

# חשמל גלים ואופטיקה

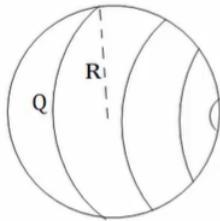
פרק 3 - חוק גאוס

תוכן העניינים

- 1. הסברים בסיסיים..... 1
- 2. תרגול נוסף..... 4

## הסברים בסיסיים:

### שאלות:



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



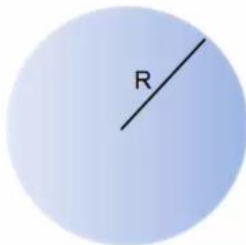
- (2) **שדה של תיל אינסופי**  
 נתון תיל אינסופי בעל צפיפות  $\lambda$ . מצא את השדה במרחב.



- (3) **שדה של גליל אינסופי**  
 נתון גליל אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת נפח  $\rho$  ורדיוס  $R$ . מצא את השדה במרחב.



- (4) **שדה של לוח אינסופי**  
 נתון משטח אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma$ . מצא את השדה במרחב.



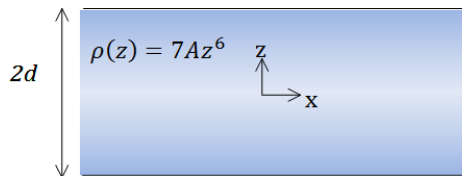
- (5) **שדה של כדור עם צפיפות לא אחידה**  
 נתון כדור בעל רדיוס  $R$  וצפיפות התלויה במרחק ממרכז הכדור.  $r$  קבוע ונתון:  $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$ . מצא את התפלגות השדה במרחב (בתוך ומחוץ לכדור).



### (6) לוח עם עובי

- נתון מישור בעל שטח  $A$  ועובי  $d$ . המישור טעון בצפיפות מטען קבועה ליחידת נפח  $\rho$ .

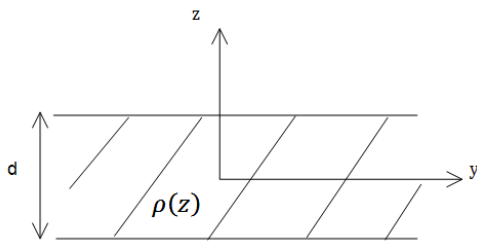
- א. מצא את השדה רחוק מאוד מהמישור.  
 ב. מצא את השדה קרוב מאוד למישור ובתוכו (השתמש בקירובים).  
 ג. מניחים אלקטרון בגובה  $Z_0 < \frac{d}{2}$ , מצא את מיקום האלקטרון כפונקציה של הזמן בהנחה שצפיפות המטען במישור חיובית.



**(7) מישור עבה עם צפיפות משתנה**

מישור אינסופי בעובי  $2d$  טעון בצפיפות מטען משתנה  $\rho(z) = 7Az^6$ , כאשר  $A$  קבוע נתון. ציר ה- $z$  אנך למישור וראשיתו במרכז המישור (המישור אינסופי ב- $x, y$ , ראה ציור).

- א. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.
- ב. הראה שחוק גאוס הדיפרנציאלי מתקיים בכל המרחב.
- ג. מצא את הרוטור של השדה החשמלי  $\vec{V} \times \vec{E}$  בכל המרחב, והסבר את התוצאה.



**(8) מישור עבה עם צפיפות אנטי סימטרית**

מישור אינסופי בעל עובי  $d$  טעון בצפיפות מטען כתלות במרחק ממרכז המישור  $\rho(z) = Az$ , קבוע נתון. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב שיוצר המטען במישור.

## תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

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

## תרגול נוסף:

### שאלות:



- (1) שתי קליפות גליליות חלולות נתונות שתי קליפות (חלולות) גליליות אינסופיות בעלות ציר סימטריה משותף. רדיוס הקליפה הפנימית הוא  $R_1$  וצפיפות המטען המשטחית בה היא  $\sigma_1$ . רדיוס הקליפה החיצונית הוא  $R_2$  וצפיפות המטען בה היא  $\sigma_2$ . מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.



- (2) קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי  $a$ , רדיוס חיצוני  $b$  וגובה  $H$  טעונה בצפיפות מטען נפחית  $\rho(r) = \frac{c}{r}$ , כאשר  $c$  קבוע נתון ו- $r$  הוא המרחק מציר הסימטריה של הקליפה. א. מצא את המטען הכולל בקליפה. ב. מצא את השדה בכל המרחב אם:  $H \gg a, b$ .



- (3) משטח ושתי קליפות כדוריות שתי קליפות כדוריות בעלות רדיוסים שונים  $a < b$ , נמצאות במרחק  $d > 2b$  אחת מעל השנייה. הקליפות טעונות במטענים  $q_1, q_2$  בהתאמה. במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחת לקליפה התחתונה (עם רדיוס  $b$ ) מונח מישור אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma$ . מצא את השדה בנקודות הבאות.
- א. הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס  $a$ .
  - ב. הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס  $b$ .
  - ג. הנמצאת במרחק  $\frac{d}{2}$  מתחת למרכז הקליפה התחתונה אך מעל המישור.

**(4) שני מישורים בזווית**



שני מישורים אינסופיים טעונים בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma$ . המישורים נמצאים בזווית  $\alpha$  אחד מהשני.  
 א. מצא את השדה החשמלי בין המישורים ומעל המישור האופקי.  
 ב. מצא את השדה מעל שני המישורים.

**(5) כדור עם חור**



בתוך כדור הטעון בצפיפות מטען אחידה  $\rho$  קיים חלל כדורי בעל רדיוס  $a$ . המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא  $d$ . מצא את השדה החשמלי בתוך החלל.

**(6) שטף דרך קובייה**



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

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

**(7) מטען כלוא**



נתונה פונקציית השדה החשמלי

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

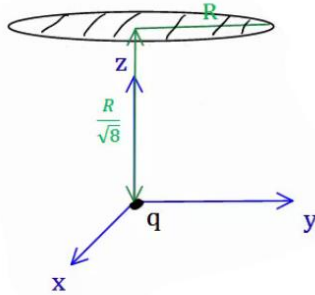
כאשר  $R$ ,  $\rho_0$  קבועים נתונים, ו- $r$  הוא המרחק מהראשית בקואורדינטות כדוריות, מצא את כמות המטען הכלואה בתוך מעטפת כדורית בעלת רדיוס  $2R$ .

**(8) שטף דרך משטח ריבועי**



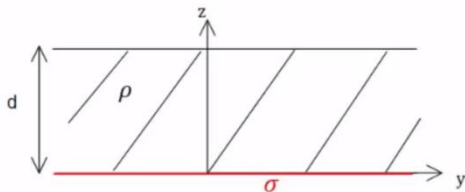
מצא את השטף העובר דרך משטח ריבועי (לא טעון) בעל צלע באורך  $a$  הנמצא בגובה  $\frac{a}{2}$  מעל מטען נקודתי  $q$ .

9) שטף דרך מעגל



מטען  $q$  נמצא בראשית הצירים.  
 מהו השטף החשמלי העובר דרך עיגול ברדיוס  $R$   
 המקביל למישור  $x-y$  ומרכזו נמצא  
 בנקודה  $\left(0,0,\frac{R}{\sqrt{8}}\right)$ ?

10) מישור עבה צמוד למישור דק



מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען אחידה  $\sigma$  נמצא על מישור  $x-y$ .  
 מישור אינסופי נוסף בעל עובי  $d$  טעון בצפיפות מטען אחידה  $\rho$ , מונח מעל המישור הדק (תחתית המישור העבה נמצא גם על מישור  $x-y$ ).  
 מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

11) ארבעה לוחות



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

- מצא את השדה החשמלי בכל מקום במרחב (בין הלוחות ומעליהן, אין צורך להתייחס למה שקורה בצידי הלוחות).
- משחררים פרוטון ממנוחה מהלוח  $-\sigma_2$ . כמה אנרגיה קינטית "ירוויח" מן המערכת? (הנח שהפרוטון עובר דרך הלוחות ללא הפרעה).
- מצא את מהירות הפרוטון ביציאה מן המערכת.

12) מלוח אל לוח

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא  $6 \text{ ס"מ}$  והמרחק בין הלוחות הוא  $2 \text{ מ"מ}$ . הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה. המטען הכולל על הלוח התחתון הוא:  $Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ c}$  והמטען הכולל על הלוח העליון זהה בגודלו והפוך בסימונו. משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון:  $(q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c}, m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg})$ .

- כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?
- מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?
- מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון ברגע הפגיעה?

## תשובות סופיות:

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

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

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

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} - \frac{kq_2}{4} \hat{z} - \frac{kq_1}{4} \hat{z} \quad \text{ג.}$$

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

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

$$\vec{E} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{d} \quad (5)$$

$$\frac{Q_{in}}{\epsilon_0} \quad \text{ב.} \quad -24 \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\frac{16}{5} \pi \rho_0 R^3 \quad (7)$$

$$\frac{q}{6\epsilon_0} \quad (8)$$

$$\phi = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{kqa}{2 \left( x^2 + y^2 + \left( \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx dy \quad (9)$$

$$\frac{q}{3\epsilon_0} \quad (10)$$

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

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

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