

**מבוא לאקטרוסטטיקה.
מושגים.**

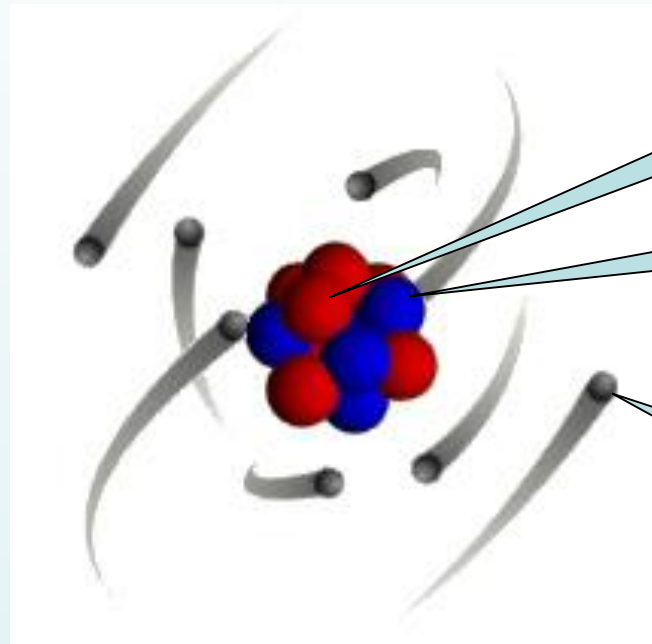
מטען חשמלי

מטען חשמלי

הוא תכונה פיזיקלית של חומר, הגורמת
לאינטראקציה עם מטענים אחרים.

קיימים שני סימנים של מטענים
חשמליים – חיובי ושלילי.

מבנה האטום



פרוטון - חיובי

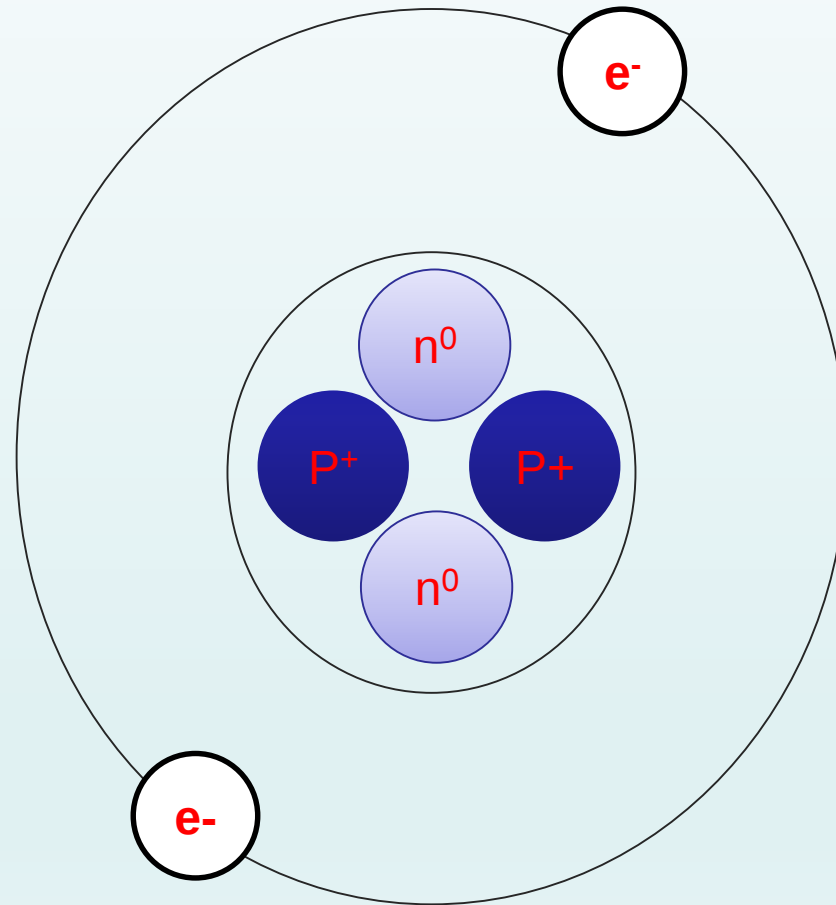
נויטרון - ניטרלי

אלקטרון - שלילי

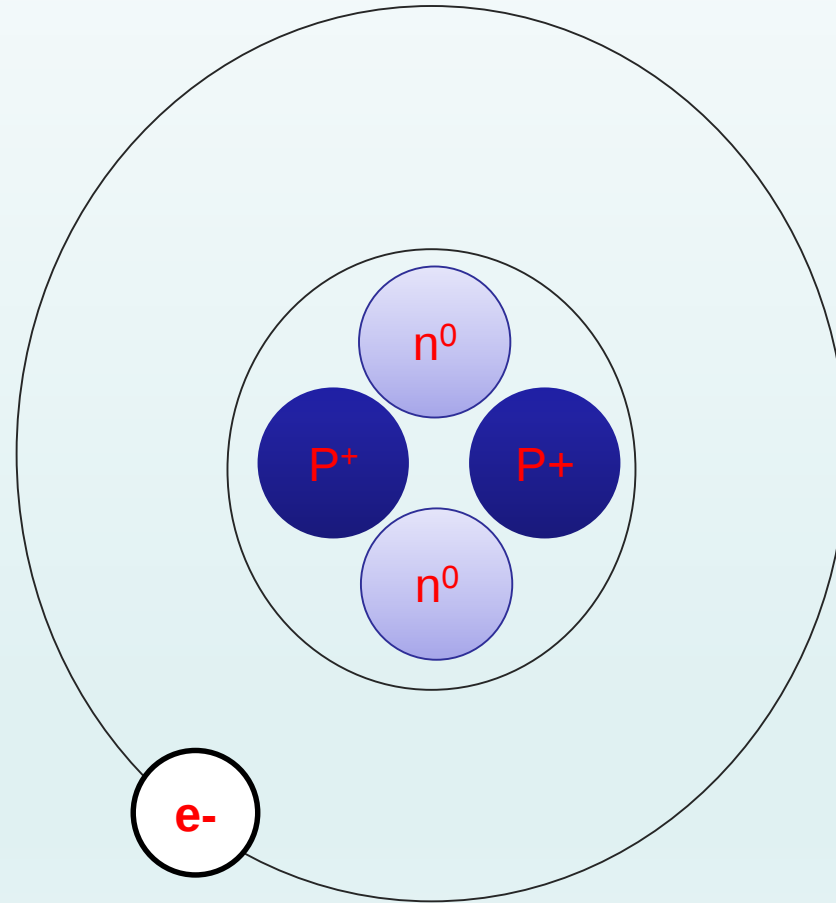
$1.60 \cdot 10^{-19}$	C	e	מטען האלקטרון
-----------------------	---	---	---------------

מטען הפרוטון שה למטען האלקטרון בערך מוחלט

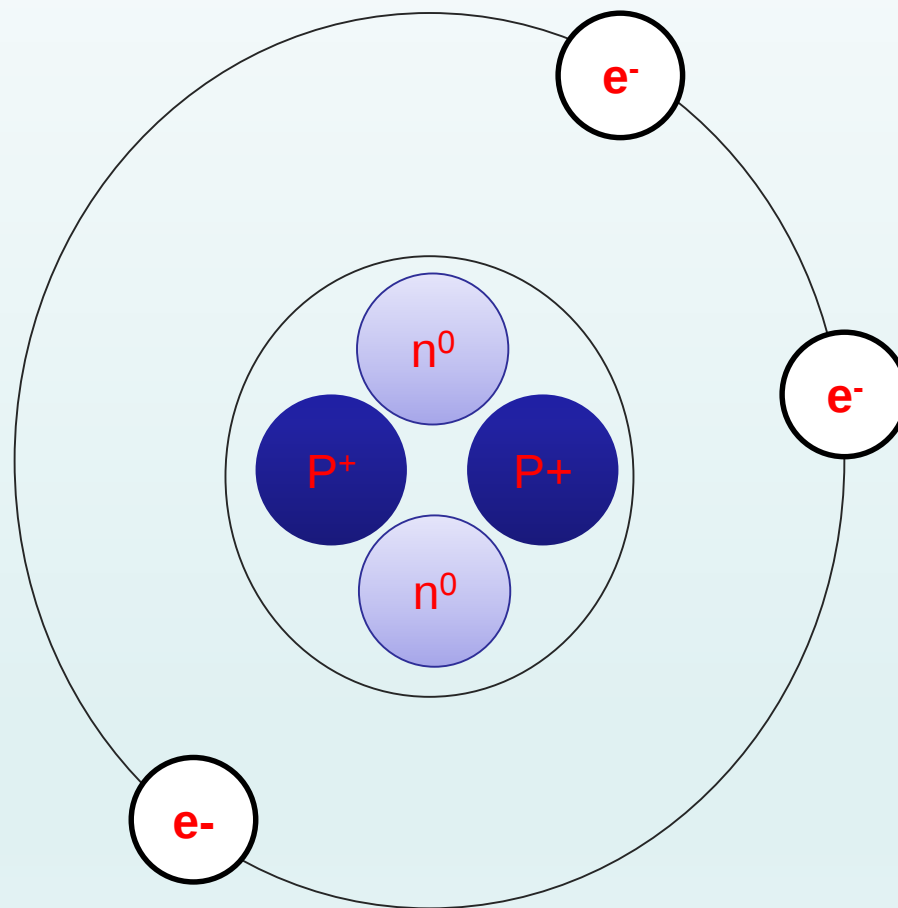
אטום ניטרלי: כמות הפרוטונים שווה לכמות האלקטרונים



יון חיובי: כמות הפרוטונים גדולה מכמות האלקטרונים



יון שלילי: כמות הפרוטונים קטנה מכמות האלקטרונים



טעינת גופים

•גרעינים של אטומים שונים מפעילים על האלקטרונים שלהם כוחות שונים, לכן במגע (שפשוף) (אלקטרונים מחומר אחד יכולים לעבור לחומר אחר

•אטום שמאבד אלקטרון הופך ליון חיובי, מפני שכמות הפרוטונים החיוביים נשארת ללא שינוי וכמות האלקטרונים קטנה

• אטום שמקבל אלקטרון מאטום אחר הופך ליון שלילי

• מטען חשמלי: תכונה הנובעת מעודף או מחוסר באלקטרונים

סימני מטענים חשמליים

- אם גוף טעון במטען חיובי זה אומר שיש לו חוסר אלקטרונים (בהשוואה לכמות הפרוטונים)
- אם גוף טעון במטען שלילי זה אומר שיש לו עודף אלקטרונים (בהשוואה לכמות הפרוטונים)
- רק אלקטרונים יכולים לעבור מגוף אחד לשני, אבל להמחשה נגיד שגם מטענים חיוביים וגם שליליים יכולים לנוע גם בתוך הגוף וגם בין גופים שונים

יחידת מדידה של מטען חשמלי

- יחידת מדידה של מטען חשמלי היא קולון (C)



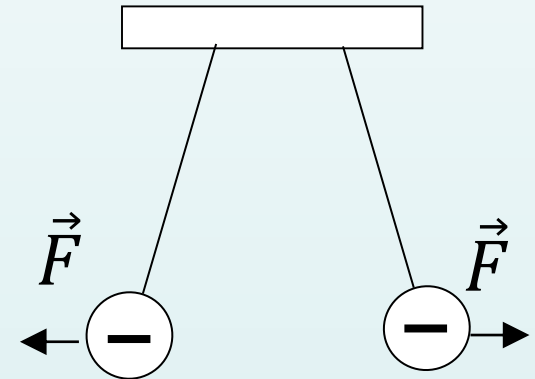
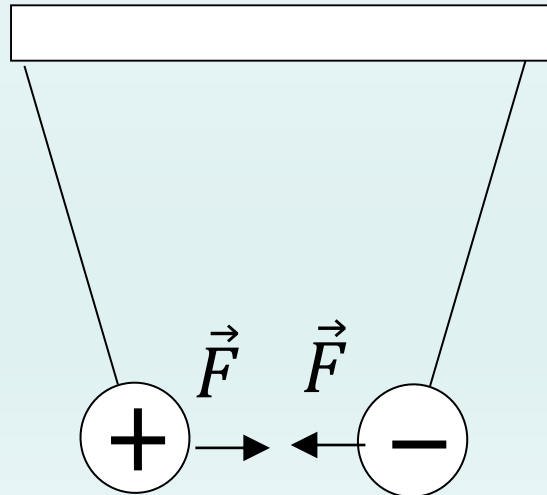
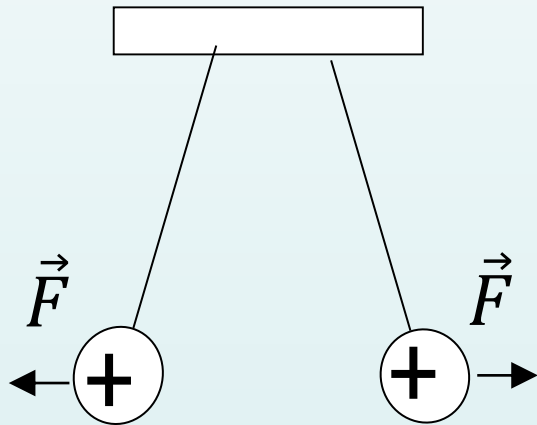
על שמו של פיזיקאי צרפתי שלראשונה
חקר את הכוחות שפועלים בין גופים
טעונים בצורה כמותית.

- מסיבות היסטוריות, קולון הוא לא יחידה בסיסית
בפיזיקה ומוגדר דרך אמפר (A)
- קולון אחד הוא מטען שעובר דרך שטח חתך של
תיל בשנייה אחת אם זורם בו זרם של אמפר אחד

$$1C = 1A \cdot 1Sec$$

הכוח החשמלי

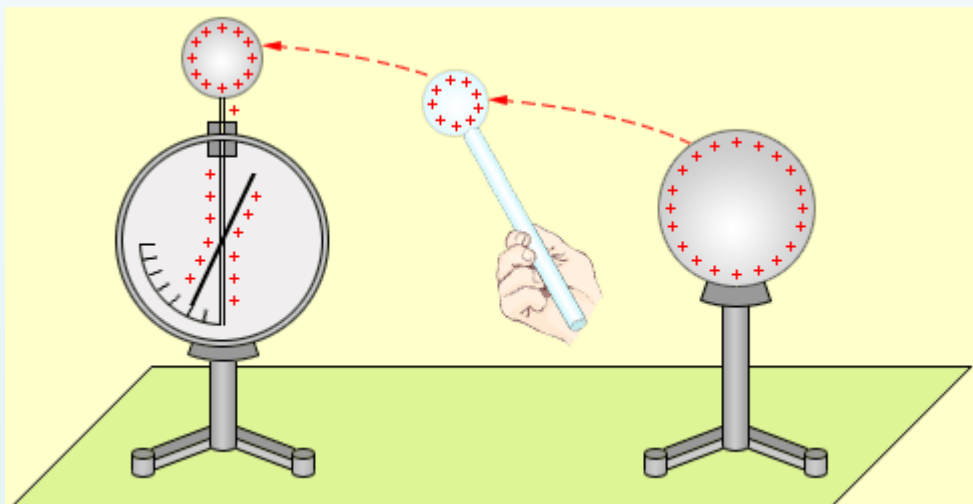
- פועל רק בין מטענים חשמליים (גופים טעונים) –
מכוון בקו שמחבר בין מרכזי הגופים



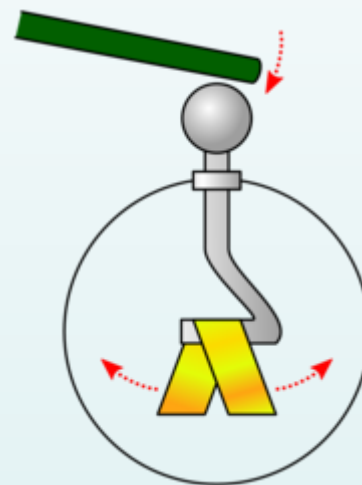


<https://www.youtube.com/watch?v=jZEFuCXD7BE>

מכשירים למדידת מטען חשמלי

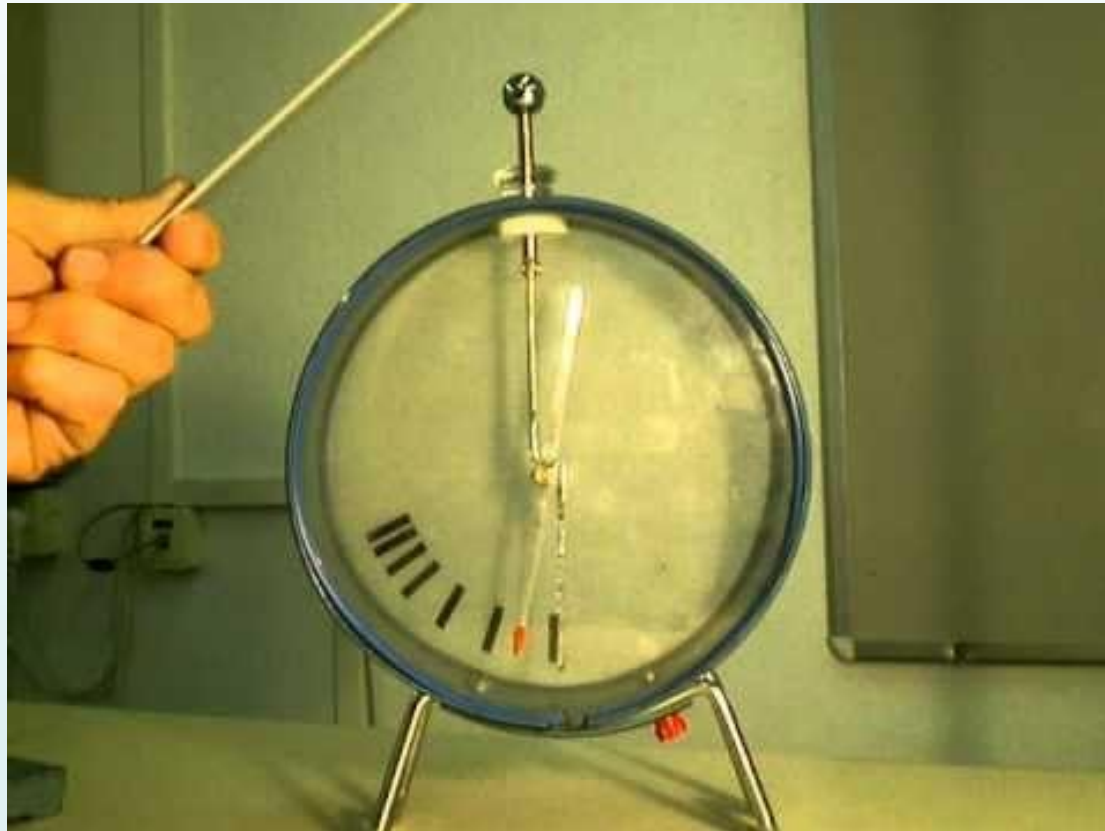


אלקטרומטר



אלקטרוסקופ

הדגמת אלקטרומטר



<http://www.youtube.com/watch?v=xwOEITSjOuU>

מטען אלמנטרי

מטען אלמנטרי – מטען האלקטרון. **לפרוטון** יש מטען זהה בגודלו, אך חיובי בסימנו.

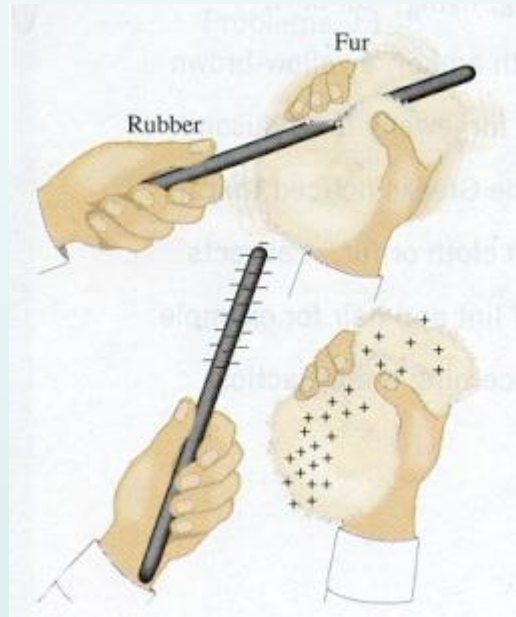
$$e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$$

מטענים של כל הגופים – כפולות שלמות של מטען אלמנטארי.

כדי לחשב את הכמות של האלקטרונים "העודפים" או "החסרים" בגוף, צריך לחלק את המטען של גוף בקולון במטען אלמנטרי של האלקטרון.

חוק שימור המטען החשמלי

מטענים אינם נוצרים יש מאין ואינם נעלמים. הם יכולים, בתנאים מתאימים, לעבור מגוף לגוף.



סה"כ מטען חשמלי במערכת סגורה לא משתנה.

חוק שימור המטען החשמלי

במערכת סגורה כמות המטען לא משתנה

$$\sum q = q_1 + q_2 + \dots + q_n \quad \sum q = \text{const}$$

לדוגמה: ישנם שני גופים - אחד ניטרלי ושני טעון מטען 5 מיקרו קולון. מחברים בניהם. מתרחש פיזור חדש של המטענים, אבל בשני הגופים המטען הכולל נשאר 5 מיקרו קולון.

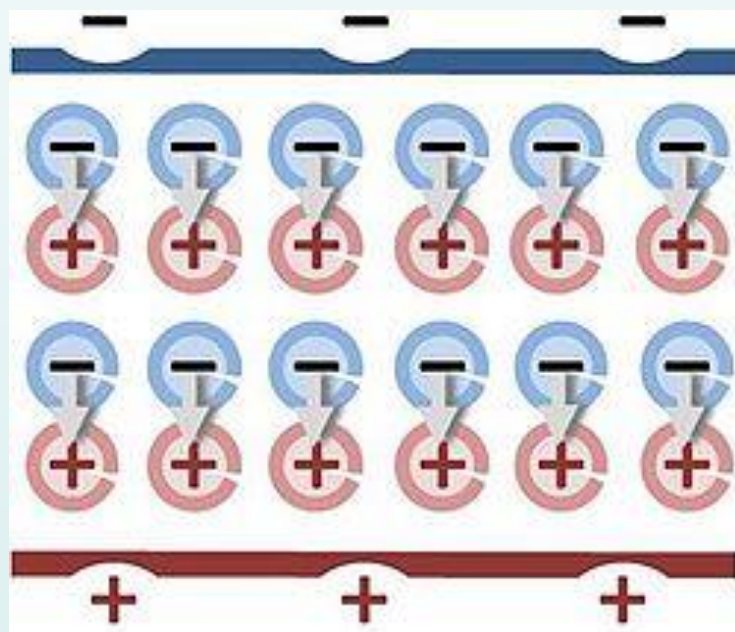


https://quizizz.com/admin/quiz/start_new/58a7ebaeb2798b677712f206

[Join.quizizz.com](https://quizizz.com)

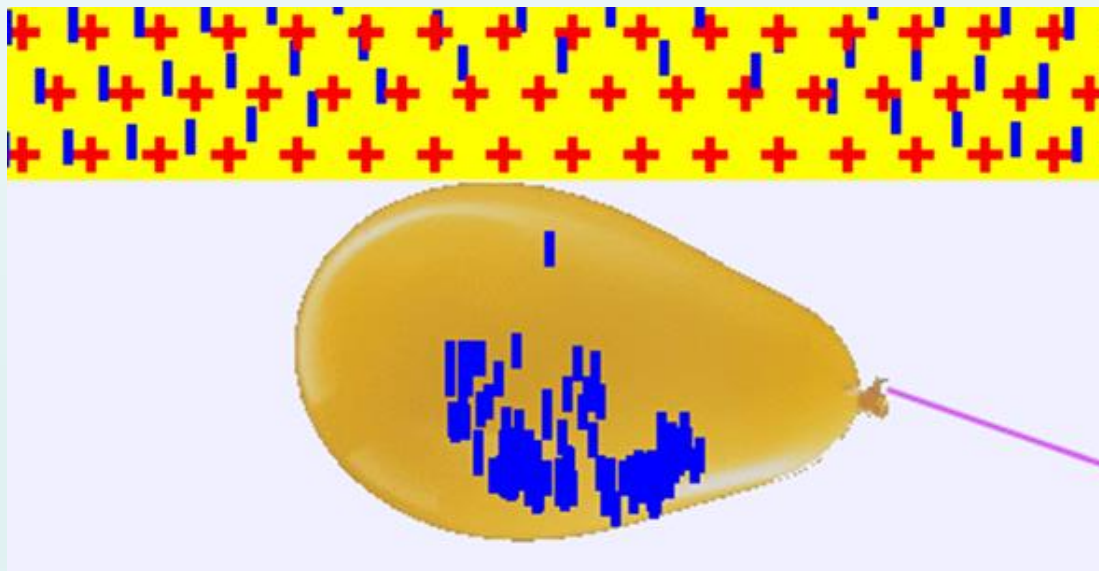
קיטוב חשמלי והשראה
אלקטרוסטטית

קיטוב חשמלי – מדד מיקרוסקופי להפרדה בין מטענם חיוביים ושלילים



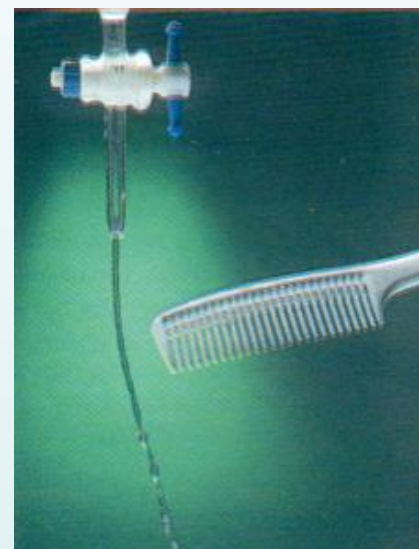
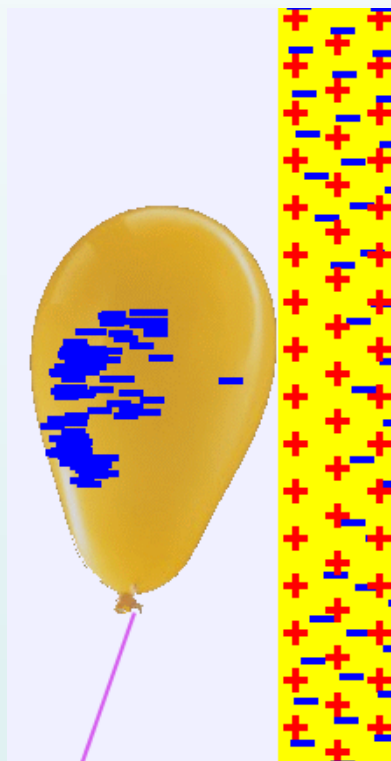
להעתיק

השראה אלקטרוסטטית – תפעה שבה מתרחש קיטוב חשמלי של גוף ניטרלי בקרבת גוף טעון



להעתיק

השראה אלקטרוסטטית - הדמיה



<http://phet.colorado.edu/sims/balloons/balloons.jnlp>

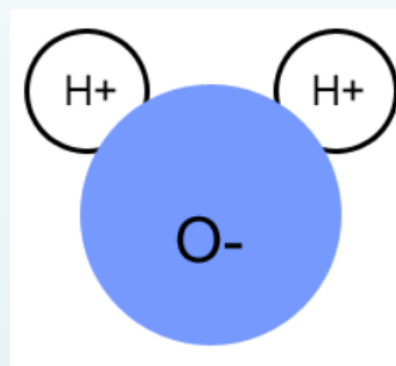
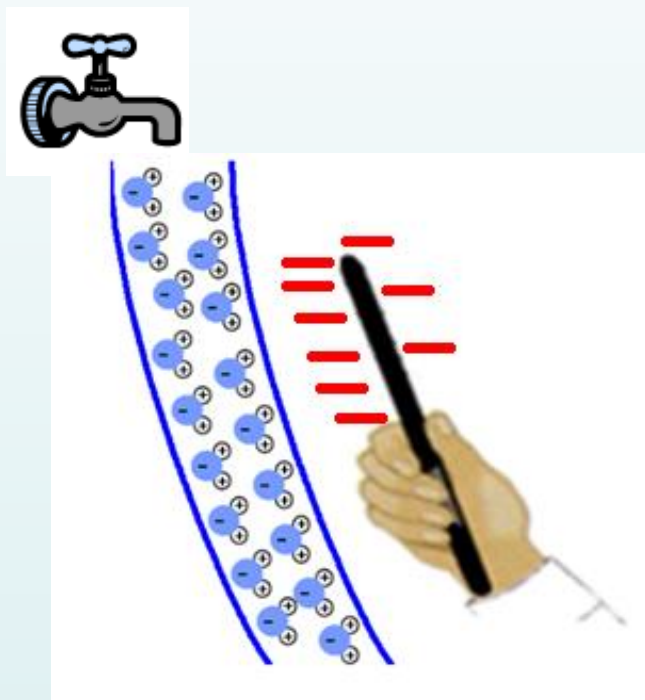
גוף ניטרלי נמשך לגוף טעון



<http://www.youtube.com/watch?v=ffOd7nP5dEw>

קיטוב חשמלי על ידי השראה: מבדדים (4)

- חומרים, העשויים מלכתחילה ממולקולות מקוטבות, כלומר מולקולות שאינן סימטריות מבחינה חשמלית, כמו מולקולות מים (איור), מסתדרות בהתאם למשיכת הגוף הטעון, ובכך נוצר קיטוב של זרם המים, לכן הכוח הפועל גדול יותר.

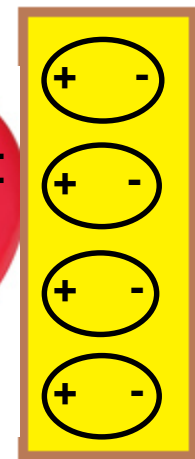
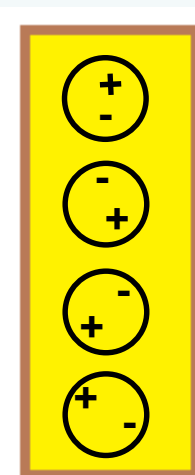
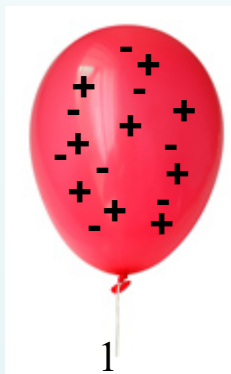


מולקולת מים

- הסברנו, אם כן, מדוע גופים נייטרליים נמשכים (מושכים) אל גוף טעון.
- הכוח חזק כאשר הגופים הנייטרליים עשויים מחומרים מוליכי חשמל, כמו מתכות, חלש יותר במבדדים בעלי מולקולות מקוטבות, ועוד יותר חלש ביתר המבדדים.

קיטוב חשמלי על ידי השראה: מבדדים (2) - דוגמא

למה בלון טעון (עודף מטען שלילי, למשל) נצמד לקיר?

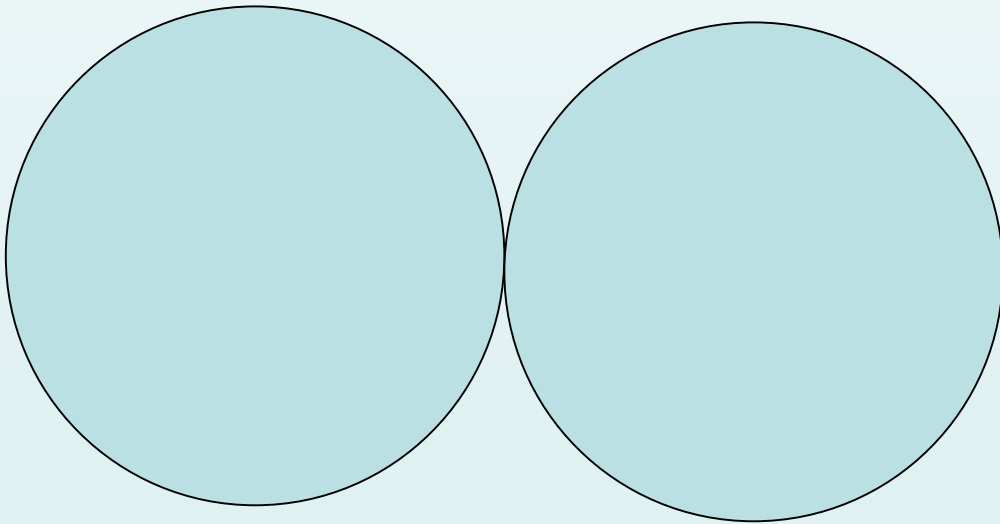


4

קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית

שלב 1

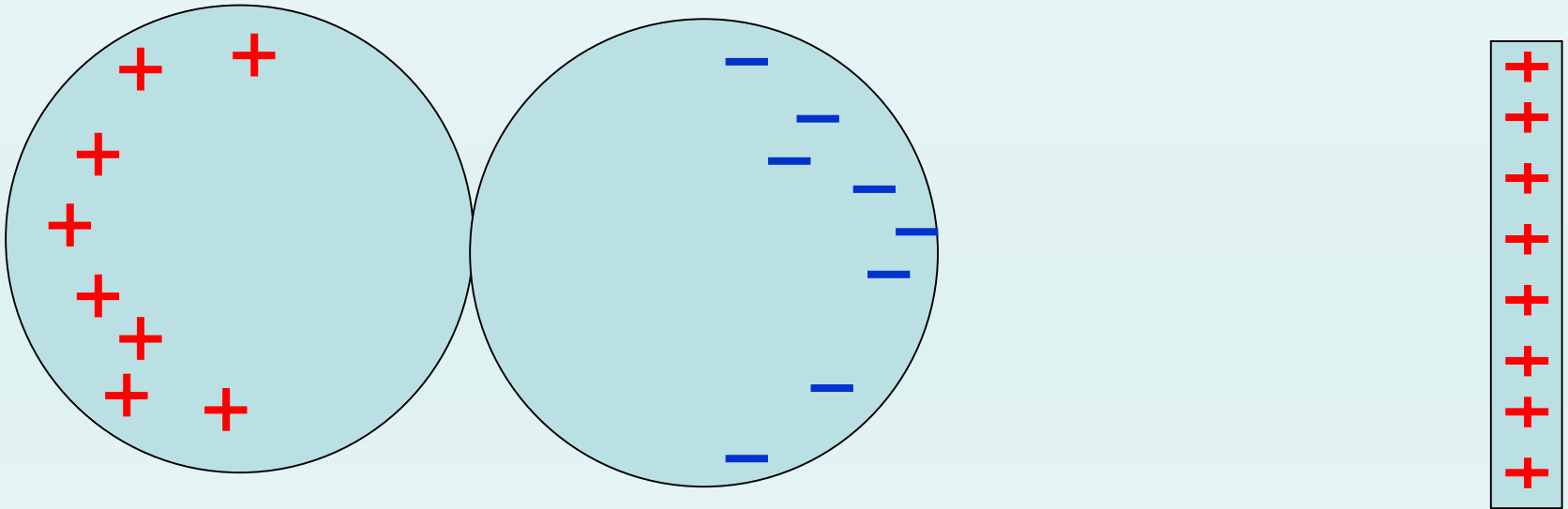
שני כדורים מוליכים **ניטרליים** (כמות מטענים חיוביים
ושליליים בכל כדור שווה) נמצאים במגע.



קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית

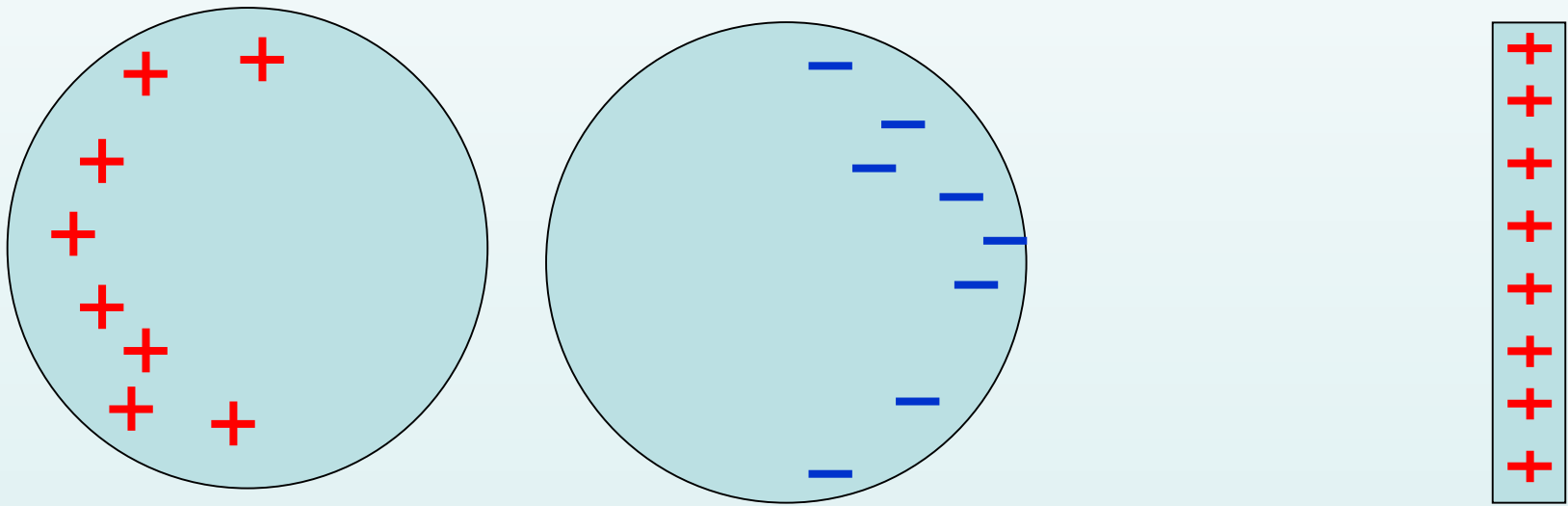
שלב 2

שני כדורים מוליכים נמצאים במגע. מקרבים אליהם מוט טעון חיובי ובכדורים מתרחש קיטוב חשמלי עקב השראה אלקטרוסטטית: מטענים שליליים עוברים לכדור הימני ובכדור השמאלי נוצר חוסר של מטענים שליליים, כלומר עודף של חיוביים.



קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית

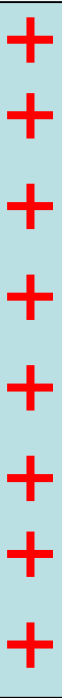
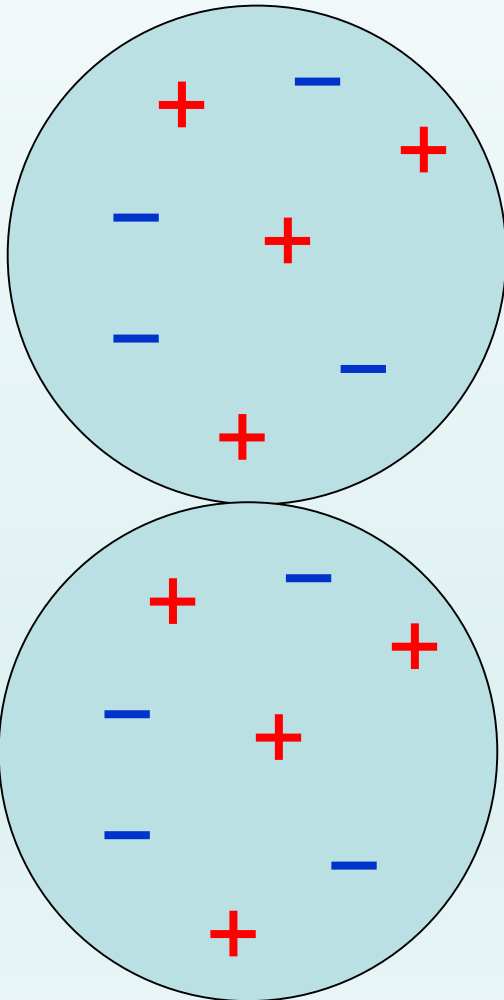
שלב 3



מפרידים בין הכדורים ואז מסלקים את המוט. הכדורים
נשארים טעונים כל אחד במטען זהה בגודלו והפוך
בסימנו.

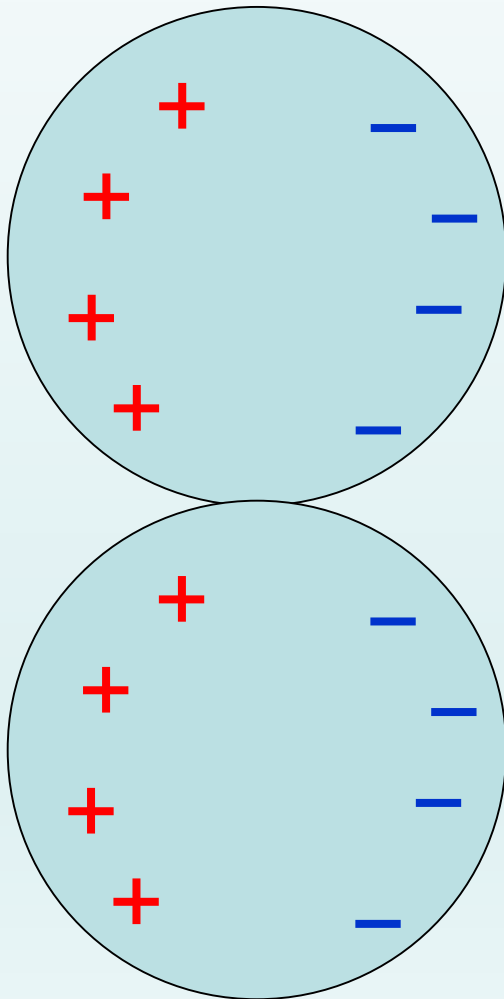
קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית

גופים ניטרלים



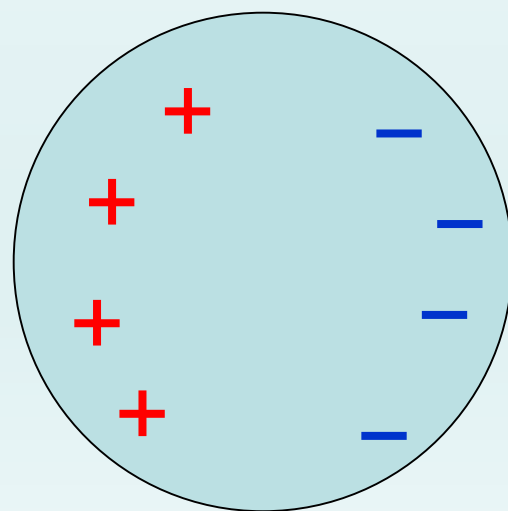
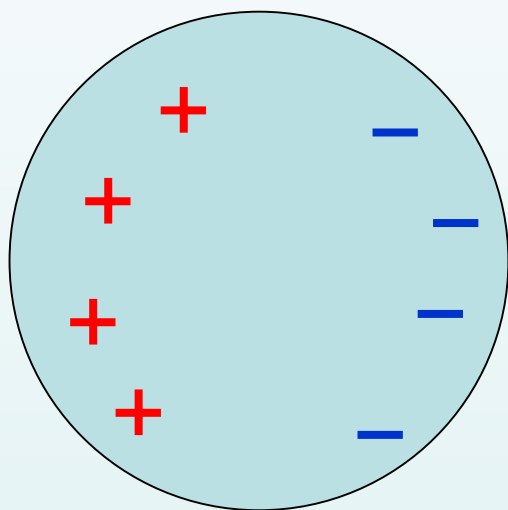
הפעם אותם כדורים מחוברים
אחרת. שוב מקרבים מוט
טעון במטען חיובי.

קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית



מפרידים בין הכדורים

קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית



מסלקים את המוט.

הכדורים נשארים ניטרליים

הדגמה: טעינה בהשראה (1)- שני מוליכים ומוט טעון במטען שלילי



(א) שני כדורים נייטרליים נוגעים זה בזה.



(ב) מקרבים מוט טעון שלילית אל הפחיות- תהליך של קיטוב.



(ג) מפרידים בין הפחיות בנוכחות המוט הטעון.



(ד) לאחר סילוק המוט, פחית אחת תהיה טעונה חיובית והשנייה שלילית.

השראה אלקטרוסטטית



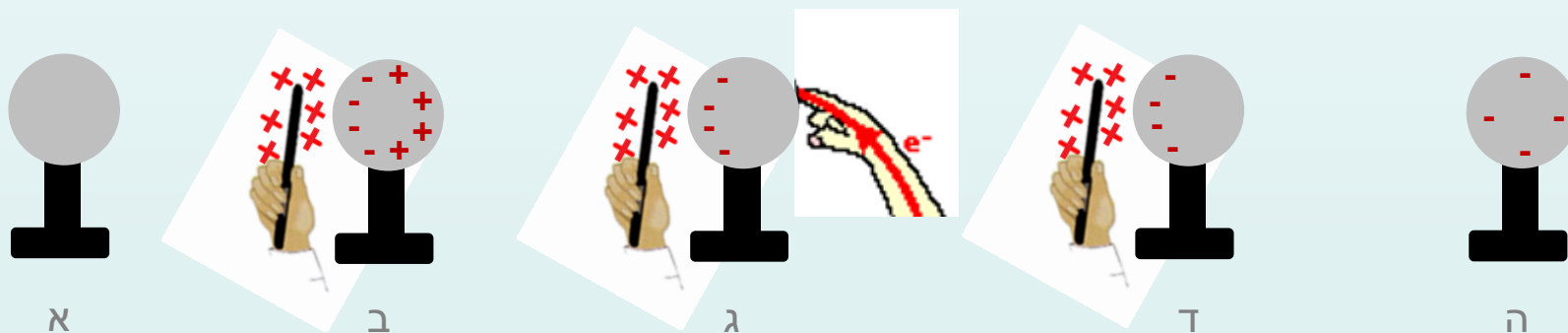
<https://youtu.be/ffOd7nP5dEw?t=1m44s>

הדגמה: טעינה בהשראה והארקה - כדור מוליך בודד

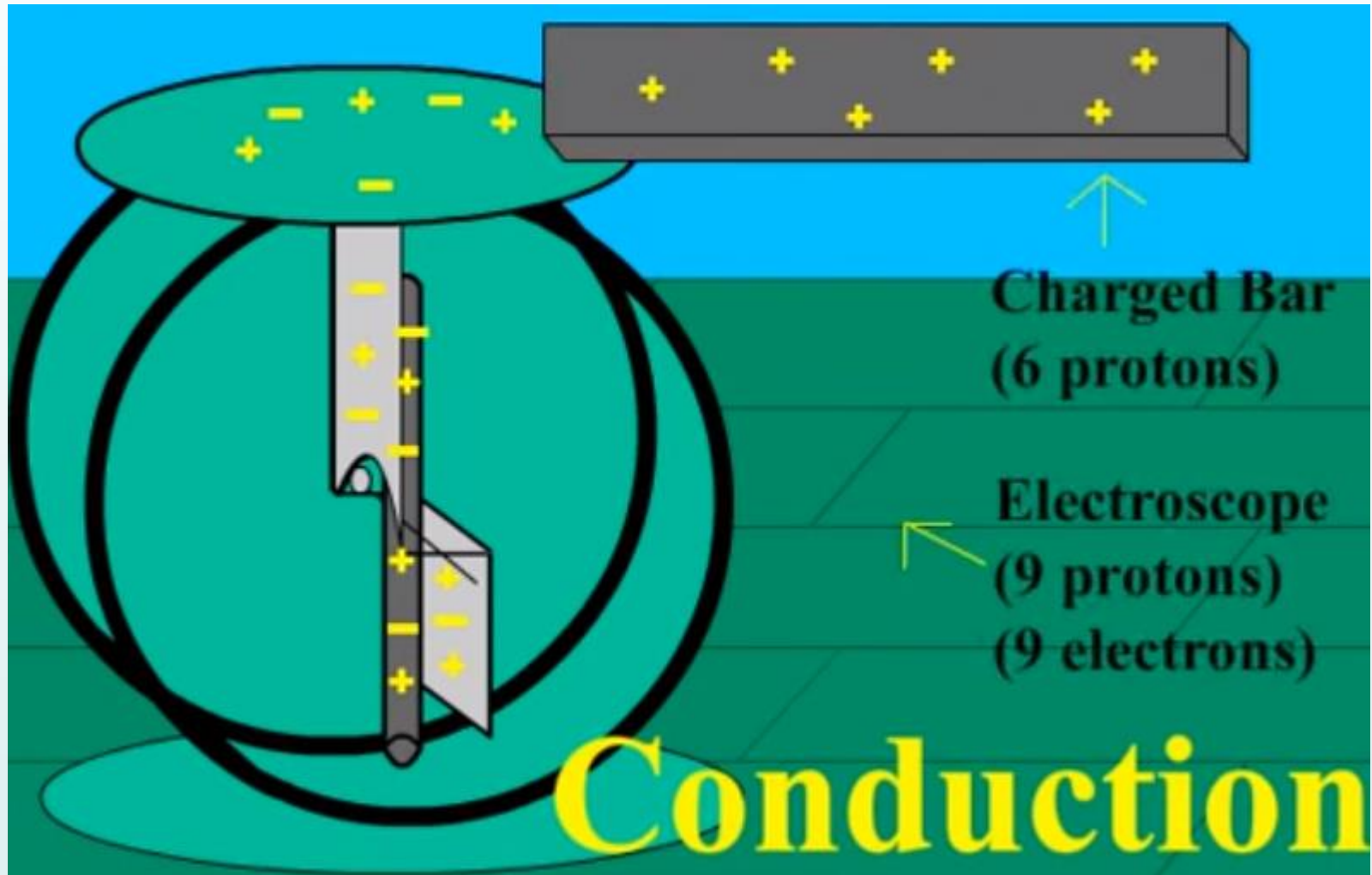
טעינה של גוף בודד יכולה להתבצע על ידי השראה (שיוצרת קיטוב) ובו זמנית- הארקה. הארקה היא תהליך של העברת מטענים אל האדמה או ממנה באמצעות מגע של מוליך (למשל- גוף האדם).



טעינת גוף יחיד בהשראה באמצעות הארקה ומוט שלילי



טעינת גוף יחיד בהשראה באמצעות הארקה ומוט חיובי



<https://youtu.be/rWHLXV96dKQ>



https://quizizz.com/admin/quiz/start_new/58a8605ffe4743d577f2cce6

[Join.quizizz.com](https://quizizz.com)

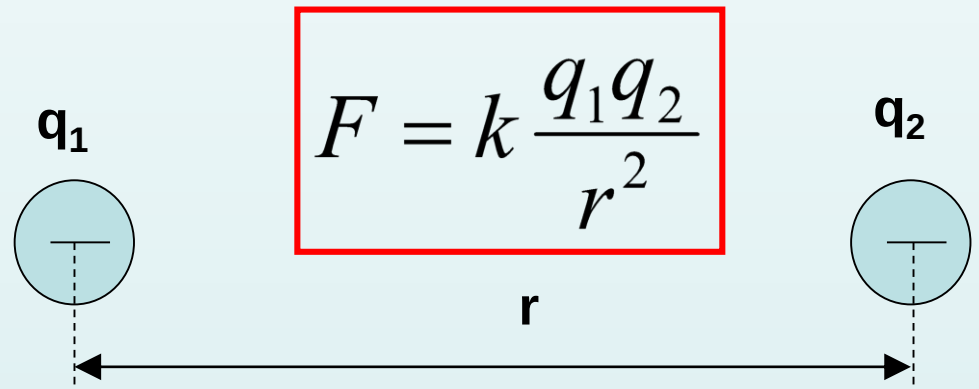
חוק קולון

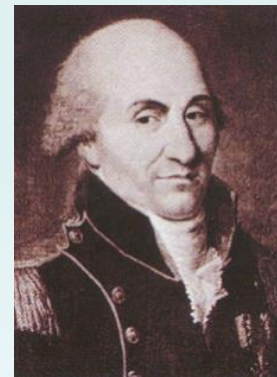
חוק קולון

מאפשר לחשב את גודלו של כוח המשיכה או הדחייה
בין גופים טעונים

כוח משיכה או דחייה שבין שני מטענים נקודתיים, עומד ביחס
ישר למכפלת המטענים וביחס הפוך לריבוע המרחק שביניהם

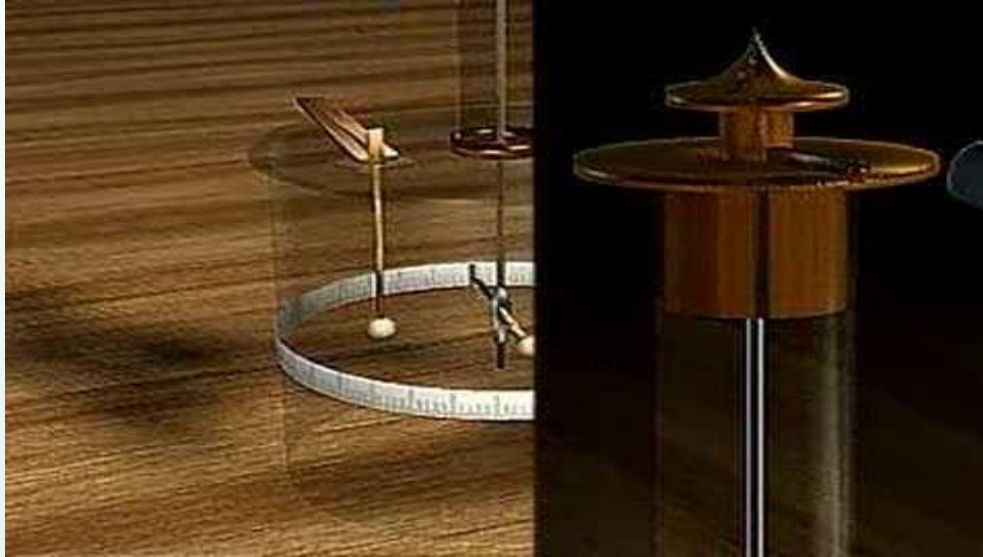
F	כוח חשמלי
k	המקדם בחוק קולון
q	מטעני הגופים
r	מרחק בין מרכזי הגופים


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



מאזני פיתול

מכשיר למדידה של קבוע בחוק קולון



https://www.youtube.com/watch?v=_5Vplje-R54

כוח הפועל בין שני מטענים נקודתיים
בעלי מטען של 1 קולון, הנמצאים
במרחק 1 מטר ביניהם.

להעתיק

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{c^2}$$

צורה נוספת של כתיבת חוק קולון

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

להעתיק

סימנים בחוק קולון

לחוק קולון "מינוס" לא מציבים סימן

חוק קולון מאפשר לחשב רק את גודלו של כוח

לפני חישוב של גודלם, מתחשבים בסימן בשרטוט כוחות
(מטענים זהים נדחים ומטענים מנוגדים נמשכים)



https://quizizz.com/admin/quiz/start_new/58a86a9bb2798b677712f620

[Join.quizizz.com](https://quizizz.com)

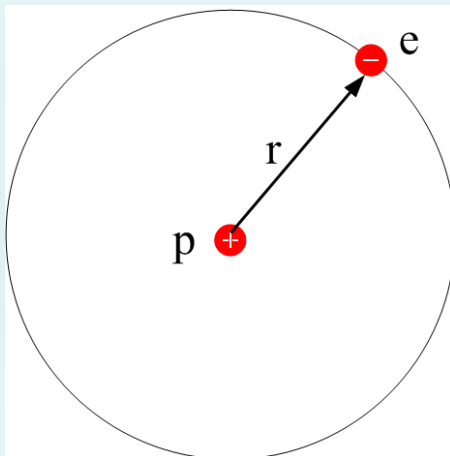
אטום המימן מכיל גרעין חיובי (פרוטון) ואלקטרון שלילי. על פי מודל אטום המימן של בוהר, רדיוס אטום המימן הוא $5.29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ (ראו תרשים).

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

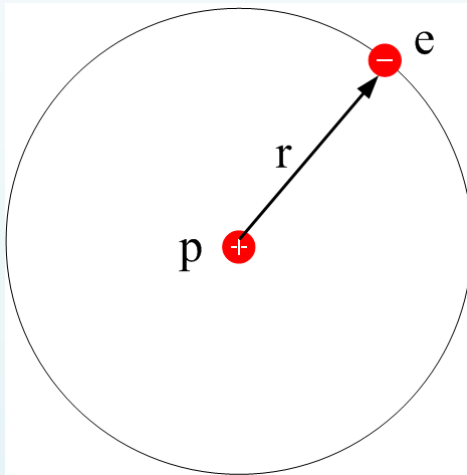
ב- מהי תאוצתו הרדיאלית של האלקטרון? נתון כי מסת האלקטרון היא $9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

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:



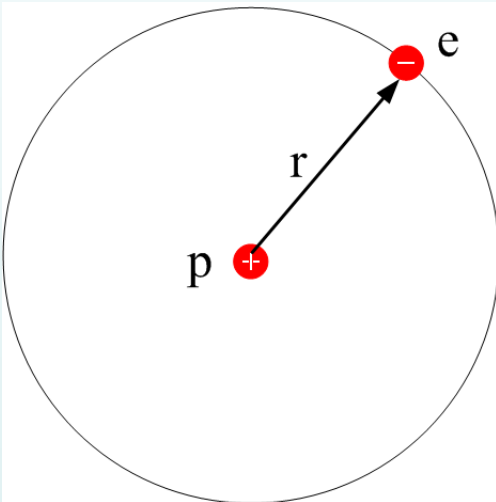
$$F_e = k \frac{e \cdot e}{r^2}$$

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

- 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 $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

◀ נחשב על פי הנתון הקודם:



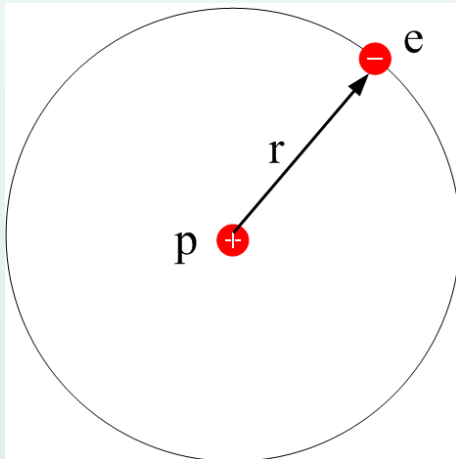
$$a_R = \frac{F_R}{m} = \frac{F_e}{m} = \frac{82.33 \cdot 10^{-9}}{9.11 \cdot 10^{-31}} = 9.03 \cdot 10^{22} \frac{m}{s^2}$$

ג- מהו זמן המחזור של תנועתו?

◀ מתוך הקשר בין התאוצה הרדיאלית לזמן המחזור:

$$a_R = \omega^2 r$$

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



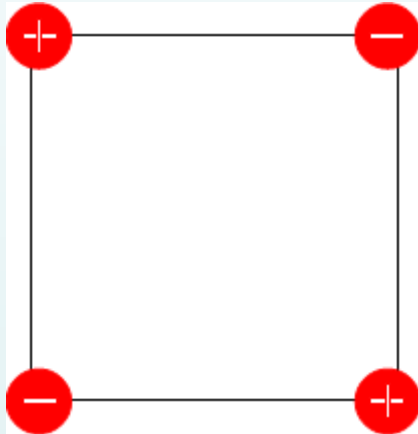
ד- מהי מהירות תנועתו?

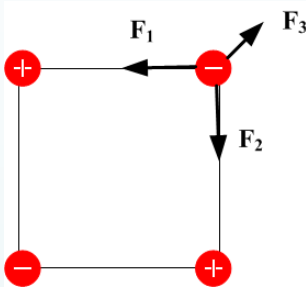
◀ מתוך הקשר בין המהירות לזמן המחזור, נקבל:

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

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.

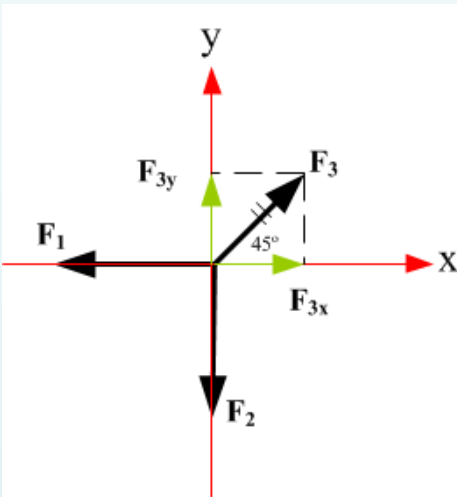
נשרטט את תרשים הכוחות במערכת צירים.

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:

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

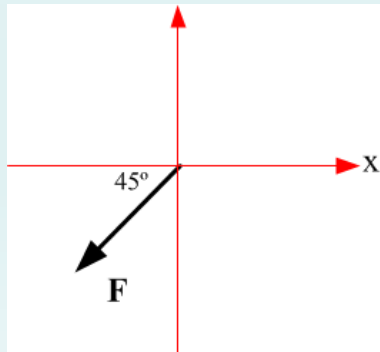
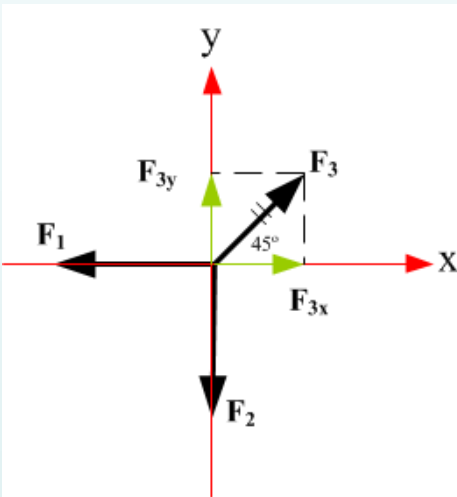
$$\Sigma F_y = F_{3y} - F_2$$



◀ נפרק לרכיבים ונסכם:

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

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

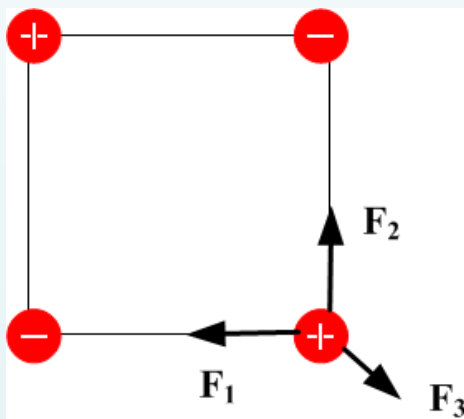


◀ כיוונו של השקול F הוא כמוראה בתרשים (מכוון אל מרכז הריבוע), וגודלו :

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

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

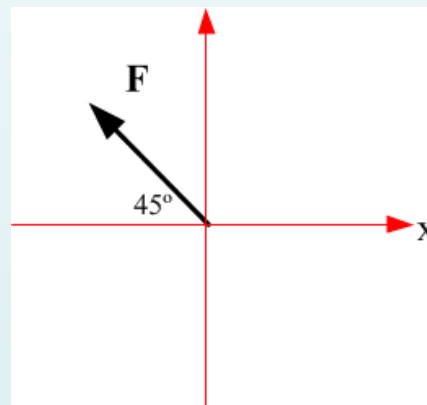
גם כאן נעזר בשיקולי סימטריה, ונקבל תרשים כוחות דומה לזה של הסעיף הקודם:
הכוחות F_1 ו- F_2 הם כוחות משיכה והכוח F_3 הוא כוח דחייה, בזווית של 45 מעלות ביחס לציר x.



לכן, ערכו של שקול הכוחות הוא:

$$F = 0.463N$$

וכיוונו בזווית של 45 מעלות אל מרכז הריבוע.

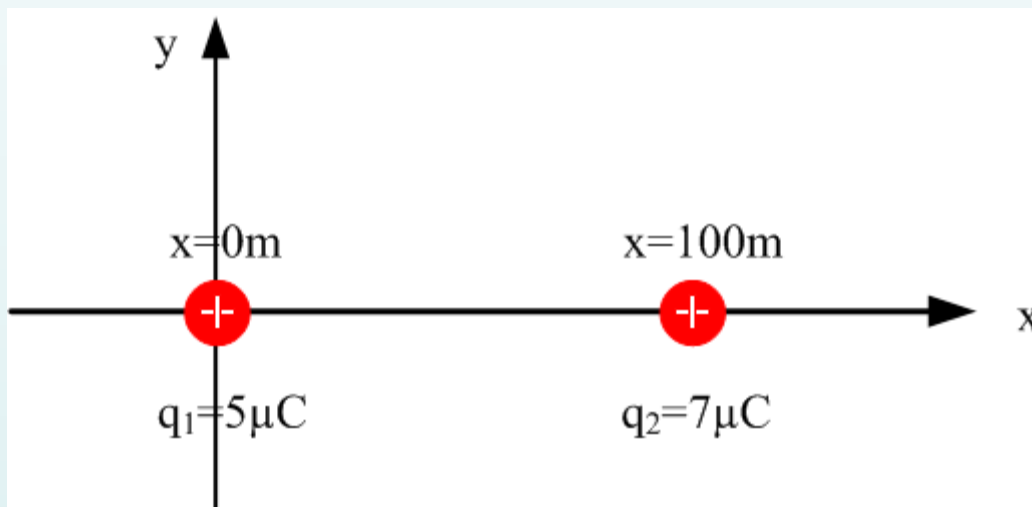


מטען של $+5\mu\text{C}$ מונח בראשית הצירים ומטען שני של $+7\mu\text{C}$ מונח בנקודה $x=100\text{cm}$.

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.

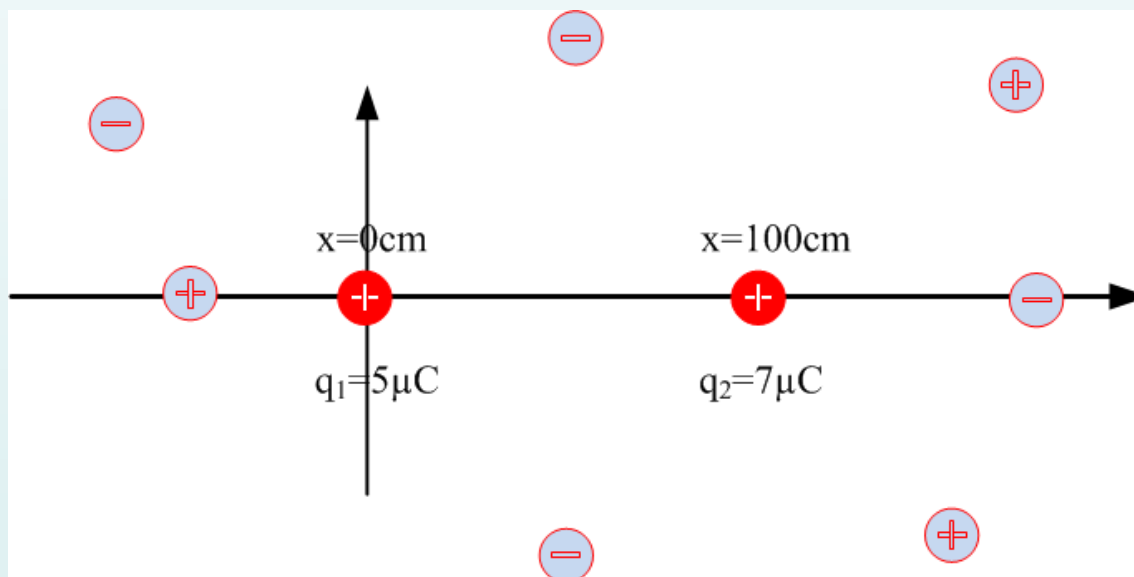
ג- מה צריך להיות גודלו של מטען כזה?



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.



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):

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

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

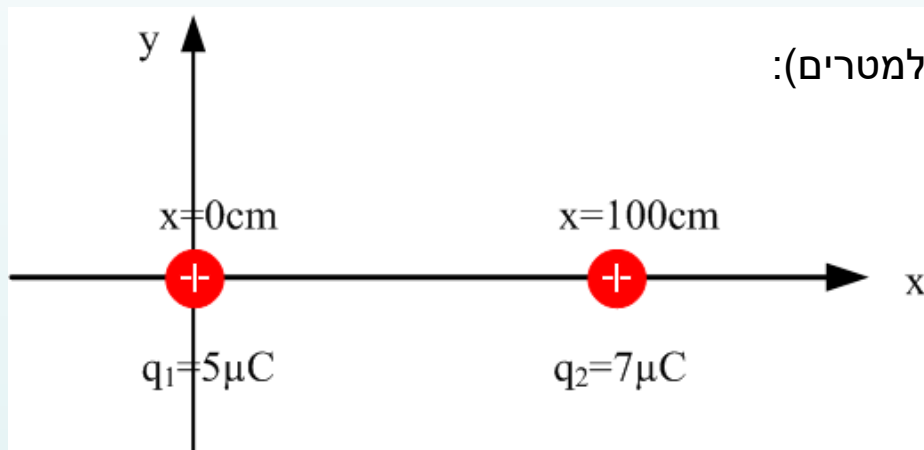
$$x_1 = -5.458m$$

$$x_2 = +0.458m$$

▶ 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 ימצא במנוחה.

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



ג- מה צריך להיות גודלו של מטען זה?

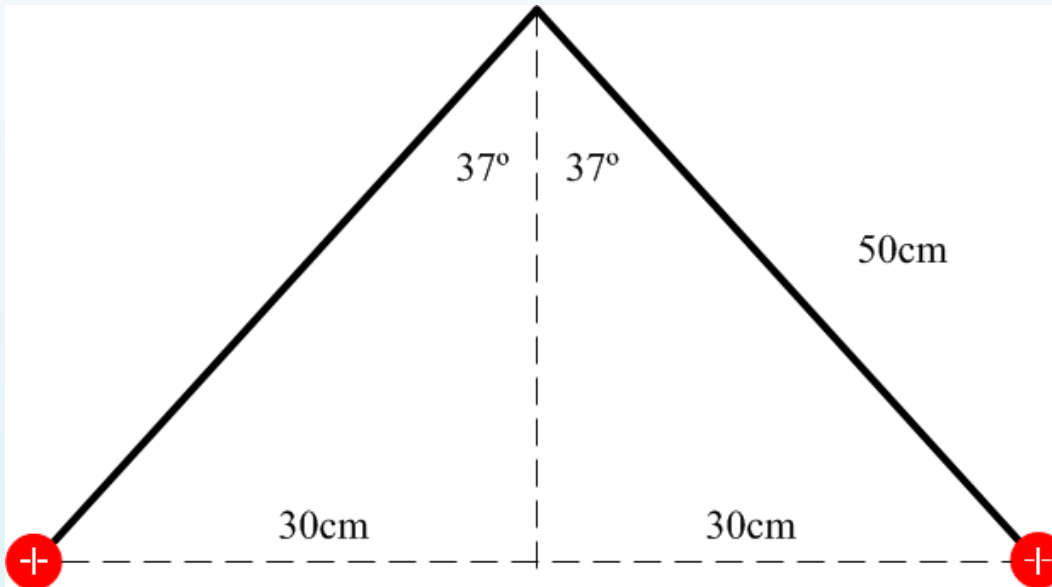
◀ כפי שראינו בחישוב שבסעיף 2, גודלו של מטען הבוחן מצטמצם, כלומר אין חשיבות לגודלו (או לסימנו).

◀ 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 ($m=0.2\text{gr}$) 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:

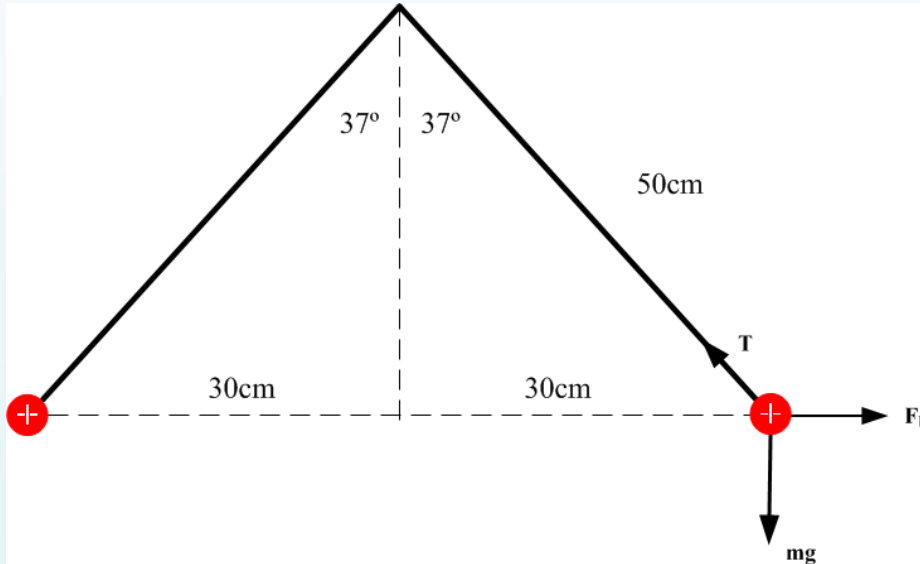
$$\Sigma F_y = T \cos 37 - mg = 0$$

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

נחלק את שתי המשוואות ונקבל:

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

$$F_E = mg \tan 37$$



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

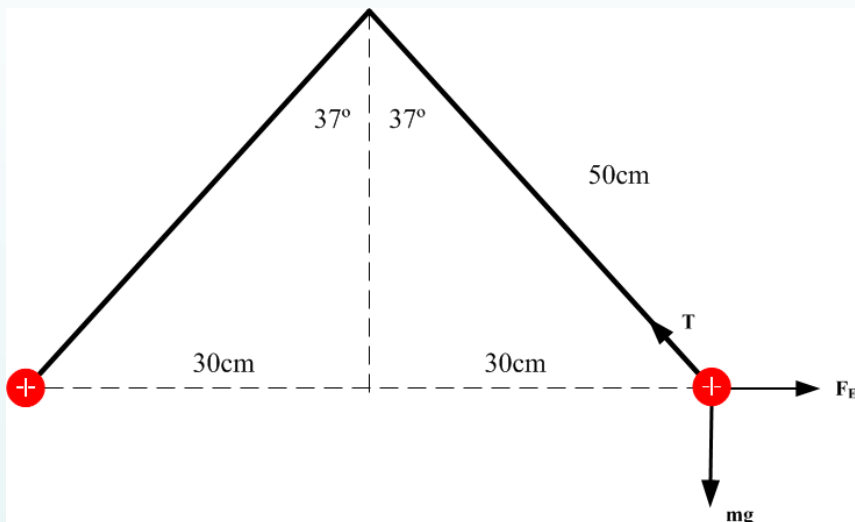
$$k \frac{q^2}{0.6^2} = 0.0015 N$$

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

ולחישוב המטען:

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:

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

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

תרגול חוק קולון (זינגר)

23/9 •	23/1
24/11 •	23/2
24/12 •	23/3
24/13 •	23/4
24/14 •	23/5
	23/6
	23/7

תרגול חוק קולון (אשל)

20/10 •

20/11 •

21/12 •

21/13 •

22/15 •

20/1 •

20/2 •

20/3 •

20/5 •

20/6 •

20/7 •

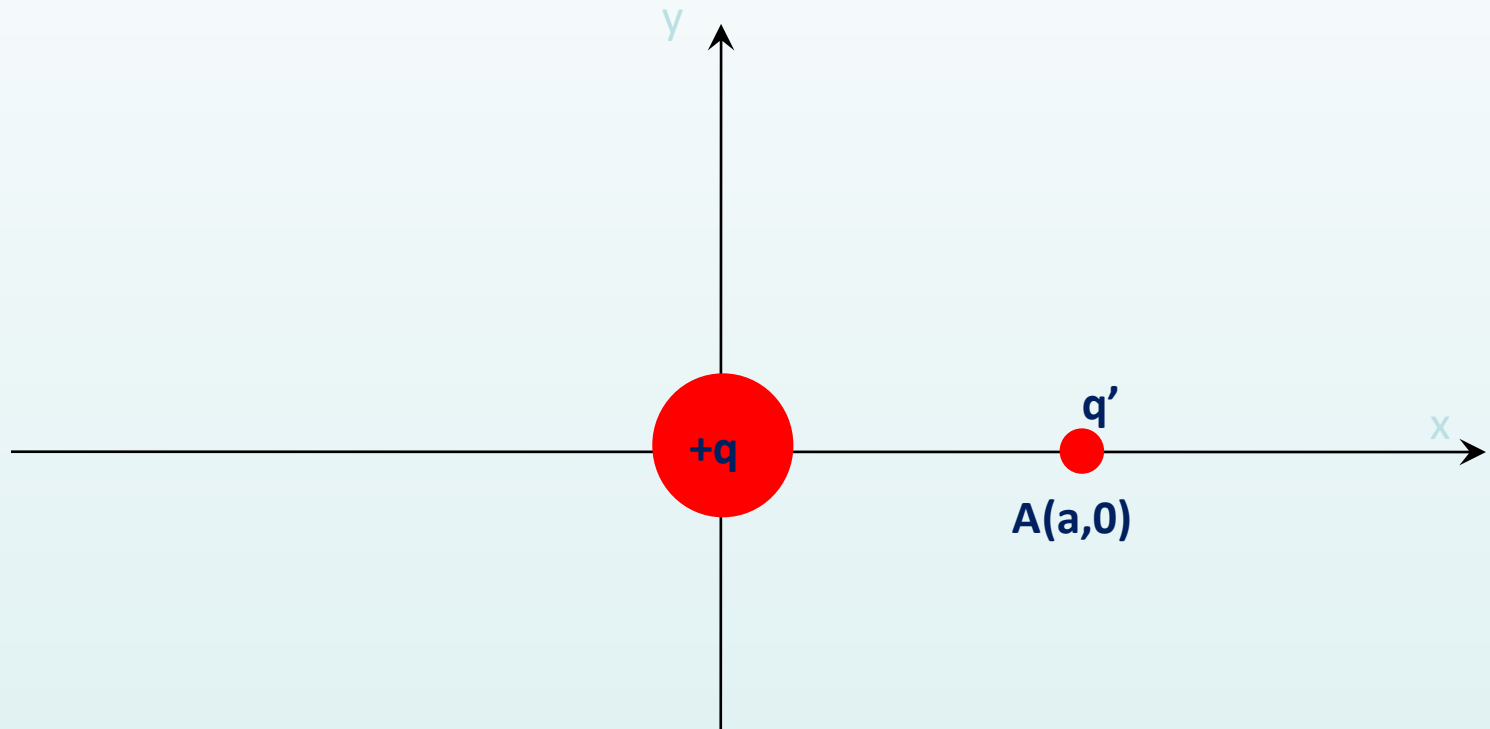
השדה החשמלי

השדה החשמלי

- מטען יוצר במרחב סביבו שדה חשמלי. החושים שלנו לא מאפשרים לגלות את השדה החשמלי. השדה הנוצר ע"י מטען אחד משפיע על מטענים אחרים במרחב.

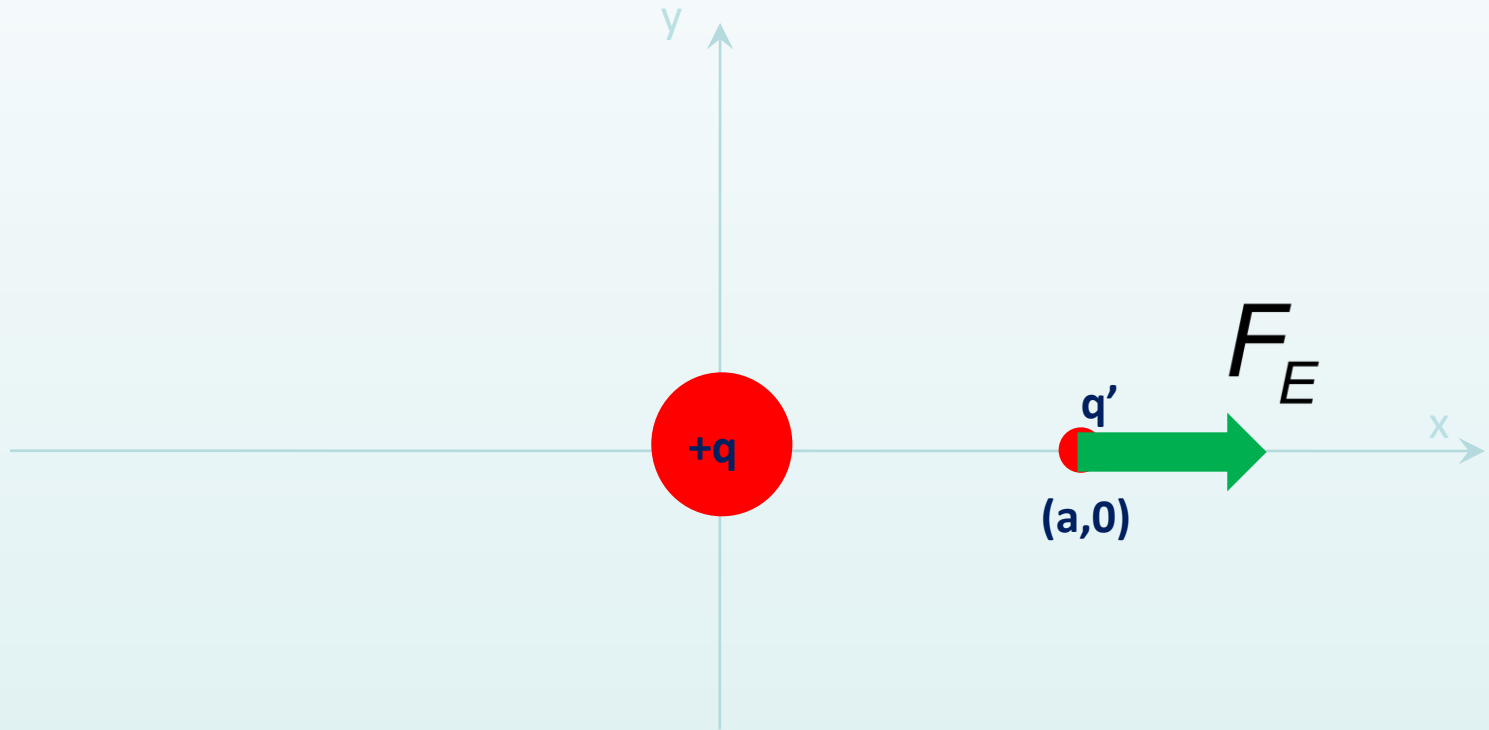
מטען $\longleftrightarrow$ השדה החשמלי $\longleftrightarrow$ מטען

נתון מטען נקודתי $+q$ הנמצא בראשית הצירים

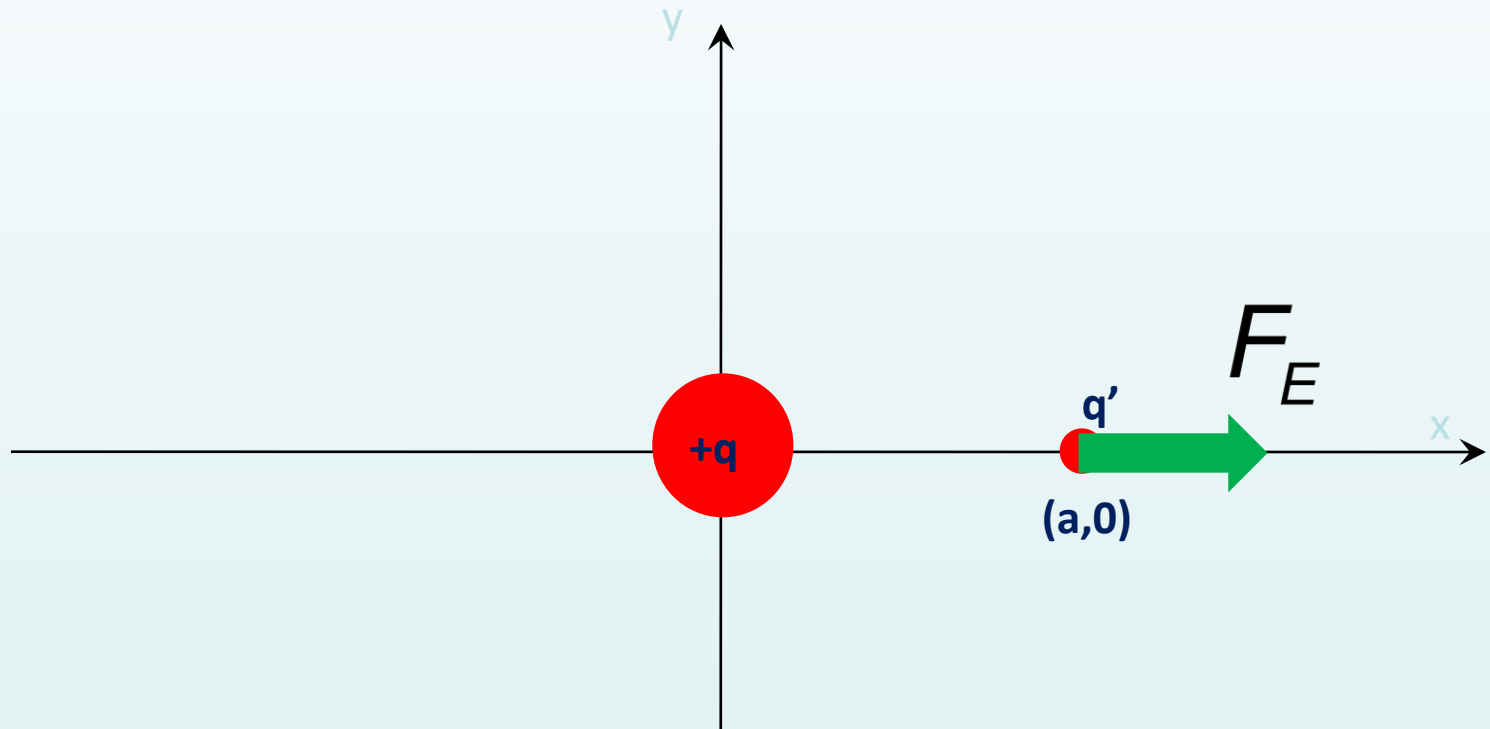


מהו הכוח שמרגיש מטען q' הנמצא
בנקודה $A(a,0)$?

$$F_E = K \frac{q \cdot q'}{a^2}$$

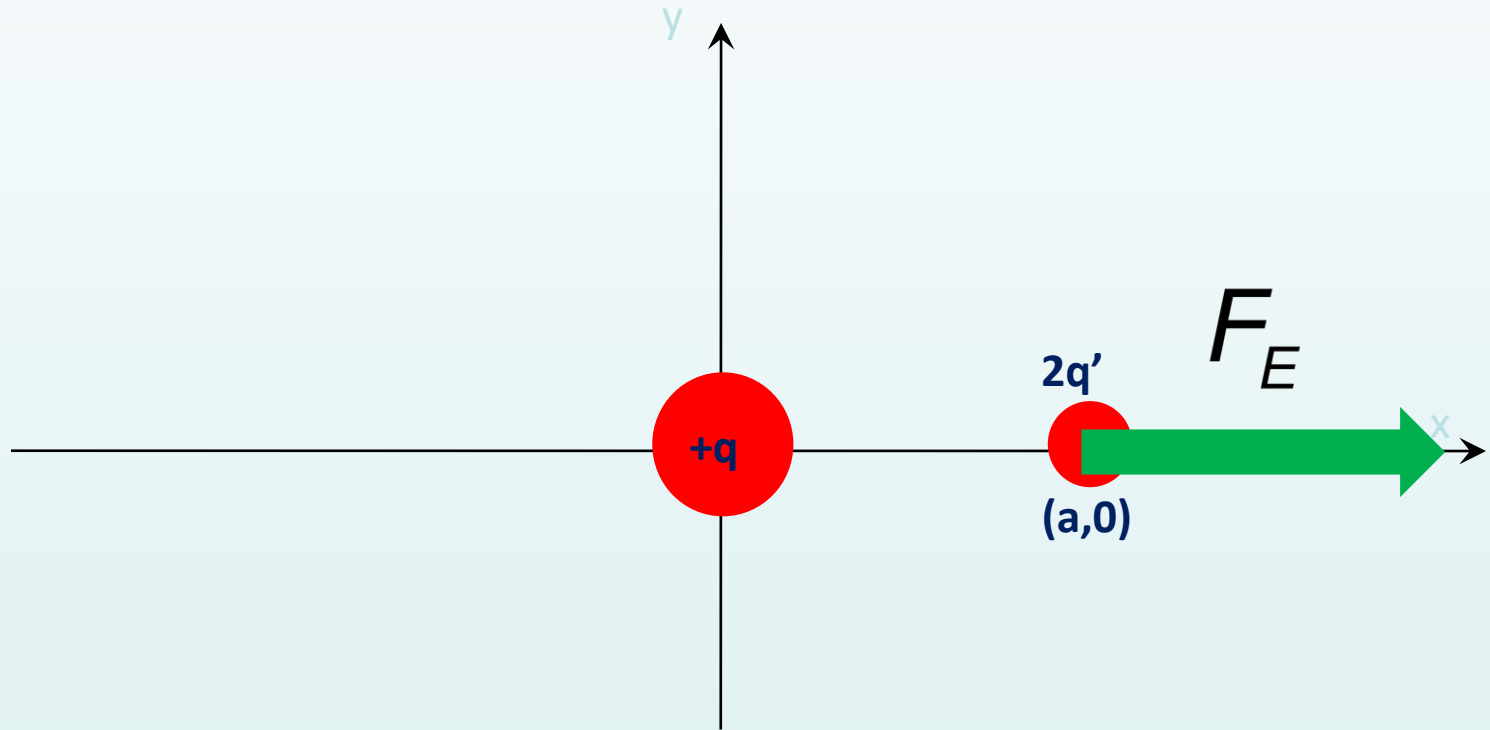


$$F_E = K \frac{q \cdot q'}{a^2}$$



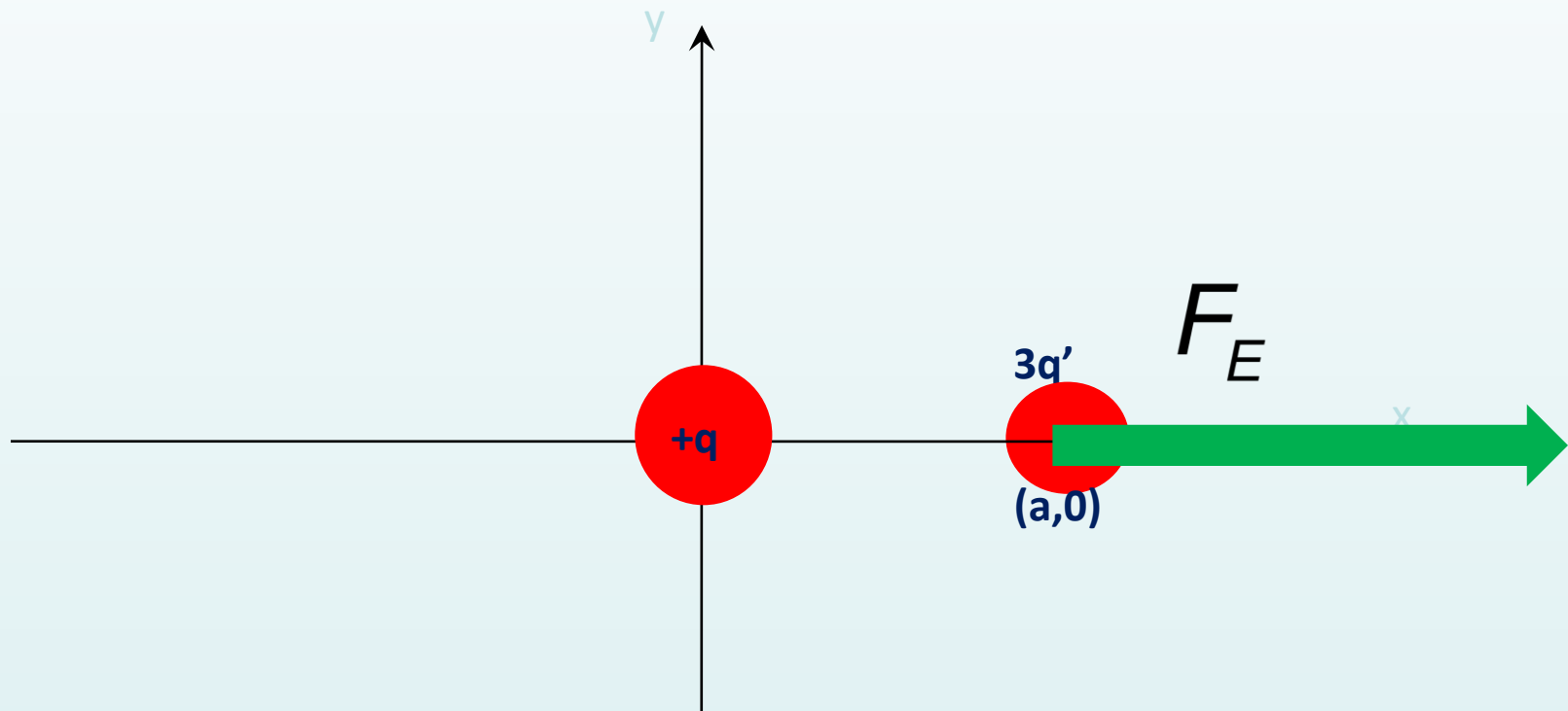
אם נכפיל את המטען q' קומטענו יהיה שווה ל $2q'$
איזה כוח ירגיש הפעם q' ?

$$F_E = 2K \frac{q \cdot q'}{a^2}$$



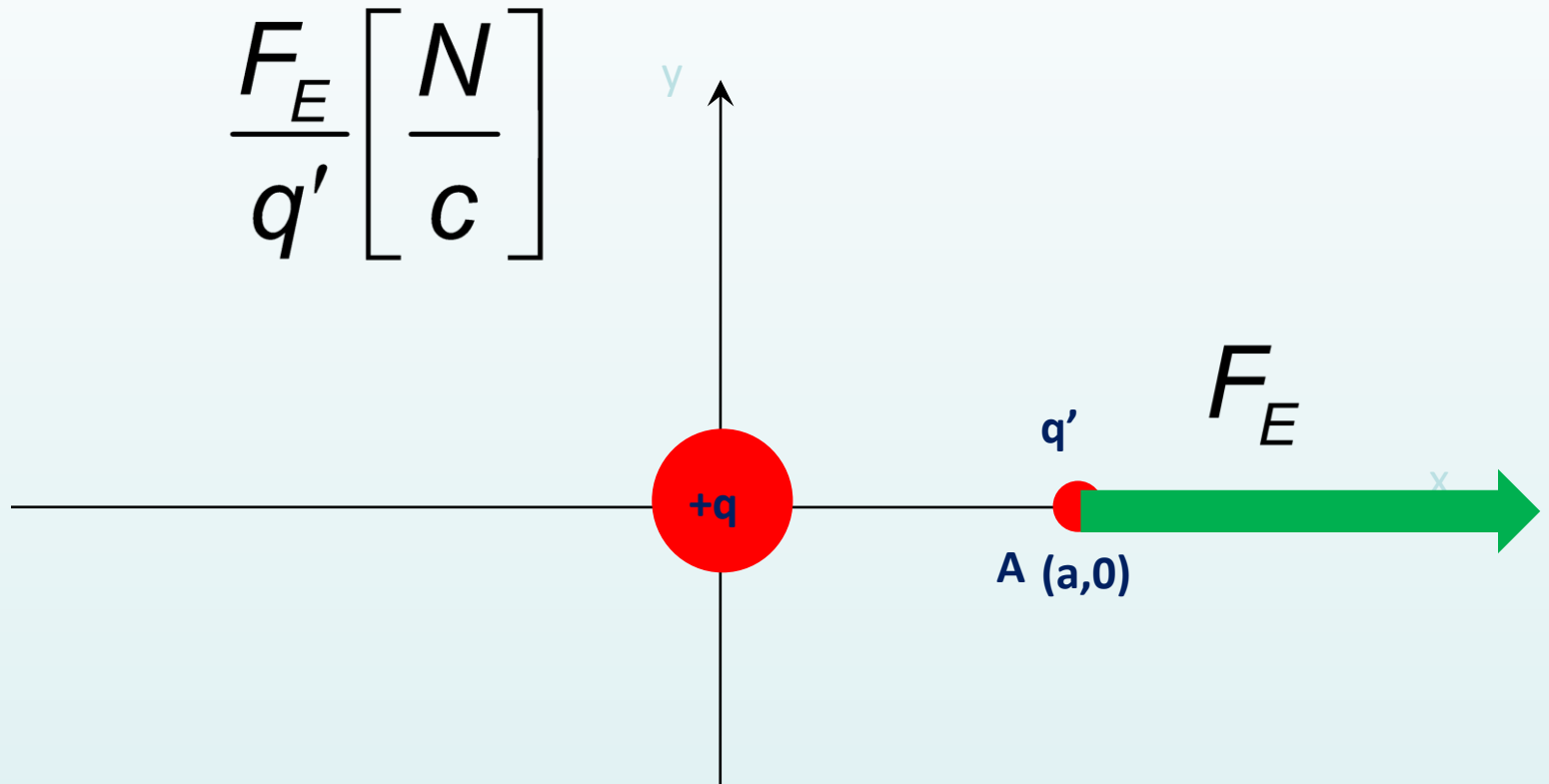
כאשר נכפיל את המטען q' קומטענו יהיה שווה ל $2q'$ הכוח החשמלי שיפעיל q על q' יגדל פי 2.

$$F_E = 3K \frac{q \cdot q'}{a^2}$$



כמובן שאם נכפיל את המטען פי 3 הכוח יגדל פי 3

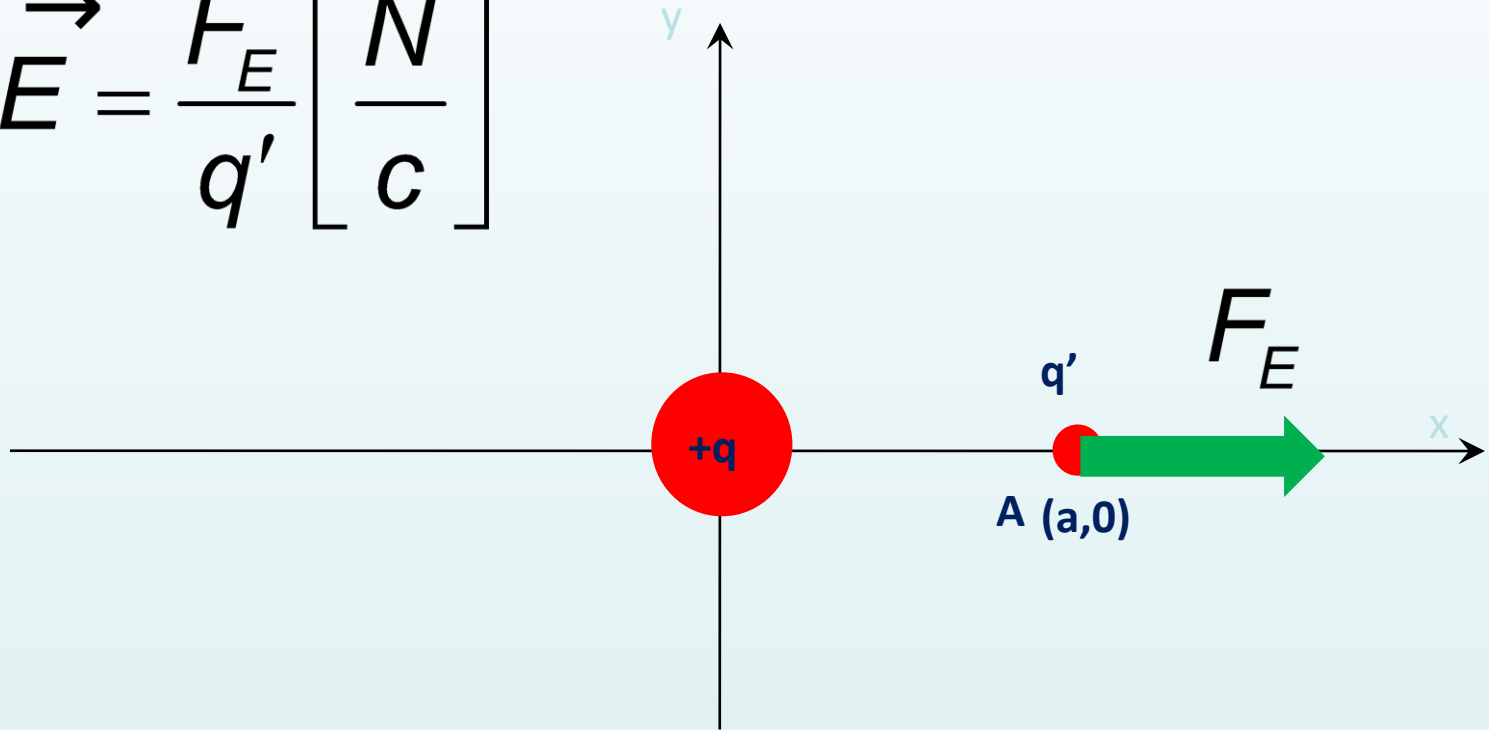
נוכל להגדיר גודל המייצג את הכוח ליחידת מטען



אם נחלק את הכוח שקיבלנו בכמות המטען של q'
נקבל גודל הנותן לנו אינפורמציה על גודל הכח לכל יחידת
מטען נקודתית שנמצאת בנקודה A .

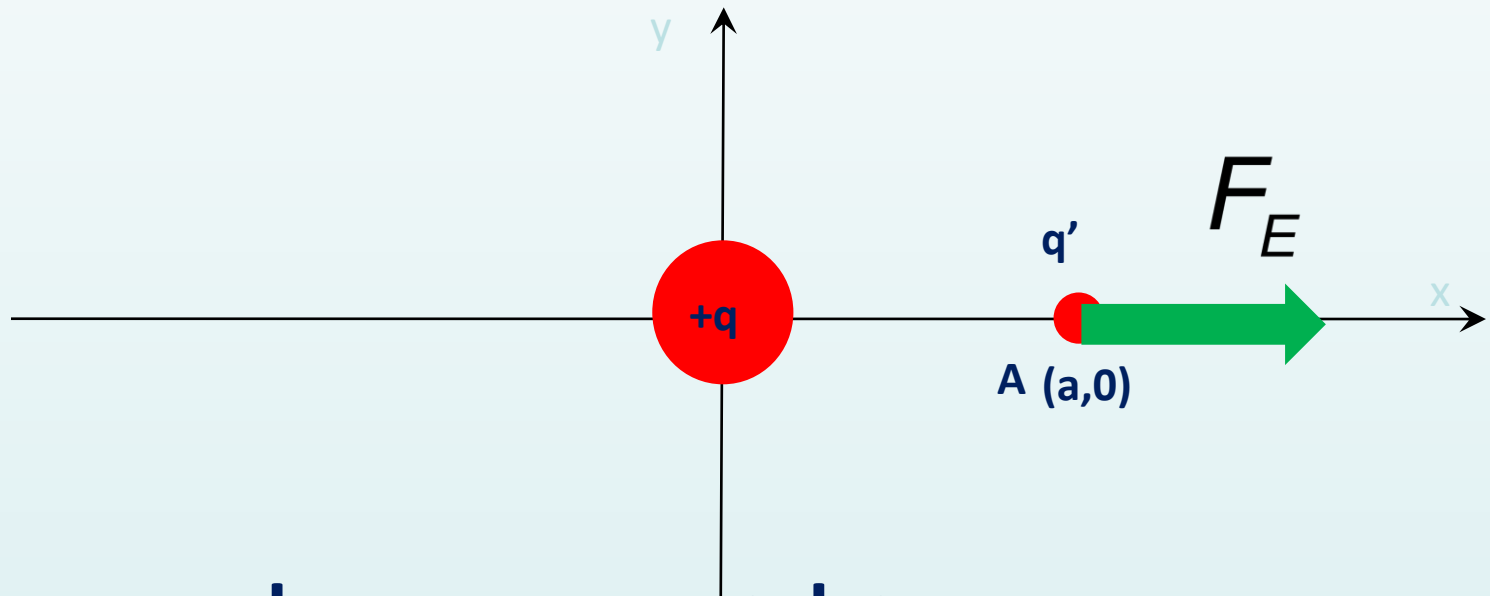
לגודל הזה אנו קוראים שדה חשמלי

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q'} \left[\frac{N}{C} \right]$$



את השדה אנחנו מסמנים באות E
השדה הוא גודל ווקטורי

לדוגמה, שדה של 5N/C
פרושו שיפעל כוח של 5N על כל יחידת מטען
נקודתית שנשים בנקודה.



השדה החשמלי מייצג תכונה של נקודה.
תכונה זו מייצגת את הכוח שיפעל באותה נקודה על
יחידת מטען נקודתית שתהיה בנקודה.

עוצמת השדה החשמלי

היחס בין כוח שמפעיל מטען יוצר על מטען בוחן לגודלו של מטען בוחן נשאר קבוע ומכונה עוצמת שדה החשמלי.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

הגדרה נוספת – כוח שמופעל על יחידת מטען. מאפיין שדה חשמלי ששורר במרחב סביב מטען שיוצר השדה החשמלי.

יחידות מדידה של עוצמת שדה החשמלי – ניוטון חלקי קולון

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

כיוון של שדה החשמלי – בכיוון הכוח שיופעל על מטען

החיובי

כיוון כוח ותנועת מטען חשמלי

- כוח שפועל על מטען חיובי בכיוון השדה החשמלי.
- כוח שפועל על מטען שלילי נגד כיוון השדה החשמלי.
- מטען חיובי חופשי נע בכיוון השדה החשמלי.
- מטען שלילי חופשי נע נגד כיוון השדה החשמלי.

להעתיק

השדה החשמלי של מטען נקודתי

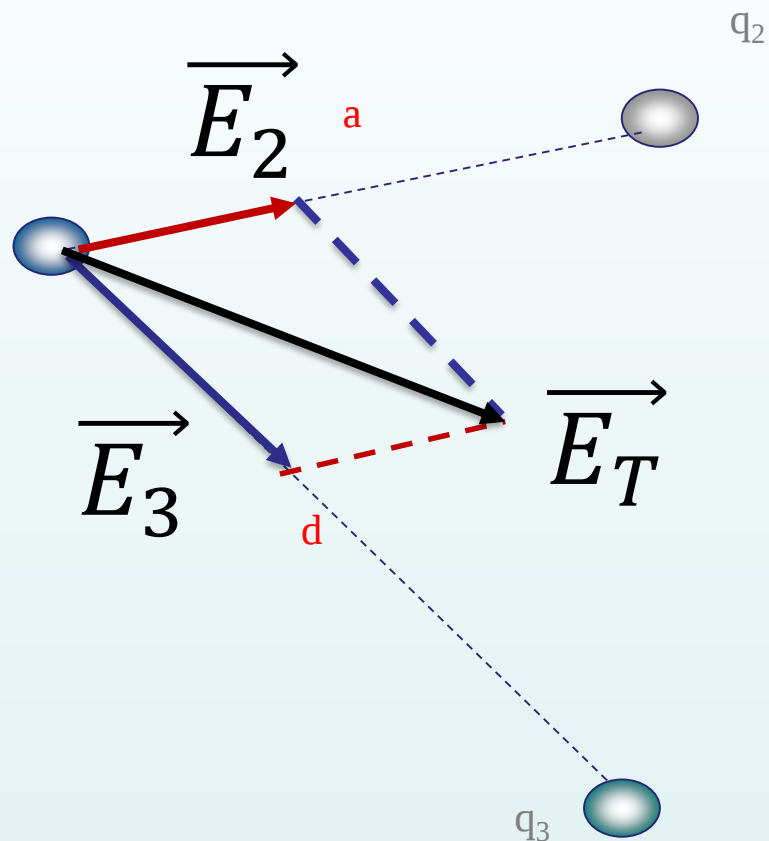
$$E = \frac{F}{q}$$

$$F = k \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

$$E = k \frac{Q \cdot q}{r^2} / q$$

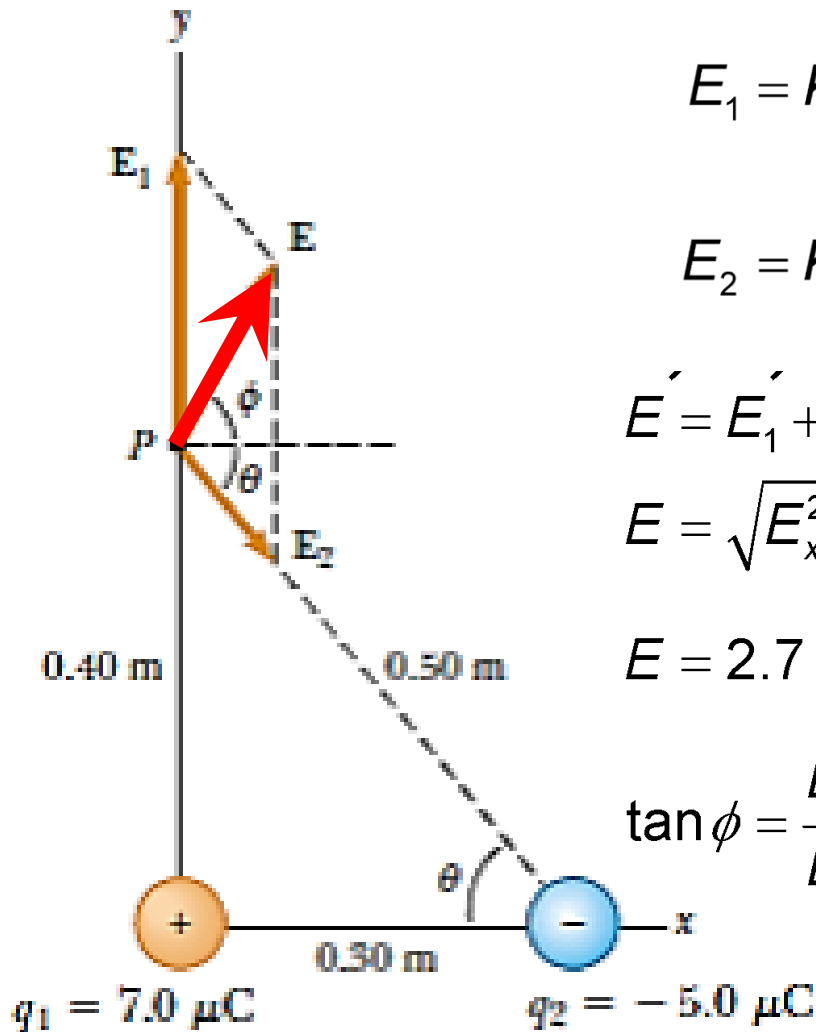
$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

עיקרון סופרפוזיציה



אם שדה נוצר ע"י כמה מטענים – אז השדה השקול שווה לסכום וקטורי של שדות שנוצרו ע"י כל אחד מהמטענים.

כאשר יש מספר מטענים נקודתיים נעזרים בעיקרון הסופרפוזיציה



$$E_1 = K \frac{|q_1|}{r_1^2} = 9 \cdot 10^2 \frac{7 \cdot 10^{-6}}{0.4^2} = 3.9 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_2 = K \frac{|q_2|}{r_2^2} = 9 \cdot 10^2 \frac{5 \cdot 10^{-6}}{0.5^2} = 1.8 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{(0 + E_2 \cos \theta)^2 + (E_1 - E_2 \sin \theta)^2}$$

$$E = 2.7 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\tan \phi = \frac{E_y}{E_x} \rightarrow \phi = 66^\circ$$



https://quizizz.com/admin/quiz/start_new/58a86ebc4fe42371776c9264

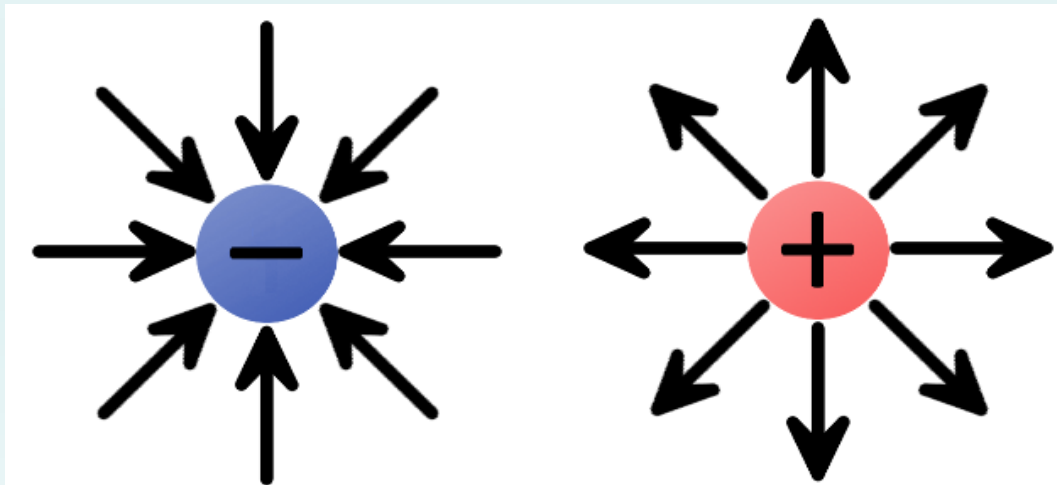
[Join.quizizz.com](https://quizizz.com)

קווי השדה החשמלי

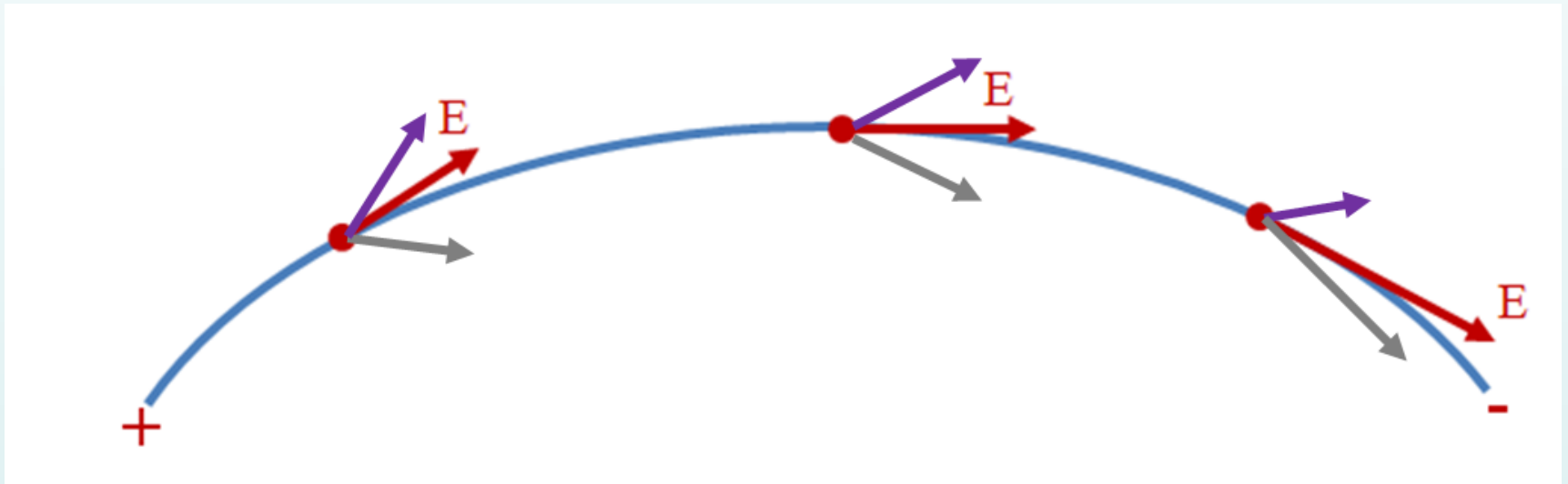
קו שדה מוגדר כקו, אשר

כיוון המשיק בכל נקודה עליו

הוא כיוון השדה החשמלי

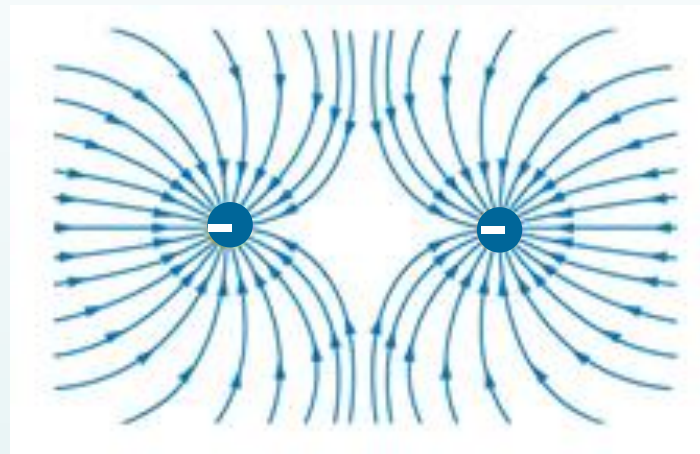


קו שדה הנצר של שני מטענים בעליי סימנים מנוגדים

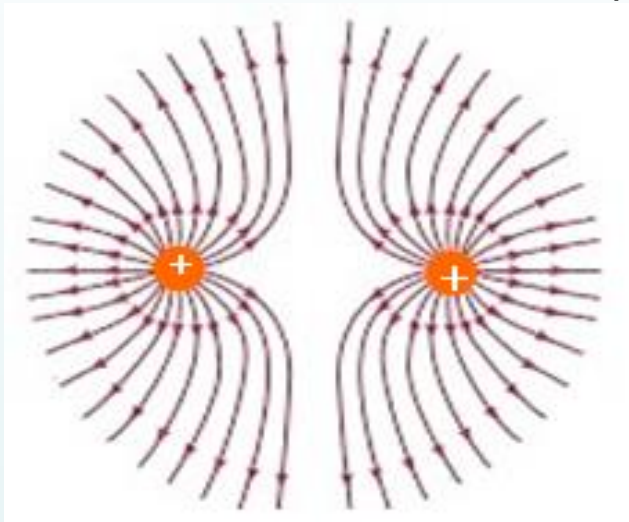


קווי שדה של שני מטענים

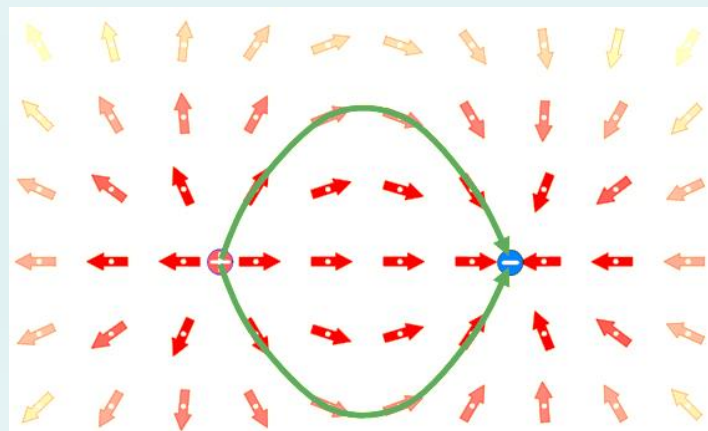
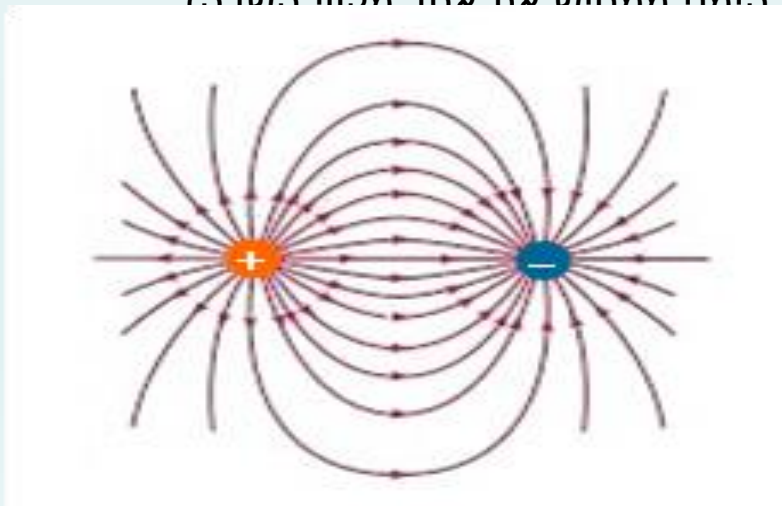
א. קווי שדה סביב זוג מטענים שליליים



ב. קווי שדה סביב זוג מטענים חיוביים



ג. קווי שדה סביב זוג מטענים שסימנם מנוגד (התרשים הימני ממחיש את אחד מהיון השדה)



קווי השדה החשמלי

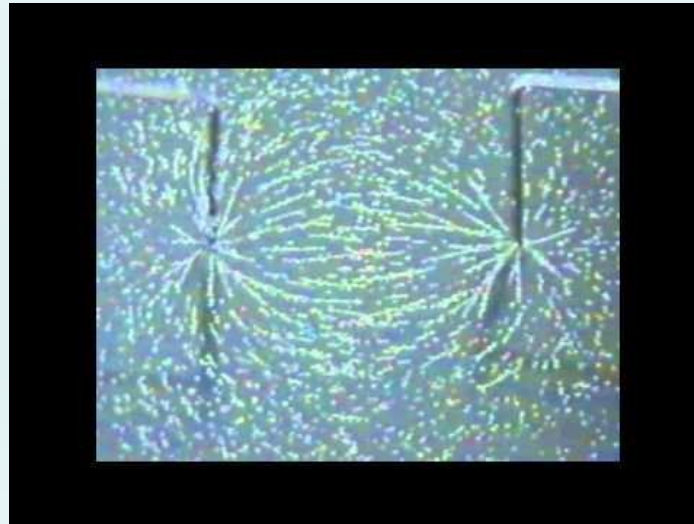
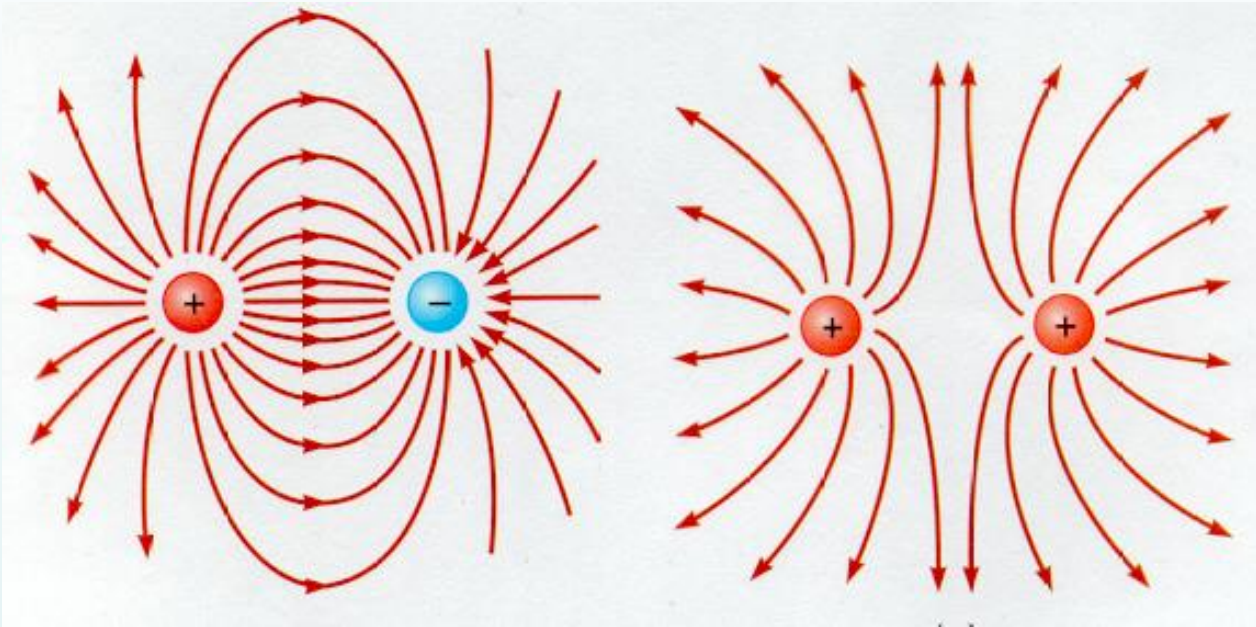
***קו דמיוני שמשיק לו בכל נקודה זהה בכיוונו לכיוון של שדה החשמלי השקול**

***קווי שדה חשמלי תמיד מתחילים במטען חיובי או אינסוף ומסתיימים במטען שלילי או אינסוף**

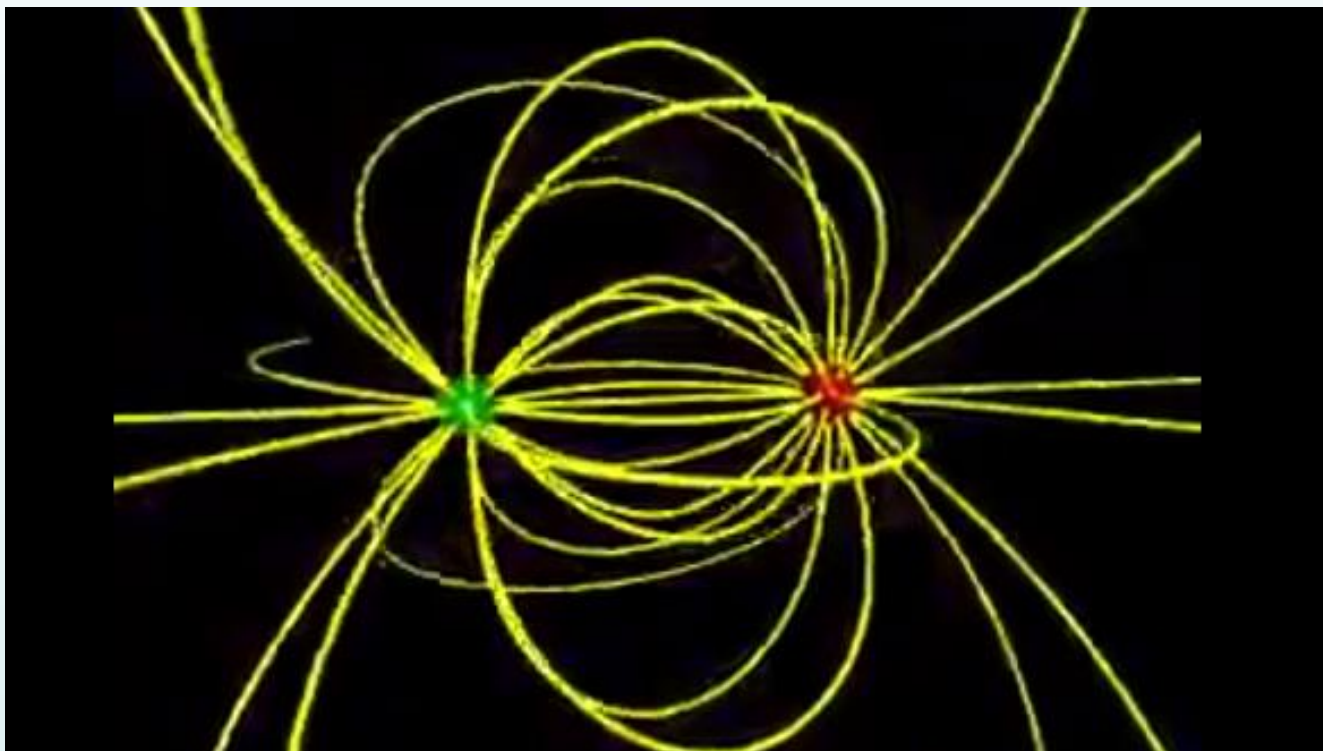
*** צפיפות קווי שדה חשמלי = עוצמת השדה. ככל שצפיפות הקווים גדולה יותר, כך גם עוצמת השדה גדולה יותר ולהפך**

***קווי שדה חשמלי לא חותכים זה את זה**

קווי שדה חשמלי 2

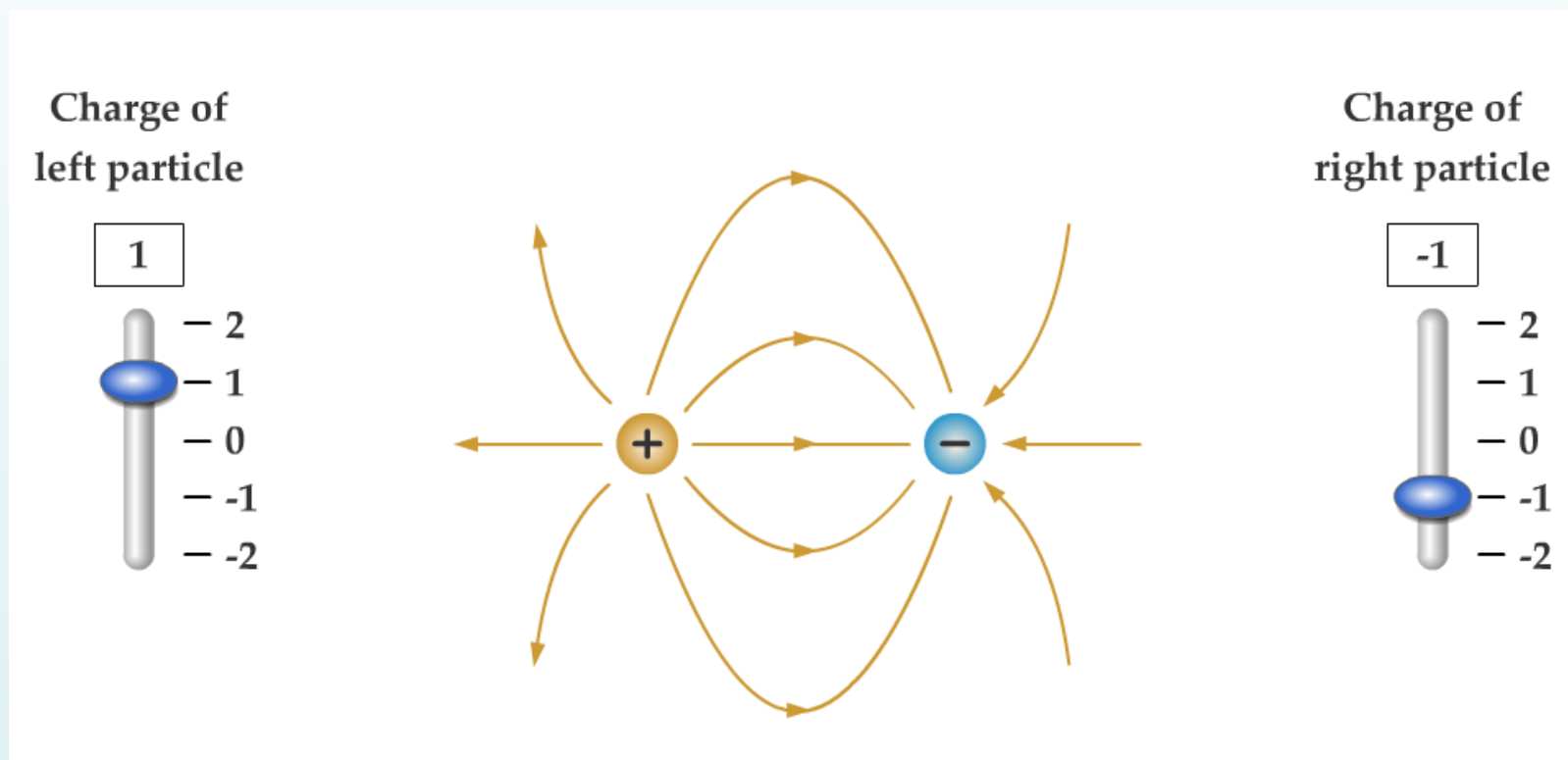


קווי שדה חשמלי



https://www.youtube.com/watch?v=bG9XSY8i_q8

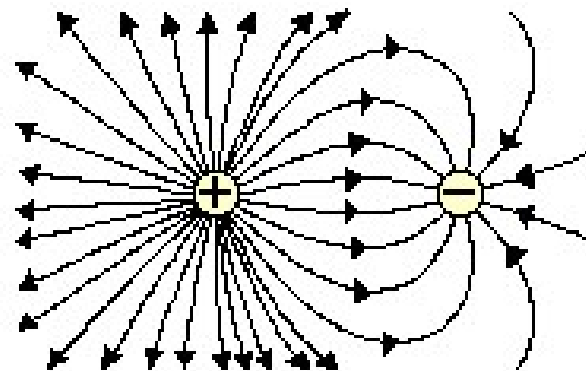
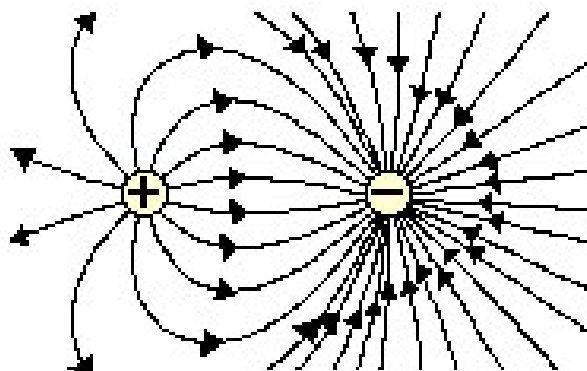
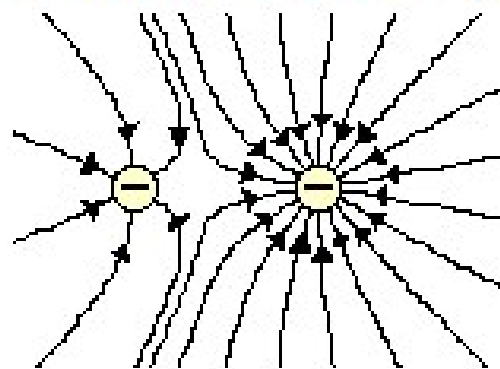
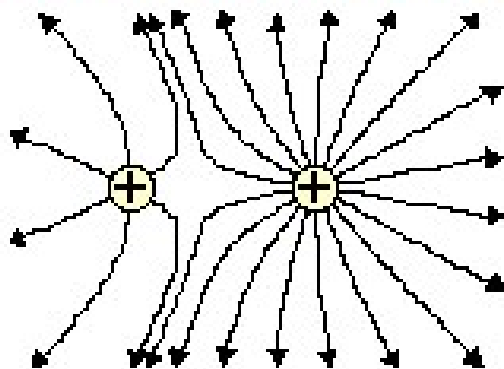
קווי השדה החשמלי



http://www4.uwsp.edu/physastr/kmenning/flash/AF_2324.swf

צפיפות קווי שדה = עוצמת השדה

Electric Field Line Patterns for Objects with Unequal Amounts of Charge

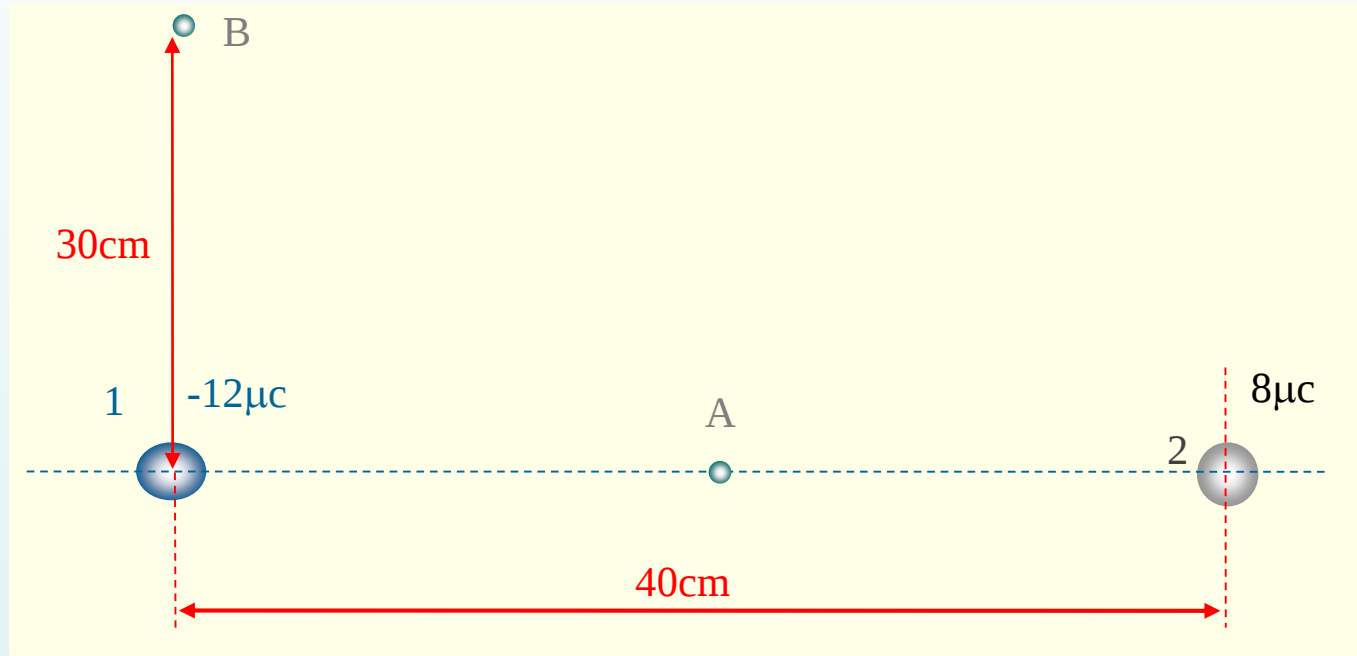




https://quizizz.com/admin/quiz/start_new/58a87092fe4743d577f2cdf9

[Join.quizizz.com](https://join.quizizz.com)

שני מטענים נקודתיים של $q_1 = -12\mu\text{C}$ ו- $q_2 = 8\mu\text{C}$ נמצאים במרחק של 40 ס"מ זה מזה.



- מהו השדה החשמלי (גודל וכיוון) בנק' A הנמצאת באמצע המרחק בין המטענים?
- היכן לאורך הקו המחבר בין המטענים עצמת השדה החשמלי שווה אפס?
- מהו השדה החשמלי (גודל וכיוון) בנק' B הנמצאת במרחק 30 cm בדיוק מעל מטען q_1 ?

$$E_A = -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-6}}{(0.2)^2} - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{(0.2)^2} = -4.5 \cdot 10^6 \frac{N}{C} \quad .א$$

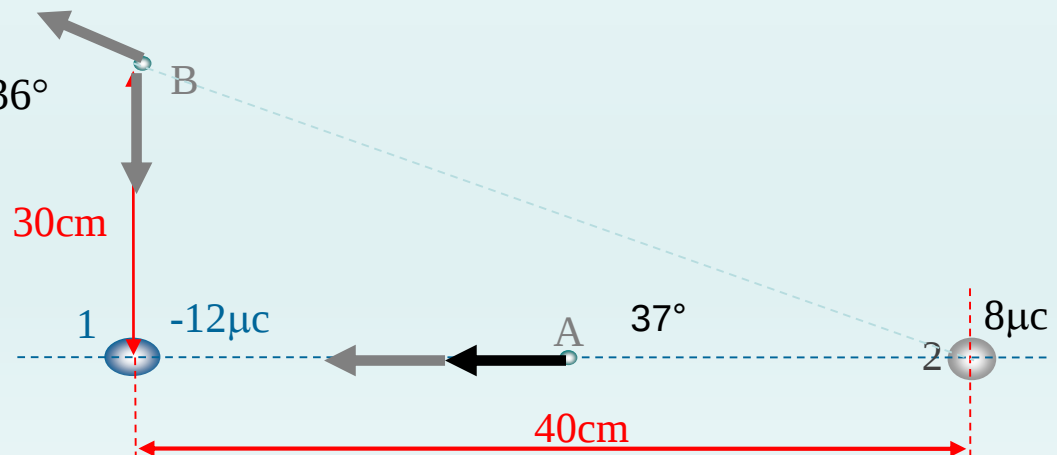
$$E_C = -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-6}}{(x+0.4)^2} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{x^2} = 0 \Rightarrow x = 1.78m \quad .ב$$

$$E_{By} = -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-6}}{(0.3)^2} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{(\sqrt{0.3^2 + 0.4^2})^2} \cdot \sin 37^\circ = -1.026 \cdot 10^6 \frac{N}{C} \quad .ג$$

$$E_{Bx} = -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{(\sqrt{0.3^2 + 0.4^2})^2} \cdot \cos 37^\circ = -2.3 \cdot 10^5 \frac{N}{C}$$

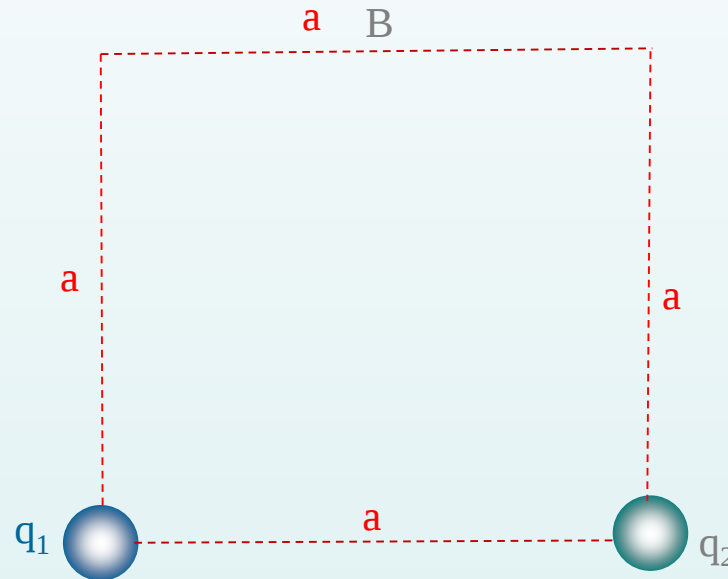
$$E_B = \sqrt{(2.3 \cdot 10^5)^2 + (1.026 \cdot 10^6)^2} = 1.052 \cdot 10^6 \frac{N}{C}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \left| \frac{1.026 \cdot 10^6}{2.3 \cdot 10^5} \right| = 4.46 \Rightarrow \theta = 77.36^\circ$$



שני מטענים זהים נמצאים על הקודקודים של ריבוע שאורך צלעו a .

ערכי המטענים הם: $q_1 = q_2 = q$.



א. מהו השדה השקול (גודל וכיוון) במרכז הריבוע?

ב. מהו גודל המטען q_3 שיש להציב בנק' B הנמצאת באמצע הצלע העליונה בכדי שהשדה

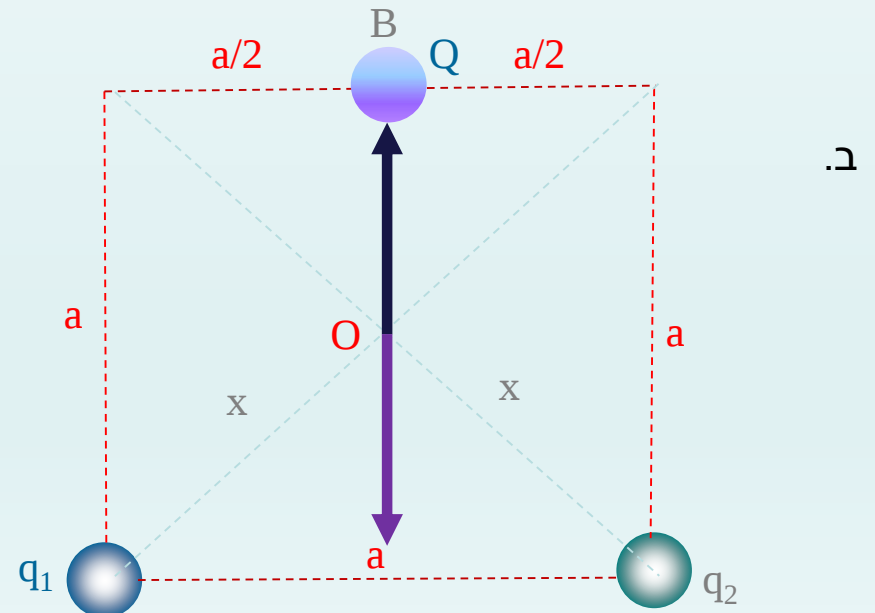
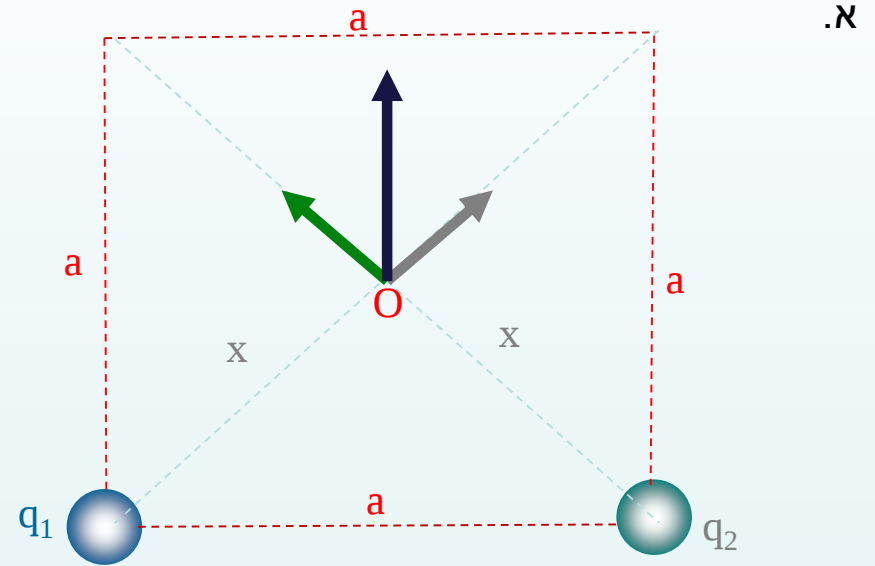
השקול במרכז הריבוע יהיה שווה אפס?

$$x^2 + x^2 = a^2 \Rightarrow x = \frac{a}{\sqrt{2}}$$

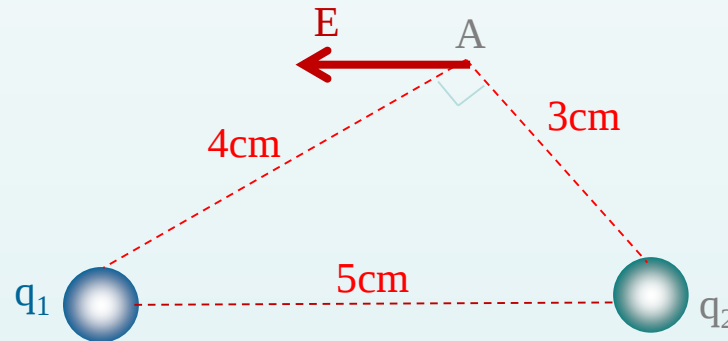
$$E_O = K \cdot \frac{q}{\left(\frac{a}{\sqrt{2}}\right)^2} \cdot 2 \cdot \sin 45^\circ = 2.82K \cdot \frac{q}{a^2}$$

$$K \frac{Q}{(0.5a)^2} - 2.82K \cdot \frac{q}{a^2} = 0$$

$$Q = 0.705q$$



שני מטענים נקודתיים ממוקמים בקדקודיו של משולש ישר זווית בקצות היתר.
גודל המטען $q_1 = -4 \cdot 10^{-6} \text{C}$. נתון כי השדה בנקודה A מכוון אופקית ימינה.



א. מהם סימני המטענים q_1, q_2 .

ב. מה גודלו של השדה החשמלי?

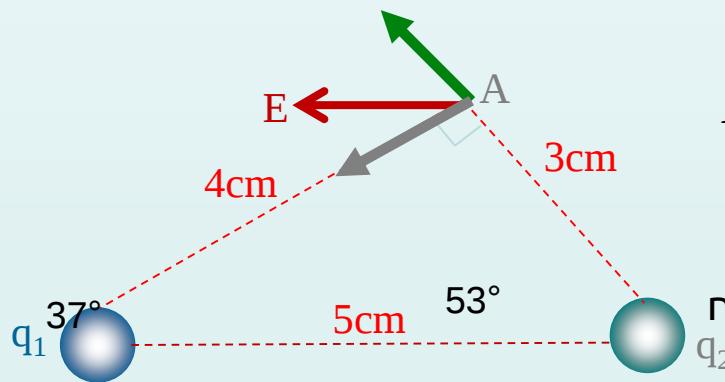
ג. מהו הכוח (גודל וכיוון) שיפעל על מטען $q_3 = -8 \cdot 10^{-6} \text{C}$ אם יונח בנק A?

א. , q_2 חיובי, q_1 שלילי. ראו תרשים חיצים בהתאם לשדה השקול.

$$E_{Ay} = 0 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{q_2}{0.03^2} \cdot \sin 53^\circ - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{0.04^2} \cdot \sin 37^\circ \quad \text{ב.}$$

$$q_2 = 1.695 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

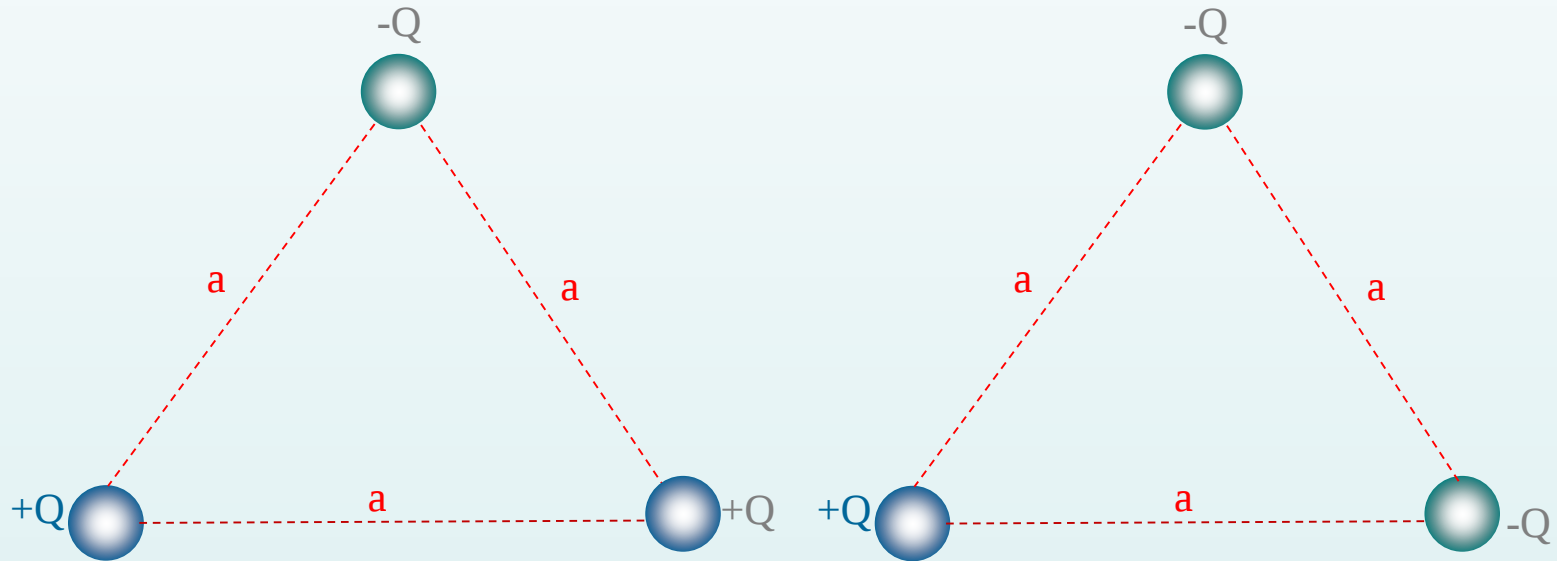
$$E_A = \sqrt{\left(9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1.695 \cdot 10^{-6}}{0.03^2}\right)^2 + \left(9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{0.04^2}\right)^2} = 28.17 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$



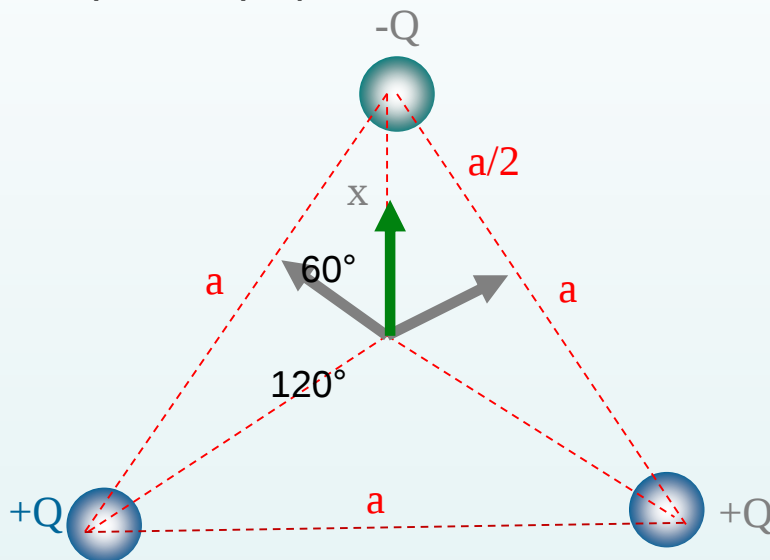
$$F_A = q \cdot E_A = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 28.17 \cdot 10^6 = 225.32 \text{ N}$$

מאחר וכיוון השדה שמאלה, על מטען שלילי יפעל כוח בכיוון ימינה.

נתונים 3 מטענים בעלי גודל מטען שווה וסימנים שונים, המונחים בקדקודיו של משולש שווה צלעות בעל צלע a . חשבו את השדה החשמלי הנוצר במרכז המשולש עבור כל תרשים.



א. כל מטען יוצר שדה חשמלי בעל עוצמה זהה, שהרי גודל המטענים שווה והמרחק בין כל מטען למרכז המשולש שווה. עוצמת כל שדה חשמלי :



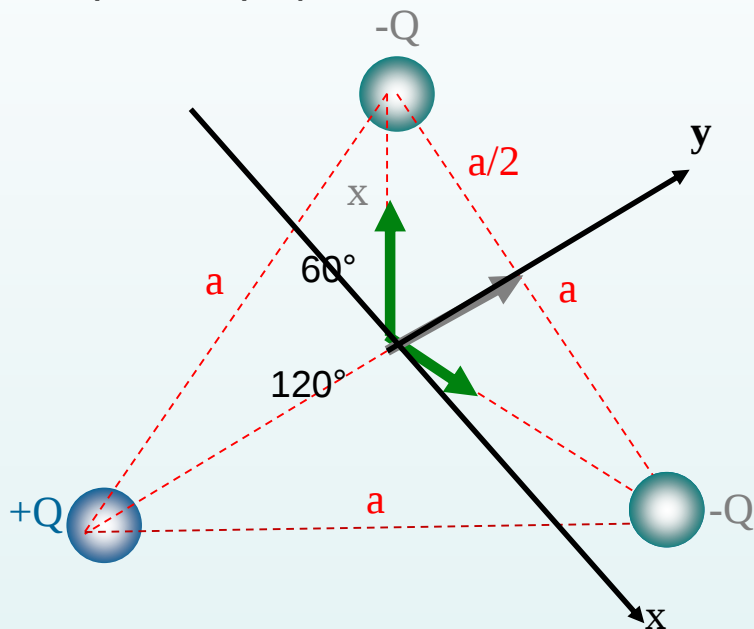
$$x^2 = \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 \Rightarrow x = \frac{a\sqrt{3}}{3}$$

$$E = K \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a \cdot \sqrt{3}}{3}\right)^2} = 3K \cdot \frac{Q}{a^2}$$

השדה השקול בכיוון מעלה, וגודלו:

$$E_o = 3K \cdot \frac{Q}{a^2} + K \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a \cdot \sqrt{3}}{3}\right)^2} \cdot \cos 60^\circ + K \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a \cdot \sqrt{3}}{3}\right)^2} \cdot \cos 60^\circ = 6K \cdot \frac{Q}{a^2}$$

ב. כל מטען יוצר שדה חשמלי בעל עוצמה זהה, שהרי גודל המטענים שווה והמרחק בין כל מטען למרכז המשולש שווה. עוצמת כל שדה חשמלי :



$$x^2 = \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 \Rightarrow x = \frac{a\sqrt{3}}{3}$$

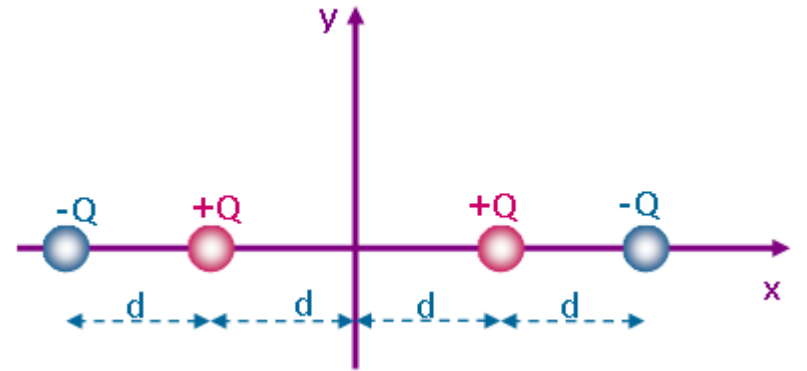
$$E = K \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a \cdot \sqrt{3}}{3}\right)^2} = 3K \cdot \frac{Q}{a^2}$$

השדה השקול יהיה מכוון לאורכו של ציר y מאחר ורכיבי השדה בציר x שווים ומנוגדים, לכן :

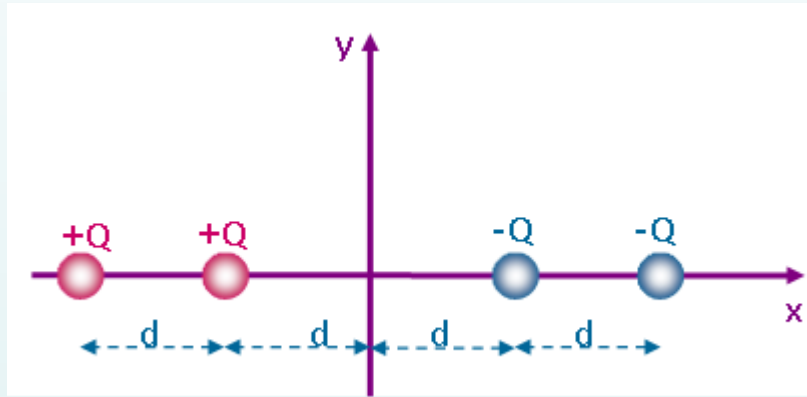
$$E_o = 3K \cdot \frac{Q}{a^2} + K \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a \cdot \sqrt{3}}{3}\right)^2} \cdot \cos 60^\circ + K \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a \cdot \sqrt{3}}{3}\right)^2} \cdot \cos 60^\circ = 6K \cdot \frac{Q}{a^2}$$

ארבעה מטענים נקודתיים מסודרים על ציר ה-x כמתואר בתרשים.

תרשים א

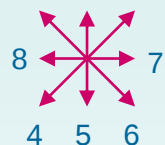


תרשים ב



א. עבור כל אחד מהתרשימים מצא מהו השדה החשמלי בראשית הצירים ?

ב. איזה חץ מתאר את כיוון השדה החשמלי השקול שיוצרת מערכת המטענים לאורך ציר ה-y :



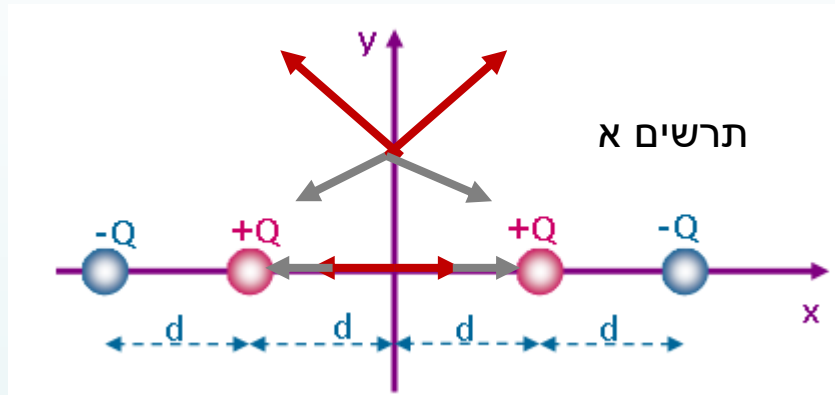
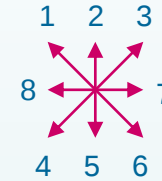
(1) בסידור המתואר בתרשים א?

(2) בסידור המתואר בתרשים ב?

תרשים א

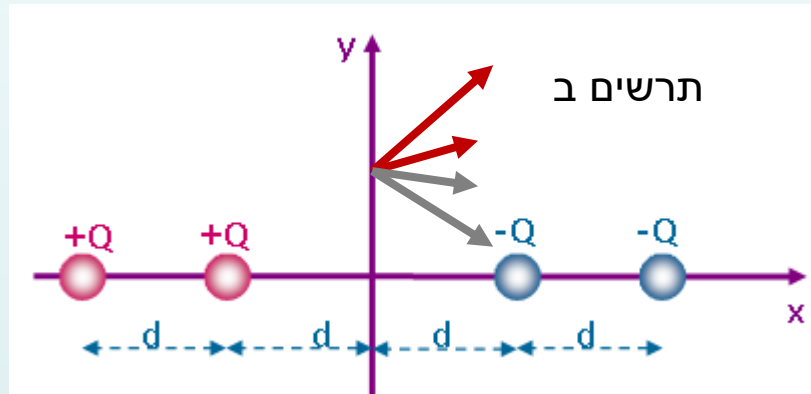
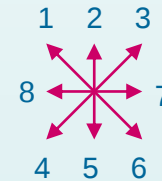
א. $E=0$

ב. חץ 2



תרשים ב

א. חישוב למטה



ב. חץ 7

$$E = 2 \cdot K \cdot \frac{Q}{(d)^2} + 2 \cdot K \cdot \frac{Q}{(2d)^2} = 2.5K \cdot \frac{Q}{d^2}$$

השטף החשמלי וחוק גאוס

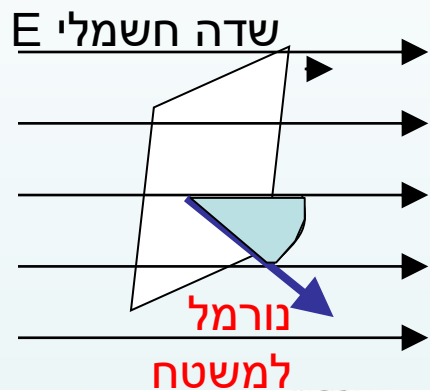
השטף החשמלי וחוק גאוס

חוק גאוס מאפשר לחשב שדה של מספר רב של מטענים חשמליים המפוזרים בצורה סימטרית כמו כדור, קליפה, לוח אינסופי.



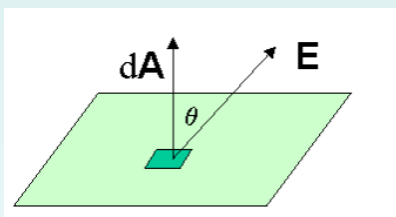
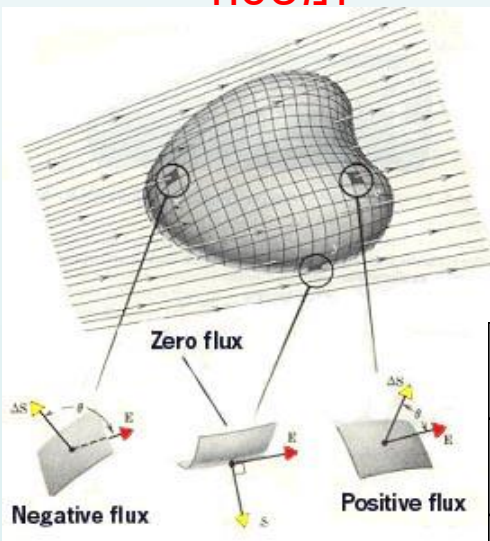
(1777-1855) קרל פרידריך גאוס.
פיזיקאי ואסטרונום גרמני, מתמטיקאי

השטף החשמלי



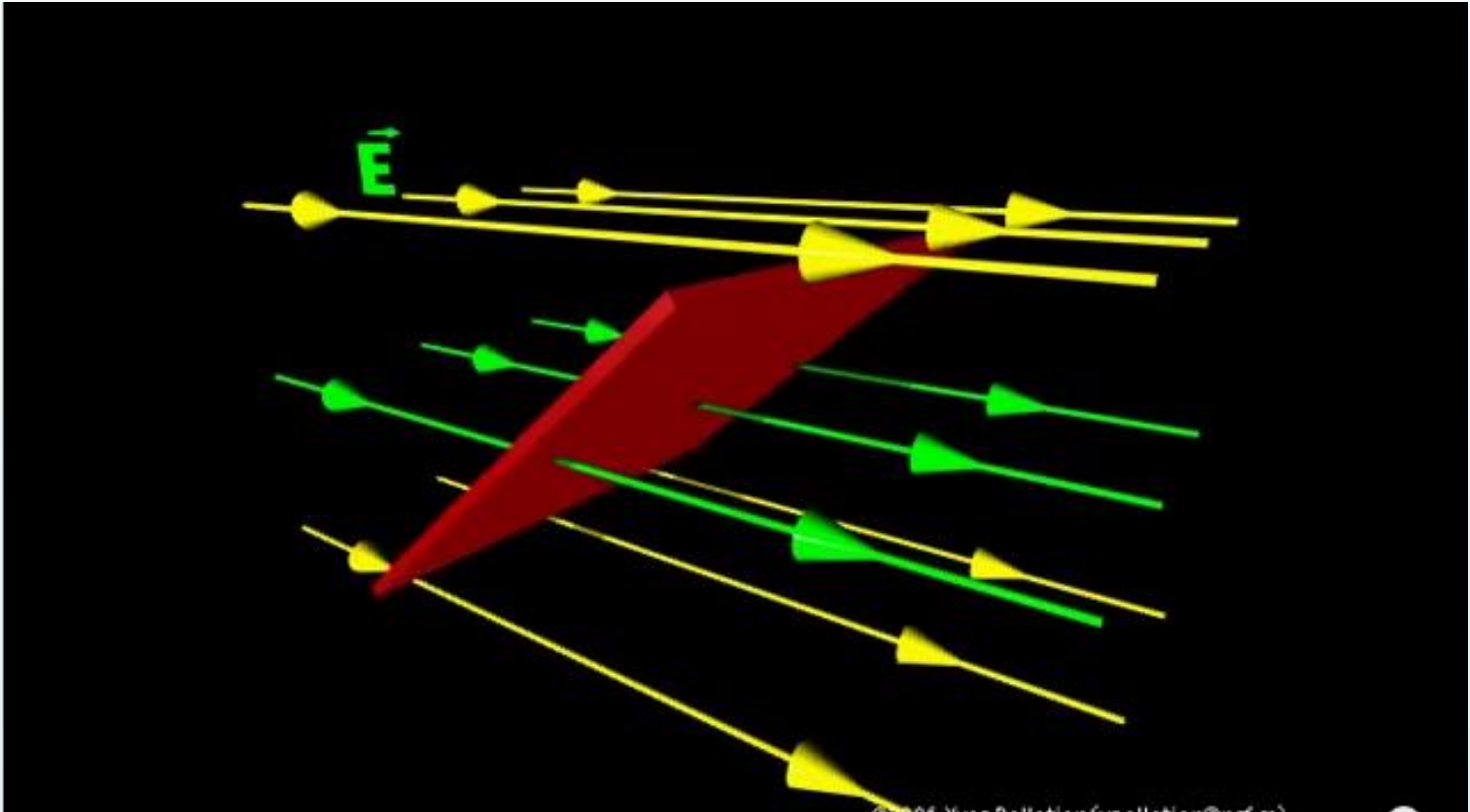
השטף החשמלי שווה למכפלת עוצמה של שדה החשמלי בשטח וקוסינוס זווית בין כיוון וקטור השדה ונורמל לשטח.
המחשה: כמות קווי שדה דרך יחידת שטח.

$$\Phi_E = E \cdot S \cdot \cos \alpha$$



$N \cdot m^2 / C$	שטף חשמלי	Φ_E
m^2	שטח של משטח	S
N/C	עוצמת השדה החשמלי	E
	זווית בין שדה <u>ואנך</u> למשטח	מעלות

שטף חשמלי



https://www.youtube.com/watch?v=_xsN9zDHRcA

חוק גאוס

שטף חשמלי דרך שטח סגור שווה מכפלת מקדם בסכום אלגברי של המטענים שנמצאים בתוך השטח הסגור

$$\Phi_E = 4\pi k \sum_{i=1}^n q_i$$

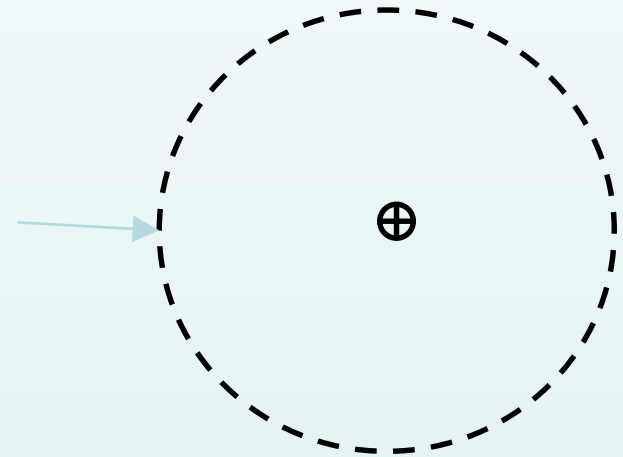
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$N \cdot m^2 / C$	שטף חשמלי	Φ_E
$N \cdot m^2 / C^2$	קבוע בחוק קולון	k
C	סכום אלגברי (כולל סימנים) של מטענים בתוך משטח גאוס	$\sum_{i=1}^n q_i$

מקרה פרטי – שדה של מטען נקודתי



מעטפת גאוס (נורמל) אנך (למשטח בכל נקודה בכיוון של וקטור השדה השקול



$$\Phi_E = 4\pi k \sum_{i=1}^n q_i \implies E \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 4\pi k q \implies E \cdot 4\pi R^2 \cdot 1 = 4\pi k q$$

עוצמת השדה החשמלי
שקיבלנו מחוק קולון

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

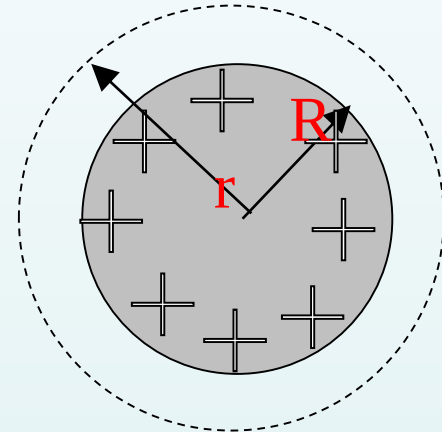
השדה החשמלי בתוך כדור מוליך

להעתיק

השדה החשמלי בתוך ומחוץ לקליפה כדורית טעונה

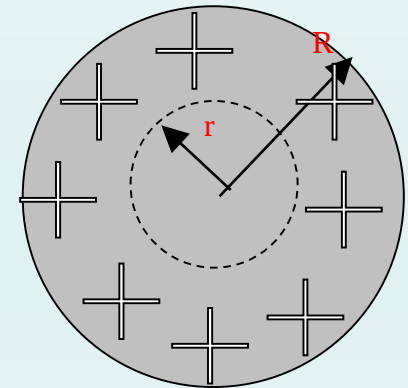
$$E = k \frac{q}{r^2}$$

שדה חשמלי של קליפה
כדורית טעונה – מחוץ לה
כאילו יש מטען נקודתי
במרכזה



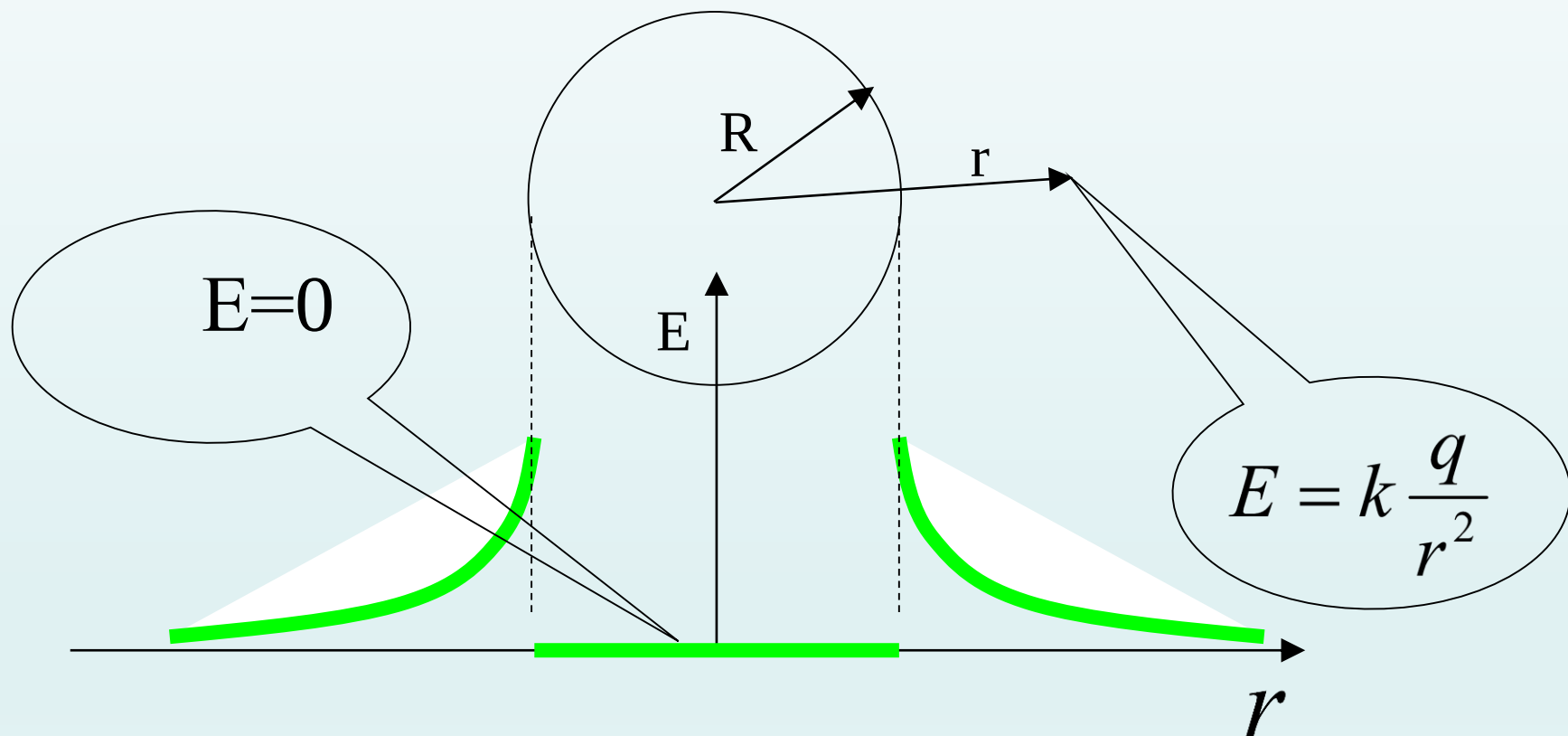
$$E = 0$$

שדה חשמלי בתוך קליפה
כדורית טעונה שווה לאפס

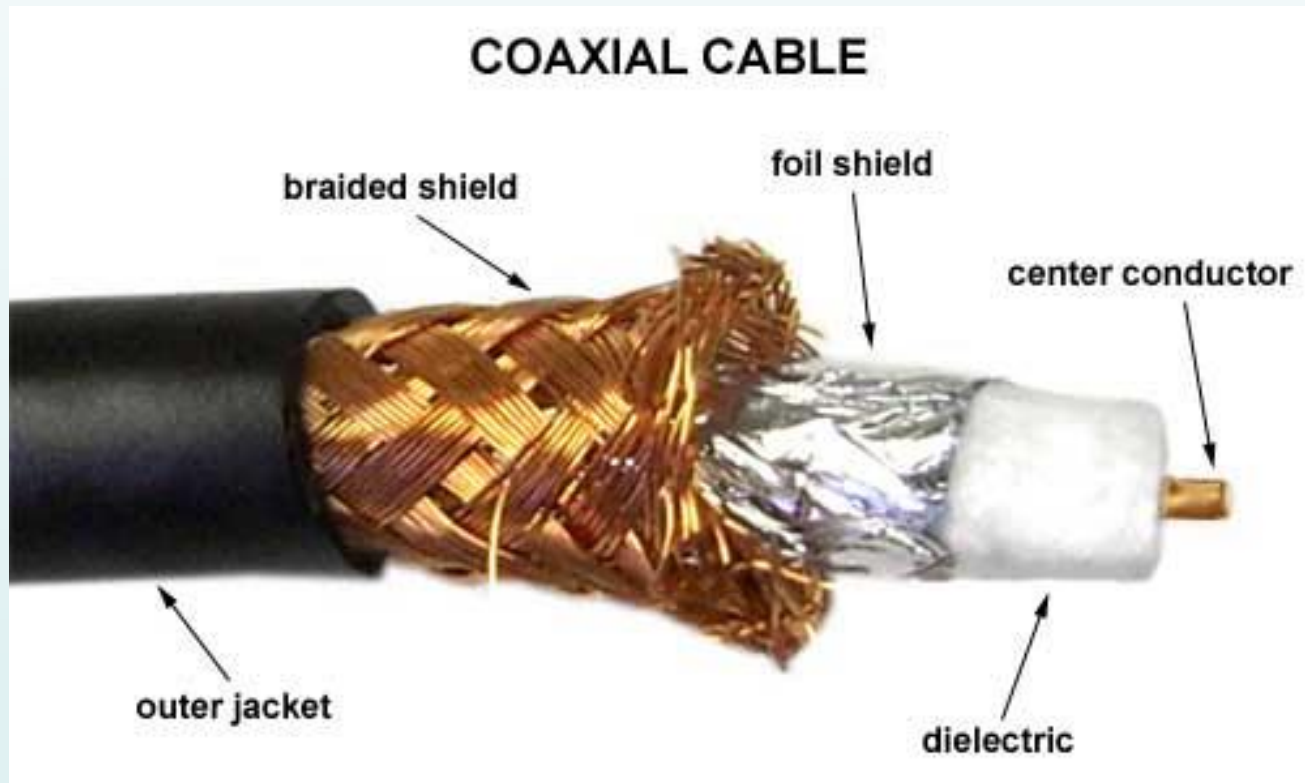


להעתיק

השדה החשמלי בתוך ומחוץ לקליפה כדורית טעונה



סיכור חשמל



סיכור חשמל



<https://www.youtube.com/watch?v=dpzaSu4atYM>

סיכור חשמל



<https://www.youtube.com/watch?v=93OhpY65Xo0>

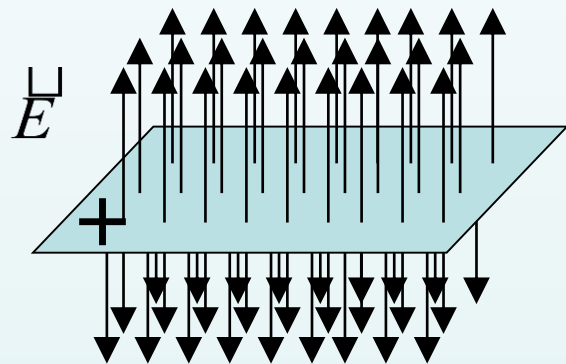


[Join.quizizz.com](https://join.quizizz.com)

השדה החשמלי של לוח אינסופי

מקרה פרטי -שדה של לוח אינסופי טעון

להעתיק



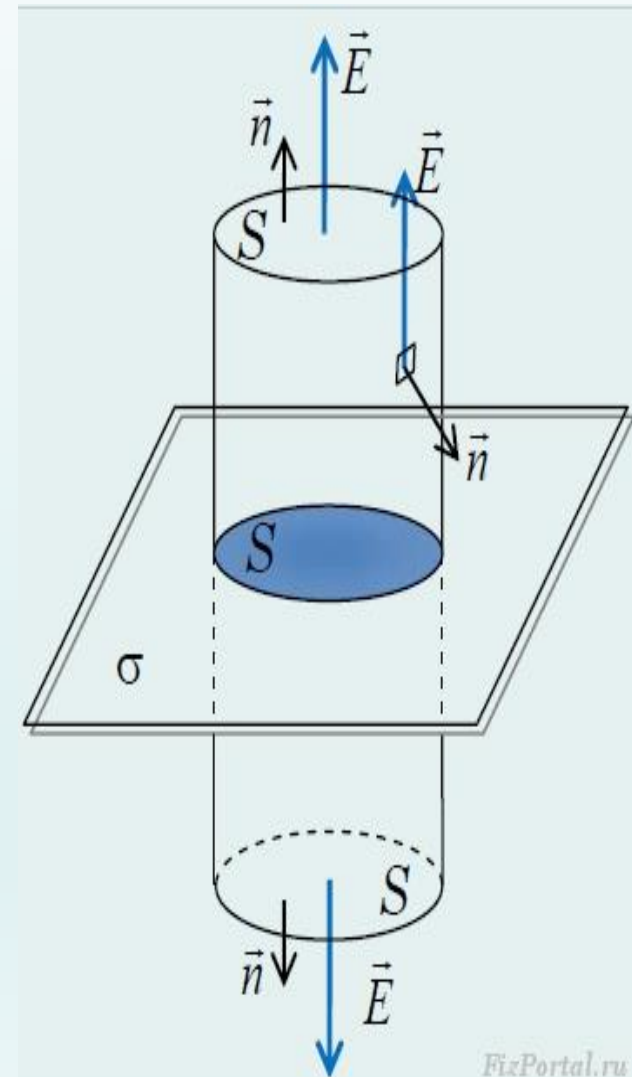
$$\Phi_E = 4\pi k \sum_{i=1}^n q_i$$

$$E \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 4\pi k q$$

$$E \cdot 2\pi R^2 \cdot 1 = 4\pi k \sigma \pi R^2$$

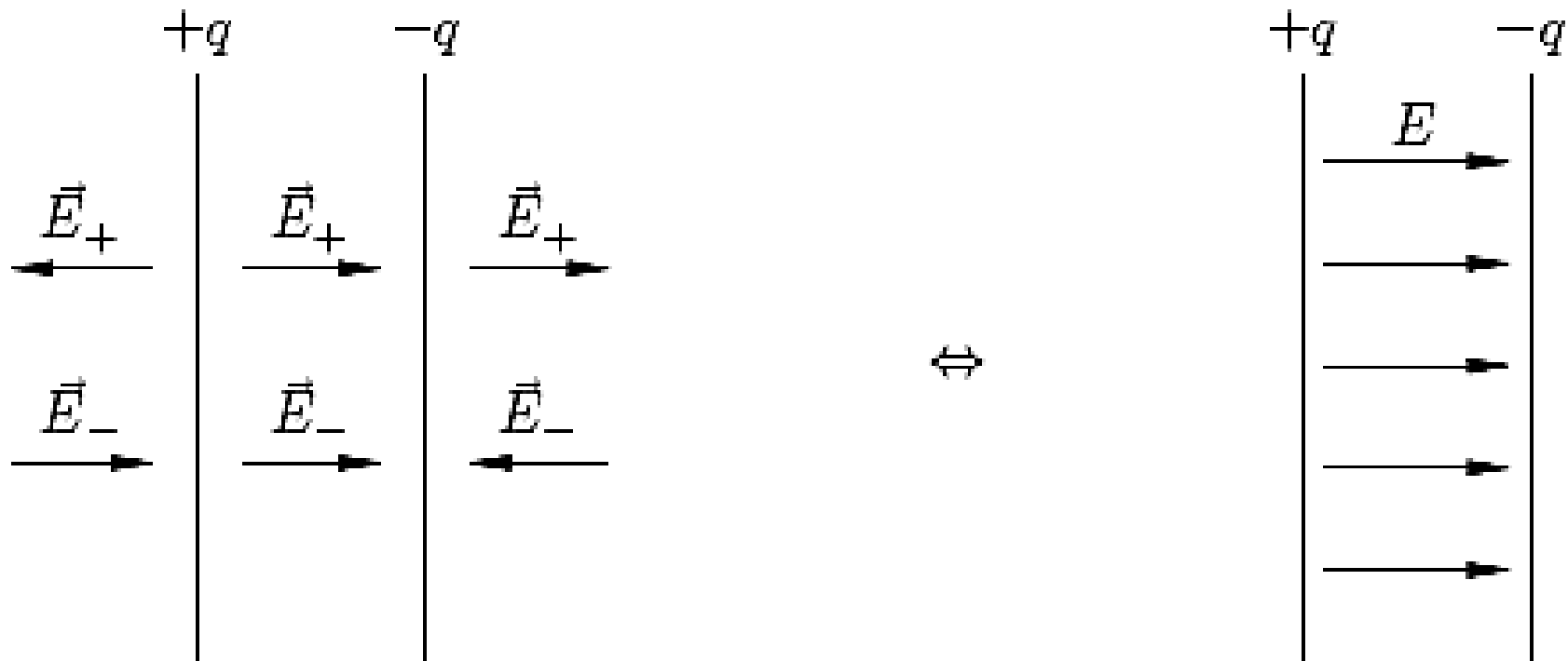
$$E \cdot = 2\pi k \sigma$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



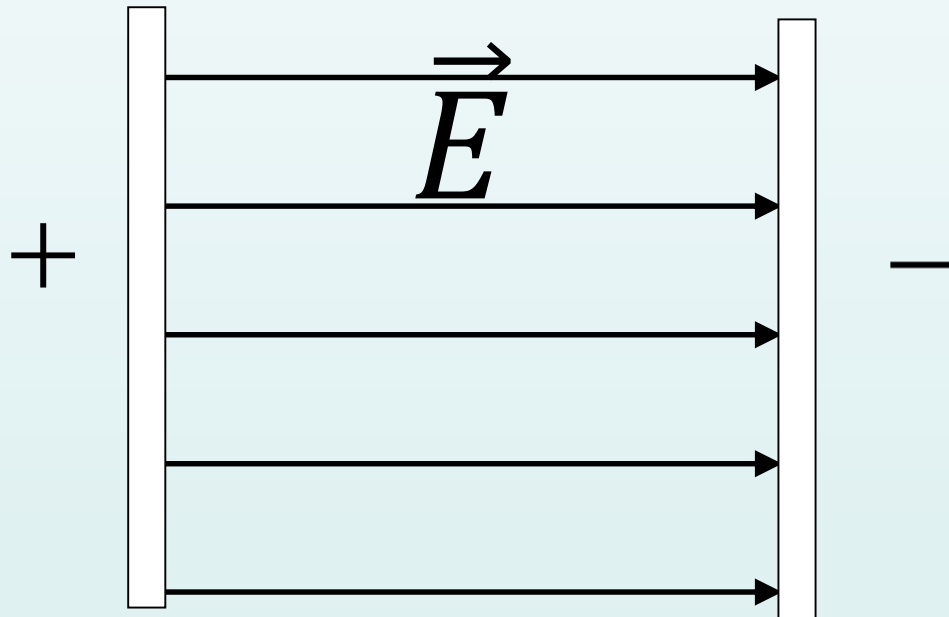
E	שדה חשמלי	N/C
ϵ_0	דיאלקטריות ריק	F/m
σ	צפיפות מטען שטחית (מטען ליחידת שטח)	C/m ²

השדה החשמלי בין שני לוחות מקבילים



שדה חשמלי אחיד

שדה חשמלי אחיד – עוצמה השדה שווה בגודל וכיוון
שדה חשמלי אחיד – כוח שפועל על מטען קבוע

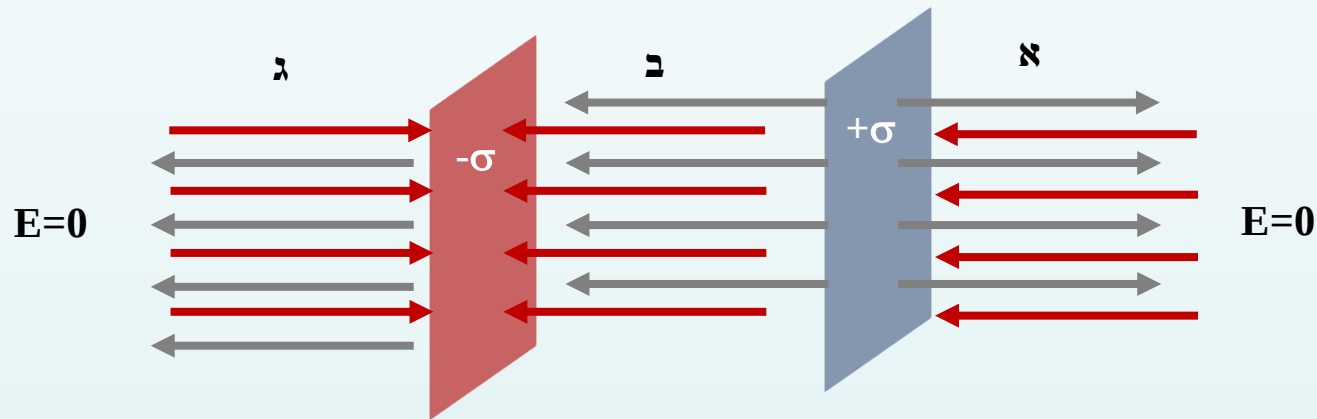


שדה חשמלי אחיד מאפשר להשתמש במשוואות תנועה
שוות תאוצה

שדה חשמלי של שני לוחות אינסופיים מקבילים טעונים

שני לוחות אינסופיים מקבילים טעונים, האחד בצפיפות מטען אחידה $+\sigma$, והשני בצפיפות מטען אחידה $-\sigma$. המרחק בין הלוחות הוא d .

הלוחות מחלקים את המרחב כולו לשלושה אזורים המתוארים (א, ב, ג). מהם השדות החשמליים בכל אחד מאזורים אלו של המרחב?



❖ בין הלוחות (אזור ב) השדות מתחברים.

❖ מחוץ ללוחות (אזורים א, ג) השדות מבטלים זה את זה, E שווה לאפס.

מסקנה:

בין שני לוחות אינסופיים המקבילים וטעונים במטענים שווים בגודלם והפוכים בסימנם

קיים שדה חשמלי אחיד, שכיוונו מהלוח הטעון חיובית אל זה הטעון שלילית.

מחוץ ללוחות השדה הוא 0.

השדה החשמלי של התקנים שונים

כדור מוליך	בתוך הכדור	$E = 0$
	מחוץ לכדור	$E = \frac{kq}{r^2}$
לוח		$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
קבל לוחות	בין הלוחות	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$
	מחוץ ללוחות	$E = 0$

נכון / לא נכון

1. השדה החשמלי בתוך מוליך שווה לאפס.
2. קווי השדה החשמלי של לוח אינסופי מקבילים.
3. עוצמת השדה החשמלי של לוח אינסופי לא תלוי במרחק.
4. השדה החשמלי בתוך קבל לוחות שווה לאפס.
5. עוצמת השדה החשמלי מחוץ לקבל לוחות שווה לאפס.

נכון / לא נכון

1. השדה החשמלי בתוך מוליך שווה לאפס.
2. קווי השדה החשמלי של לוח אינסופי מקבילים.
3. עוצמת השדה החשמלי של לוח אינסופי לא תלוי במרחק.
4. השדה החשמלי בתוך קבל לוחות שווה לאפס.
5. עוצמת השדה החשמלי מחוץ לקבל לוחות שווה לאפס.



[Join.quizizz.com](https://join.quizizz.com)

תרגילים שדה חשמלי (אשל)

47/16 •

48/21 •

48/23 •

48/24 •

50/28 •

50/29 •

50/30 •

50/31 •

45/1 •

45/3 •

45/4 •

45/5 •

46/6 •

46/12 •

46/13 •

46/14 •

47/15 •