

# שדות אלקטרו מגנטיים



## תוכן העניינים

1	.....	1. תנאי שפה לשדה החשמלי
3	.....	2. בעיות שפה בקואורדינטות גליליות
6	.....	3. בעיות שפה בקואורדינטות כדוריות
7	.....	4. בעיות שפה בקואורדינטות קרטזיות
11	.....	5. מטעני דמות

# שדות אלקטרו מגנטיים

פרק 1 - תנאי שפה לשדה החשמלי

תוכן העניינים

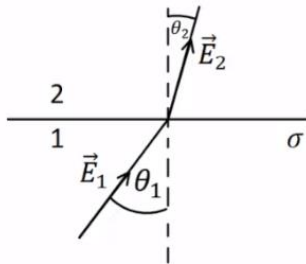
1. הרצאות ותרגילים.....1

## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:

#### (1) קפיצה על שפת כדור

נתון כדור שמרכזו בראשית הצירים ורדיוסו  $R$ . השדה החשמלי בתוך הכדור וקרוב לשפת הכדור הוא:  $\vec{E}_{in} = a\hat{x} + b\hat{y} + c\hat{z}$  כאשר:  $a, b, c$  קבועים נתונים. על מעטפת הכדור קיימת צפיפות מטען משטחית:  $\sigma(\varphi) = \sigma_0 \sin \varphi$  כאשר  $\sigma_0$  קבוע נתון ו- $\varphi$  היא הזווית עם ציר ה- $z$ . מצא את השדה מחוץ לשפת הכדור וקרוב אליה בקואורדינטות קרטזיות.



#### (2) שינוי זווית משני צידי משטח טעון

שפה של משטח טעונה בצפיפות מטען  $\sigma$  ומפרידה בין שני אזורים. הראה שהקשר בין הזוויות:  $\theta_1, \theta_2$

$$\tan \theta_2 = \frac{\tan \theta_1}{1 + \frac{\sigma}{\epsilon_0 E_1 \cos \theta_1}}$$

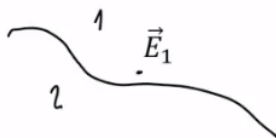
שבאיור הוא: כאשר  $E_1$

הוא גודל השדה השקול בתחום 1.

#### (3) מציאת נורמל למשטח

המשטח שמפריד בין שני אזורים נתון ע"י המשוואה:  $2x + 4y - z = 3$ .

- א. מצא וקטור הנורמל למשטח  $\hat{n}$ .
- ב. נתון השדה באחד האזורים קרוב

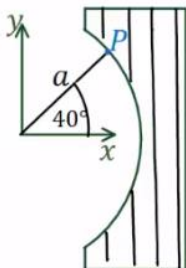


למשטח:  $\vec{E}_1 = 2\hat{x} + 5\hat{y} - 3\hat{z}$ , מהו הרכיב של השדה שמאונך למשטח?

ג. מהו רכיב השדה שמקביל למשטח?

#### (4) עדשה דיאלקטרית

האיור מתאר "עדשה דיאלקטרית". צד שמאל של העדשה הוא חלק מגליל שצירו חוף עם ציר  $z$  ורדיוסו  $a$ . צד ימין הוא מישור ישר המקביל למישור  $xz$ . השדה החשמלי בנקודה  $P$  הנמצאת ב- $\vec{r}_P = (a, 40^\circ, z)$  ומחוץ לעדשה הוא:  $\vec{E}(\vec{r}_P) = 4\hat{r} - 3\hat{\theta}$



ביחידות  $\frac{N}{m}$  ובקואורדינטות גליליות.

מה צריך להיות המקדם הדיאלקטרי של החומר ממנו עשויה העדשה כך שהשדה החשמלי היוצא מהצד הימני של העדשה יהיה מקביל לציר  $x$ ?

## תשובות סופיות:

$$\mathbf{E}_{out} = \left( a + \frac{\sigma_0(\sqrt{x^2 + y^2})x}{\epsilon_0 R^2}, b + \frac{\sigma_0(\sqrt{x^2 + y^2})y}{\epsilon_0 R^2}, c + \frac{\sigma_0(\sqrt{x^2 + y^2})z}{\epsilon_0 R^2} \right) \quad (1)$$

(2) הוכחה.

$$\text{א. } \hat{n} = \frac{1}{\sqrt{21}}(2, 4, -1) \quad \text{ב. } \frac{27}{21}(2, 4, -1) \quad \text{ג. } -\frac{1}{7}(4, 1, 12) \quad (3)$$

(4)  $\epsilon_r \approx 1.2$

# שדות אלקטרו מגנטיים

פרק 2 - בעיות שפה בקואורדינטות גליליות

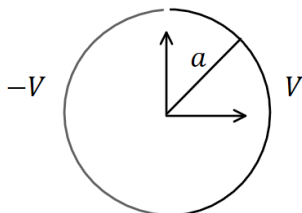
תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים..... 3

## הסבר ותרגילים:

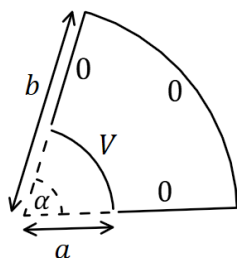
### שאלות:

**(1) גליל חצי חצי**



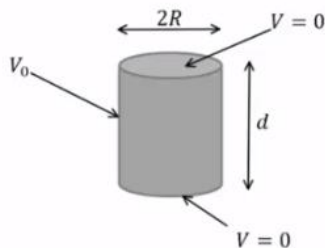
גליל דק ואינסופי ברדיוס  $a$  מחולק לשני חצאים. החצי הימני מוחזק בפוטנציאל קבוע  $V$  והחצי השמאלי ב- $-V$ . מצא את הפוטנציאל בתוך ומחוץ לגליל.

**(2) גזרה בזווית אלפה**



נתונה גזרה בזווית  $\alpha$  מתוך מעגל. הרדיוס הפנימי של הגזרה הוא  $a$  והחיצוני  $b$ . הדופן ב- $r = a$  מוחזקת בפוטנציאל  $V$  וכל שאר הדפנות מוארקות. מצא את הפוטנציאל בתוך הגזרה בלבד. הנח שהבעיה דו ממדית.

**(3) גליל סופי מתאפס בבסיסים**



נתונה קליפה גלילית באורך  $d$  ורדיוס  $R$ . נתון שהפוטנציאל בשני הבסיסים הוא אפס ובדופן העגולה הפוטנציאל הוא  $V_0$ . מצא את פונקציית הפוטנציאל בתוך הגליל.

**(4) מולקולת DNA**

מבנה ספירלי של דיפולים זעירים יוצר על שפת גליל שרדיוסו  $R$  פילוג פוטנציאל הנתון על ידי:  $\phi(r=R) = V \cos(\alpha z - N\theta)$ .

כאשר המספר השלם  $N$  והקבועים  $V$  ו- $\alpha$  נתונים.

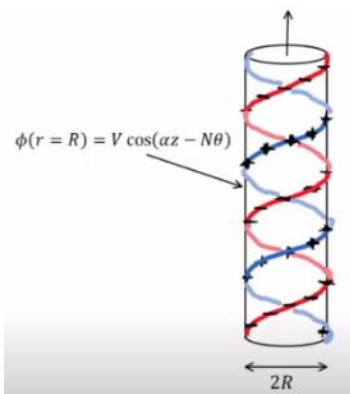
המערכת אינסופית בציר  $z$  ומתוארת באיור עבור  $N = 1$ .

א. רשמו את תנאי השפה לפוטנציאל בכל המרחב.

ב. מצאו את הפוטנציאל החשמלי בכל המרחב.

ג. מהו מרחק הדעיכה האופייני של השדה החשמלי מחוץ לספירלות?

ד. מהי צפיפות המטען המשטחית על המעטפת?



ה. המבנה הוא חלק ממודל של מולקולת DNA. מבחינה חשמלית מולקולת DNA מורכבת מזוג סלילים כבצירור כאשר שניהם בעלי מטען שלילי. מודל פשוט למבנה זה מתקבל על ידי הוספת פילוג מטען משטחי שלילי אחד  $-\eta_0$  למעטפת הגלילית של הבעיה בסעיפים הקודמים עם  $N = 2$ , וכך שבכל נקודה על המעטפת המטען המשטחי החדש יהיה שלילי או אפס. מהו הערך המינימלי של  $\eta_0$  המבטיח שלא יהיה מטען חיובי במקרה זה? מצאו את השדה של המערכת בתוספת צפיפות מטען זו.

## תשובות סופיות:

$$.V(r, \theta) = \sum_{l=1}^{\infty} \frac{4V}{\pi l} \left(\frac{a}{r}\right)^l \cos(l\theta) \quad , r > a \quad , \quad V(r, \theta) = \sum_{l=1}^{\infty} \frac{4V}{\pi l a^l} r^l \cos(l\theta) \quad , r < a \quad (1)$$

$$.V(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{\pi m K_n} \left[ \left(\frac{r}{b}\right)^{\frac{\pi n}{\alpha}} + \left(\frac{b}{r}\right)^{\frac{\pi n}{\alpha}} \right] \sin\left(\frac{\pi n}{\alpha} \theta\right) \quad , \quad K_n = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{\pi n}{\alpha}} + \left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{\pi n}{\alpha}} \quad (2)$$

$$.V(r, z) = \sum_n \frac{4V_0}{\pi n I_0\left(\frac{\pi n R}{\alpha}\right)} I_0\left(\frac{\pi n}{d} r\right) \sin\left(\frac{\pi n}{d} z\right) \quad , \quad K_n = \frac{\pi n}{d} \quad (3)$$

$$. \phi_1(r=0) \neq \infty \quad , \quad \phi_1(r > R) = \phi_2(R) \quad , \quad \phi_2(r = \infty) = \text{לא מתבדר} \quad (4)$$

$$. \phi_1 = \frac{V}{I_N(\alpha R)} I_N(\alpha r) \cos(\alpha z - N\theta) \quad , \quad \phi_2 = \frac{V}{K_N(\alpha R)} K_N(\alpha r) \cos(\alpha z - N\theta)$$

$$. \frac{1}{\alpha} \quad \text{ג.}$$

$$. \eta = \varepsilon_0 V \alpha \cdot C \cdot \cos(\alpha z - N\theta) \quad \text{ד.}$$

$$\vec{E} = \begin{cases} -\vec{\nabla} \theta_1 & r < R \\ -\vec{\Delta} \theta_2 & R < r \end{cases} \quad , \quad \eta_0 = \varepsilon_0 V \alpha C \quad \text{ה.}$$

# שדות אלקטרו מגנטיים

פרק 3 - בעיות שפה בקואורדינטות כדוריות

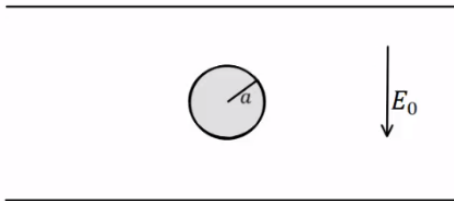
תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים ..... 6

## הסבר ותרגילים:

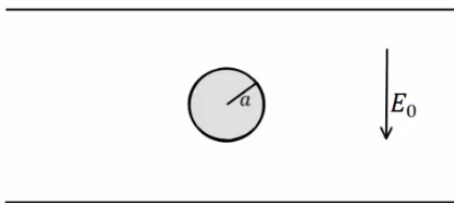
### שאלות:

**(1) דוגמה – כדור מוליך בתוך קבל**



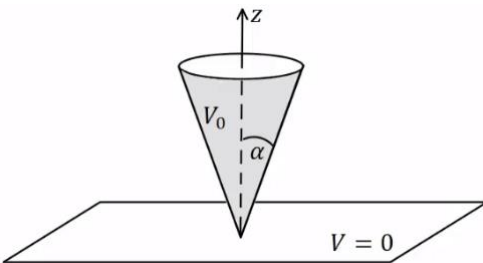
כדור מוליך ברדיוס  $a$  נמצא בתוך קבל לוחות. השדה בין הלוחות הוא  $E_0$  כלפי מטה ונתון  $a \ll d$ . מצא את הפוטנציאל בכל נקודה בתוך הלוחות.

**(2) דוגמה – מצא את צפיפות המטען על שפת הכדור**



כדור מוליך ברדיוס  $a$  נמצא בתוך קבל לוחות. השדה בין הלוחות הוא  $E_0$  כלפי מטה ונתון  $a \ll d$ . השתמש בפוטנציאל שמצאת בדוגמה הקודמת ומצא את התפלגות המטען על שפת הכדור.

**(3) חרוט מעל מישור**



חרוט אינסופי בעל זווית פתיחה  $\alpha$  עשוי חומר מוליך ומוחזק בפוטנציאל  $V_0$ . החרוט נמצא מעל מישור מוארק (הנח כי יש מבודד בין קודקוד החרוט למישור). מצא את הפוטנציאל בכל המרחב.

נתון כי:  $Q_0(x) = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right)$

### תשובות סופיות:

$V(r, \varphi) = E_0 (r - a^3 r^{-2}) \cos \varphi$  (1)

$\sigma_a = -3\epsilon_0 E_0 \cos \varphi$  (2)

$V(\varphi) = V_0 \frac{\ln\left(\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)}{\ln\left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)}$  (3)

# שדות אלקטרו מגנטיים

פרק 4 - בעיות שפה בקואורדינטות קרטזיות

תוכן העניינים

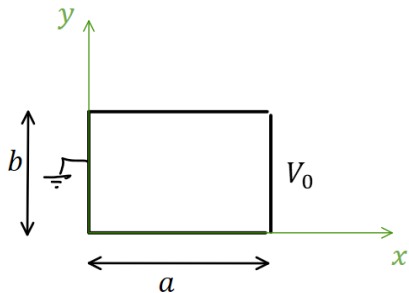
1. הסבר ותרגילים.....7

## הסבר ותרגילים:

### שאלות:

**(1) פתרון הדוגמה מהסרטון הקודם**

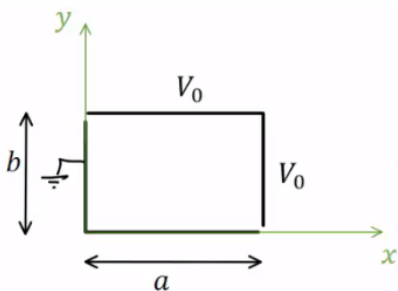
תיבה מלבנית מורכבת מארבעה לוחות מוליכים אינסופיים. ממדי הלוחות נתונים באיור והתיבה אינסופית לאורך ציר  $Z$ .



הלוח הימני מוחזק בפוטנציאל  $V_0$  ושאר הלוחות מוארקים (הנח שיש מבודדים קטנים מאוד בין הלוח הימני לשאר הלוחות). מצא את הפוטנציאל בתוך התיבה.

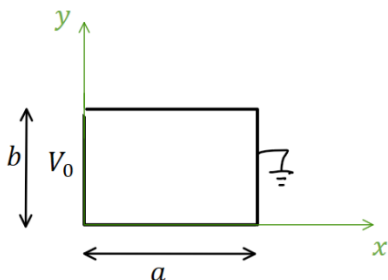
**(2) תיבה דו ממדית וסופרפוזיציה**

תיבה מלבנית מורכבת מארבעה לוחות מוליכים אינסופיים. ממדי הלוחות נתונים באיור והתיבה אינסופית לאורך ציר  $Z$ . הלוח הימני והלוח העליון מוחזקים בפוטנציאל  $V_0$ , שאר הלוחות מוארקים (הנח שיש מבודדים קטנים מאוד בין הלוחות המוארקים ללוחות המוחזקים ב- $V_0$ ). מצא את הפוטנציאל בתוך התיבה.



**(3) תיבה דו ממדית פתרון עם החלפת צירים**

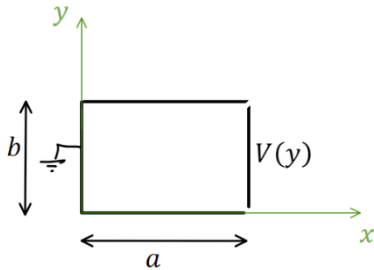
תיבה מלבנית מורכבת מארבעה לוחות מוליכים אינסופיים. ממדי הלוחות נתונים באיור והתיבה אינסופית לאורך ציר  $Z$ .



הלוח השמאלי מוחזק בפוטנציאל  $V_0$ , שאר הלוחות מוארקים (הנח שיש מבודדים קטנים מאוד בין הלוחות המוארקים ללוח השמאלי). מצא את הפוטנציאל בתוך התיבה.

**(4) תיבה דו-ממדית עם פונקציית פוטנציאל כללית בשפה**  
תיבה מלבנית מורכבת מארבעה לוחות מוליכים אינסופיים.

ממדי הלוחות נתונים באיור והתיבה אינסופית לאורך ציר  $Z$ .



הלוח הימני מוחזק בפוטנציאל  $V(y)$  כללי, שאר הלוחות מוארקים (הנח שיש מבודדים קטנים מאוד בין הלוחות המוארקים ללוח הימני). מצא את הפוטנציאל בתוך התיבה במקרים הבאים:

א. בצורה כללית עם הביטוי  $V(y)$  בתשובה.

ב. כאשר 
$$V(y) = \begin{cases} V_0 & 0 \leq y \leq \frac{b}{2} \\ -V_0 & \frac{b}{2} < y \leq b \end{cases}$$

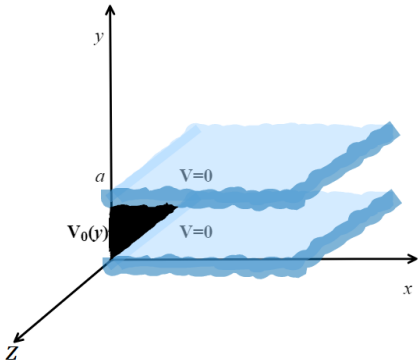
ג. כאשר 
$$V(y) = V_0 \cos\left(\frac{\pi y}{2b}\right)$$

**(5) שני לוחות מקבילים ולוח מאונך**

שני מישורים אינסופיים מוארקים נמצאים במקביל למישור  $xz$  ובמרחק  $a$  ביניהם.

לוח מוליך נמצא על מישור  $yz$  בין  $0 < y < a$ .

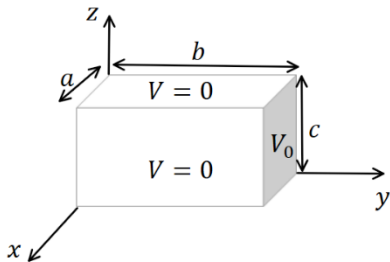
הלוח נמצא בפוטנציאל  $V_0(y) = V_0 \sin\left(\frac{6\pi}{a}y\right)$ . מצא את הפוטנציאל בין המישורים

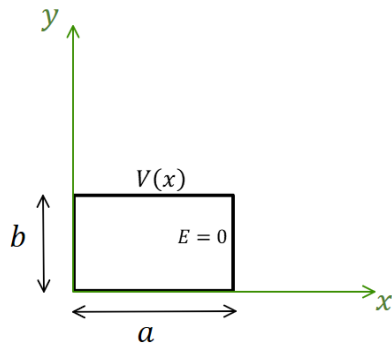


**(6) תיבה תלת ממדית**

תיבה בגודל  $a \times b \times c$  עשויה מלוחות מוליכים. כל הלוחות מוארקים למעט הלוח הימני באיור הנמצא בפוטנציאל  $V_0$ .

מצא את הפוטנציאל בתוך התיבה (אין מטענים בתוך התיבה).




**(7) בעיית ניומן דו ממדית קרטזית**

תיבה מלבנית מורכבת מארבעה לוחות מוליכים אינסופיים. ממדי הלוחות נתונים באיור והתיבה

אינסופית לאורך ציר  $Z$ . הלוח העליון מוחזק

בפוטנציאל:  $V(x) = V_0 \sin\left(\frac{3\pi}{2a}x\right)$ .

השדה ב- $E(x=a) = 0$  ושאר הלוחות מוארקים.

מצא את הפוטנציאל בתוך התיבה.

## תשובות סופיות:

$$\cdot \varphi(x, y) = \sum_n C_n \sinh\left(\frac{\pi n}{b} x\right) \sin\left(\frac{\pi n}{b} y\right) \quad (1)$$

$$\cdot \varphi(x, y, z) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{4V_0}{\pi n} \sinh\left(\frac{\pi n a}{b}\right) \sinh\left(\frac{\pi n x}{b}\right) \sin\left(\frac{\pi n y}{b}\right) + \frac{4V_0}{\pi n} \sinh\left(\frac{\pi n b}{a}\right) \sinh\left(\frac{\pi n}{a} y\right) \sin\left(\frac{\pi n}{a} x\right) \right] \quad (2)$$

$$\cdot \varphi(x, y, z) = \sum_n C_n \sinh\left(\frac{\pi n}{b} (-x+a)\right) \sin\left(\frac{\pi n}{b} y\right) \quad (3)$$

$$\cdot C_n = \frac{2}{b} \frac{1}{\sinh\left(\frac{\pi n a}{b}\right)} \cdot \int_y^b v(y) \sin\left(\frac{\pi n y}{b}\right) dy \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$C_n = \frac{8V_0}{\pi n \sinh\left(\frac{\pi n a}{b}\right)} \cdot \begin{cases} 1 & \text{odd } \frac{n}{2} \quad \text{ב.} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$\cdot C_n = \frac{-4V_0}{(4n^2 - 1) \pi \sinh\left(\frac{\pi n a}{b}\right)} \quad \text{ג.}$$

$$\cdot \varphi(x, y) = V_0 \sin\left(\frac{\pi b}{a} y\right) e^{-\frac{\pi b}{a} x} \quad (5)$$

$$\cdot \varphi(x, y, z) = \sum_{m,n=1}^{\infty} \frac{16V_0}{\pi^2 mn} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi m}{a} x\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi n}{c} z\right) \sinh\left(\sqrt{\left(\frac{\pi m}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi n}{c}\right)^2} y\right)}{\sinh\left(\sqrt{\left(\frac{\pi m}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi n}{c}\right)^2} b\right)} \quad (6)$$

$$\cdot \varphi(x, y) = \frac{V_0}{\sinh\left(\frac{3\pi b}{2a}\right)} \sin\left(\frac{3\pi}{2a} x\right) \sinh\left(\frac{3\pi}{2a} y\right) \quad (7)$$

# שדות אלקטרו מגנטיים

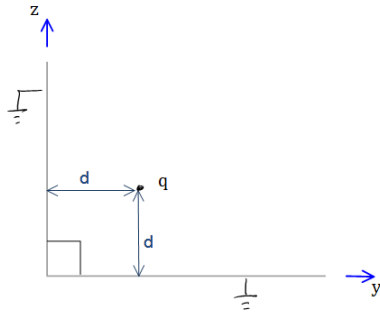
פרק 5 - מטעני דמות

תוכן העניינים

11 ..... 1. הרצאות ותרגילים

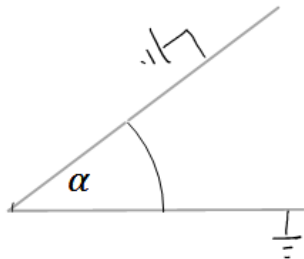
## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:



**(1) לוחות בזווית 90 מעלות**

נתונים שני מישורים מוארכים המחוברים בזווית ישרה. במרחק  $d$  משני המישורים ממוקם חלקיק בעל מטען  $q$  כמתואר בשרטוט. מצא את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.



**(2) לוחות בזווית אלפה**

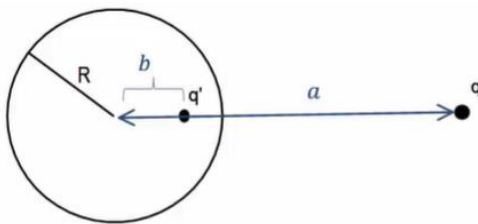
נתונים שני מישורים מוארכים המחוברים בזווית  $\alpha$ . במרחק  $d$  משני המישורים ממוקם חלקיק בעל מטען  $q$  כמתואר בשרטוט. מצא את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.

**(3) מציאת התפלגות המטען על שפת המוליך**

נתון מישור אינסופי מוארק. במרחק  $z$  מעל המישור נמצא חלקיק בעל מטען  $q$ . מצא את התפלגות המטען  $\sigma$  על שפת המישור.

**(4) כוח ואנרגיה במטעני דמות**

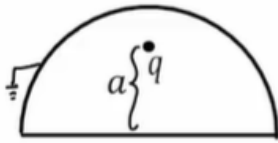
נתון מישור אינסופי מוארק ובמרחק  $z$  מעליו נמצא חלקיק בעל מטען  $q$ . מהו הכוח שמרגיש החלקיק?



**(5) מציאת התפלגות מטען עם ספירה**

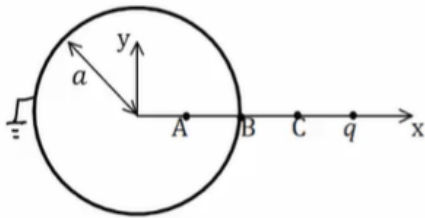
נתונה ספירה מוליכה ומוארכת ברדיוס  $R$ . מול הספירה ישנו מטען נקודתי  $q$  במרחק  $a$  ממרכז הספירה. מצא את התפלגות המטען על השפה של הספירה.

**(6) מטען בתוך חצי ספירה**



מטען נקודתי  $q$  נמצא בתוך חצי ספירה כדורית, מוארקת ברדיוס  $R$ . המטען נמצא בגובה  $a$  מעל מרכז הספירה. מצא את מטעני הדמות בעזרתם נוכל לחשב את הפוטנציאל בכל המרחב.

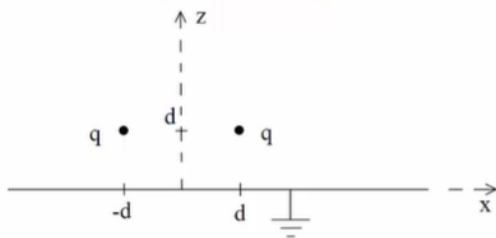
**(7) ספירה, מטען ושלוש נקודות**



קליפה כדורית ברדיוס  $a$  מוארקת. מטען  $q$  נמצא במרחק  $2a$  ממרכז הקליפה ועל ציר ה- $x$  כך ש:  $x_A = \frac{a}{2}$ ,  $x_B = a$ ,  $x_C = \frac{3a}{2}$ .

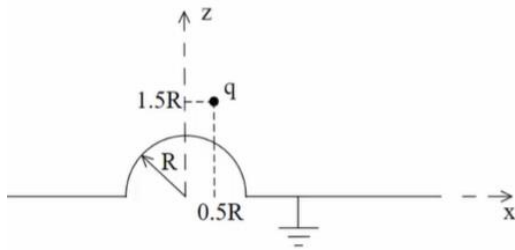
- א. מצא את הפוטנציאל בנקודות:  $A, B, C$ .
- ב. מהי התפלגות המטען המשטחית בנקודה  $B$ ?
- ג. מה הכוח הפועל על המטען  $q$ ?
- ד. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

**(8) שני מטענים מעל מישור**



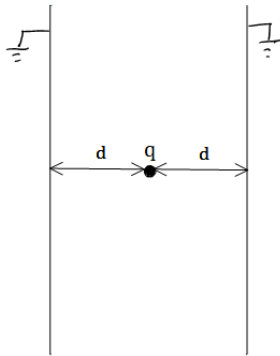
נתונים שני מטענים  $q$  במיקומים  $(d, 0, d)$  ו- $(-d, 0, d)$  מעל משטח אינסופי מוארק כבאיור.

- א. אילו מטעני שיקוף דרושים כדי לבטא פוטנציאל ושדה ב- $z > 0$ ?
- ב. איזה כוח ירגיש המטען הימני (גודל וכיוון)? יש לנרמל  $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2} = 1$  ולהגיע לתשובה מספרית.
- ג. מהי התפלגות המטען על המוליך? ומהו המטען הכולל על המוליך?
- ד. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?



9) מטען מעל חצי ספירה ולא במרכז  
נתון חצי כדור מוליך מושלם בעל  
רדיוס R המונח על חצי מרחב מישור  
מוליך מושלם, כבאיור.  
מעל המוליך יש מטען q בקואורדינטה  
(0.5R, 0, 1.5R).

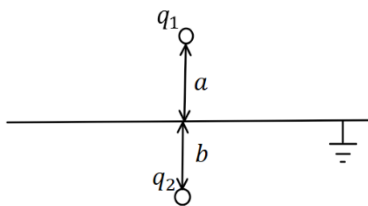
- א. מצא את גודל ומיקום מטעני השיקוף הדרושים  
בשביל לבטא את הפוטנציאל במרחב שמעל המבנה.
- ב. מצא את הפוטנציאל בנקודות (0, 0, 1.5R), (0, 0, 0.5R).
- ג. מהי צפיפות המטען המשטחית על שפת המוליך בנקודה  $(\frac{\sqrt{3}R}{2}, 0, \frac{R}{2})$ ?
- ד. מה הכוח הפועל על המטען?
- ה. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?



10) מטען בין שני לוחות אינסופיים  
נתונים שני לוחות אינסופיים מוארקים במרחק 2d זה מזה.  
בדיוק באמצע ביניהם ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר  
בשרטוט.

א. מצא את פונקציית הפוטנציאל במרחב.

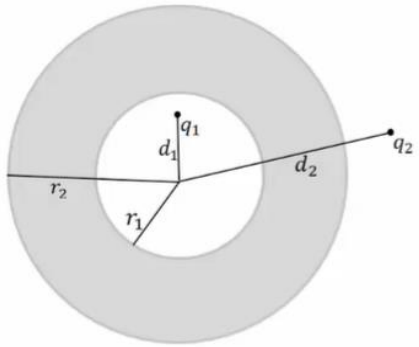
ב. מצא את העבודה הדרושה לבניית המערכת.



11) מטענים משני צידי מישור מוארק  
מטען  $q_1$  נמצא במרחק a מעל מישור אינסופי מוארק.  
מטען  $q_2$  נמצא במרחק b מתחת למישור.

א. מצא את השדה והפוטנציאל בכל המרחב.

ב. מהי התפלגות המטען על המישור?  
ומהו המטען הכולל על המישור?



**12 קליפה עבה עם מטען בפנים ובחוץ**

נתונה קליפה כדורית עבה ומוליכה בעלת רדיוס

פנימי  $r_1$  ורדיוס חיצוני  $r_2$ .

מטען  $q_1$  נמצא במרחק  $d_1$  ממרכז הקליפה כך

ש-  $d_1 < r_1$ .

מטען  $q_2$  נמצא במרחק  $d_2$  ממרכז הקליפה כך

ש-  $d_2 > r_2$ .

המטענים לא נמצאים על אותו רדיוס.

א. מצא את הפוטנציאל בו נמצאת הקליפה.

ב. מצא את הכוח הפועל על המטען  $q_2$ .

ג. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

**13 דיפול מעל מישור**

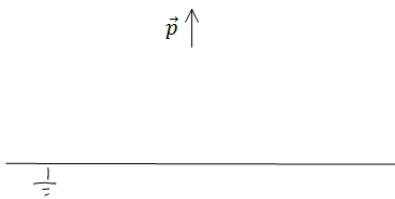
דיפול מונח במרחק  $z_0$  מלוח אינסופי מוארק.

מומנט הדיפול הוא:  $\vec{p} = (0, 0, p)$ .

א. מצא את השדה בכל המרחב.

ב. מצא את צפיפות המטען על המישור.

ג. מצא את סך המטען על המישור.



**14 ספירה נייטרלית**

מטען נקודתי  $q$  מונח במרחק  $a$  מספירה

מוליכה ברדיוס  $R$ .

הספירה אינה מוארקת ואינה מחוברת

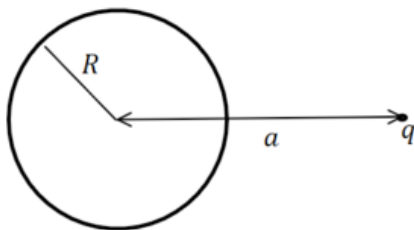
לפוטנציאל כלשהו.

ניתן להניח כי הספירה נייטרלית.

מהו הפוטנציאל על הספירה?

ומהם מטעני הדמות המתאימים לפתרון הבעיה?

רמז: 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)

$$\vec{F} = \frac{2kq^2}{qa^2} (-\hat{x}) \quad \text{ג} \quad \sigma_B = \epsilon_0 \left( -\frac{3kq}{a^2} \right) \quad \text{ב} \quad \varphi_A = \varphi_B = 0, \varphi_C = \frac{3kq}{2a} \quad \text{א} \quad (7)$$

$$U = \frac{-kq^2}{6a} \quad \text{ד} \quad (8)$$

$$-0.338\hat{z} + 0.162\hat{x} \quad \text{ב} \quad (-d, 0, d), (d, 0, -d) \quad \text{א} \quad (8)$$

$$Q_T = -2q, \quad \sigma = -\frac{1}{2\pi} qd \left( \frac{1}{((x-d)^2 + y^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{((x+d)^2 + y^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad \text{ג} \quad (9)$$

$$U = \frac{-kq^2}{\sqrt{2} \cdot 2d} \quad \text{ד} \quad (9)$$

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

$$\frac{kq}{R^2} 1.04\epsilon_0 \quad \text{ג} \quad 0 : (0, 0, 0.5R), \varphi \approx 0.71 \frac{kq}{R} : (0, 0, 1.5R) \quad \text{ב} \quad (9)$$

$$U = \frac{kq^2}{2R} (-0.7) \quad \text{ה} \quad \vec{F} = \frac{kq^2}{R^2} (-0.2, 0, -0.64) \quad \text{ד} \quad (9)$$

$$\frac{kq^2}{2d} (-\ln(2)) \quad \text{ב} \quad V_T = \frac{k(-1)^n q}{((x-2dn)^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{א} \quad (10)$$

$$\sigma_T = \frac{-1}{2\pi} \left( \frac{q_1 a}{(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{q_2 b}{(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad \text{ב.} \quad E_{wp} = \frac{kq_1}{|r_+|^2} \hat{r}_+ + \frac{-kq_1}{|r_-|^2} \hat{r}_- \quad \text{א. (11)}$$

$$\vec{F} = \frac{-k \frac{r_2}{d_2} q_2^2 \hat{r}}{\left(d_2 - \frac{r_2^2}{d_2}\right)^2} + \frac{k \left(q_1 + \frac{r_2 q_2}{d_2}\right) q_2 \hat{r}}{d_2^2} \quad \text{ב.} \quad \varphi_2(r_2) = \frac{kq_1}{r_2} + \frac{kq_2}{d_2} \quad \text{א. (12)}$$

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

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

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

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

מטעני הדמות הם:  $q' = -q \frac{R}{a}$  במיקום  $q' = q \frac{R}{a}$ ,  $b = \frac{R^2}{a}$  במרכז