

חשמל ומגנטיות

פרק 12 - מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית

תוכן העניינים

1	. עבودה ואנרגיה של הכוח החשמלי.....
3	. פוטנציאל ומתח
7	. פוטנציאל במוליכים
9	. תרגילים נוספים

עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי:

שאלות:

1) עבודה להביא מטען מהאינסוף

מהי העבודה הדורשיה להביא מטען $C_1 = 2 \cdot 10^{-6} C$ מהאינסוף למרחק $r = 50\text{cm}$ מטען $C_2 = 3 \cdot 10^{-6} C$ המקובע במקום?

2) מטען מגיע עם מהירות מהאינסוף

מטען $C_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ בעל מסה $Q_1 = 4 \cdot 10^{-5} \text{kg} = 10^{-3} \text{kg}$ נע מהאינסוף במהירות $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ כלפי מטען $C_2 = 5 \cdot 10^{-5} C$ המקובע במקום.

- מהו המרחק בו יעצור רגיעה המטען?
- מהי מהירות המטען כאשר מרחקו 100m ?

3) עבודה להרחק שני מטענים

חשב את העבודה הדורשיה להרחק שני מטענים: $C_1 = 3 \cdot 10^{-6} C$, $C_2 = -4 \cdot 10^{-6} C$ מרחק $r_1 = 20\text{cm}$ למרחק $r_2 = 40\text{cm}$.
בדוק האם הסימן הגיוני.

4) עבודה להכניס מטען לתוך קליפה טעונה

חשב את העבודה הדורשיה להביא מטען של $C_1 = 3 \cdot 10^{-5} C$ לתוך קליפה כדוריית ברדיוס $R = 0.8\text{m}$ הטעונה בצפיפות מטען משטחית $\sigma = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$.

5) עבודה של לוח אינסובי

מטען $C = 2 \cdot 10^{-6} C$ נמצא למרחק $d = 30\text{cm}$ מלוח אינסובי הטוען בצפיפות מטען ליחידה שטח $\sigma = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$.
חשב את העבודה הדורשיה להביא את המטען אל הלוח.

6) מטען זז בין שני לוחות

שני לוחות גדולים מאוד טעונים בצדדיוות מטען משטחיות הפוכות $\sigma = \pm 3 \cdot 10^{-3} \frac{C}{m^2}$.

המרחק בין הלוחות הוא $d = 5\text{cm}$.

מצא את העבודה הדרושה להעביר מטען של $c = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ מהלוח השמאלי אל הלוח החיובי. הזנה את השפעת המטען על השدة של הלוחות.

תשובות סופיות:

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

$$v_F \approx 6.32 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad r = 90\text{m} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\text{כ.}, W = 0.27\text{J} \quad (3)$$

$$W = 5.43 \cdot 10^3 - 0 \quad (4)$$

$$W = 170\text{J} \quad (5)$$

$$W = 33.9\text{J} \quad (6)$$

פוטנציאל ומתח:

שאלות:

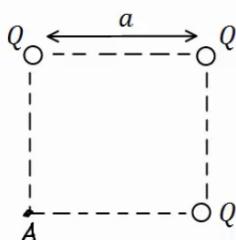
1) פוטנציאל שיוצר מטען בשתי נקודות

חשב את הפוטנציאל שיוצר המטען $c = 2 \cdot 10^{-6} C$ במרחק $r_1 = 0.8m$ ובמרחק $r_2 = 0.3m$ מהטען.

מהי העבודה הדרושים להזיז את המטען $c = 5 \cdot 10^{-6} C$ מהמרחק הראשון למרחק השני?

2) מטענים בפינות של ריבוע

בשלוש פינות של ריבוע קבועים שלושה מטענים זרים $c = 2 \cdot 10^{-5} C$.



אורך צלע הריבוע היה $a = 3cm$.

א. חשב את הפוטנציאל בפינה הימנית של הריבוע.

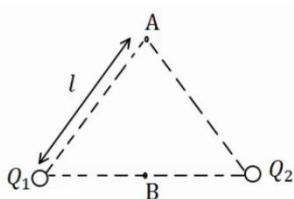
ב. חשב את הפוטנציאל במרכז הריבוע.

ג. חשב את העבודה הדרושים להזיז את המטען $c = 3 \cdot 10^{-6} C$ ממרכז הריבוע לנקודה הימנית.

3) שני מטענים על משולש שווה צלעות

שני מטענים זרים $c = Q_1 = Q_2 = 10^{-6} C$ נמצאים על קדקודיו של

משולש שווה צלעות בעל אורך צלע $l = 5cm$.



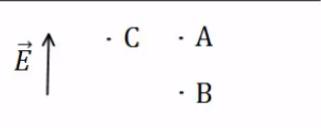
א. מצא את המתח בין הנקודה A הנמצאת בקדקוד השלישי של המשולש לבין הנקודה B הנמצאת במרכז הצלע.

ב. חשב את העבודה הדרושים להביא מטען של $c = 5 \cdot 10^{-6} C$ מקדקודו אלกลาง הצלע.

4) פוטנציאל בין לוחות

שני לוחות גדולים מאוד טעונים בטענים בעלי סימן הפוך.

ידוע כי כיוון השדה בין הלוחות הוא מהלך התתחתיו ללוח העליון.

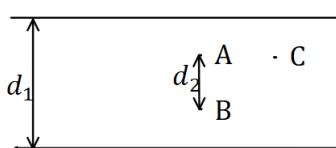


א. איזה מהלכות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?

ב. איזה מהלכות נמצא בפוטנציאל יותר גבוה?

ג. איזו מהנקודות A ו-B נמצאת בפוטנציאל יותר גבוה?

ד. איזה מהנקודות A ו-C, הנמצאות באותו גובה, נמצאת בפוטנציאל גבוה יותר?



שני לוחות גדולים מאוד נמצאים במרחק $d_1 = 40\text{cm}$ זה מזה. המתח בין הלוחות הוא $20V = \Delta V$ וידוע כי הלוח העליון נמצא בפוטנציאל גבוה יותר.

א. איזה מהלוחות טען בטען חיובי ואייזה בטען שלילי?

ב. מהו השדה בין הלוחות (גודלו וכיוונו)?

ג. מהו המתח V_{BA} אם ידוע שהמרחק בין הנקודות A ו-B הוא 5cm ?

ד. מהי העבודה הדרושים להזיז מטען $c = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ מ-A ל-B?

ה. מהי העבודה הדרושים להזיז מטען $c = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ מ-A ל-C - הנמצאת באותוגובה של A?

6) פוטנציאל של לוח ומטען נקודתי

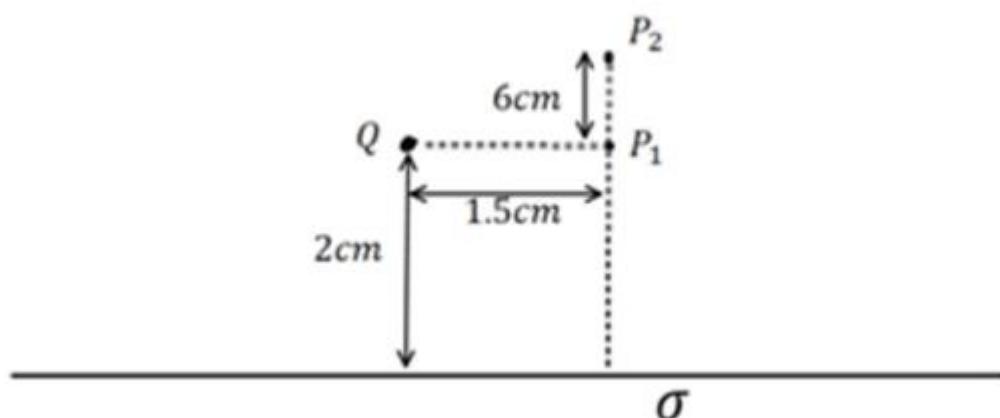
טען נקודתי $C = 3\mu\text{C}$ נמצא בגובה 2cm מעל לוח אינסופי הטעון בצפיפות

$$\text{אחידה: } \sigma = 8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

א. מצאו את הפוטנציאל בנקודות שבאיור (הניחו שהפוטנציאל של הלוח הוא אפס על הלוח).

ב. מהי העבודה הדרושים להזיז מטען $q = 10^{-10}\text{C}$ מ-P₁ ל-P₂.

הניחו שהטען Q והלוח אינם משנהים את מיקומם.



תשובות סופיות:

$$W = 18.75 \cdot 10^{-2} J \quad (1)$$

$$V_B = 25.46 \cdot 10^6 V \quad \text{ב.} \quad V_A = 16.24 \cdot 10^6 V \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$W = -27.65 J \quad \text{ג.}$$

$$W_{A \rightarrow B} = 1.8 J \quad \text{ב.} \quad V_{BA} = 3.6 \cdot 10^5 V \quad \text{א.} \quad (3)$$

(4) א. הלוֹח הטוען בטען חיובי נמצא למטה, והשלילי למעלה.

ב. התחtooן. ג. B ד. הפוטנציאל שווה.

(5) א. הלוֹח הטוען בטען חיובי נמצא למעלה, והשלילי למטה.

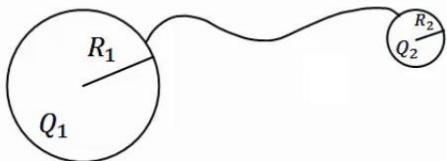
$$B = 50 \frac{N}{m} \quad g = 10 \frac{m}{s^2} \quad d = 2.5 \cdot 10^{-6} m \quad h = 5 \cdot 10^{-5} m \quad (6)$$

$$-16.35 \cdot 10^5 J \quad \text{ב.} \quad V(P_2) = -7.39 \cdot 10^5 V, V(P_1) = 8.96 \cdot 10^5 V \quad (6)$$

פוטנציאל במוליכים:

שאלות:

1) שני כדורים מוליכים מחוברים



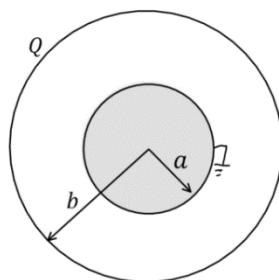
שני כדורים מוליכים בעלי רדיוסים R_1 , R_2 , נמצאים למרחק גדול מאוד אחד מהשני. הconductרים טעונים בטען Q_1 , Q_2 בהתאם. מחברים את הconductרים באמצעות חוט מוליך. מה יהיה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

2) מטען נקודתי במרכז קליפה מוארכת

טען נקודתי Q נמצא במרכזו של קליפה (חלולה) conductrice דקה ומוליכה ברדיוס R . מהו המטען על הקליפה אם ידוע שהיא מוארכת?

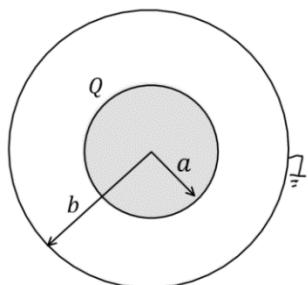
3) כדור בתוך קליפה

קליפה conductrice מוליכה ודקה בעלת רדיוס b טעונה בטען Q . במרכז הקליפה נמצא כדור מוליך בעל רדיוס a המוארך לאדמה. א. מהו המטען על הconductור?



כעת הconductור טוען בטען Q (ואינו מוארכ), והקליפה החיצונית מוארכת.

ב. מהו מטעןה של הקליפה המוארכת?



תשובות סופיות:

$$q_1 = (Q_2 + Q_1) \frac{R_1}{R_1 + R_2} , q_2 = (Q_2 + Q_1) \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$q = Q \quad (2)$$

$$-Q \quad \text{ב.} \quad -\frac{a}{b}Q \quad \text{א.} \quad (3)$$

תרגילים נוספים:

שאלות:

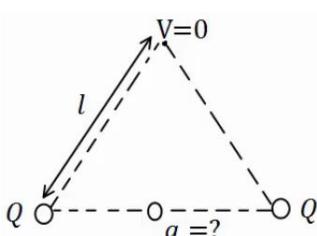
1) אנרגיה חשמלית של מערכת

מצא את האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של שני מטענים זוהים: $c^{-6} \cdot 10 = Q_1 = Q_2$ ס"מ זה מזה.

2) מטענים בפינות ריבוע

באربעת הפינות של ריבוע בעל צלע $a = 0.5m$ ישנו מטען זהים שגודלם הוא: c^{-7} .

- א. מהי העבודה הדרושים לבניית המערכת?
- ב. מהו הפוטנציאלי נקודת הנמצאת במרכז אחד מצלעות הריבוע?
- ג. מהי העבודה הדרושים להבאת מטען $c^{-8} \cdot 10 = q$ לנקודת מסעיף ב'?
- ד. מהי האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של המערכת לאחר סעיף ג'?



3) מטען שמאפס פוטנציאל בקודקוד

בשני קודקודיו של משולש שווה צלעות נמצאים מטענים זהים שגודלם הוא: $c^{-5} \cdot 10 = Q$.

טען נוסף, q , מונח במרכז הצלע שביניהם. אורך הצלע של המשולש הוא: $l = 20cm$.

- א. מצא את גודלו של המטען q כך שהפוטנציאלי בקודקוד השלישי יתאפשר.
- ב. חזר על סעיף א' אם המטען q נמצא במרכז הצלע אחרית המשולש.

4) פוטנציאל בנקודת מסויימת

בנקודת מסויימת קיים פוטנציאל של $V = 15V$.

- א. מהי העבודה להביא מטען שגודלו $1c$ מהתאוסף לנקודת זו?
- ב. מהי העבודה הדרושים להביא מטען של $c^{-6} \cdot 10 = Q$ לנקודת זו?
- ג. מהי העבודה הדרושים להביא מטען של $c^{-6} \cdot 10 = Q$ מפוטנציאל של $V = 5V$ לנקודת זו?
- ד. מהי העבודה הדרושים להביא מטען של $c^{-6} \cdot 10 = Q$ מנקודת זו לפוטנציאל של $V = 10V$?

5) עבודה לא תלوية במסלול

טען נקודתי $Q_1 = 10^{-5} C$ ממוקם בראשית הציר.

טען נקודתי נוסף $Q_2 = 2 \cdot 10^{-5} C$ ממוקם ב- $(0.8m, 0)$.

א. מצא את הפוטנציאל בנקודות: A(1.5m, 0), B(1.5m, 1m), C(0.8m, 1m).

ב. מהי העבודה הדרישה להעביר את המטען $c = 3 \cdot 10^{-6} C$ מנקודה A ל-B?

ג. מהי העבודה הדרישה להעביר את אותוטען מנקודה B אל נקודה C?

ד. מהי העבודה הדרישה להעביר את אותוטען מנקודה A לנקודה C, דרך הקו הישר בין הנקודות?

6)ALKTRON מואץ בהפרש פוטנציאליים

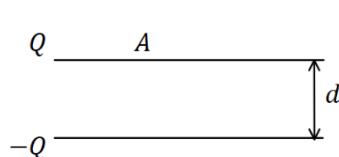
ALKTRON מואץ בהפרש פוטנציאליים של 700V.

הALKTRON מתחילה תנועתו ממנוחה.

א. מהו ההפרש בין האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של האALKTRON בתחילת התנועה לסוף התנועה, ביחידות של ALKTRON וולט וביחידות של גיאול?

ב. מהי מהירות האALKTRON בסוף התהליך?

$$q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} C, m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} kg$$



שני לוחות גדולים בעלי שטח $A = 2m^2$ נמצאים

במרחק $d = 10cm$ אחד מהשני.

טוענים את אחד הלוחות בטען $c = 6 \cdot 10^{-3} C$, $Q = 6 \cdot 10^{-3} C$,

ואת הלוח השני בטען זהה והפוך בסימנו.

א. חשב את צפיפות המטען לייחידת שטח על כל לוח.

ב. מהו השדה בין הלוחות?

ג. מהו המתח בין הלוחות?

ד. פרוטון משוחרר ממנוחה קרוב מאוד ללוח החיבוי.

מהי מהירות הפרוטון בהגיעו ללוח השלילי?

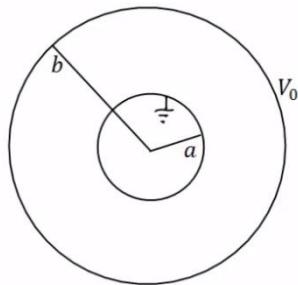
$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C, m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$$

8) פוטנציאל של כדור מוליך

כדור מוליך שרדיווס $R = 20cm$ טוען בטען $c = 3 \cdot 10^{-6} C$.

א. מהו השדה החשמלי במרחק $r_1 = 25cm$ וברחק $r_2 = 15cm$ ממרכזו הcéדור?

ב. מהו הפוטנציאל באותם מרחקים?

**9) מטענים על קליפות**

במערכת הבאה ישנים שתי קליפות כדוריות מוליכות, דקotas, ברדיוסים b , a . הקליפה החיצונית מוחזקת במתוח V_0 והקליפה הפנימית מוארקת. השתמש בפוטנציאלי של קליפה כדורית בודדת ובעקרון הסופרפוזיציה וחשב את המטען על כל קליפה.

10) מתוח בין שני כדורים מוליכים

שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים: $R_2 = 1.4\text{m}$ ו- $R_1 = 1\text{m}$ ו- $c = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ ו- $Q_2 = 6 \cdot 10^{-6}\text{C}$.

- מהו הפרש הפוטנציאליים בין שפות ה כדורים, אם הם מרוחקים מאוד זה מזה.
- מהו הפרש הפוטנציאליים בין שתי הנקודות הכproximal של ה כדורים, אם המרחק בין מרכזיהם הוא $d = 5\text{m}$. הנח שהתפלגות המטען על כל כדור עדין אחת.

11) שני מטענים מתרחקים

שני גופים בעלי מסות $m_2 = 60\text{gr}$ ו- $m_1 = 20\text{gr}$ ו- $c = 6 \cdot 10^{-6}\text{C}$ ו- $Q_2 = 6 \cdot 10^{-6}\text{C}$ נמצאים במרחק $r_1 = 80\text{cm}$ זה מזה, ובמנוחה.

- מה תהיה מהירות הגוף הראשון כאשר המרחק ביניהם הוא $r_2 = 1.2\text{m}$?
- מה תהיה מהירות הגוף השני לאחר זמן רב מאד?

12) שני מטענים מתרחקים וمتקרבים
 שני גופים בעלי מסות $m_2 = 50\text{gr}$ ו- $m_1 = 25\text{gr}$ ו- $c = 4 \cdot 10^{-6}\text{C}$ ו- $Q_1 = -5 \cdot 10^{-6}\text{C}$ נמצאים במרחק $r_1 = 1\text{m}$ זה מזה.

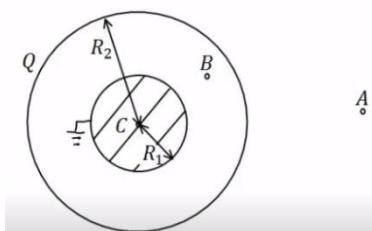
ל גופים מהירות ההתחלתית כך שאחד מתרחק מהשני.

$$\text{גודל מהירות ההתחלתית של שני הגוףים הוא } v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

- מה תהיה מהירות הגוף הראשון כאשר המרחק ביניהם הוא $r_2 = 5\text{m}$?
- מהו המינימאלי עבورو הגוף השני לא יפגש לעולם?
- כעת נניח כי $v_0 = 0$ שווה לחצי מהערך שחייבת בסעיף ב'.
- מהו המרחק המקסימאלי אליו יוכל להגיע הגוף?
- מצא את מהירות הגוף הראשון כאשר $r_3 = 0.5\text{m}$.

13) 1000 טיפות שמן

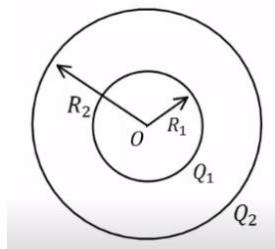
1000 טיפות שמן זהות טענות במטען זהה וنمוצאות בפוטנציאל זהה V_1 .
 הטיפות מתחברות לティפה אחת גדולה. מהו הפוטנציאלי של הטיפה הגדולה (V_2 נתון)?
 רמז: ניתן להתייחס לכל טיפה ככדור מוליך.

14) כדור מוליך מוארך בתוך קליפה כדורית

כדור מוליך ברדיוס $R_1 = 5\text{cm}$. נמצא בתוך
 ובמרכזו של קליפה כדורית דקה.
 רדיוס הקליפה הוא: $R_2 = 10\text{cm}$. והמטען עלייה
 הוא: $c = 10^{-7}\text{C}$. מאריכים את הכדור.
 א. מצא את המטען על שפת הכדור.

ב. מהו הפוטנציאלי בנקודות: $r_A = 20\text{cm}$, $r_B = 7\text{cm}$, $r_C = 0$?

ג. מהי העבודה הדורשת להזיז את המטען c מ- r_A ל- r_C ?

**15) שתי קליפות קוונטריות מחוברות בחוט**

קליפה כדורית (כדור חלול) שהרדיוס שלו R_1 נמצאת
 בתוך קליפה כדורית שהרדיוס שלה R_2 , ולשתי הקליפות
 מרכז משותף O (ראה תרשים). הקליפה הפנימית טעונה
 במטען חשמלי חיובי Q_1 , והקליפה החיצונית טעונה
 במטען חשמלי חיובי Q_2 . שתי הקליפות עשויות מחומר מוליך.
 א. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הגודל של השدة החשמלי לשתי
 הקליפות יוצרות בכל אחת מהנקודות הבאות:

i. הנקודה O.

ii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה הפנימית, אך קרובה אליה מאוד,
 מרחקה מ-O ייחשב ל- R_1 .

iii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה החיצונית, אך קרובה אליה מאוד,
 מרחקה מ-O ייחשב ל- R_2 .

ב. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הפוטנציאלי החשמלי הכלול לשתי
 הקליפות יוצרות בכל אחת משלוש הנקודות הבאות:

i. הנקודה O.

ii. נקודה על פני הקליפה הפנימית.

iii. נקודה על פני הקליפה החיצונית.

ג. מחברים את שתי הקליפות באמצעות תיל מוליך דק שהתנגדותו זניחה,
 ולכן חלקיקים טעונים יכולים לעבור ביניהן.

בטא, באמצעות נתוני השאלה, את המטען החשמלי על כל אחת משתי
 הקליפות לאחר שנפסק הזרם בתיל.

16) כדור טעון מבודד מול מישור טעון מבודד*

כדור בעל רדיוס $R = 3\text{m}$, מבודד מבחינה חשמלית, טעון על פניו בצפיפות מטען

$$\text{אחידה: } \sigma_1 = 5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \text{ במרחק } d = 6\text{m} \text{ ממרכזו הבודד נמצא משטח מישורי}$$

$$\text{גדול מבודד, הטעון בצפיפות מטען אחידה: } \sigma_2 = 15 \cdot 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

הנקודות P_1 ו- P_2 שבציוור נמצאות מחוץ לכדור, אך קרוב מאוד לשפטו. הישר המחבר את הנקודות P_3 ו- P_4 ניצב למשטח ומרוחק $D = 4\text{m}$ ממרכזו הבודד. הנקודה P_1 ו- P_3 נמצאות היא נקודה מימין למשטח, אך מאוד קרובה אליו. הנקודות P_1 ו- P_3 נמצאות בדיקות מעלה מרכזו הבודד. לעזרתכם: שטח פנים של כדור בעל רדיוס R נתון ע"י $4\pi R^2$.

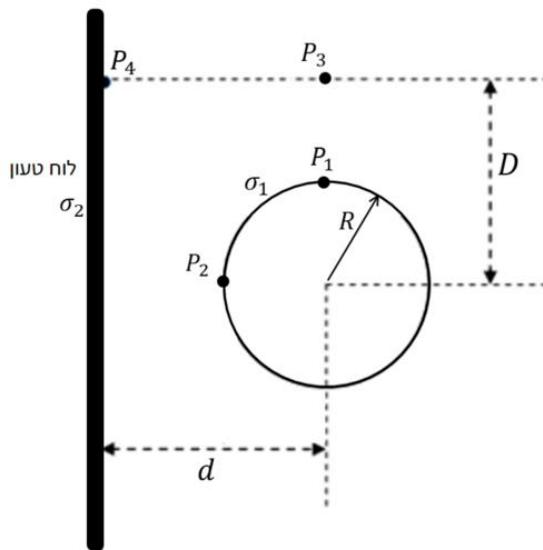
א. מה ערכו של השדה החשמלי השקול בנקודה P_2 ?

ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות P_1 ו- P_2 בהתאם?

ג. מטען קטן: $q = 10^{-9}\text{C}$ נמצא בנקודה P_3 .

מהו ערכו של הכוח החשמלי הפועל על המטען בנקודה זו?

ד. מהי העבודה הדרישה, כדי להעביר את q מהנקודה P_3 לנקודה P_1 ?

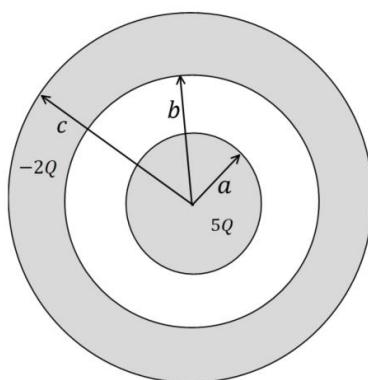


17) כדור בתוך קליפה מוליכה עבה**

כדור מוליך בעל רדיוס a טוען בטען חיובי Q ונמצא בתוך קליפה כדורית מולlica בעלת רדיוס פנימי b ורדיוס חיצוני c , הטעונה בטען $-2Q$.

לכדור ולקליפה הגדורית יש מרכז משותף.

- מהו המטען על השפה הפנימית ($b = r$) והחיצונית ($c = r$) של הקליפה הגדורית?
- מהו הפוטנציאלי החסמי על השפה הפנימית ($b = r$) והחיצונית ($c = r$) של הקליפה הגדורית? הניחו שהפוטנציאלי באינסוף הוא אפס.
- מהו הפוטנציאלי החסמי במרכז הכדור ($r = 0$)?



תשובות סופיות:

$$U \approx 0.101J \quad (1)$$

$$W \approx 6.25 \cdot 10^{-4} J \quad \text{ג.} \quad V_A = 20.84 \cdot 10^3 V \quad \text{ב.} \quad W \approx 3.9 \cdot 10^{-3} J \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$W = 4.53 \cdot 10^{-3} J \quad \text{ט}$$

$$q = -2 \cdot 10^{-5} C \quad \text{ב.} \quad q = -3.46 \cdot 10^{-5} C \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$W = -3 \cdot 10^{-5} J \quad \text{ג.} \quad W = 3 \cdot 10^{-7} J \quad \text{ב.} \quad W = 15 J \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$W = -10^{-5} J \quad \text{ט}$$

$$V_A = 3.17 \cdot 10^5 V, V_B \approx 1.97 \cdot 10^5 V, V_C = 2.5 \cdot 10^5 V \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$W_{AC} = -2.01 \cdot 10^{-1} J \quad \text{ט} \quad W_{B \rightarrow C} = 1.59 \cdot 10^{-1} J \quad \text{ג.} \quad W_{AB} = -3.6 \cdot 10^{-1} J \quad \text{ב.}$$

$$V_F \approx 1.02 \cdot 10^7 \frac{m}{sec} \quad \text{ב.} \quad \Delta U = -300 eV / = 4.8 \cdot 10^{-17} J \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$V = 3.39 \cdot 10^4 V \quad \text{ג.} \quad E \approx 3.39 \cdot 10^5 \frac{N}{C} \cdot \text{ב.} \quad \sigma = 3 \cdot 10^{-6} \frac{C}{m^2} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$v = 2.55 \cdot 10^6 \frac{m}{sec} \quad \text{ט}$$

$$E(r_1) = 4.32 \cdot 10^5 \frac{N}{C}, E(r_2) = 0 \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$V(r_1) = 1.08 \cdot 10^5 V, V(r_2) = 1.35 \cdot 10^5 V \quad \text{ב.}$$

$$q_1 = \frac{bv_0}{k} \cdot \frac{a}{(a-b)}, q_2 = -\frac{bv_0}{ka} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) \quad (9)$$

$$V_{ba} = 7.6 \cdot 10^3 V \quad \text{ב.} \quad V_{21} \approx 2.06 \cdot 10^4 V \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$u_2 = 1.06 \frac{m}{sec}, u_1 = -3.18 \frac{m}{sec} \quad \text{ב.} \quad u_1 \approx -1.84 \frac{m}{sec}, u_2 = 0.612 \frac{m}{sec} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$u_1 = -7.96 \frac{m}{sec}, u_2 = 1.48 \frac{m}{sec} / u_1 = 4.62 \frac{m}{sec}, u_2 = -4.81 \frac{m}{sec} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$u_1 = -3.79 \frac{m}{sec}, u_2 = 1.35 \frac{m}{sec} \quad \text{ט} \quad r_{max} = 1.29 m \quad \text{ג.} \quad v_{0_{min}} \approx 2.18 \frac{m}{sec} \quad \text{ב.}$$

$$V_{1000} = 100 V_1 \quad (13)$$

$$V_A = 6.75 \cdot 10^3 V, V_B \approx 7.71 \cdot 10^3 V, V_C = 0 \quad \text{ב.} \quad q = -1.5 \cdot 10^{-7} C \quad \text{א.} \quad (14)$$

$$W_{A \rightarrow C} = -6.75 \cdot 10^{-7} J \quad \text{ג.}$$

$$E_T = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2^2} \quad \text{iii} \quad E_T = \frac{kQ_1}{R_1^2} \quad \text{ii} \quad E_T = 0 \quad \text{i.e.} \quad (15)$$

$$V_T(R_2) = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2} \quad \text{iii} \quad V_T(R_1) = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2} \quad \text{ii} \quad V_T = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2} \quad \text{ב.}$$

$$q_1' = 0, q_2' = Q_1 + Q_2 \quad \text{ג.}$$

$$810\pi V \text{ ב.ב.} \quad 90 \cdot \pi \frac{N}{C} \hat{x} \text{ נ.א. (16)}$$

$$-3.375 \cdot 10^{-6} J \text{ נ.ז.} \quad 270 \cdot \pi \cdot 10^{-9} N \hat{x} + 101 \cdot \pi \cdot 10^{-9} N \hat{y} \text{ נ.ג.}$$

$$V(b) = V(c) = \frac{3KQ}{c} \text{ נ.ב.} \quad q(r=c) = 3Q, \quad q(r=b) = -5Q \text{ נ.א. (17)}$$

$$\frac{5KQ}{a} - \frac{5KQ}{b} + \frac{3KQ}{c} \text{ נ.ג.}$$