



# פיזיקה בגובה העיניים

אלקטרוסטטיקה - 1

# אלקטרוסטטיקה

אלקטרוסטטיקה הוא ענף בפיזיקה העוסק בהשפעת גופים בעלי מטען חשמלי האחד על השני.

מטען חשמלי - תכונה בסיסית של החומר. כמו: מסה, נפח, מצב צבירה ועוד.

סימון –  $q$ / $Q$

יחידות מידה –  $c$  (קולון).

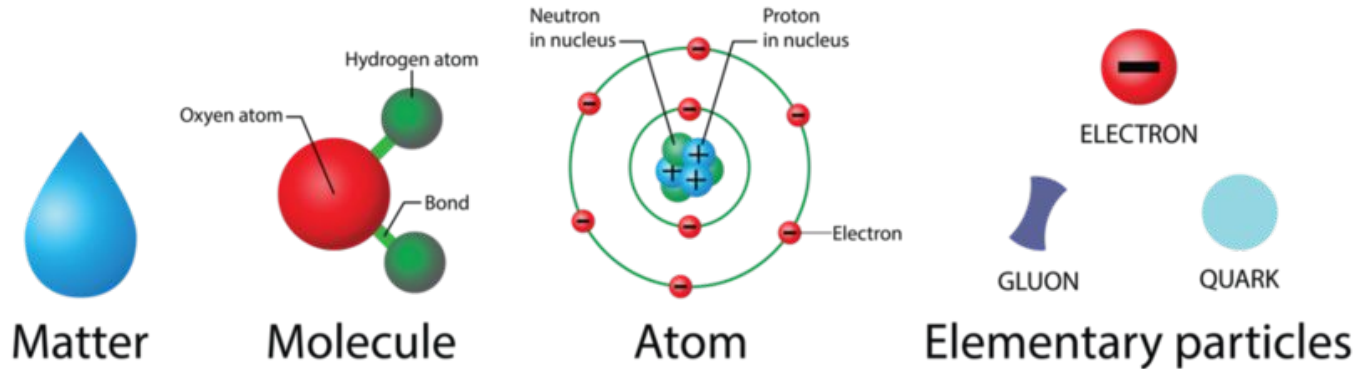
$$mc = 10^{-3} c \quad \mu c = 10^{-6} c \quad nc = 10^{-9} c$$

למטען החשמלי ערך מספרי והוא יכול להיות חיובי/שלילי.

כדי להבין מי משפיע על המטען החשמלי נלמד ממה מורכב כל חומר בטבע.

# הרכב החומר בטבע

## The structure of matter



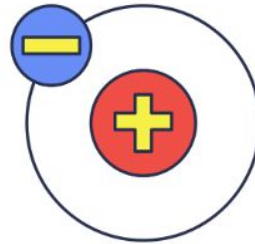
אטום הוא יחידת היסוד של החומר, במרכזו גרעין, המכיל פרוטונים ונויטרונים, ומקיפים אותו אלקטרונים.

# הפרוטונים והאלקטרונים

הפרוטונים והאלקטרונים הם המחזיקים בתכונה המיוחדת של "מטען חשמלי".

מטען חשמלי של פרוטון -  $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

מטען חשמלי של אלקטרון -  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .



- גודל המטען של הפרוטון והאלקטרון זהה אבל הסימן שונה, פרוטון חיובי אלקטרון שלילי.

# מטען חשמלי של גוף

כל גוף בטבע מורכב מכמות של פרוטונים ואלקטרונים.

מטען חשמלי - כמות הפרוטונים  $\times$  מטען של פרוטון + כמות האלקטרונים  $\times$  מטען של אלקטרון

נוסחה:

$$q = X_p \cdot q_p + X_e \cdot q_e$$

$$q = X_p \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} + X_e \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19})$$

פרמטרים:

- $X_p$  = כמות הפרוטונים
- $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19}$  = מטען פרוטון
- $X_e$  = כמות האלקטרונים
- $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}$  = מטען אלקטרון

יחידות מידה - C

## דוגמאות:

$$q = X_{\square} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} + X_e \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19})$$

1. בכדור יש  $5 \cdot 10^{20}$  פרוטונים ו- $1.875 \cdot 10^{20}$  אלקטרונים. חשב את מטען הכדור.

$$X_{\square} = 5 \cdot 10^{20}, X_e = 1.875 \cdot 10^{20}$$

$$q = 5 \cdot 10^{20} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} + 1.875 \cdot 10^{20} \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19})$$

$$q = 50c$$

2. בגוף יש  $2 \cdot 10^{20}$  פרוטונים ו- $8.25 \cdot 10^{20}$  אלקטרונים, חשב את מטען הגוף.

$$X_{\square} = 2 \cdot 10^{20}, X_e = 8.25 \cdot 10^{20}$$

$$q = 2 \cdot 10^{20} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} + 8.25 \cdot 10^{20} \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19})$$

$$q = -100c$$

3. בכדור יש  $3 \cdot 10^{20}$  פרוטונים ו- $3 \cdot 10^{20}$  אלקטרונים. חשב את מטען הכדור.

$$X_{\square} = 3 \cdot 10^{20}, X_e = 3 \cdot 10^{20}$$

$$q = 3 \cdot 10^{20} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} + 3 \cdot 10^{20} \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19})$$

$$q = 0$$

# מטען חשמלי של גוף - המשך...

פיתוח הנוסחה:

$$q = X_{\square} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} + X_e \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19})$$

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} (X_{\square} - X_e)$$

• מטען חשמלי של גוף שווה להפרש בין כמות הפרוטונים לאלקטרונים כפול  $1.6 \cdot 10^{-19}$

מטען חיובי -  $X_{\square} > X_e$

מטען שלילי -  $X_{\square} < X_e$

מטען ניטרלי (0) -  $X_{\square} = X_e$

שימו 

לא חייב לדעת את כמות האלקטרונים והפרוטונים בגוף אלא רק את ההפרש ביניהם.

# האם אפשר לשנות את מטען הגוף ?

בוודאי, אך חשוב לדעת:

כמות הפרוטונים שיש לגוף היא קבועה ולא ניתנת לשינוי! כדי לשנות את המ"ח נשנה את כמות האלקטרונים.

- אם נרצה להקטין את המ"ח בגוף נוסיף אלקטרונים, כאשר נרצה להעלות נוריד אלקטרונים.

נוסחה לשינוי כמות האלקטרונים:

$$X_e = \frac{\Delta q}{-1.6 \cdot 10^{-19}} = \frac{q - q_0}{-1.6 \cdot 10^{-19}}$$

פרמטרים:

$q$  - מטען סופי [c]

$q_0$  - מטען התחלתי [c]

$$q = q_0 - 1.6 \cdot 10^{-19} X_e$$

- אם  $X_e$  חיובי ז"א שצריך להוסיף אלקטרונים, ואם הוא שלילי צריך להוריד.

# דוגמאות:

1. כמה אלקטרונים יש להוסיף לגוף ניטרלי כדי שיהיה בעל מטען של  $q = -4 \cdot 10^{-17} \text{C}$ .

$$q_0 = 0, q = -4 \cdot 10^{-17} \text{C}$$

$$X_e = ?$$

$$X_e = \Delta q / (-1.6 \cdot 10^{-19})$$

$$X_e = (-4 \cdot 10^{-17} - 0) / (-1.6 \cdot 10^{-19}) = 250$$

$$X_e = 250$$

2. מכדור ברזל שמטענו  $Q = 10^{18} \text{C}$  הורידו כמות של  $6.875 \cdot 10^{28}$  אלקטרונים, חשב את מטענו הסופי.

$$Q_0 = 10^{18} \text{C} = 10^{18} \cdot 10^{-9} = 10^9 \text{C}, X_e = -6.875 \cdot 10^{28}$$

$$Q = ?$$

$$Q = Q_0 - 1.6 \cdot 10^{-19} X_e$$

$$Q = 10^9 - 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot (-6.875 \cdot 10^{28}) = 1.2 \cdot 10^{10}$$

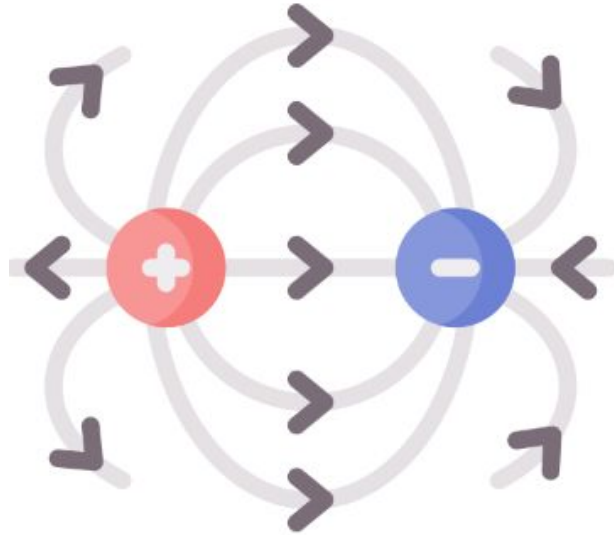
$$Q = 1.2 \cdot 10^{10} \text{C}$$

## סיכום:

חומר מוליך - חומר שהאלקטרונים בו יכולים לנוע בחופשיות (מ"ח יכול להשתנות).  
חומר מבודד\לא מוליך - חומר שהאלקטרונים בו לא יכולים לנוע בחופשיות. ניטרלי ( $q = 0$ ).

אלקטרון	פרוטון	
e	p	אות
$q_e$	$q_p$	סימול מטען
$ q_e  = 1.6 * 10^{-19}$	$ q_p  = 1.6 * 10^{-19}$	גודל המטען
-	+	סימן המטען
$q_e = -1.6 * 10^{-19} \text{ c}$	$q_p = 1.6 * 10^{-19} \text{ c}$	מטען
$m_e = 9.11 * 10^{-31} \text{ kg}$	$m_p = 1.67 * 10^{-27} \text{ kg}$	מסה
יכול לנוע	לא יכול לנוע	תנועה במוליך חשמלי

# שדה חשמלי (E)



# שדה חשמלי (E)

הגדרה - שדה חשמלי הוא ההשפעה על הנקודות במרחב כתוצאה ממטענים חשמליים.

סימון - E

נוסחה (גודל שדה חשמלי סביב מטען נקודתי):  $E = \frac{kq}{r^2}$

פרמטרים:

•  $k = 9 \cdot 10^9$  - קבוע קולון  $[Nm^2/c^2]$

•  $q$  - המטען החשמלי של הגוף  $[c]$

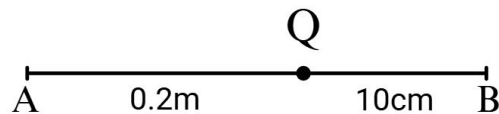
•  $r$  - המרחק של המטען מנקודה במרחב  $[m]$

יחידות מידה - N/c

בנוסחה נציב תמיד את הגודל של  $q$  (סימן חיובי).

# דוגמה 1:

מטען  $Q = 2 \cdot 10^{-9} \text{C}$  מונח על ציר אופקי, משני צידיו נמצאות נקודות A, B. המרחק שלהם מהמטען מתואר באיור שלפניך.



$$Q = 2 \cdot 10^{-9} \text{C}, r_A = 0.2 \text{m}, r_B = 10 \text{cm} = 10/100 = 0.1 \text{m}$$

$$E_A = ?$$

$$E = kq/r^2$$

$$E_A = (9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-9}) / (0.2^2) = 450$$

$$E_A = 450 \text{N/C}$$

א. חשב את השדה החשמלי בנקודה A.

$$E_B = ?$$

$$E = kq/r^2$$

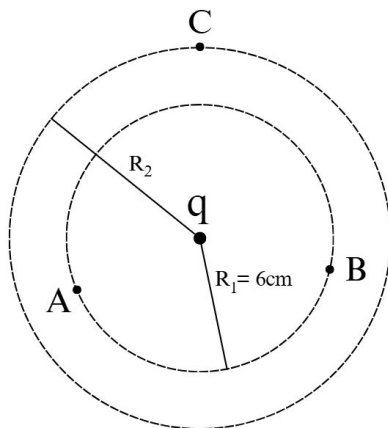
$$E_B = (9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-9}) / (0.1^2) = 1800$$

$$E_B = 1800 \text{N/C}$$

ב. חשב את השדה החשמלי בנקודה B.

## דוגמה 2:

מטען  $q = -4.5 \mu\text{C}$  במרכזם של 2 מעגלים. נקודות A, B נמצאות על המעגל בעל הרדיוס הקטן  $R_1 = 6\text{cm}$  ונקודה C יושבת על המעגל הגדול שרדיוסו  $R_2$ .



$$q = -4.5 \mu\text{C} = -4.5 \cdot 10^{-6} \text{C}, R_1 = 6\text{cm} = 0.06\text{m}$$

$$E_A = ?$$

$$E = kq/r^2$$

$$E_A = (9 \cdot 10^9 \cdot 4.5 \cdot 10^{-6}) / (0.06^2) = 11.25 \cdot 10^6$$

$$E_A = 11.25 \cdot 10^6 \text{N/C}$$

א. חשב את השדה החשמלי בנקודה A.

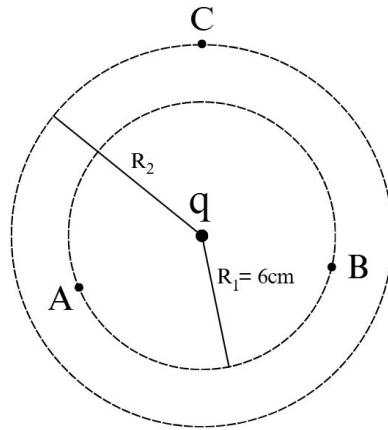
ב. קבע ללא חישוב, האם גודל השדה החשמלי בנקודה B זהה לגודל בנקודה A. הסבר.

משום שהמרחק שלהם מהמטען הוא זהה (נמצאים שניהם על אותו המעגל) הנוסחה שתתקבל תהיה זהה. אותו:  $q, k, r$ .

## דוגמה 2 - המשך...

ידוע, כי השדה החשמלי בנקודה C הוא בעוצמה של  $7.2 \cdot 10^6$ .

ג. חשב את רדיוס המעגל הגדול  $R_2$ .



$$E_c = 7.2 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

$$R_2 = ?$$

$$R_2 = rc$$

$$E_c = kq/rc^2$$

$$7.2 \cdot 10^6 = (9 \cdot 10^9 \cdot 4.5 \cdot 10^{-6})/rc^2$$

$$7.2 \cdot 10^6 = 40500/rc^2$$

$$rc^2 = 40500/7.2 \cdot 10^6$$

$$rc^2 = 5.625 \cdot 10^{-3}$$

$$rc = 0.075 \text{ m}$$

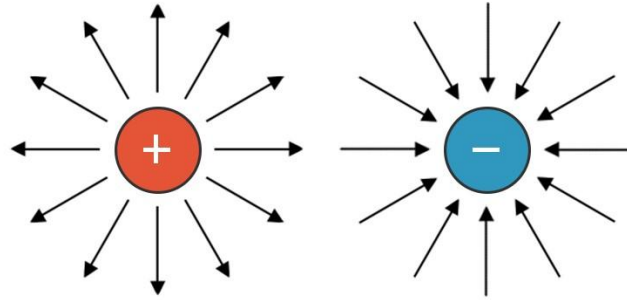
$$R_2 = 0.075 \text{ m}$$

✓

# כיוון השדה החשמלי

השדה החשמלי הוא וקטור - גודל וכיוון.

כיוון השדה תלוי בסימן המטען ומיקום הנקודה.



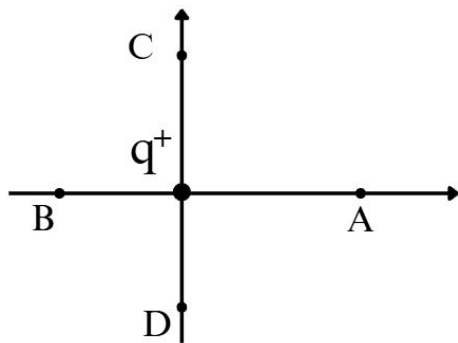
מטען חיובי: קווי השדה יוצאים מהמטען (מתפרסים החוצה)

מטען שלילי: קווי השדה נכנסים למטען (מתכנסים פנימה)

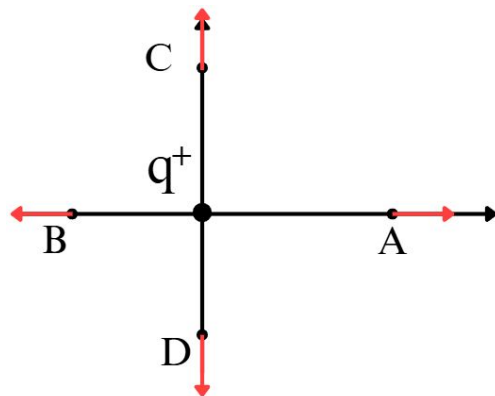
קו שדה חשמלי - קו דמיוני שכיוונו בכל נקודה זהה לכיוון וקטור השדה החשמלי באותה נקודה.

## דוגמה:

מניחים מטען חשמלי  $q > 0$  בראשית הצירים כאשר סביבו יש 4 נקודות.



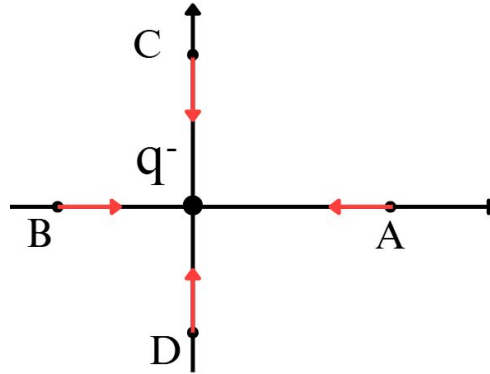
א. קבע את כיוון השדה החשמלי עבור כל נקודה A, B, C, D.



# דוגמה - המשך...

ב. אילו נשנה את סימן המטען כיצד ישתנה כיוון השדה בכל אחת מהנקודות A, B, C, D.

כיוון השדה בכל נקודה יתהפך:



כלל: במטען חיובי קווי השדה בכל נקודה יפנו נגד המטען, במטען שלילי לכיוון המטען.

# סד"פ לדינמיקה (חלקי)

א. תרשים כוחות - נשרטט את המסה עם כל הכוחות הפועלים עליה.

ב. צירים - נצייר את ציר ה- $x, y$  של הגוף, ציר ה- $x$  תמיד מקביל למשטח וציר ה- $y$  מאונך אליו.

ג. לפרק כוחות באלכסון - לפי הסדר פעולות שלמדנו.

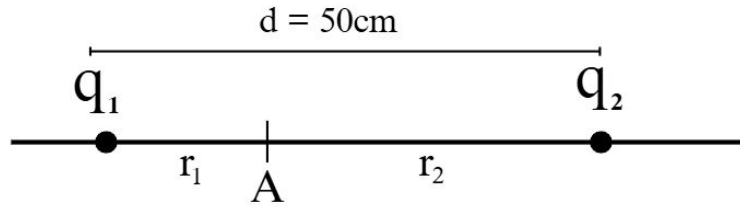
ד. כיוון חיובי - לכל ציר נקבע צד חיובי.

ה. משוואת כוחות - בכל ציר הכוחות בכיוון החיובי פחות הכוחות בכיוון השלילי שווים ל- $am\0$ .

• הקשר בין שדה חשמלי וכוחות מאוד דומה משום שמדובר בפעולות וקטוריות.

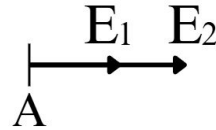
# דוגמה 1:

על ציר אופקי ממוקמים שני מטענים נקודתיים:  $q_1 = 2 \cdot 10^{-7} \text{C}$  ו-  $q_2 = -50 \cdot 10^{-8} \text{C}$ . המרחק בין המטענים הוא  $d = 50 \text{cm}$ . נקודה A ממוקמת על הציר בין שני המטענים, במרחק  $r_1$  מהמטען  $q_1$  ובמרחק  $r_2$  מהמטען  $q_2$ . ימינה מוגדר ככיוון החיובי.



$$q_1 = 2 \cdot 10^{-7} \text{C}, q_2 = -50 \cdot 10^{-8} \text{C}, d = 50 \text{cm}$$

א. שרטט את תרשים השדות החשמליים בנקודה A.

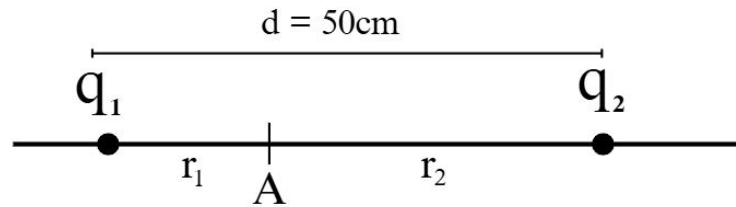


מטען  $q_1$  (חיובי) - קווי שדה יוצאים  $\leftarrow E_1$  כיוון ימין  
מטען  $q_2$  (שלילי) - קווי שדה נכנסים  $\leftarrow E_2$  כיוון ימין  
בנקודה A: שני הוקטורים בכיוון ימין

# דוגמה 1 - המשך...

נתון:  $r_1 = 0.15\text{m}$

ב. חשב את גודל וכיוון השדה החשמלי השקול בנקודה A.



$$r_1 = 0.15\text{m}$$

$$E_A = ?$$

$$E_A = E_1 + E_2$$

$$E_A = kq_1/r_1^2 + kq_2/r_2^2$$

$$r_2 = ?$$

$$r_2 = d - r_1$$

$$r_2 = 0.5 - 0.15$$

$$r_2 = 0.35\text{m}$$

$$E_A = (9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-7}) / (0.15)^2 + (9 \cdot 10^9 \cdot 50 \cdot 10^{-8}) / (0.35)^2$$

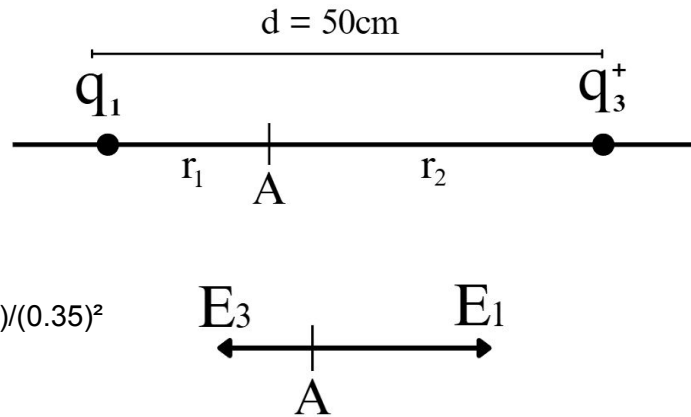
$$E_A = 80000 + 36734 = 116,734$$

$$E_A = 116,734\text{N/c}$$

ימינה

# דוגמה 1 - המשך...

ג. במצב אחר, החליפו את מטען  $q_2$  במטען  $q_3$  שגודל מטענו זהה אך סימנו הפוך. חשב את השדה החשמלי השקול בנקודה A (גודל וכיוון) במצב החדש.



$$q_3 = 50 \cdot 10^{-8} \text{C}$$

$$E = ?$$

$$E = E_1 - E_3$$

$$E = kq_1/r_1^2 - kq_3/r_2^2$$

$$E = (9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-7}) / (0.15)^2 - (9 \cdot 10^9 \cdot 50 \cdot 10^{-8}) / (0.35)^2$$

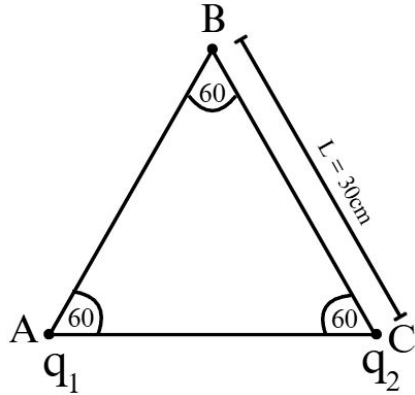
$$E = 80000 - 36734$$

$$E = 43266 \text{ N/C}$$

.ימינה

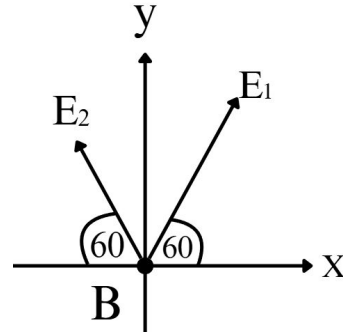
## דוגמה 2:

נתון משולש שווה צלעות ABC שאחת מצלעותיו באורך של  $L = 30\text{cm}$ . ב-2 מקודקודי המשולש ממוקמים מטענים נקודתיים: בקודקוד A מטען  $q_1 = 3 \cdot 10^{-9}\text{C}$  ובקודקוד C מטען  $q_2 = 24 \cdot 10^{-10}\text{C}$ .



$$q_1 = 3 \cdot 10^{-9}\text{C}, q_2 = 24 \cdot 10^{-10}\text{C}, L = 30\text{cm} = 0.3\text{m}$$

א. שרטט את תרשים השדות החשמליים בנקודה B.



## דוגמה 2 - המשך...

ב. חשב את השדה החשמלי השקול (גודל וכיוון) בנקודה B.

$$E_B = ?$$

$$E_T = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}(|E_y/E_x|)$$

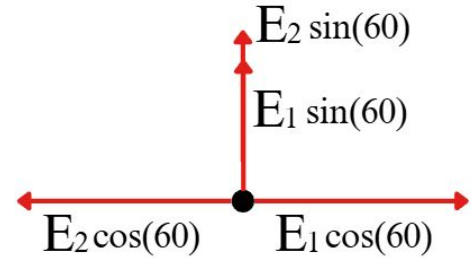
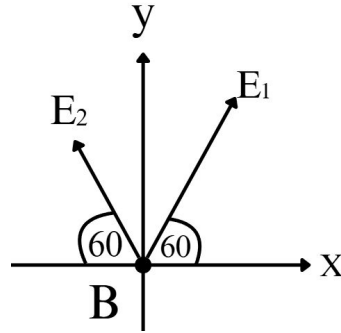
$$E_x = ?$$

$$E_x = E_1 \cos(60) - E_2 \cos(60)$$

$$E_x = kq_1/r^2 \cdot \cos(60) - kq_2/r^2 \cdot \cos(60)$$

$$E_x = (9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9}) / (0.3)^2 \cdot 0.5 - (9 \cdot 10^9 \cdot 24 \cdot 10^{-10}) / (0.3)^2 \cdot 0.5 = 30$$

$$E_x = 30 \text{ N/c}$$



## דוגמה 2 - המשך...

$$E_y = ?$$

$$E_y = E_1 \sin(60) + E_2 \sin(60)$$

$$E_y = kq_1/r^2 \cdot \sin(60) + kq_2/r^2 \cdot \sin(60)$$

$$E_y = (9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9}) / (0.3)^2 \cdot 0.866 + (9 \cdot 10^9 \cdot 24 \cdot 10^{-10}) / (0.3)^2 \cdot 0.866 = 467.6$$

$$E_y = 467.6 \text{ N/C}$$

$$E_T = ?$$

$$E_T = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

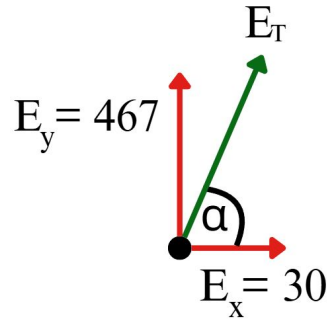
$$E_B = \sqrt{30^2 + 467.6^2} = 468.6$$

$$E_B = 468.6 \text{ N/C}$$

$$\alpha = \tan^{-1}(|E_y/E_x|)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(|468.6/30|) = 86.32$$

$$\alpha = 86^\circ$$

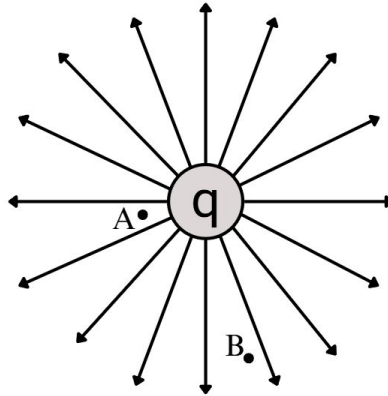


השדה החשמלי השקול הוא בעוצמה של 468.6 בזווית של  $86^\circ$  מעל ציר ה-X בכיוון החיובי.

# מאפייני - קווי שדה חשמלי

1. כיוון - כיוון קווי השדה ככיוון השדה החשמלי.

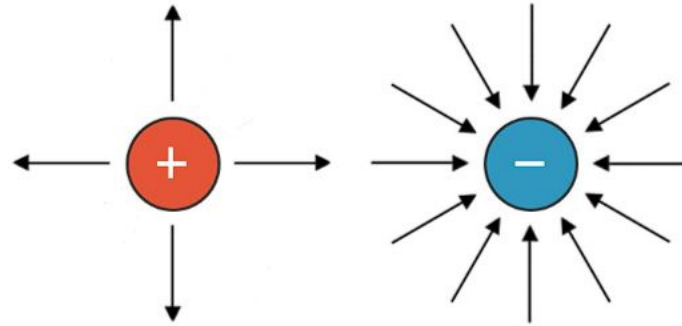
2. צפיפות - ככל שקווי השדה צפופים יותר ז"א שהשדה החשמלי באותה נקודה גדול יותר.



צפיפות הקווים בנקודה  $A$  גדולה מנקודה  $B$  ולכן:  $E_A > E_B$

# מאפייני - קווי שדה חשמלי

3. פרופורציה - בשאלות עם 2 מטענים ומעלה, כמות קווי השדה פרופורציונלית למטען.



הסבר: לפי התרשים, למטען החיובי נכנסים 4 קווי שדה ולמטען השלילי יוצאים 12 קווי שדה, פי 3 יותר. לכן גודל המטען השלילי גדול פי 3.

# סוף שיעור 1

עכשיו לתרגל את שיעורי הבית, תודה רבה שהקשבתם לי ולהתראות. 🙌

