

אלקטרוסטטיקה

הכוח החשמלי וחוק קולון

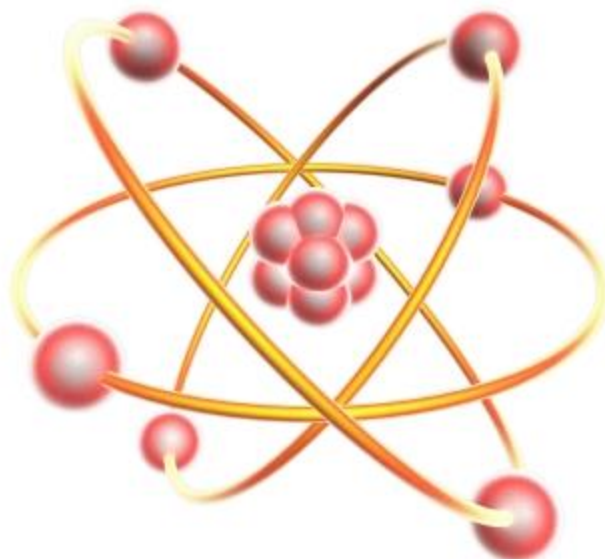


Image courtesy of cooldesign / FreeDigitalPhotos.net

- ▶ מקורו של הכוח האלקטרוסטטי הוא בתכונה פיזיקלית של החומר, הקרויה מטען חשמלי.
- ▶ מטענים מסוג שונה מושכים זה את זה, מטענים מאותו סוג דוחים זה את זה.
- ▶ קיים "חוק שימור המטען החשמלי". בתהליכים של טעינת גופים, לא נוצרים מטענים 'יש מאין'. בדרך כלל מדובר בהפרדת מטענים בלבד.
- ▶ **חוק קולון:** בין שני מטענים נקודתיים פועל כוח (משיכה או דחייה), המצוי ביחס ישר לגודל המטענים וביחס הפוך לריבוע המרחק ביניהם.

$$F_E = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

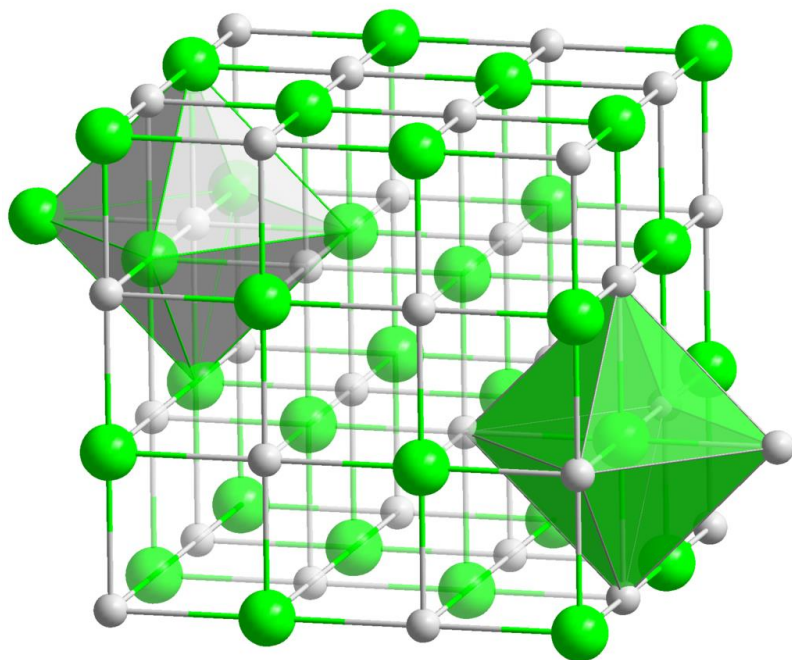
- ▶ הכוח השקול הפועל על מטען נקודתי שווה לסכום הווקטורי של כל הכוחות הפועלים על מטען זה.

$$\vec{F}_E = \vec{F}_{E_1} + \vec{F}_{E_2} + \vec{F}_{E_3} + \dots$$

גביש NaCl (מלח בישול) בנוי מיוני Na^+ ויוני Cl^- המסודרים בצורה מחזורית.

המרחק בין יון אחד למשנהו הינו $2.82 \cdot 10^{-10} \text{ [m]}$

מה גודלו של כוח המשיכה החשמלי בין כל שני יונים סמוכים?



Wikimedia Commons



Image courtesy of Grant Cochrane, FreeDigitalPhotos.net

גביש NaCl (מלח בישול) בנוי מיוני Na^+ ויוני Cl^- המסודרים בצורה מחזורית.

המרחק בין יון אחד למשנהו הינו $2.82 \cdot 10^{-10} \text{ [m]}$

מה גודלו של כוח המשיכה החשמלי בין כל שני יונים סמוכים?

הכוח נתון ע"י חוק קולון:

$$|F| = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot |-1.6 \cdot 10^{-19}|}{(2.82 \cdot 10^{-10})^2} = 2.9 \cdot 10^{-9} \text{ [N]}$$

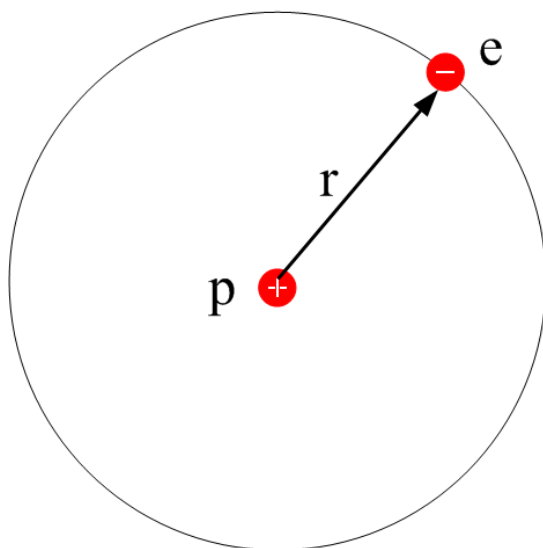
אטום המימן מכיל גרעין חיובי (פרוטון) ואלקטרון שלילי. על פי מודל אטום המימן של בוהר, רדיוס אטום המימן הוא $5.29 \cdot 10^{-11} [m]$ (ראו תרשים).

א- מהו הכוח הפועל על האלקטרון באטום המימן, לפי מודל זה?

ב- מהי תאוצתו הרדיאלית של האלקטרון? נתון כי מסת האלקטרון היא $9.11 \cdot 10^{-31} [kg]$

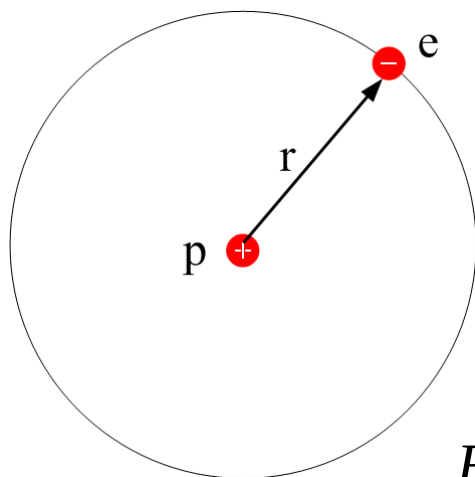
ג- מהו זמן המחזור של תנועתו?

ד- מהי מהירות תנועתו?



א- מהו הכוח הפועל על האלקטרון באטום המימן, לפי מודל זה?

◀ הכוח הוא חשמלי, כאשר גודלו (בערך מוחלט) של מטען הפרוטון שווה לזה של מטען האלקטרון, ולכן מתקיים:



$$F_E = k \frac{e \cdot e}{r^2}$$

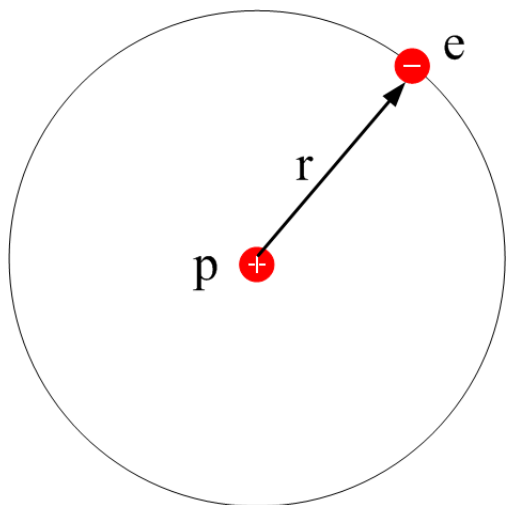
$$F_E = 9 \cdot 10^9 \frac{(1.6 \cdot 10^{-19})^2}{(5.29 \cdot 10^{-11})^2} = 82.33 \cdot 10^{-9} [N] = 82.33 [nN]$$

◀ הערה: בחוק קולון נהוג להציב את הערכים המוחלטים של המטען החשמלי.

כאשר המטענים מנוגדים בסימנם הכוח הוא כוח משיכה, וכשהם זהים בסימנם – זה כוח דחייה.

ב- מהי תאוצתו הרדיאלית של האלקטרון? נתון כי מסת האלקטרון היא $9.11 \cdot 10^{-31} \text{[kg]}$

◀ נחשב על פי הנתון הקודם:



$$a_r = \frac{F_r}{m} = \frac{F_E}{m} = \frac{82.33 \cdot 10^{-9}}{9.11 \cdot 10^{-31}} = 9.03 \cdot 10^{22} \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

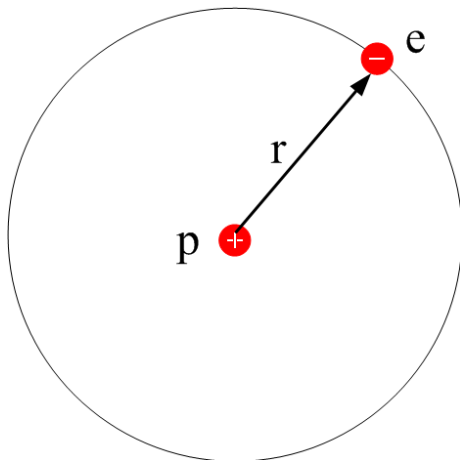
פתרון 2 המשך (ג)

ג- מהו זמן המחזור של תנועתו?

◀ מתוך הקשר בין התאוצה הרדיאלית לזמן המחזור:

$$a_r = \omega^2 r$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{a_R}{r}}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{9.03 \cdot 10^{22}}{5.29 \cdot 10^{-11}}}} = 1.52 \cdot 10^{-16} [s]$$



ד- מהי מהירות תנועתו?

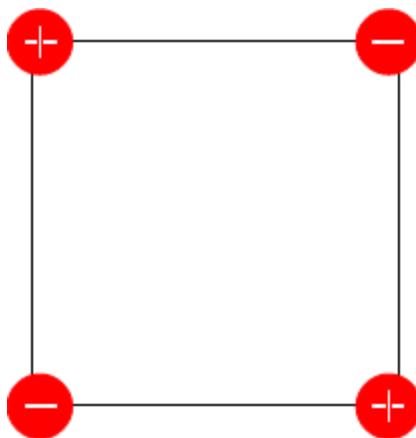
◀ מתוך הקשר בין המהירות לזמן המחזור, נקבל:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 5.29 \cdot 10^{-11}}{1.52 \cdot 10^{-16}} = 2.18 \cdot 10^6 \left[\frac{m}{s} \right]$$

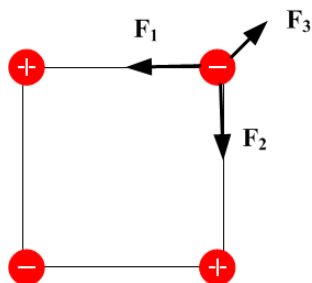
ארבעה מטענים חשמליים נקודתיים בני $3[\mu\text{C}]$ (מיקרו-קולון $= 10^{-6}$ קולון) מצויים ב-4 פינות של ריבוע, שצלעו 0.4 מטר, כפי שמתואר בתרשים.

א- מהו הכוח (גודל וכיוון) הפועל על כל אחד מהמטענים השליליים?

ב- מה יהיו הכיוון והגודל של הכוח הפועל על כל אחד מהמטענים החיוביים?



א- מהו הכוח (גודל וכיוון) הפועל על כל אחד מהמטענים השליליים?



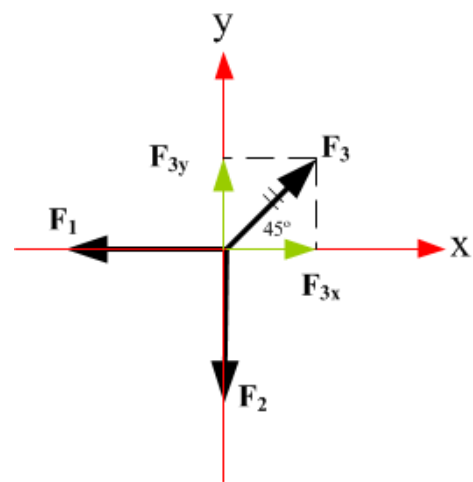
נסמן בחיצים את ווקטורי הכוחות על אחד המטענים השליליים. מטעמי סימטריה, התוצאה שתתקבל עבור מטען זה שווה לזו שעל המטען השלילי השני.

נשרטט את תרשים הכוחות במערכת צירים. הכוחות F_1 ו- F_2 הם כוחות משיכה והכוח F_3 הוא כוח דחייה, בזווית של 45 מעלות ביחס לציר x (גם כן מטעמי סימטריה).

מתקבל:

$$\Sigma F_x = F_{3x} - F_1$$

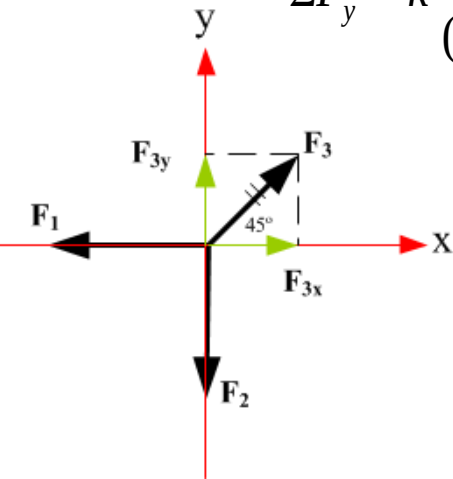
$$\Sigma F_y = F_{3y} - F_2$$



◀ נפרק לרכיבים ונסכם:

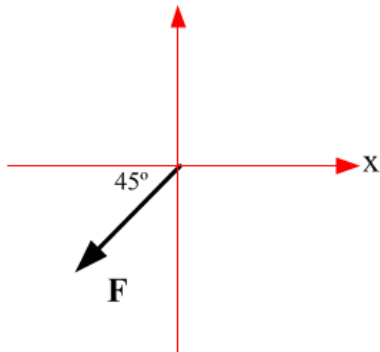
$$\Sigma F_x = k \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{(0.4\sqrt{2})^2} \cos 45^\circ - k \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{0.4^2} = k \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{0.4^2} \left(\frac{1}{2} \cos 45^\circ - 1 \right) = -0.327 [N]$$

$$\Sigma F_y = k \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{(0.4\sqrt{2})^2} \sin 45^\circ - k \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{0.4^2} = k \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{0.4^2} \left(\frac{1}{2} \sin 45^\circ - 1 \right) = -0.327 [N]$$



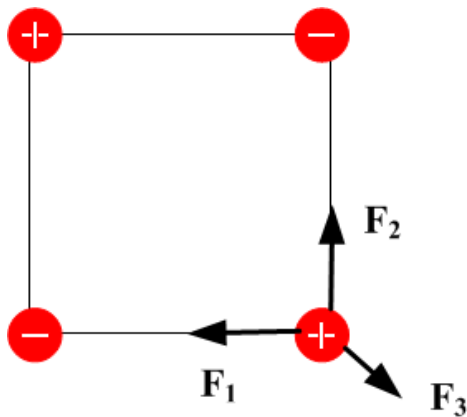
◀ כיוונו של השקול F הוא כמוראה בתרשים (מכוון אל מרכז הריבוע), וגודלו :

$$F = \sqrt{(-0.327)^2 + (-0.327)^2} = 0.463N$$



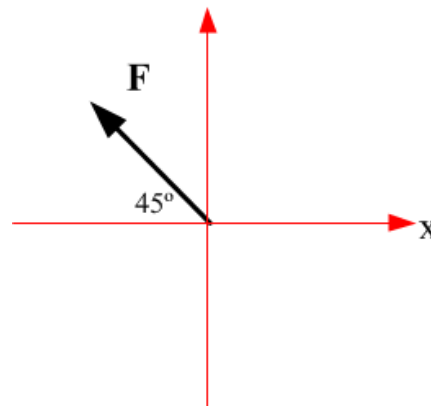
ב- מה יהיו הכיוון והגודל של הכוחות הפועל על כל אחד מהמטענים החיוביים?

גם כאן נעזר בשיקולי סימטריה, ונקבל תרשים כוחות דומה לזה של הסעיף הקודם:
הכוחות F_1 ו- F_2 הם כוחות משיכה והכוח F_3 הוא כוח דחייה, בזווית של 45 מעלות ביחס לציר x.



לכן, ערכו של שקול הכוחות הוא: $F = 0.463N$

וכיוונו בזווית של 45 מעלות אל מרכז הריבוע.

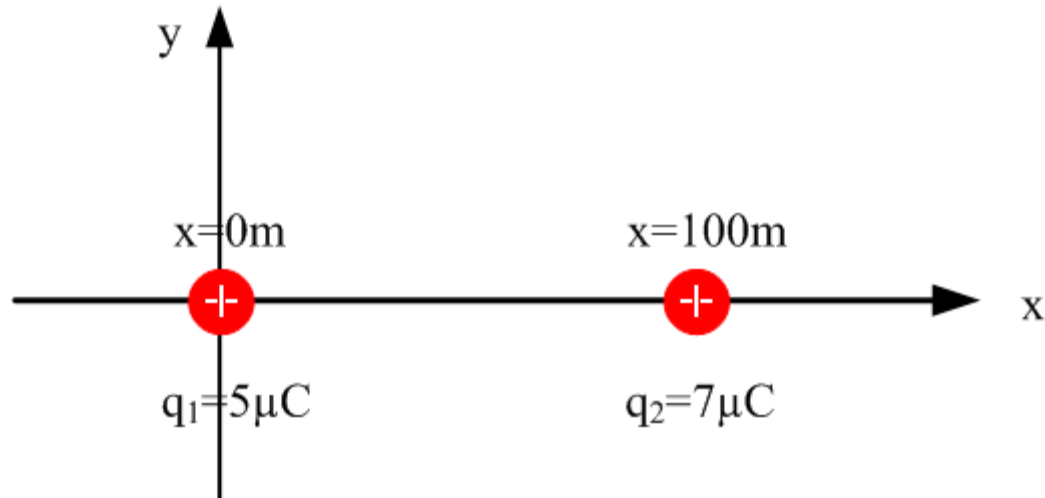


מטען של $+5[\mu\text{C}]$ מונח בראשית הצירים ומטען שני של $+7[\mu\text{C}]$ מונח בנקודה $x=100[\text{cm}]$.

א- האם יש מקומות במישור, בהם ניתן למקם מטען שלישי, כך שיימצא במנוחה?
אם כן- מהם? אם לא- נמקו.

ב- האם יש מקום על ציר x בו ניתן למקם את המטען השלישי, כך שיימצא במנוחה?
אם כן, מהו? אם לא- נמקו.

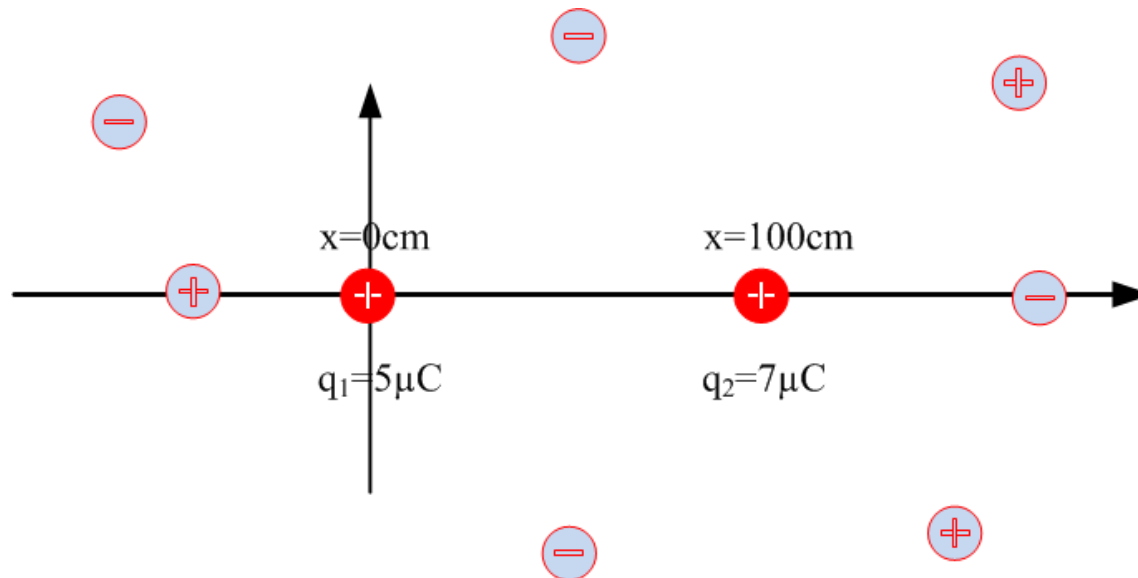
ג- מה צריך להיות גודלו של מטען כזה?



א- האם יש מקומות במישור בהם ניתן למקם מטען שלישי כך שיימצא במנוחה? נמקו.

◀ בכל נקודה במישור, פרט לנקודות שעל ציר x שבין שני המטענים, שני המטענים הקיימים יפעילו על המטען השלישי כוחות משיכה או דחייה (בהתאם לסימנו) באותו הכיוון, לכן הוא לא יימצא במנוחה.

◀ במיקום שבין המטענים, הכוחות שיפעלו על המטען השלישי יהיו בכיוונים מנוגדים, ולכן ייתכן מצב בו הוא יהיה במנוחה.

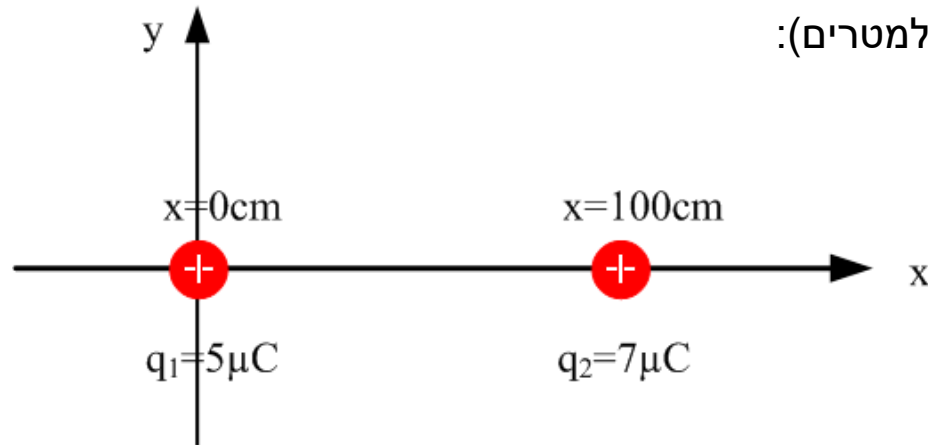


פתרון 4 המשך (ב)

ב- האם יש מקום על ציר x בו ניתן למקם את המטען השלישי כך שיהיה במנוחה?
אם כן, מהו? אם לא נמקו.

▶ בהתאם לתשובה של הסעיף הקודם, נמקם מטען בוחן q בנקודה x כלשהי, שבין שני המטענים הנתונים.

▶ נחשב את שקול הכוחות שיפעל על מטען זה (נעבור למטרים):



$$\Sigma F_x = -k \frac{(5 \cdot 10^{-6}) \cdot q}{x^2} + k \frac{(7 \cdot 10^{-6}) \cdot q}{(1-x)^2} = 0$$

$$7x^2 = 5(1-x)^2$$

$$x_1 = -5.458[m]$$

$$x_2 = +0.458[m]$$

▶ בשני המקרים הכוחות הפועלים על מטען הבוחן שווים בגודלם, כי כך דרשנו במשוואה.

▶ במקרה הראשון מטען הבוחן מצוי בחלק השלילי של ציר x ולכן שני המטענים הנתונים דוחים (או מושכים) אותו לאותו הכיוון ולכן הוא לא יימצא במנוחה.

▶ במקרה השני מטען הבוחן מצוי בין שני המטענים הנתונים, ונמשך (או נדחה) על ידי לכיוונים שונים ולכן יימצא במנוחה.

ג- מה צריך להיות גודלו של מטען זה?

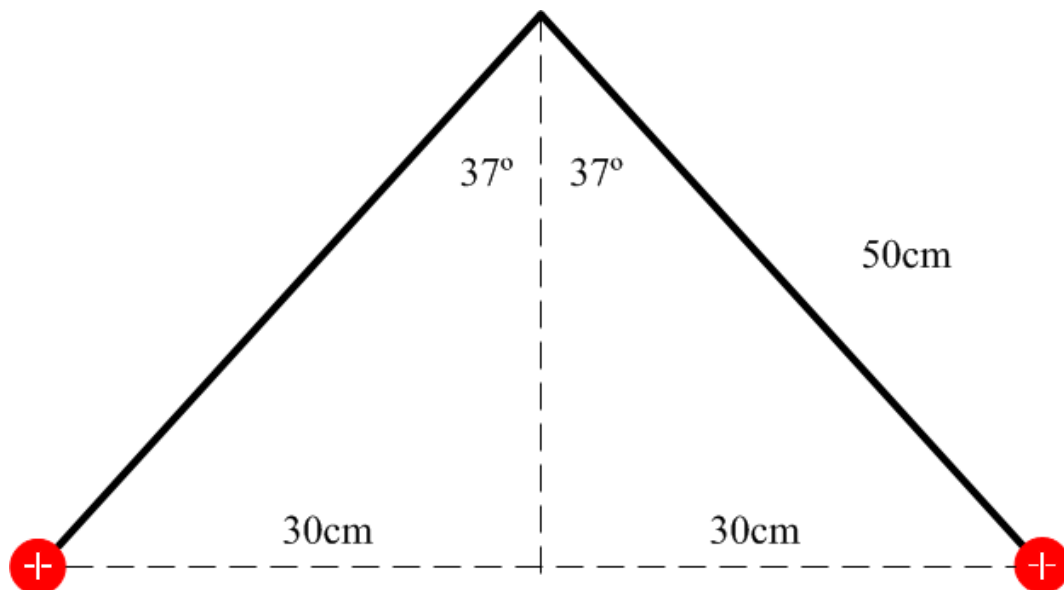
◀ כפי שראינו בחישוב שבסעיף 2, גודלו של מטען הבוחן מצטמצם, כלומר אין חשיבות לגודלו (או לסימנו).

◀ הסיבה הפיזיקלית לכך: גודלו של הכוח הפועל בין כל שני מטענים מושפע משניהם גם יחד, והואיל ומדובר בכוחות על אותו מטען בוחן, תרומתו לשני הכוחות הללו זהה, ולכן מתקזזת.

שני גופים הזהים במסתם ($m=0.2[g]$) ובמטענם תלויים על שני חוטים כמוראה בתרשים.

א- מה גודלו של המטען?

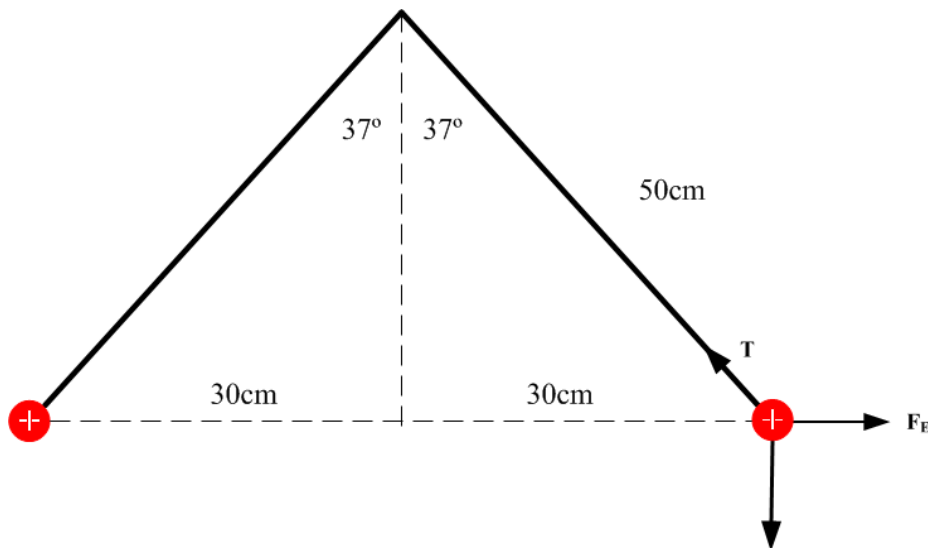
ב- מהי המתיחות בחוט?



א- מה גודלו של המטען?

נסמן את הכוחות הפועלים על אחד המטענים. מטעמי סימטריה המצב דומה גם למטען השני.

נפרק לרכיבים ונקבל:



$$\Sigma F_y = T \cos 37^\circ - mg = 0$$

$$\Sigma F_x = F_E - T \sin 37^\circ = 0$$

נחלק את שתי המשוואות ונקבל:

$$\tan 37^\circ = \frac{F_E}{mg}$$

$$F_E = mg \tan 37^\circ$$

$$F_E = mg \tan 37^\circ = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot \tan 37^\circ = 0.0015 [N]$$

ולחישוב המטען:

$$k \frac{q^2}{0.6^2} = 0.0015 [N]$$

$$q = \sqrt{\frac{0.6^2 \cdot 0.0015}{9 \cdot 10^9}} = +0.24 [\mu C]$$

בחרנו בסימן החיובי כי כך נתון בתרשים.

הערך הכמותי של המטען היה שווה גם לו היינו מתייחסים למטען שלילי.

ב- מהי המתיחות בחוט?

נשתמש שוב בפירוק לרכיבים:

$$\Sigma F_y = T \cos 37 - mg = 0$$

$$\Sigma F_x = F_E - T \sin 37 = 0$$

מתוך ש"מ בציר y נקבל:

$$\Sigma F_y = T \cos 37 - mg = 0$$

$$T = \frac{mg}{\cos 37} = \frac{0.2 \cdot 10^{-3} g}{\cos 37} = 0.0025 N$$

