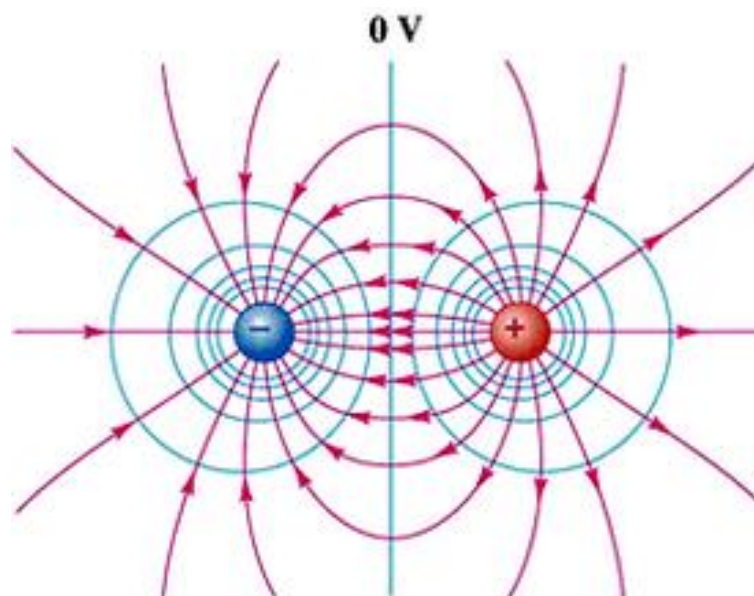


אלקטרודינמיקה

מתח חשמלי

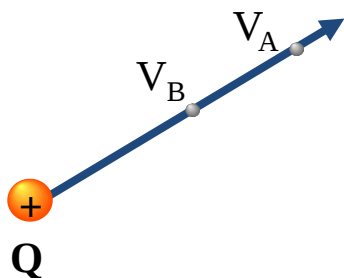


- ◀ מהו מתח חשמלי
- ◀ הקשר בין המתח לשדה חשמלי
- ◀ הקשר בין קווי שדה לקווי פוטנציאל
- ◀ חיבור כדורים מוליכים טעונים
- ◀ הארקה

למדנו כי מקובל לאפיין את המצב החשמלי של כל נקודה בשדה החשמלי במרחב על ידי האנרגיה החשמלית בנקודה זו ליחידת מטען. גודל זה נקרא פוטנציאל חשמלי.

$$V_A = \frac{U_E}{q}$$

ההפרש בין הפוטנציאלים של שתי נקודות נתונות נקרא **מתח חשמלי**.
את המתח בין נקודות A ל-B נסמן כך:



$$V_{AB} = V_B - V_A$$

מהגדרת הפוטנציאל נובע כי המתח החשמלי בין A ל-B הוא העבודה של הכוח החיצוני, הכרוכה בהעתקת יחידת מטען חיובי מ-A ל-B.

עבור מטען כלשהו q נקבל:

$$W = q \cdot V_{AB} = q \cdot (V_B - V_A)$$

מהגדרת הפרש הפוטנציאלים (למעלה) נובע כי:

$$V_{AB} = -V_{BA}$$

המסקנה מכך היא: עבודת הכוח החיצוני, הכרוכה בהעברת המטען מ-B ל-A, הפוכה בסימנה מזו הכרוכה בהעברת אותו מטען מ-A ל-B.

הקשר בין המתח לשדה חשמלי קבוע (1)

נראה כעת מה הקשר בין המתח לבין השדה החשמלי במקרה פשוט, כשהשדה החשמלי קבוע (אחיד).
בהעתקת מטען q מ-A ל-B לאורך קטע שאורכו x , העבודה שמתבצעת על ידי כוח חיצוני שווה ל:

$$W_{Ex} = q \cdot V_{AB} = q \cdot (V_B - V_A)$$

מתקיים $W_E = -W_{ext}$, לכן הכוח שמבצע השדה שווה ל:

$$W_E = -q \cdot (V_B - V_A) = -q \cdot V_{AB}$$

משמעות סימן המינוס היא, שכאשר מתקדמים בכיוון השדה, הפוטנציאל הולך וקטן.

$$W_E = F_E \cdot x = q \cdot E \cdot x = -q \cdot V_{AB}$$

$$E = -\frac{V_{AB}}{x}$$

הקשר בין המתח לשדה חשמלי קבוע (2)

◀ נשים לב: מתוך שתי הנוסחאות לשדה חשמלי שקיבלנו, מתקבלות כביכול יחידות שונות, אך אפשר להראות כי הן למעשה זהות.

$$E = \frac{V_{AB}}{x} \rightarrow \left[\frac{V}{m} \right]$$

$$E = \frac{F}{q} \rightarrow \left[\frac{N}{C} \right]$$

$$\left[\frac{V}{m} \right] = \left[\frac{j}{C \cdot m} \right] = \left[\frac{N \cdot m}{C \cdot m} \right] = \left[\frac{N}{C} \right]$$

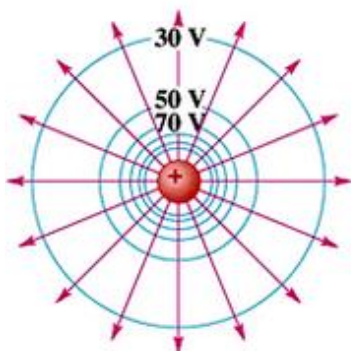
- ◀ כאשר השדה החשמלי מבוטא באמצעות הפוטנציאל עדיף להשתמש ביחידות V/m , וכאשר הוא מבוטא באמצעות הכוח עדיף להשתמש ביחידות N/C .
- ◀ כאשר השדה איננו קבוע, קיים קשר מורכב יותר בינו לבין המתח (אותו לא נתאר בשלב זה).
- ◀ כיוון השדה הוא תמיד מהפוטנציאל הגבוה לפוטנציאל הנמוך.

תיאור חזותי של השדה והפוטנציאל החשמלי

כבר ראינו, שננוח לתאר את השדה החשמלי באמצעות קווי שדה. באופן דומה, נוכל לתאר את הפוטנציאל באמצעות קווים שווים-פוטנציאל. קו שווה-פוטנציאל מאופיין בכך שכל נקודותיו מצויות באזור במרחב שבו הפוטנציאל שווה.

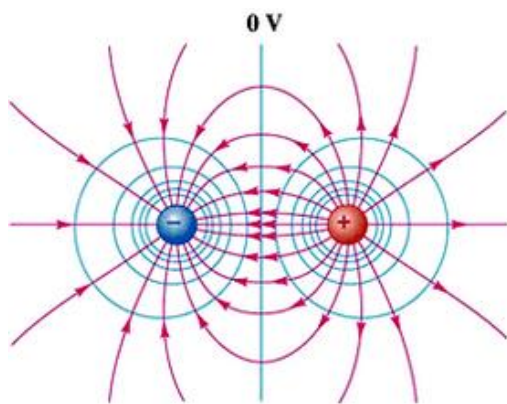
העתקת מטען לאורך קו שווה-פוטנציאל איננה כרוכה בביצוע עבודה,

מכיוון שהפרש הפוטנציאלים לאורכו הוא 0.



הנה לדוגמא:

קווי שדה (באדום) ומשטחים (מרחביים) שווים-פוטנציאל (בתכלת) סביב מטען נקודתי חיובי.



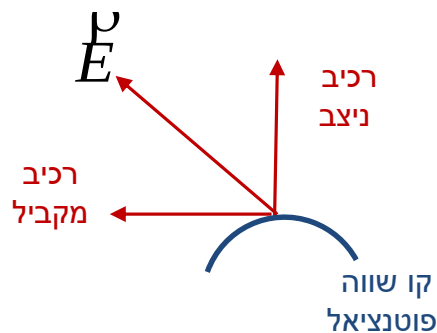
קווי שדה ומשטחים שווים-פוטנציאל של שני מטענים שווים ומנוגדי סימן. כל נקודה במרחב מושפעת משני המטענים. הקווים שווים-הפוטנציאל (בתכלת) אינם מעגלים.

הכיוון של קו שדה בנקודה מסוימת, הנמצאת על קו שווה-פוטנציאל,

ניצב תמיד לקו שווה-הפוטנציאל בנקודה הנדונה.

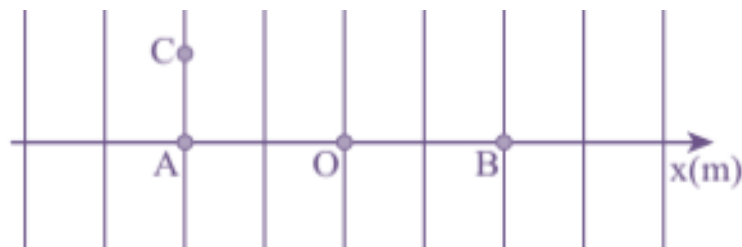
נוכיח בדרך השלילה:

נניח כי קו השדה איננו ניצב לקו שווה-הפוטנציאל, אלא יוצר ביחס אליו זווית שונה מ- 90° . במקרה כזה ניתן לפרק את השדה E לשני רכיבים, ויתקבל רכיב (כוח) הפועל בכיוון משיק לקו השווה פוטנציאל.



המשמעות היא שיש תנועה של מטענים בגלל הבדל פוטנציאלים, וזו כמובן סתירה להנחה שהקו שווה פוטנציאל.

המסקנה: לא ייתכן רכיב שדה מקביל לקו שווה-פוטנציאל בכל נקודה עליו.



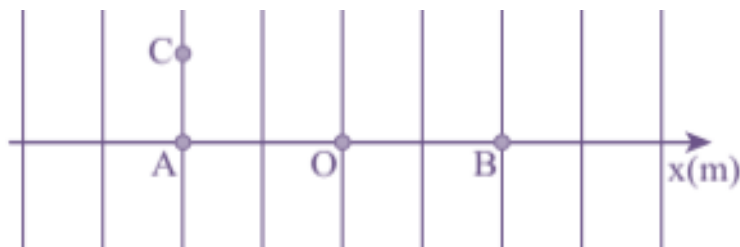
התרשים שלפניכם מתאר חתך של משטחים שווי פוטנציאל באזור שבו שורר שדה חשמלי אחיד.

נתונות שלוש נקודות, A, B ו-C. נקודות A ו-B נמצאות על ציר ה-x, שראשיתו בנקודה O. נתון: $x_A = -0.8 \text{ m}$, $x_B = +0.8 \text{ m}$, $x_C = -0.8 \text{ m}$, $V_A = -0.45 \text{ V}$, והפוטנציאל החשמלי בנקודה B הוא: $V_B = -0.90 \text{ V}$.
א. הפרש הפוטנציאלים בין נקודה כלשהי M לנקודה N מוגדר כך: $V_M - V_N$. חשבו את הפרש הפוטנציאלים:

(1) בין נקודה B לנקודה A

(2) בין נקודה C לנקודה A

(3) בין נקודה B לנקודה C



התרשים שלפניכם מתאר חתך של משטחים שווי פוטנציאל באזור שבו שורר שדה חשמלי אחיד.

נתון:

$$x_A = -0.8 \text{ m} , x_B = +0.8 \text{ m} , x_C = -0.8 \text{ m}$$

$$V_B = -0.90 \text{ V} , V_A = -0.45 \text{ V}$$

א.

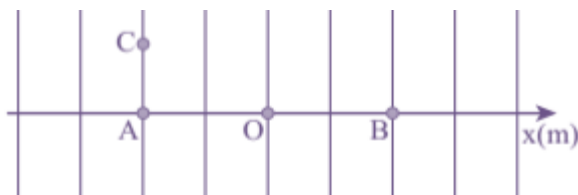
(1) הפרש הפוטנציאלים בין B ל-A:

$$V_B - V_A = -0.90 - (-0.45) = -0.45 \text{ V}$$

(2) הנקודות C ו-A נמצאות על פני אותו משטח שווה פוטנציאל, לכן הפרש הפוטנציאלים ביניהן הוא אפס.

(3) הפרש הפוטנציאלים בין B ל-C:

$$V_B - V_C = V_B - V_A = -0.45 \text{ V}$$



התרשים שלפניך מתאר חתך של משטחים שווי פוטנציאל באזור שבו שורר שדה חשמלי אחיד.

נתון:

$$x_A = -0.8 \text{ m} , x_B = +0.8 \text{ m} , x_C = -0.8 \text{ m}$$

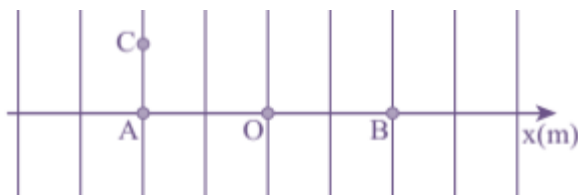
$$V_B = -0.90 \text{ V} , V_A = -0.45 \text{ V}$$

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta x}$$

הקשר בין עוצמת שדה חשמלי אחיד לבין הפרש הפוטנציאלים שבין שתי נקודות הנמצאות בתוכו מוגדר כך:

ב. (1) ציינו את כיוון השדה החשמלי באזור המתואר. נמק.

(2) חשבו את עוצמת השדה החשמלי באזור המתואר.



התרשים שלפניך מתאר חתך של משטחים שווי פוטנציאל באזור שבו שורר שדה חשמלי אחיד.

נתון:

$$x_A = -0.8 \text{ m} , x_B = +0.8 \text{ m} , x_C = -0.8 \text{ m}$$

$$V_B = -0.90 \text{ V} , V_A = -0.45 \text{ V}$$

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta x}$$

הקשר בין עוצמת שדה חשמלי אחיד לבין הפרש הפוטנציאלים שבין שתי נקודות הנמצאות בתוכו מוגדר כך:

ב. (1) השדה באזור המתואר מכוון ימינה. נבחר למשל בנקודות A ו-B:

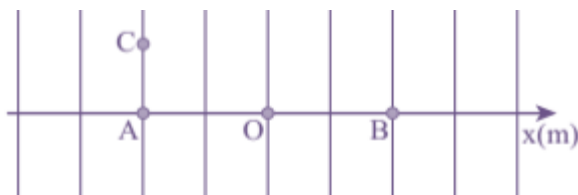
$$V_B - V_A < 0$$

$$x_B - x_A > 0$$

כלומר השדה E בכיוון החיובי של ציר ה-x, כלומר ימינה.

ב. (2) עוצמת השדה:

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta x} = -\frac{V_B - V_A}{x_B - x_A} = -\frac{-0.9 - (-0.45)}{0.8 - (-0.8)} = 0.281 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$



התרשים שלפניך מתאר חתך של משטחים שווי פוטנציאל באזור שבו שורר שדה חשמלי אחיד.

נתון:

$$x_A = -0.8 \text{ m} , x_B = +0.8 \text{ m} , x_C = -0.8 \text{ m}$$

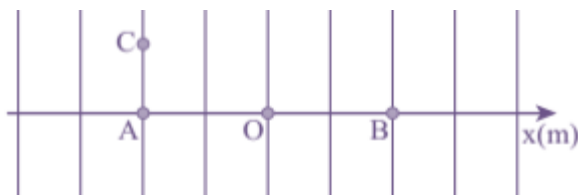
$$V_B = -0.90 \text{ V} , V_A = -0.45 \text{ V}$$

ברגע $t = 0$ משחררים חלקיק טעון שהוחזק במנוחה בראשית הציר. החלקיק נע בכיוון החיובי של ציר ה- x .

ג. קבעו אם מטען החלקיק הוא חיובי או שלילי. נמקו את קביעתכם.

ד. נתון שגודל המטען של החלקיק $q = 2 \cdot 10^{-12} \text{ C}$. חשבו את עבודת השדה על החלקיק במעבר מנקודה A לנקודה B.

תרגיל 1- סעיף ג+ד, פתרון



התרשים שלפניך מתאר חתך של משטחים שווי פוטנציאל באזור שבו שורר שדה חשמלי אחיד.

נתון:

$$x_A = -0.8 \text{ m} , x_B = +0.8 \text{ m} , x_C = -0.8 \text{ m}$$

$$V_B = -0.90 \text{ V} , V_A = -0.45 \text{ V}$$

ברגע $t = 0$ משחררים חלקיק טעון שהוחזק במנוחה בראשית הציר. החלקיק נע בכיוון החיובי של ציר ה- x .

ג. קבעו אם מטען החלקיק הוא חיובי או שלילי. נמקו את קביעתכם.

גם כיוון השדה וגם כיוון תנועת החלקיק הם ימינה, כלומר הכוח פועל על החלקיק ימינה.

כיוון שדה חשמלי מוגדר ככיוון הכוח הפועל על מטען חיובי, מכאן שהסימן האלגברי של המטען הוא חיובי.

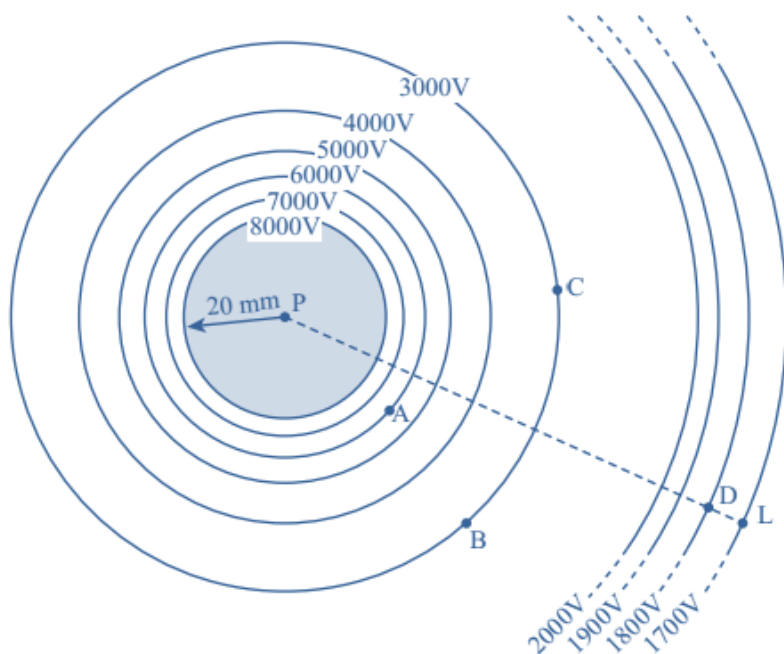
ד. נתון שגודל המטען של החלקיק $q = 2 \cdot 10^{-12} \text{ C}$. חשבו את עבודת השדה על החלקיק במעבר מנקודה A לנקודה B.

$$W_{A \rightarrow B} = q \cdot (V_A - V_B) = 2 \cdot 10^{-12} \cdot [(-0.45) - (-0.9)] = 0.9 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

בתרשים שלפניך מוצגים כדור מוליך טעון וכמה קווים שווי-פוטנציאל. רדיוס הכדור הוא 20mm, והפוטנציאל על פניו הוא 8000V. ליד כל קו רשום הפוטנציאל המתאים לו. הפוטנציאל באין-סוף נבחר כאפס.

א. (1) האם המטען על פני הכדור חיובי או שלילי? נמק.

(2) חשבו את המטען על פני הכדור.



ב. חשבו את עבודת השדה החשמלי, כאשר חלקיק נקודתי טעון

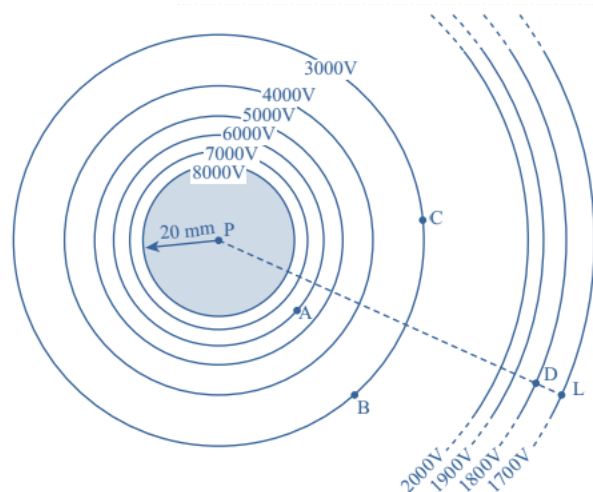
במטען $2 \cdot 10^{-9} \text{C}$ מועבר מנקודה A לנקודה C באופן זה:

תחילה מ-A ל-B, ולאחר מכן מ-B ל-C. הסבירו.

הניחו שאפשר להתייחס אל השדה החשמלי בין הקווים

1700V ו-1800V כאל שדה שגודלו קבוע.

תרגיל 2- סעיפים א, ב- פתרון



בתרשים שלפניך מוצגים כדור מוליך טעון וכמה קווים שווי-פוטנציאל.

רדיוס הכדור הוא 20mm, והפוטנציאל על פניו הוא 8000V.

ליד כל קו רשום הפוטנציאל המתאים לו. הפוטנציאל באין-סוף נבחר כאפס.

א. (1) המטען על פני הכדור הוא חיובי כי הפוטנציאל חיובי.

(2) המטען על פני הכדור:

$$V = k \frac{q}{r} \Rightarrow q = \frac{V \cdot r}{k} = \frac{8000 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^9} = 1.78 \cdot 10^{-8} C$$

ב.

פתרון בדרך א:

$$W_{A \rightarrow B} = q_1 \cdot (V_A - V_B) = 2 \cdot 10^{-9} \cdot (6000 - 3000) = 6 \cdot 10^{-6} J$$

עבודת השדה כאשר המטען מועבר מנקודה B ל-C שווה לאפס כי הפרש הפוטנציאלים בין שתי הנקודות שווה לאפס. מכאן:

$$W_{A \rightarrow C} = W_{A \rightarrow B} = 6 \cdot 10^{-6} J$$

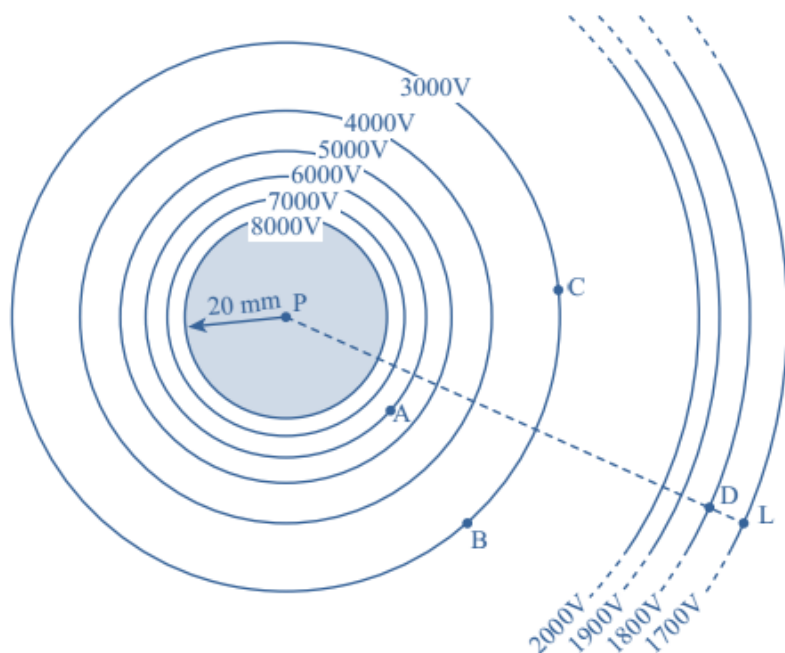
פתרון בדרך ב:

הכוח החשמלי הוא משמר, לכן עבודתו אינה תלויה במסלול.

עבודה השדה מ-A ל-B ואחר-כך ל-C שווה לעבודה השדה מ-A ל-C.

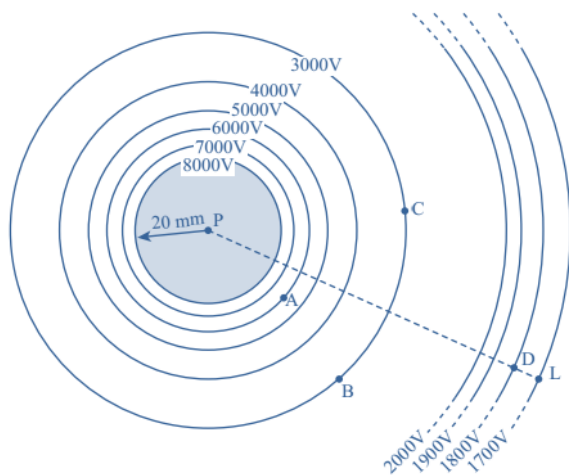
$$W_{A \rightarrow C} = q_1 \cdot (V_A - V_B) = 2 \cdot 10^{-9} \cdot (6000 - 3000) = 6 \cdot 10^{-6} J$$

בתרשים שלפניך מוצגים כדור מוליך טעון וכמה קווים שווי-פוטנציאל. רדיוס הכדור הוא 20mm, והפוטנציאל על פניו הוא 8000V. ליד כל קו רשום הפוטנציאל המתאים לו. הפוטנציאל באין-סוף נבחר כאפס.



- ג. 1) חשבו את עבודת השדה החשמלי כאשר חלקיק נקודתי שמטענו $1 \cdot 10^{-9} \text{C}$ מועבר מנקודה L לנקודה D.
- 2) חשבו את הגודל של הכוח החשמלי הפועל על החלקיק שמטענו $1 \cdot 10^{-9} \text{C}$ כאשר הוא מועבר מנקודה לנקודה D.

בתרשים שלפניך מוצגים כדור מוליך טעון וכמה קווים שווי-פוטנציאל. רדיוס הכדור הוא 20mm, והפוטנציאל על פניו הוא 8000V. ליד כל קו רשום הפוטנציאל המתאים לו. הפוטנציאל באין-סוף נבחר כאפס.



ג. 1) חשבו את עבודת השדה החשמלי כאשר חלקיק נקודתי שמטענו $1 \cdot 10^{-9} \text{C}$ מועבר מנקודה L לנקודה D.

$$W_{L \rightarrow D} = q_2 \cdot (V_L - V_D) = 1 \cdot 10^{-9} \cdot (1700 - 1800) = -10^{-7} \text{ J}$$

התקבלה עבודה שלילית, מכיוון שהשדה מפעיל על המטען q_1 כוח דחייה (מ-D ל-L), המנוגד לכיוון התנועה.

2) חשבו את הגודל של הכוח החשמלי, הפועל על חלקיק שמטענו $1 \cdot 10^{-9} \text{C}$, כאשר הוא מועבר מנקודה L לנקודה D.

הביטוי למרחק נקודה ממרכז הכדור:

$$V = k \frac{q}{r} \Rightarrow r = k \frac{q}{V} \quad r_L = k \cdot \frac{q}{V_L} \quad r_D = k \cdot \frac{q}{V_D}$$

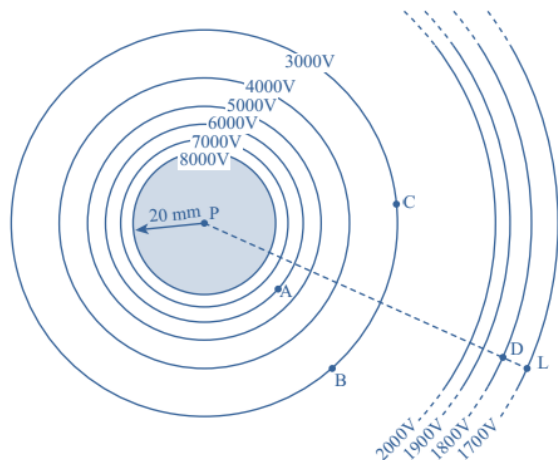
נחשב את הפרש המרחקים של שתי הנקודות ממרכז הכדור:

$$\Delta r = r_L - r_D = k \frac{q}{V_L} - k \frac{q}{V_D} = kq \left(\frac{1}{V_L} - \frac{1}{V_D} \right) = 9 \cdot 10^9 \cdot 1.78 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1}{1700} - \frac{1}{1800} \right) = 5.24 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

נחשב את הכוח בהנחה שהוא קבוע:

$$W_{L \rightarrow D} = F \cdot \Delta r \Rightarrow F = \frac{W_{L \rightarrow D}}{\Delta r} = \frac{-10^{-7}}{5.24 \cdot 10^{-3}} = -1.91 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

בתרשים שלפניך מוצגים כדור מוליך טעון וכמה קווים שווי-פוטנציאל. רדיוס הכדור הוא 20mm, והפוטנציאל על פניו הוא 8000V. ליד כל קו רשום הפוטנציאל המתאים לו. הפוטנציאל באין-סוף נבחר כאפס.



ד. מצא את הגודל של השדה החשמלי בין הקווים 1700V ו-1800V.

ה. איזו מבין האפשרויות שלפניכם מבטאת נכון את ערך הפוטנציאל החשמלי במרכז הכדור P?

נמקו את בחירתכם.

- (1) 0
- (2) 8000V
- (3) 9000V
- (4) אין סוף

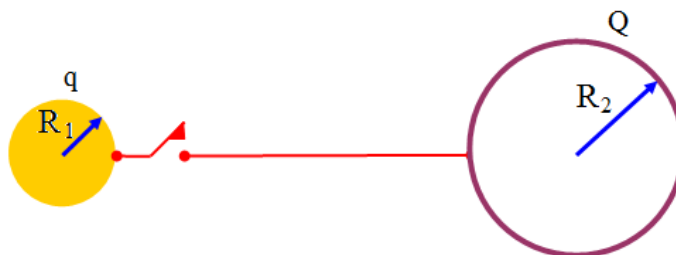
ד.

$$E = \frac{F}{q_2} = \frac{1.91 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-9}} = 19000 \frac{N}{C}$$

ה. אפשרות (2).

הסבר: בכל נקודה בתוך כדור מוליך הפוטנציאל שווה לזה שעל פני הכדור.
ע"פ חוק גאוס השדה בתוך גוף טעון הוא אפס, ולכן הפוטנציאל בין כל שתי נקודות בתוכו זהה
לפוטנציאל על פניו (נתון בתחילת השאלה).

- ▶ בהרבה מקרים ותופעות יומיומיות יש מעבר של מטענים לאדמה (אליה נתייחס ככדור בעל רדיוס אינסופי).
- ▶ על מנת להבין את המתרחש במקרה זה נבחן את הפוטנציאל של שני כדורים מוליכים, המחוברים זה לזה. רדיוס הכדור הגדול R_2 ומטענו Q . רדיוס הכדור הקטן R_1 ומטענו q (ומתקיים $R \gg r$).



- ▶ מחברים את הכדורים באמצעות תיל מוליך דק, ומאפשרים למטענים מהכדור בעל הפוטנציאל הגבוה לנוע אל הכדור בעל הפוטנציאל הנמוך, עד לשוויון פוטנציאלים. לאחר מכן יהיו המטענים שבמערכת שני הכדורים והתיל במנוחה.
- ▶ נבדוק את הקשר בין הפוטנציאלים של הכדורים לפני חיבורם, לבין הפוטנציאל המשותף של המערכת לאחר חיבורם.

הפוטנציאל לפני החיבור:

כדור גדול: $V_2 = K \frac{Q}{R_2}$

כדור קטן: $V_1 = K \frac{q}{R_1}$

הפוטנציאל אחרי החיבור:

כדור גדול: $V'_2 = K \frac{Q'}{R_2}$

כדור קטן: $V'_1 = K \frac{q'}{R_1}$

◀ לאחר החיבור משתווים הפוטנציאלים:

$$V'_1 = V'_2 \rightarrow K \frac{q'}{R_1} = K \frac{Q'}{R_2}$$

$$(1) \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{Q'}{q'}$$

מסקנה: בחיבור שני כדורים טעונים, האחד בעל רדיוס גדול מאד ביחס לשני,

יעבור עיקר המטען לכדור הגדול

◀ מחוק שימור המטען מתקיים:

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

◀ שתי המשוואות (1) ו- (2) מאפשרות לחשב את גודלו של המטען שעבר.

חיבור גוף טעון אל כדור-הארץ באמצעות מוליך, נקרא הארקה

- הואיל וכדור הארץ נחשב כגדול מאוד ביחס לכל גוף המצוי עליו, ההארקה תגרום לפריקת מטענו של הגוף הטעון המחובר אל כדור-הארץ.
- נשתמש בקשר (1) שמצאנו:

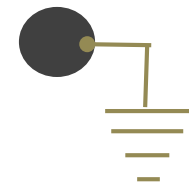


$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{Q'}{q'}$$

$$q' = Q' \frac{R_1}{R_2}$$

- הואיל ורדיוס כדה"א R_2 יכול להיחשב כאינסופי לעומת רדיוס הגוף הטעון, ובהנחה (הסבירה) שמטענו של כדה"א אינו אינסופי, נקבל כי

גוף טעון



חיבור אל כדור הארץ
(הארקה) מסומן כך:

$$q' = Q' \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_2 \rightarrow \infty$$

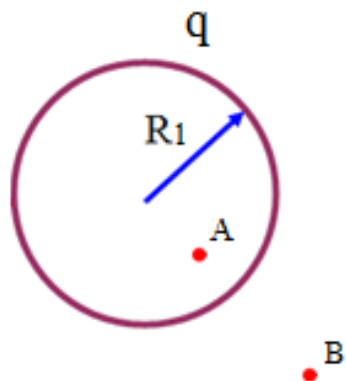
$$q' \rightarrow 0$$

כדור הארץ

מסקנה:

- בחיבור מוליך לאדמה (כדור הארץ), ייווצר מצב שכל המטען שהיה על המוליך ייעלם, וכתוצאה מכך הפוטנציאל של המוליך יהיה שווה לפוטנציאל של האדמה.
- כדור הארץ הוא כדור גדול מאוד ומטענו קטן מאוד, לכן ניתן לומר בקירוב טוב, שהפוטנציאל שלו שווה לאפס.

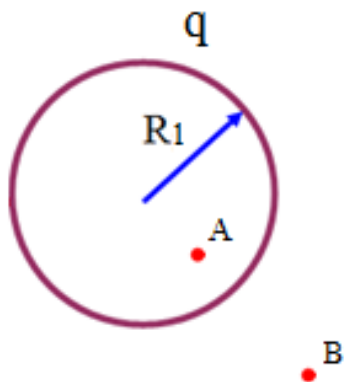
נתונה קליפה כדורית מוליכה שרדיוסה $R_1 = 8\text{cm}$. הקליפה טעונה במטען חשמלי חיובי $q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$.
נקודה A נמצאת במרחק $r_1 = 6\text{cm}$ ממרכז הקליפה, ונקודה B נמצאת במרחק $r_2 = 12\text{cm}$ ממרכז הקליפה.
ערך הפוטנציאל החשמלי באין-סוף נבחר כאפס.



- מצאו את גודל השדה החשמלי בנקודה A.
- מצאו את הפוטנציאל החשמלי בנקודה A.
- מצאו את גודל השדה החשמלי בנקודה B.
- מצאו את הפוטנציאל החשמלי בנקודה B.

תרגיל 3- סעיפים א, ב, ג, ד- פתרון

נתונה קליפה כדורית מוליכה שרדיוסה $R_1 = 8\text{cm}$. הקליפה טעונה במטען חשמלי חיובי $q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$.
נקודה A נמצאת במרחק $r_1 = 6\text{cm}$ ממרכז הקליפה, ונקודה B נמצאת במרחק $r_2 = 12\text{cm}$ ממרכז הקליפה.
ערך הפוטנציאל החשמלי באין-סוף נבחר כאפס.



א. מצאו את גודל השדה החשמלי בנקודה A.

$$E_A = 0$$

ב. מצאו את הפוטנציאל החשמלי בנקודה A.

$$V_A = \frac{k \cdot q}{R_1} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-2}} = 2.25 \cdot 10^5 \text{V}$$

ג. מצאו את גודל השדה החשמלי בנקודה B.

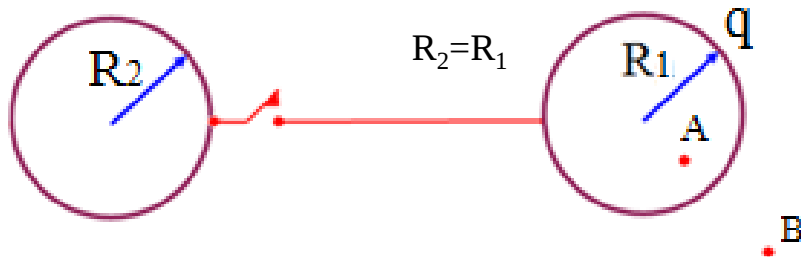
$$E_B = \frac{k \cdot q}{r_2^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(12 \cdot 10^{-2})^2} = 1.25 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

ד. מצאו את הפוטנציאל החשמלי בנקודה B.

$$V_B = \frac{k \cdot q}{r_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{12 \cdot 10^{-2}} = 1.5 \cdot 10^5 \text{V}$$

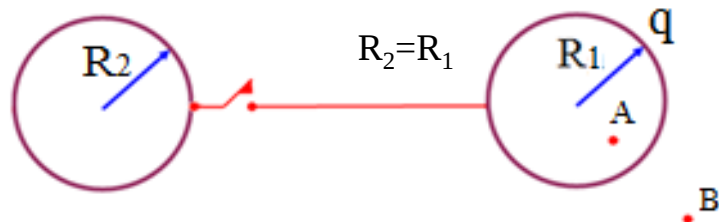
מחברים את הקליפה הנתונה עם קליפה כדורית אחרת, באמצעות תיל מוליך ארוך מאוד ודק, כך ששתי הקליפות רחוקות מאוד זו מזו (מרחק "אין-סופי").

עבור המצב המתואר בתרשים (הקליפה האחרת אינה טעונה, ורדיוסה שווה לרדיוס של הקליפה הנתונה), קבעו: האם בעקבות חיבור זה גודל השדה החשמלי בנקודה B יהיה גדול יותר מזה שמצאת בסעיף ג, קטן ממנו או שווה לו. נמקו כל אחת מקביעותיך.



מחברים את הקליפה הנתונה עם קליפה כדורית אחרת, באמצעות תיל מוליך ארוך מאוד ודק, כך ששתי הקליפות רחוקות מאוד זו מזו (מרחק "אין-סופי").

עבור המצב המתואר בתרשים (הקליפה האחרת אינה טעונה, ורדיוסה שווה לרדיוס של הקליפה הנתונה), קבעו: האם בעקבות חיבור זה גודל השדה החשמלי בנקודה B יהיה גדול יותר מזה שמצאת בסעיף ג, קטן ממנו או שווה לו. נמקו כל אחת מקביעותיך.



השדה החשמלי בנקודה B **יקטן**.

השדה החשמלי בנקודה B תלוי רק במטען הקליפה הנתונה לאחר חיבורה עם הקליפה השנייה וזאת מכיוון שהקליפה הכדורית השנייה רחוקה מאד.

לאחר החיבור, חלק מן המטען החיובי בקליפה הנתונה עובר אל הקליפה השנייה עד לשוויון פוטנציאלים. המטען בקליפה הנתונה קטן, ולכן קטן גם השדה בנקודה B.

נימוק אחר:

השדה החשמלי בנקודה B תלוי רק במטען הקליפה הנתונה לאחר חיבורה עם הקליפה השנייה וזאת מכיוון שהקליפה הכדורית השנייה רחוקה מאד. לפי חוק שימור המטען:

$$q_1' + q_2' = q_1 + q_2$$

$$q_1' + q_2' = q$$

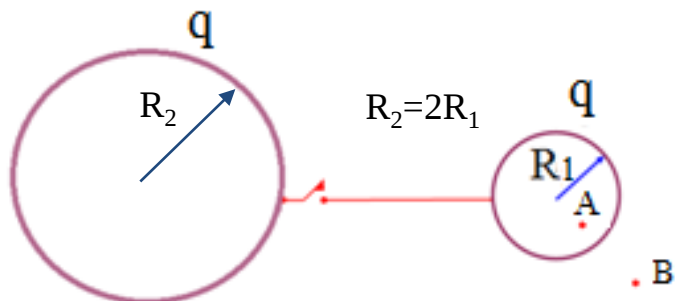
מעבר מטענים עד לשוויון פוטנציאלים:

$$\frac{k \cdot q_1'}{R} = \frac{k \cdot q_2'}{R} \Rightarrow q_1' = q_2' \Rightarrow 2q_1' = q \Rightarrow q_1' = \frac{q}{2}$$

המטען בקליפה הנתונה קטן פי 2, ולכן השדה החשמלי בנקודה B קטן פי 2.

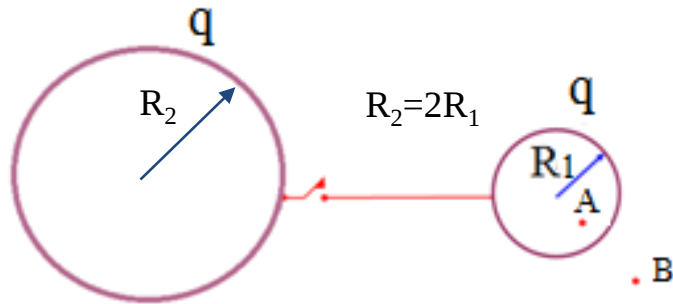
חזרו על הסעיף הקודם (איך ישתנה גודל השדה בנקודה B) עבור המצב המתואר בתרשים:

הקליפה האחרת טעונה במטען חיובי $q=2 \cdot 10^{-6} \text{C}$, ורדיוסה $R_2=16 \text{cm}$



תרגיל 3 - סעיף ו - פתרון

חזרו על הסעיף הקודם (איך ישתנה גודל השדה בנקודה B) עבור המצב המתואר בתרשים:
הקליפה האחרת טעונה במטען חיובי $q=2 \cdot 10^{-6} \text{C}$, ורדיוס $R_2=16 \text{cm}$.



השדה החשמלי בנקודה B תלוי רק במטען הקליפה הנתונה לאחר חיבורה עם הקליפה השנייה. שתי הקליפות טעונות באותו המטען אבל רדיוס הקליפה השנייה גדול פי 2 מרדיוס הקליפה הנתונה, לכן הפוטנציאל של הקליפה השנייה קטן פי 2 מן הפוטנציאל של הקליפה הנתונה. בעת חיבור הקליפות, מטען חשמלי יעבור מן הקליפה הנתונה, שהפוטנציאל שלה גבוהה יותר, אל הקליפה השנייה, שהפוטנציאל שלה נמוך יותר. מאחר והמטען של הקליפה הנתונה יקטן, גם השדה החשמלי בנקודה B יקטן.
נימוק דרך ב':

השדה החשמלי בנקודה B תלוי רק במטען הקליפה הנתונה לאחר חיבורה עם הקליפה השנייה.

לפי חוק שימור המטען: $q_1' + q_2' = q_1 + q_2$

נתון:

$$q_1 = q_2 = q$$

מכאן,

$$q_1' + q_2' = 2q$$

מעבר מטענים עד לשוויון פוטנציאלים:

$$\frac{k \cdot q_1'}{R} = \frac{k \cdot q_2'}{2R} \Rightarrow 2q_1' = q_2'$$

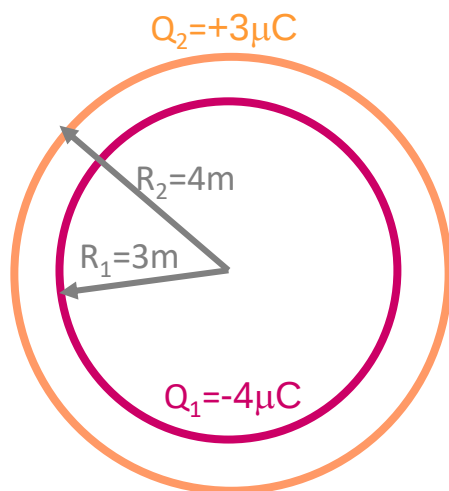
$$q_1' + 2q_1' = 2q \Rightarrow 3q_1' = 2q \Rightarrow q_1' = \frac{2}{3} \cdot q$$

מכאן שהמטען בקליפה הנתונה קטן והשדה החשמלי בנקודה B קטן.

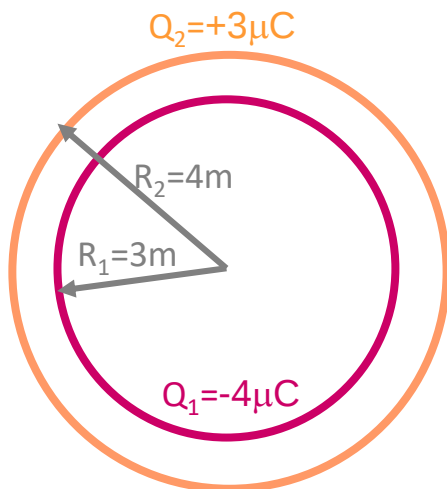
נתונה מערכת קונצנטרית של שתי קליפות מוליכות דקות, כמתואר בשרטוט .

א. מהו הפוטנציאל על פני הקליפה הפנימית ?

ב. מהו הפוטנציאל על פני הקליפה החיצונית?



נתונה מערכת קונצנטרית של שתי קליפות מוליכות דקות, כמתואר בשרטוט .

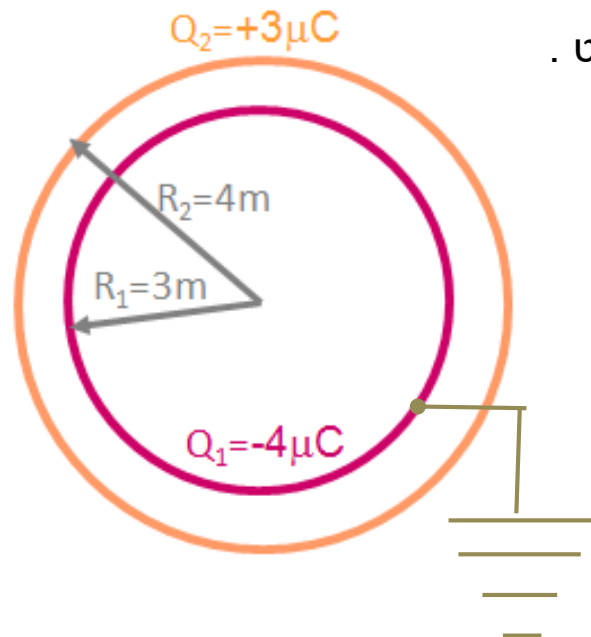


א. מהו הפוטנציאל על פני הקליפה הפנימית ?

$$V_1 = \frac{k \cdot Q_1}{R_1} + \frac{k \cdot Q_2}{R_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-4) \cdot 10^{-6}}{3} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{4} = -5250\text{V}$$

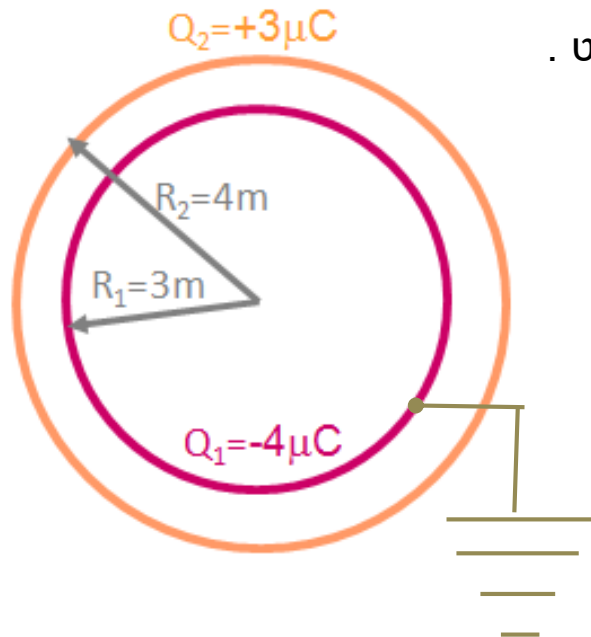
ב. מהו הפוטנציאל על פני הקליפה החיצונית?

$$V_2 = \frac{k \cdot Q_1}{R_2} + \frac{k \cdot Q_2}{R_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-4) \cdot 10^{-6}}{4} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{4} = -2250\text{V}$$



- נתונה מערכת קונצנטרית של שתי קליפות מוליכות דקות, כמתואר בשרטוט .
- ג. מאריקים את הקליפה הפנימית מהו המטען החדש על פניה ?
- ד. מהו הפוטנציאל החדש על פני הקליפה החיצונית ?

תרגיל 4- סעיפים ג+ד- פתרון



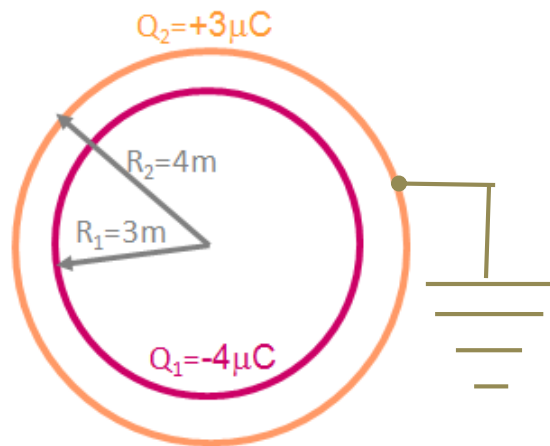
נתונה מערכת קונצנטרית של שתי קליפות מוליכות דקות, כמתואר בשרטוט .
ג. מאריקים את הקליפה הפנימית מהו המטען החדש על פניה?

לאחר הארקת הקליפה הפנימית, הפוטנציאל על פניה ובתוכה
שווה לאפס. מכאן שהמטען שלה חייב להשתנות.
נסמן את המטען החדש על הקליפה הפנימית כ- q_1 .

$$0 = \frac{k \cdot q_1}{R_1} + \frac{k \cdot Q_2}{R_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot q_1}{3} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{4} \Rightarrow q_1 = -2.25 \mu C$$

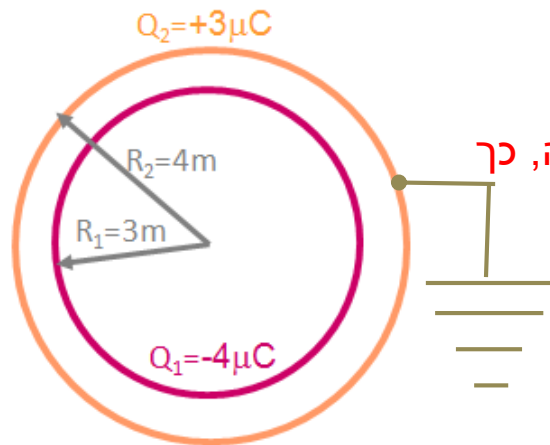
ד. מהו הפוטנציאל החדש על פני הקליפה החיצונית ?

$$V'_2 = \frac{k \cdot q_1}{R_2} + \frac{k \cdot Q_2}{R_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-2.25) \cdot 10^{-6}}{4} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{4} = 1678.5V$$



- ה. מנתקים את הארקה מהקליפה הפנימית ומאריקים את הקליפה החיצונית. מהו המטען החדש על גבי המטען של הקליפה החיצונית?
- ו. מהו הפוטנציאל של הקליפה הפנימית לאחר פעולת הארקה הקליפה החיצונית?
- ז. מנתקים את הארקה מהקליפה החיצונית ומחברים את שתי הקליפות בעזרת תיל דק. מהו הפוטנציאל החדש על פני הקליפה הפנימית?

ה. מנתקים את הארקה מהקליפה הפנימית ומאריקים את הקליפה החיצונית. מהו המטען החדש על גבי המטען של הקליפה החיצונית?



הפעם מטען הקליפה הפנימית נשאר ואילו מטען הקליפה החיצונית משתנה, כך שהפוטנציאל של הקליפה החיצונית יהיה שווה לאפס.

$$0 = \frac{k \cdot q_1}{R_2} + \frac{k \cdot q_2}{R_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-2.25) \cdot 10^{-6}}{4} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot q_2}{4} \Rightarrow q_2 = +2.25 \mu C$$

ו. מהו הפוטנציאל של הקליפה הפנימית לאחר פעולת הארקה הקליפה החיצונית?

$$V'_1 = \frac{k \cdot q_1}{R_1} + \frac{k \cdot q_2}{R_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-2.25) \cdot 10^{-6}}{3} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2.25 \cdot 10^{-6}}{4} = -1678.5V$$

ז. מנתקים את הארקה מהקליפה החיצונית ומחברים את שתי הקליפות בעזרת תיל דק. מהו הפוטנציאל החדש על פני הקליפה הפנימית?

כאשר מחברים את הקליפות יחד, סך כל המטען מתחלק בין הקליפות, כך שהפוטנציאל שלהם משתווה.

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = -2.25 \cdot 10^{-6} + 2.25 \cdot 10^{-6} = 0 \quad \text{משימור מטען -}$$

השוואת הפוטנציאלים:

$$\frac{kq'_1}{R_2} + \frac{kq'_2}{R_2} = \frac{kq'_1}{R_1} + \frac{kq'_2}{R_2}$$

$$q'_1 = q'_2 = 0$$

הפוטנציאל מתאפס.

◀ ההפרש בין הפוטנציאלים של שתי נקודות נתונות נקרא **מתח חשמלי**.

$$V_{AB} = V_B - V_A$$

◀ המתח החשמלי בין A ל-B שווה לעבודה של הכוח החיצוני, הכרוכה בהעתקת יחידת מטען חיובי מ-A ל-B.

$$W = q \cdot V_{AB} = q \cdot (V_B - V_A)$$

◀ קו שווה-פוטנציאל מאופיין בכך שכל נקודותיו מצויות בפוטנציאל שווה, מכאן שהעתקת מטען לאורך קו שווה-פוטנציאל אינה כרוכה בביצוע עבודה.

◀ הכיוון של קו שדה בנקודה מסוימת, הנמצאת על קו שווה-פוטנציאל, ניצב תמיד לקו שווה-פוטנציאל בנקודה הנדונה.

◀ בעת חיבור שני כדורים מוליכים, שלפחות אחד מהם טעון, יש מעבר מטענים מהכדור בעל הפוטנציאל הגבוה אל הכדור בעל הפוטנציאל הנמוך, עד לשוויון פוטנציאלים. המטען הכולל של הכדורים לפני חיבורם שווה למטען הכולל של הכדורים לאחר חיבורם.

◀ הארקה- חיבור גוף טעון אל כדור-הארץ באמצעות מוליך. במצב זה, הפוטנציאל של המוליך יהיה שווה בקירוב טוב לפוטנציאל של האדמה, כלומר אפס.