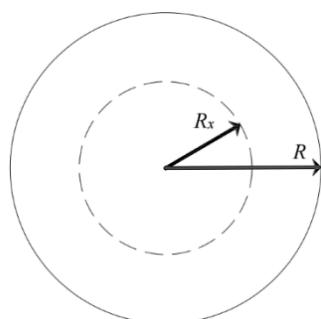
ב. מהו המטען וצפיפות המטען הנמצאת על כל לוח?

ג. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי כפונקציה של המיקום?

ד. השתמש בцеיפות האנרגיה בתוך החומר הדיאלקטרי וחשב את האנרגיה האצורה בחצי התחתון של הקובל.

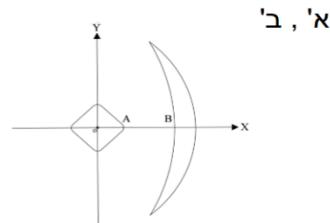
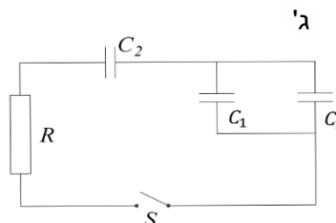


23) מומנט כוח של תיל העובר בתוך גלגל עם פנץ' בולולאה טבענית ברדיוס R הוחלפה קשת בזווית α במיiter ישר. בולולאה זו רם זרם I_1 . מוליך ישר אינסופי ניצב למשור הלוולאה וחוצה אותו במרכזה של הטבעת. במוליך זו רם זרם I_2 . מהם הכוח ומומנט הכוח הפועלים על הלוולאה?



24) חור בתוך כדור
כדור שרדיוסו R טעון בצפיפות 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 עדין טעון כמו קודם. הפרמטר x R_x אינו 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 הבניוי 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 $\varphi = \gamma q(x^2 + ax + bx)$.



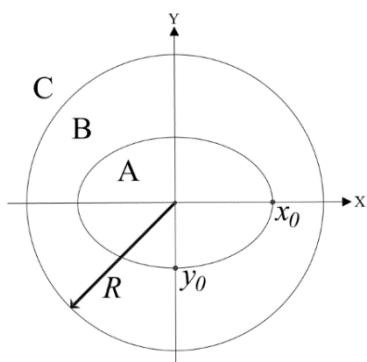
א. מהו קיבולו של הקובל?
ב. ממלאים את הרווח שבין שני גופי הקובל בחומר דיאלקטרי, בעקבות זאת השדה בתוך הקובל משתנה וקטור השדה בנקודות של ציר x נתון לפי הנוסחה הבאה: $(ax^2 + 2xy, 2yz, 2xz) = \vec{E}$ מצא את קיבול הקובל במקרה זה.

ג. טוענים את הקובל של סעיף א' ונותנים לו להתרפק דרך נגד R. כעבור 7 שניות, לאחר תחילת הפריקה נתנו כי עצמת הזרם במעגל ירדה פי 100. בניסוי נוסף מוחברים מעגל משולשה קבילים כפי שרטוט 2 מראה, המمعال כולל 2 קבילים של סעיף א' (C_1) ועוד קובל של הסעיף ב' (C_2). טוענים את הקבילים ונותנים להם להתרפק דרך אותו הנגד R. כמה זמן יעבור בעת מרגע סגירתה המפסק ועד שהזרם יקטן פי 100.

(26) מוליך לא סטנדרטי

נתונה קליפה גלילית דקה שאינה מוליכה באורך אין סופי. בתוך הקליפה נמצא גוף נוספת, מוליך שאורכו גם אין סופי. באյור 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 σ . מערכת הצירים נבחרה כך שציר z מתלכד עם ציר הסימטריה של הקליפה (שימו לב כי צורת החתך המוצגת באյור 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 לוקטור השדה החשמלי בכל מקום במרחב. (כפונקציה של x ו- y).

ב. קבלו ביטוי עבור וקטור השדה החשמלי בתחום A ובתחום B.

ג. חשבו את הפרש הפוטנציאלי $\Delta\phi$ בין הנקודות $(0, y_0, z_0)$ הנמצאת אף היא על שפת המוליך לבין הנקודה $(R, 0, 0)$ שעל הקליפה הגלילית.

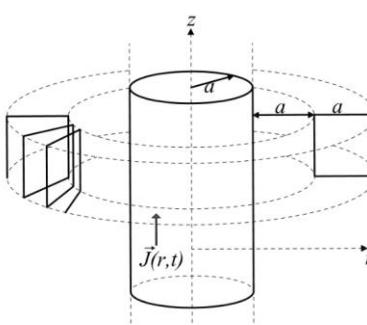
(27) טורואיד מסביב לגליל עם זרם

נתון גליל מוליך אינסופי שרדיוoso a הנושא את הזרם $\hat{x} = crt^2 = r\hat{z}$ (צ' t) קבוע c חיובי.

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

מקיפים את הגליל בסליל סגור בעל קריקות שצורתן ריבוע שאורך צלעותיו a נראה בשרטוט.

בעלת 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 כריכה בודצת בסליל.

ג. חשבו את הזורם המושרحة 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.

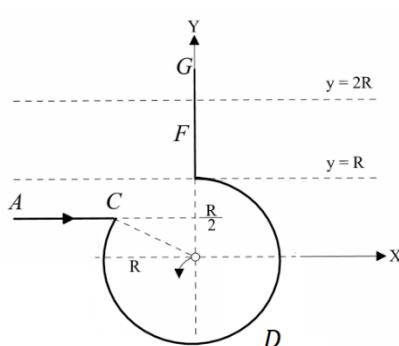
א. מהו גודלו וכיונו של וקטור השדה המגנטי במרכזו של התיל?

ב. חלקיק טעון מעבר דרך מרכזו החלק המעגלי של התיל
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 $(ay^2, 0, 0)$, כאשר הקבוע a נתון.
מהו הכוח המגנטי לשדה זה מפעיל על התיל?



(29) משולש נכנס הפוך לשדה מגנטי

משולש מתכתי נכנס לאזור ברוחב a בו קיים שדה מגנטי אחיד B .

מהירות המשולש קבועה בזמן t ונתונה כ- v .

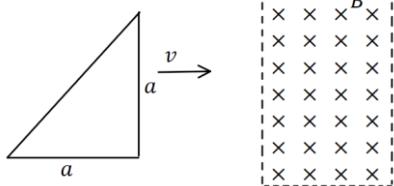
נתון כי הצלע הימנית של המשולש נכנסת לשדה ב- $t=0$.

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

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

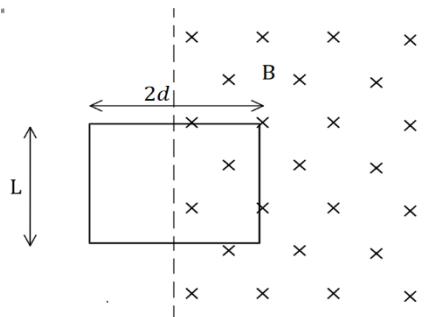
ב. מהו הספק אייבוד האנרגיה?

ג. חשב את הכוח הדרושים כדי שהמסגרת
תנועה 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 באופן 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 .



- חשב את הכאים המושרحة מרגע $t = 0$ בהנחה שהמסגרת מוקൂעת במקומה.
- שרטט את הזרם כתלות בזמן. מה כיוון הזרם במסגרת?
- cut נניח כי מהרגע t_0 מושכים את המסגרת ימינה במהירות קבועה $v = \frac{d}{t_0}$.

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

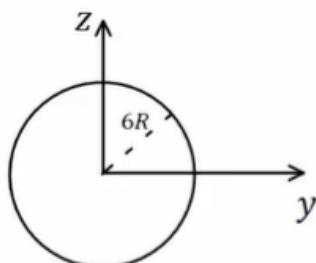
ד. חשב את העבודה שביצע הכוח שמשך את המסגרת בפרק הזמן של סעיף ג'.

(31) מציאת צפיפות זרם בגליל אינסופי

גליל אינסופי בעל רדיוס R מונח כך שצירו המרכזי מקביל לציר ה- x . בתוך הגוף ישנו שדה מגנטי

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

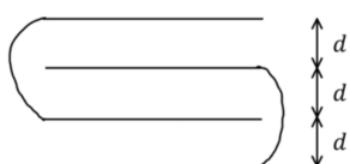
ההתנודות הסגולית של הגוף היא ρ .



א. מצא את צפיפות הזרם בגליל.

ב. מהו השדה החשמלי בתוך הגוף?

ג. מהו השדה המגנטי מחוץ לגיליל?

**(32) קבל מרובעת לוחות**

קיבל מורכב מרובעת לוחות מוליכים ומקבילים בעלי שטח A , הממוקמים כך שהמרחק בין לוח לוח הבא אחוריו הוא d . ($A <> d$) הלוח הראשון מחובר בחותט אידיאלי ללוח השלישי והלוח השני לריבועי. חשב את קיבול המערכת.

שים לב שמטומי 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 שטפח הטבעת הוא $A2\pi r = V$.

הטבעת עשויה מחומר גמיש במיוחד כך שבכל רגע נתנו ניתן לשנות את רדיוס הטבעת ושתוח החתך שלה (ללא הפעלת כוח או השקעת אנרגיה בקירוב), כל עוד נפח הטבעת נשאר קבוע. מוליכות הטבעת היא σ ומסתה היא m .

א. מצא את התנודות הכלולות של הטבעת R באתריות r, V, σ .

ב. מניחים את הטבעת על חרוט מעגלי חסר

חיכוך בעל זווית בסיס α , ונוננים 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 הרגעית של הטבעת.

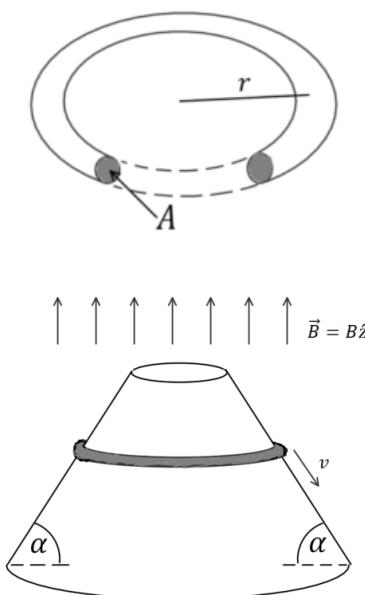
מהו כיוון הזרםビיחס לשדה המגנטי?

ג. מצאו את הכוח המגנטי (גודל וכיוון) הפועל על אלמנט אורך של הטבעת Δl .

ד. הראו כי קיימות מהירות שאינה תלולה

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

בטאו את מהירות באטריות B, m, g, α, 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 Δl היא ההתרומות של הקפיץ מהמצב הרופוי.

האורך הרופוי של הקפיץ הוא ℓ_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.

הDİפֿרְנְצִיאַליַת שפתרונה ייתן את המטען על הקובל כתלות בזמן,

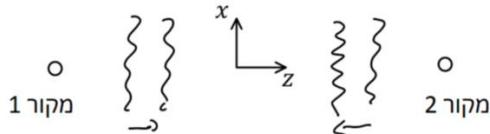
הנicho שמסת הלוחות זניחה. אין צורך לפתור את המשוואה.

35) גלים-צפיפות אנרגיה בהתארכות

נתונים שני מקורות המשדרים גלים אלקטרומגנטיים בתדר זהה ו- ω 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.

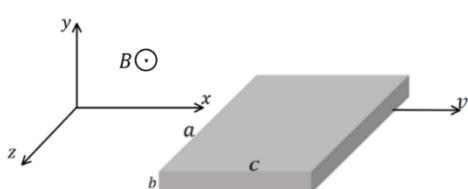


- א. רשמו ביטוי לשדה החשמלי והмагנטי של כל אחד מהמקורות בנפרד. ככלומר כאיילו רק אחד מהם פועל.
- ב. רשמו ביטוי לצפיפות האנרגיה של כל אחד מהגלים בנפרד באזור הראשית. מומלץ לבצע ממוצע על זמן מחזור.
- ג. כתעת מפעילים את שני המקורות ייחדיו והגלים מתארכים. רשמו ביטוי לצפיפות האנרגיה כאשר שני המשדרים עובדים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

36) תיבת דקה נעה בשדה מגנטי

תיבת דקה עשויה מחומר מוליך ומונחת במקביל לצירים.

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



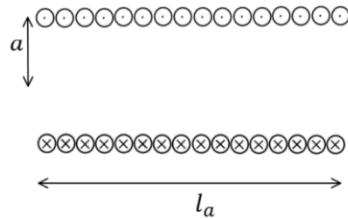
א. מצאו את צפיפות המטען המשטחית והנפחית בתיבה ביחס למערכת המעבדה.

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

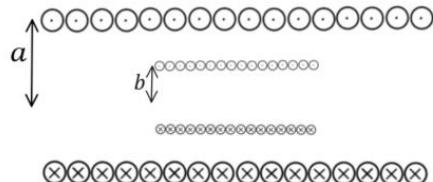
ג. חשבו את הוקטור פוינטינג במערכת המעבדה בתוך ומחוץ לתיבה. הסבירו את התשובה שקיבלתם.

37) סליל בתוך סליל בתוך שדה

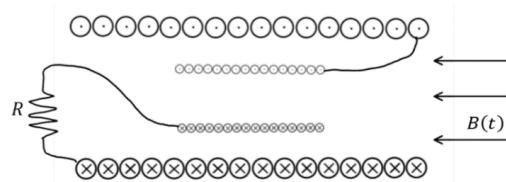
- נתון סליל באורך a , רדיוס a ו- a ליפופים ליחידת אורך. נתנו $|a| \ll a$.
- א. מצא את הפוטנציאל הוקטורי בכיוול קולון בכל המרחב כתלות בזרם הזורם בסליל.



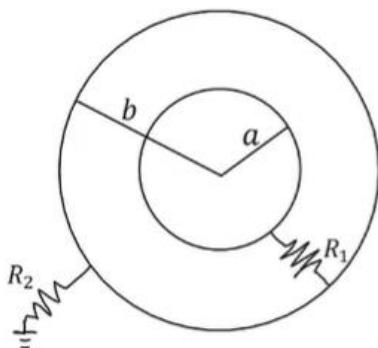
- ב. מכניםים לתוך הסליל סליל נוסף קטן יותר בעל אורך b ורדיוס b וצפיפות ליפופים ליחידת אורך b/a . הנח כי $b \gg a$. מצא את ההשראות החזידית בין הסלים.



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



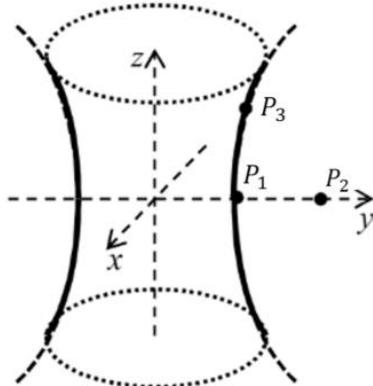
- א. מהו המשוואות הדיפרנציאליות המתארות את המטענים על הקליפה כתלות בזמן?
ב. מצאו את המטען על כל קליפה כתלות בזמן.

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 $(0, y_1, 0) = P_1$ הפוטנציאלי הוא אפס. השתמשו במשוואת היפרבולואיד והראו כי הפוטנציאלי 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:

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

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

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho r}{2\varepsilon_0} \hat{r} & 0 < r < a \\ \frac{\rho a^2}{2\varepsilon_0 r} \hat{r} & a < r < b \text{ ב.ג.} \\ 0 & b < r \end{cases}$$

$$\frac{\rho}{\sigma} = -\frac{2b}{a^2} \text{ נ.א.} \quad (3)$$

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

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

$$\text{עם כיוון השעון.} \quad I_1(t) = \frac{\mu_0 I_0 a V_1 \cos \theta}{2\pi} \left(\frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \text{ נ.א.} \quad (4)$$

$$P_{ext} = |F| |V_i| \cos \theta \quad , \quad P_R = I_1^2 R \quad \text{נ.א.} \quad \vec{F}_{ext} = \frac{-\mu_0 I_0 I_1 a}{2\pi} \left(\frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \hat{x} \text{ ב.ג.}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\phi_{E_1} = \frac{q}{6\epsilon_0} \quad (12)$$

$$V = \frac{3Rmg}{2B^2 L^2} \quad (13)$$

$$V = \frac{qB^2 L d}{2m} \quad (14)$$

$$U_T = \frac{1}{2} \epsilon_r C \left(\frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} C \left(\frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{C}{3} \left(\frac{2}{3} V \right)^2 \text{. ב.} \quad U_T = 2C \left(\frac{V}{3} \right)^2 \text{. נ} \quad (15)$$

$$E = \begin{cases} \frac{kq}{r^2} \hat{r} & r < r_1 \\ 0 & r_1 < r < r_2 \\ \frac{kq}{r^2} \hat{r} & r_2 < r < r_3 \\ \frac{k(q + \sigma 4\pi r_3^2)}{r^2} & r_3 < r \end{cases} . \text{ נ } \quad (16)$$

$$\varphi = \begin{cases} \frac{kq}{r} + C_1 & r < r_1 \\ C_2 & r_1 < r < r_2 \\ \frac{kq}{r} + C_3 & r_2 < r < r_3 \\ \frac{k(q + \sigma 4\pi r_3^2)}{r} & r_3 < r \end{cases} . \text{ ב}$$

ד. אין השפעה.

$$\sigma(r_1) = \frac{-q}{4\pi r_1^2}, \quad \sigma(r_2) = \frac{q}{4\pi r_2^2} . \lambda$$

$$\vec{B} = \frac{\sigma \beta t}{2} \begin{cases} -\hat{y} & z > 0 \\ +\hat{y} & z < 0 \end{cases} . \text{ ב} \quad \vec{k} = \sigma \cdot \beta \cdot t \hat{x} . \text{ נ } \quad (17)$$

$$. \tau \quad I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} \quad \phi_B = Ba^2 . \lambda$$

$$g. \quad I = \frac{B_0 HV}{R}, \quad q = C \cdot B_0 HV. \quad b. \quad \varepsilon = -B \cdot HV. \text{ נ } \quad (18)$$

$$I = \dot{q} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{RC}} . \tau$$

$$I_d = \frac{-\rho V_0}{3} \cdot \pi r^2 . \text{ ב} \quad \vec{E} = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r} \quad r < a, \quad \vec{E} = \frac{\rho a^3}{3\epsilon_0 r^2} \hat{r} \quad r > a . \text{ נ } \quad (19)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \rho V_0 r}{3} \hat{\theta} . \tau \quad I = \rho V_0 \pi r^2 . \lambda$$

$$\vec{F}_T = \left(-\frac{kq^2}{(2a)^2} + 2kqp \left(\frac{1}{(a-b)^3} + \frac{1}{(a+b)^3} \right) \right) \hat{z} . \text{ נ } \quad (20)$$

$$W_{ext} = -\frac{kq^2}{4a} + kqp \left(\frac{1}{(a-b)^2} + \frac{1}{(a+b)^2} \right) . \text{ ב}$$

$$\varphi = \begin{cases} -\frac{\rho_0 r^4}{16\epsilon_0 L^2} + V_0 & r \leq L \\ -\frac{\rho_0 L^2}{4\epsilon_0} \ln r + V_0 - \frac{\rho_0 L^2}{4\epsilon_0} \left(\frac{1}{4} - \ln L \right) & r \geq L \end{cases} . \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho_0 r^3}{4\epsilon_0 L^2} \hat{r} & r < L \\ \frac{\rho_0 L^2}{4r} \hat{r} & r > L \end{cases} . \quad \text{א (21)}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \rho_0 u_0}{4} \begin{cases} \frac{r^3}{L^2} \hat{\theta} & r < L \\ \frac{L^2}{r} \hat{\theta} & r > L \end{cases} .$$

$$I = \frac{\mu_0 I b}{2\pi R} \left(\frac{1}{D+b+u_1} u_1 - \frac{1}{D+u_1 t} u_1 \right) . \quad \text{ט}$$

$$Q = \frac{\epsilon_0 V_0}{d \cdot \ln 2} \cdot V_0 , \quad \sigma = \frac{\epsilon_0 V_0}{d \cdot \ln 2} . \quad \text{ב.} \quad C_T = \frac{\epsilon_0 \cdot a \cdot b}{d \cdot \ln 2} . \quad \text{א (22)}$$

$$U = \frac{ab\sigma^2 d}{2\epsilon_0} \ln \left(\frac{3}{2} \right) . \quad \text{ט} \quad \vec{E} = -\frac{\sigma}{\epsilon_0 \left(1 + \frac{y}{d} \right)} \hat{y} . \quad \text{א}$$

$$\varepsilon F = 0! , \quad \vec{\tau} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \hat{y}}{2\pi} 2R \left(\sin \frac{\alpha}{2} - \alpha \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad \text{(23)}$$

$$E = \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} - \frac{KQ}{2r^2} . \quad \lambda \quad E = \begin{cases} \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} & r < R \\ \frac{KQ}{r^2} & R < r \end{cases} . \quad \text{ב.} \quad C = \frac{3Q}{2\pi R^6} . \quad \text{א (24)}$$

$$t = 12 \text{ sec} . \quad \lambda \quad C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \quad \text{ב.} \quad C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \quad \text{א (25)}$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(5x, y, 0)}{(25x^2 + y^2)} - \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x, y, 0)}{(x^2 + y^2)} . \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{R\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x\hat{x} + y\hat{y})}{(x^2 + y^2)} . \quad \text{א (26)}$$

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

$$\phi_B = \frac{\mu_0 C t^2 a^4}{3} \ln 2 . \quad \text{ב.} \quad \vec{B}(r, t) = \frac{\mu_0 C t^2 a^3}{3r} \hat{\theta} \quad r > a . \quad \text{א (27)}$$

$$I = \frac{\mu_0 C \cdot 2 \cdot t a^5 \ln 2 \cdot \pi}{3} \cdot 10^{-4} . \quad \lambda$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} . \quad \lambda \quad \text{ב. שלילי} \quad \vec{B}_z = \frac{0.396 \mu_0 I}{R} \hat{z} . \quad \text{א (28)}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} BV(a - Vt) & t \leq \frac{a}{V} \\ BV(2a - Vt) & \frac{a}{V} \leq t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ נ } (29)$$

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

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

$$I = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_0 \\ \frac{d \cdot L \cdot B}{R \cdot t_0} & t_0 < t < 2t_0 \\ 0 & 2t_0 < t \end{cases} . \text{ ב}$$

$$|\varepsilon| = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_0 \\ \frac{d \cdot L \cdot B}{t_0} & t_0 < t < 2t_0 \\ 0 & 2t_0 < t \end{cases} . \text{ נ } (30)$$

$$W = \frac{-B^2 L^2 d^2}{3 R t_0} . \tau \quad , I = \frac{2 B L d}{R t_0} \left(\frac{t}{t_0} - 1 \right) . \lambda$$

$$\vec{E} = \rho_0 J_0 R \cdot \frac{1}{r} \hat{z} \quad r < 6R . \text{ ב} \quad \vec{J}(r) = \frac{J_0 R}{r} \hat{z} \quad r < 6R . \text{ נ } (31)$$

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

$$. c = \frac{3 \varepsilon_0 A}{d} (32)$$

$$\varepsilon = B \cdot 2\pi r V \cos \alpha , I = \frac{B \sigma V v \cos \alpha}{2\pi r} \quad -\hat{\theta} \quad \text{ב. בכיוון} \quad R = \frac{(2\pi r)^2}{\sigma V} . \text{ נ } (33)$$

$$V = \frac{mg \sin \alpha}{B^2 \sigma V \cos^2 \alpha} . \tau \quad d\vec{F} = \frac{B^2 \sigma V v \cos \alpha}{2\pi r} (-\hat{r}) d . \lambda$$

$$\Delta l = \frac{l_0 - \sqrt{l_0 - 4\sqrt{\frac{\epsilon_0 A V^2}{2k}}}}{2}, Q = \frac{2\epsilon_0 A V}{l_0 + \sqrt{l_0^2 - 4\sqrt{\frac{\epsilon_0 A V^2}{2k}}}} . \text{ נ } (34)$$

$$Q \left(\frac{l_0 - \frac{Q}{\sqrt{2\epsilon_0 A k}}}{\epsilon_0 A} \right) = -QR . \text{ ג}$$

$$p = \frac{\epsilon A u V^2}{(l_0 - ut)^2}, \frac{du}{dt} = \frac{\epsilon_0 A u V^2}{2(l_0 - ut)^2} . \text{ ב}$$

$$\vec{E}_1 = E_1 \cos\left(\frac{\omega}{c} - \omega t\right) \hat{x}, \vec{B}_1 = \frac{E_1}{c} \cos\left(\frac{\omega z}{c} - \omega t\right) \hat{y} . \text{ נ } (35)$$

$$\vec{E}_2 = E_2 \cos\left(\frac{\omega z}{c} + \omega t\right) \hat{x}, \vec{B}_2 = \frac{E_2}{c} \cos\left(\frac{\omega z}{c} + \omega t\right) (-\hat{y})$$

$$u_2 = \epsilon_0 E_2^2 \cos^2 \omega t, \bar{u}_2 = \frac{\epsilon_0 E_2^2}{2}, u_1 = \epsilon_0 E_1^2 \cos^2 \omega t, \bar{u}_1 = \frac{\epsilon_0 E_1^2}{2} . \text{ ב}$$

$$, \bar{u}_T = \frac{1}{2} \epsilon_0 (E_1^2 + E_2^2), u_T = \epsilon_0 \left(E_1^2 \cos^2 \left(\frac{\omega z}{c} - \omega t \right) + E_2^2 \cos^2 \left(\frac{\omega z}{c} + \omega t \right) \right) . \text{ ג}$$

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 תקינות פיזי