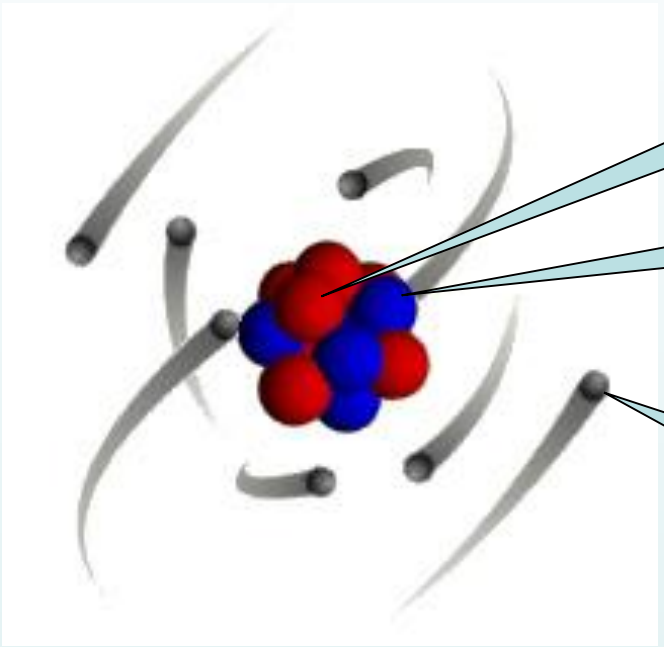
מבוא לאקטרוסטטיקה.
מושגים.

מטען חשמלי

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

קיימים שני סימנים של מטענים חשמליים –חיובי ושלילי.

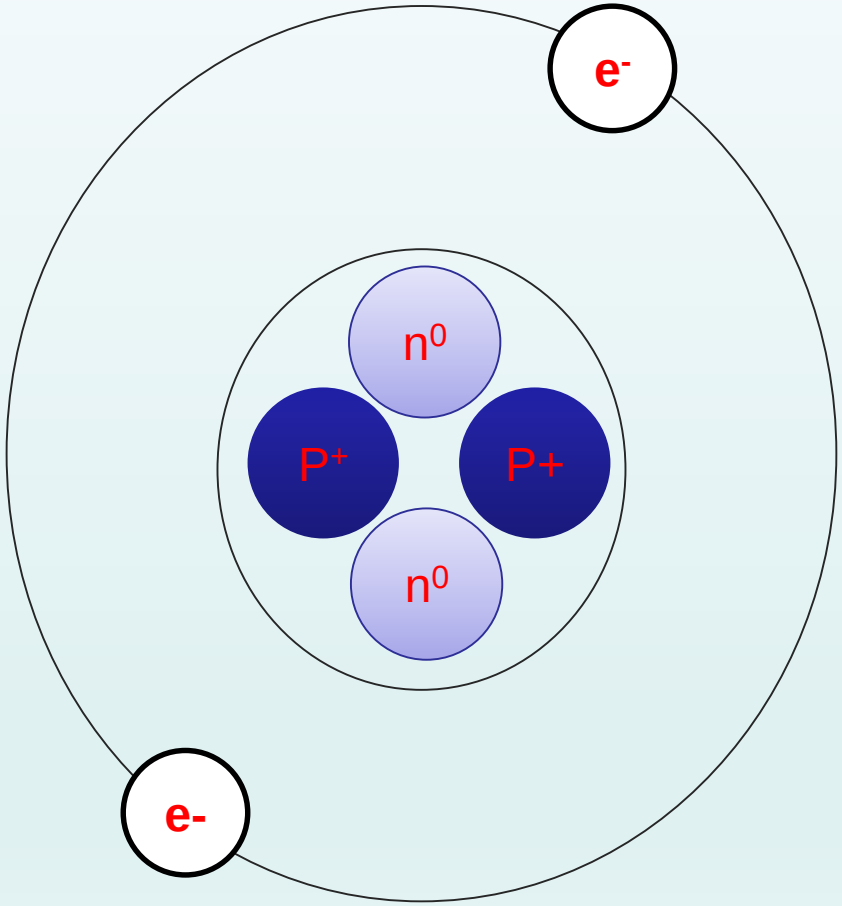
מבנה האטום



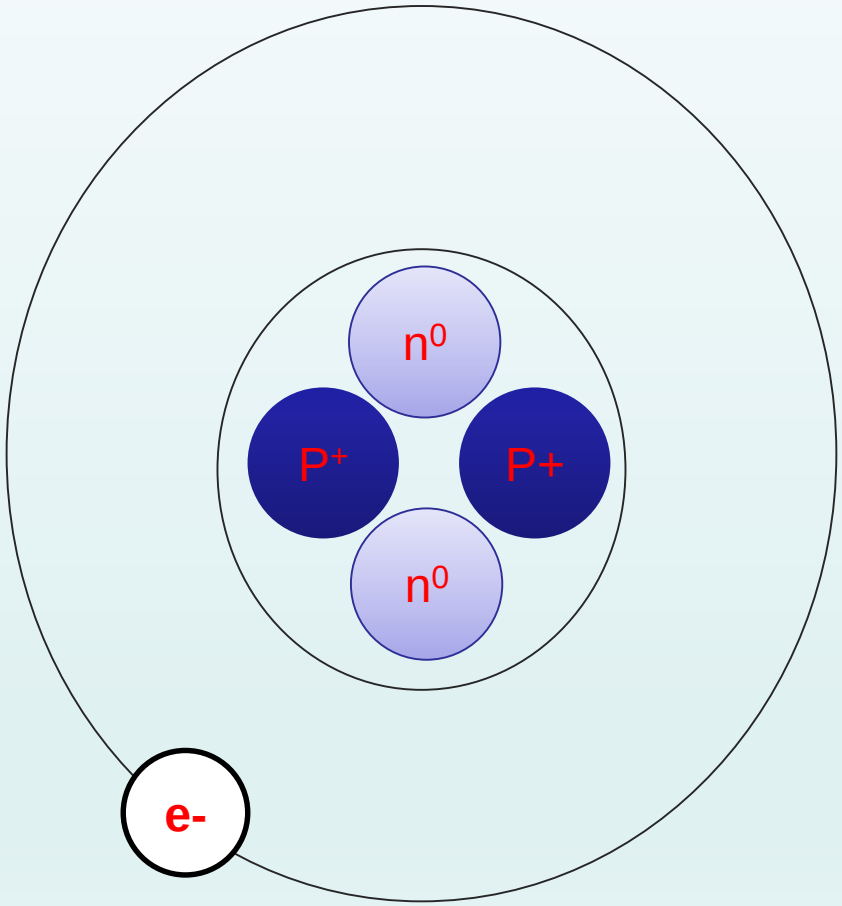
מטען האלקטרון	e	C	$1.60 \cdot 10^{-19}$

מטען הפרוטון שה למטען האלקטרון בערך מוחלט

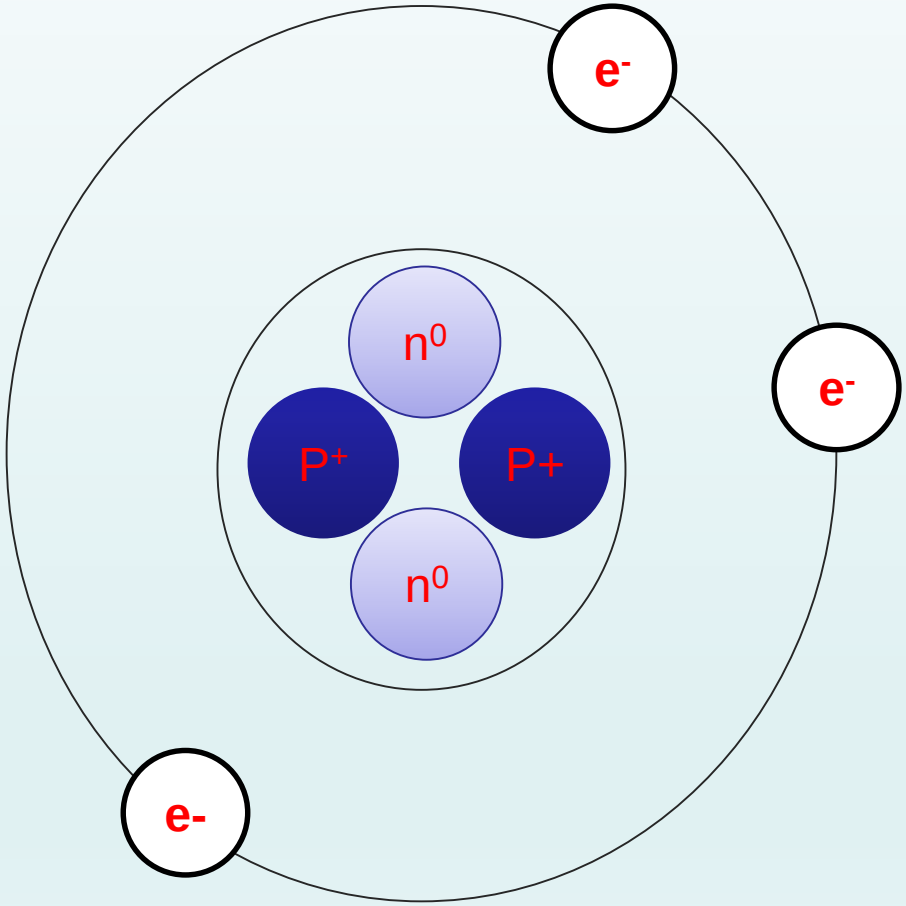
אטום ניטרלי :כמות הפרוטונים שווה לכמות האלקטרונים



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**

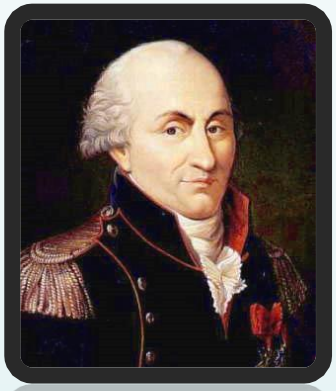
- מטען חשמלי :תכונה הנובעת מעודף או מחוסר באלקטרונים

להעתיק

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

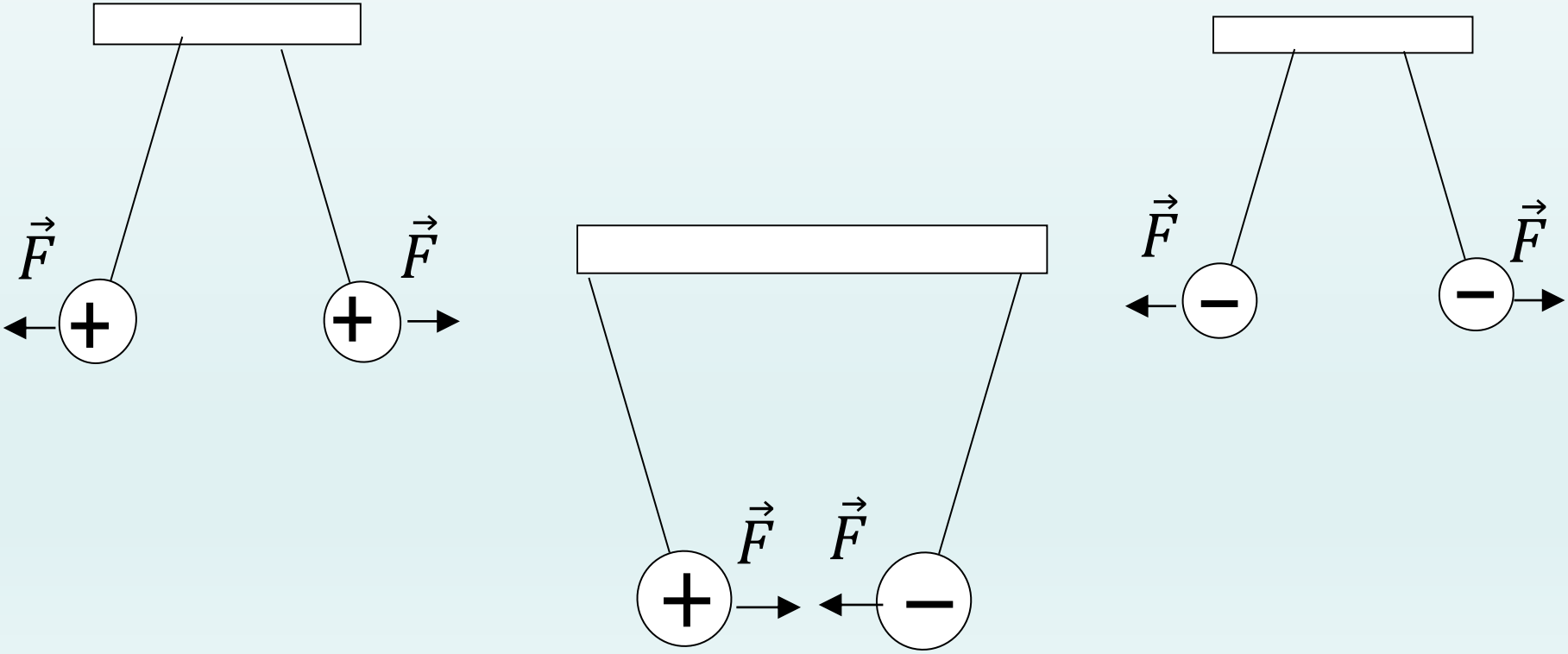


- יחידת מדידה של מטען חשמלי היא **קולון** (C) על שמו של פיזיקאי צרפתי שלראשונה חקר את הכוחות שפועלים בין גופים טעונים בצורה כמותית.
- מסיבות היסטוריות ,קולון הוא לא יחידה בסיסית בפיזיקה ומוגדר דרך אמפר(A)
- קולון אחד הוא מטען שעובר דרך שטח חתך של תיל בשנייה אחת אם זורם בו זרם של אמפר אחד

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

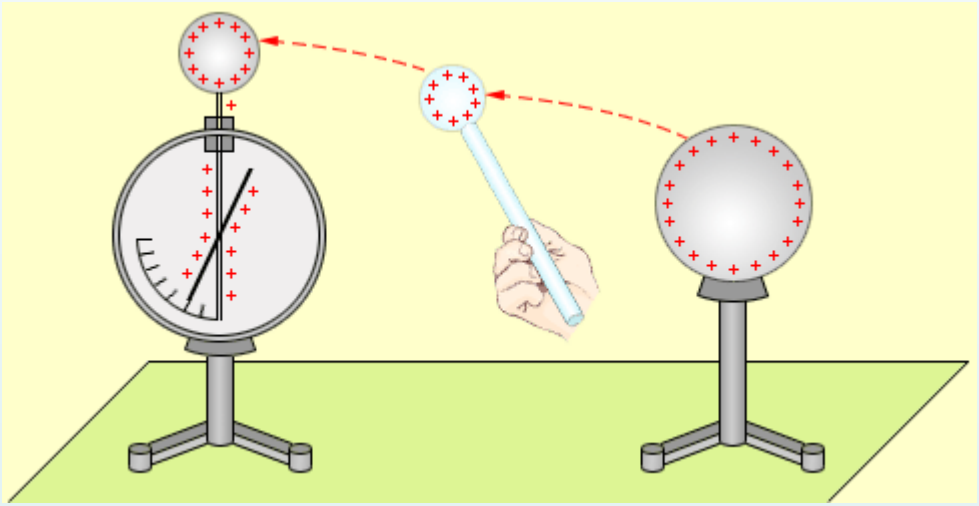
הכוח החשמלי

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

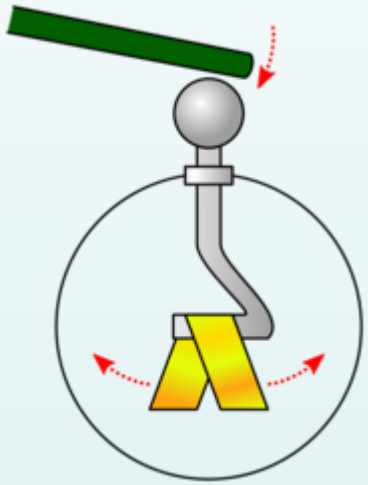


https://www.youtube.com/watch?v=jZEFuCxD7BE

מכשירים למדידת מטען חשמלי

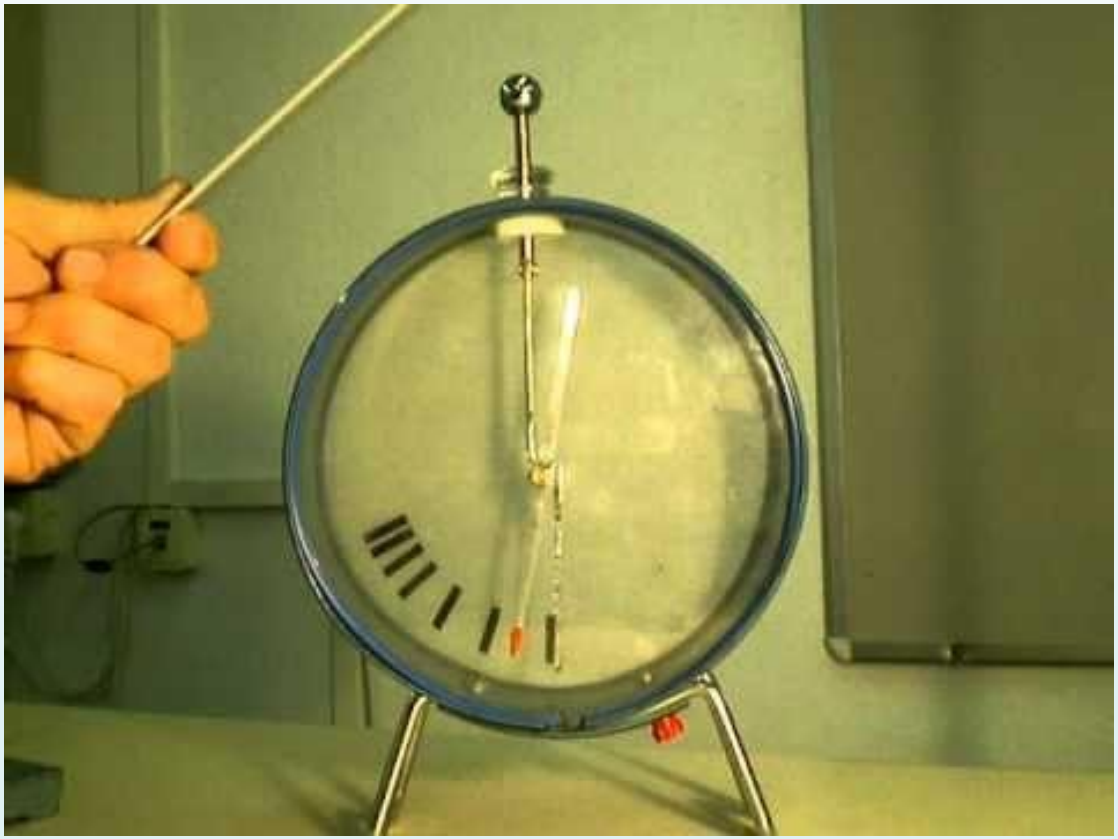


אלקטרומטר



אלקטרוסקופ

הדגמת אלקטרומטר



http://www.youtube.com/watch?v=xwOElTSjOuU

להעתיק

מטען אלמנטרי

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

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

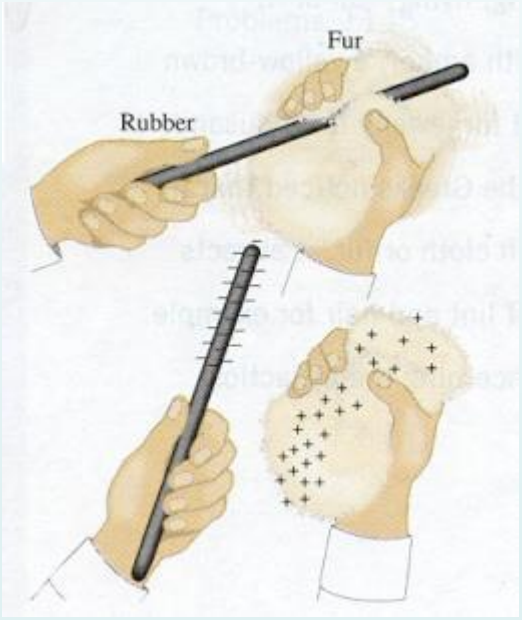
מטענים של כל הגופים –כפולות שלמות של מטען אלמנטארי.

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

להעתיק

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

$$\sum q = q_1 + q_2 + \ldots + q_n \qquad \sum q = const$$

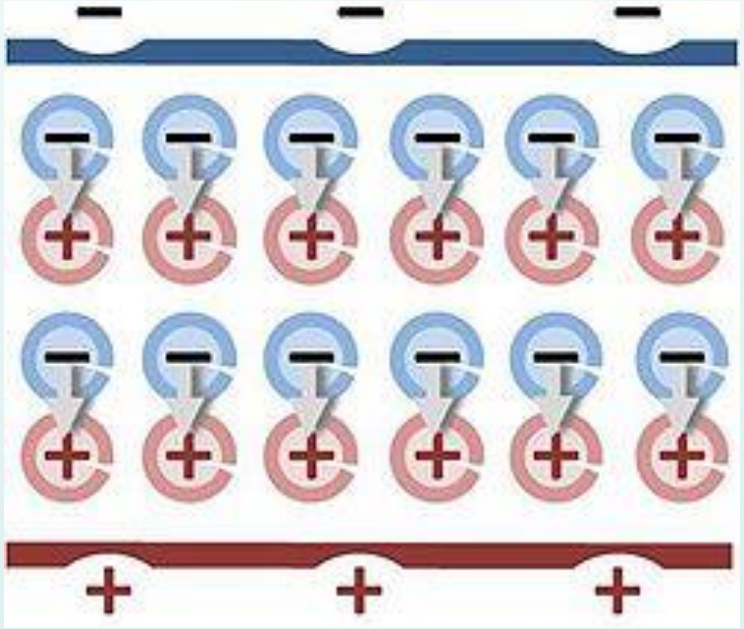
לדוגמה :ישנם שני גופים -אחד ניטראלי ושני טעון מטען 5 מיקרו קולון .מחברים בניהם .מתרחש פיזור חדש של המטענים ,אבל בשני הגופים המטען הכולל נשאר 5 מיקרו קולון.

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

Join.quiziz.com

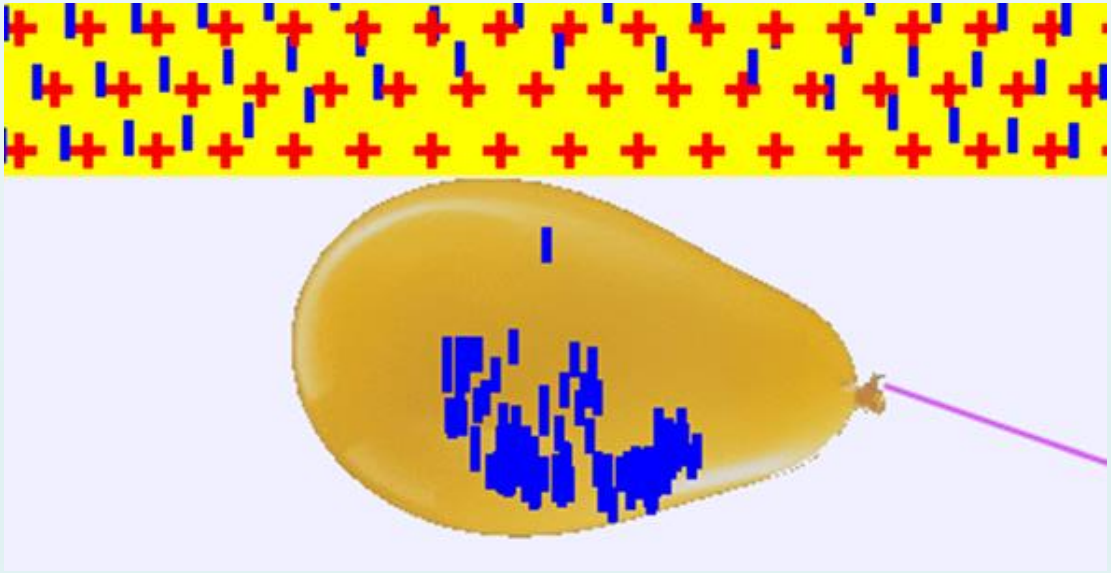
קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית

קיטוב חשמלי – מדד מיקרוסקופי להפרדה בין מטענים חיוביים ושלילים



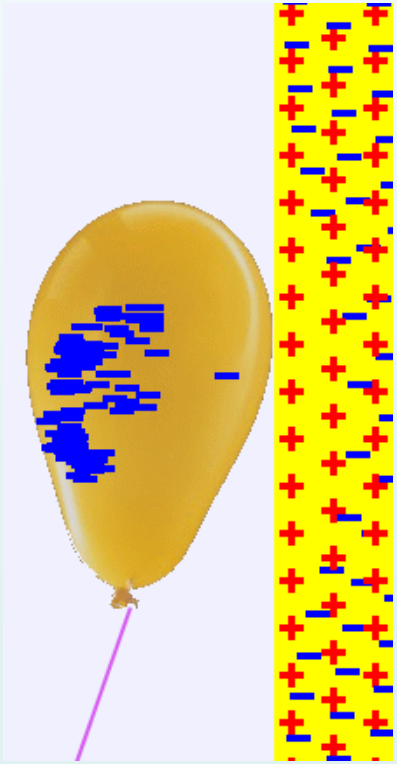
להעתיק

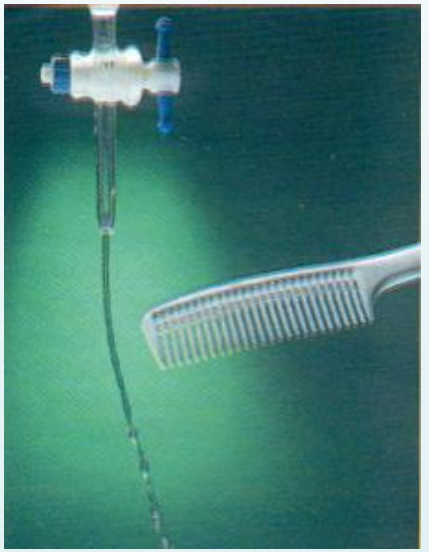
השראה אלקטרוסטטית–תפעה שבה מתרחש קיטוב חשמלי של גוף ניטרלי בקרבת גוף טעון



להעתיק

השראה אלקטרוסטטית -הדמיה





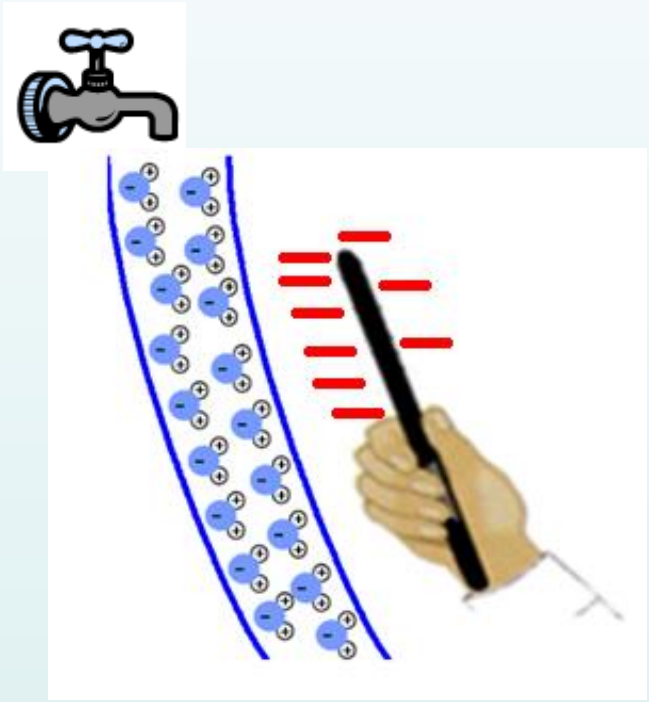
http://phet.colorado.edu/sims/balloons/balloons.jnlp

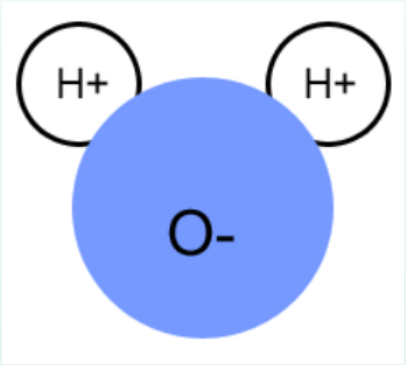
גוף ניטרלי נמשך לגוף טעון

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.



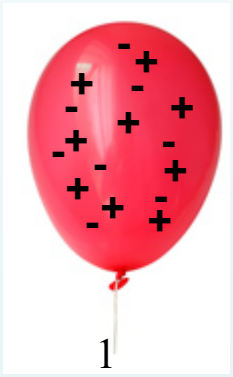


מולקולת מים

- 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.

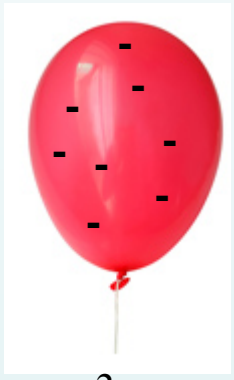
קיטוב חשמלי על ידי השראה: מבדדים (2)- דוגמא

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

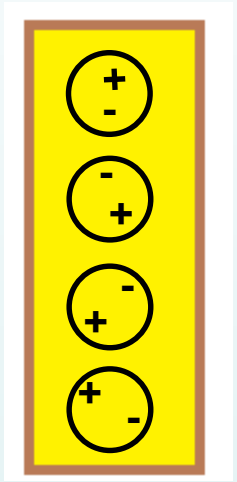


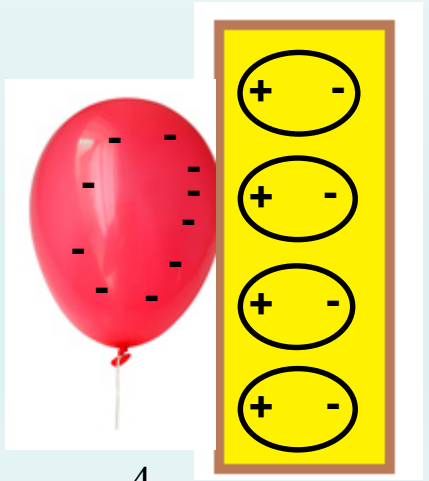
1

2



3

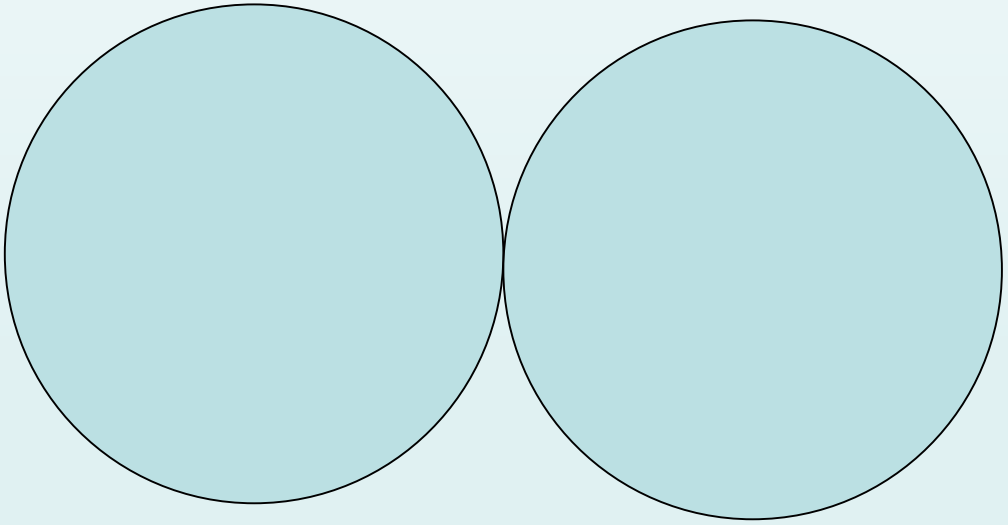




4

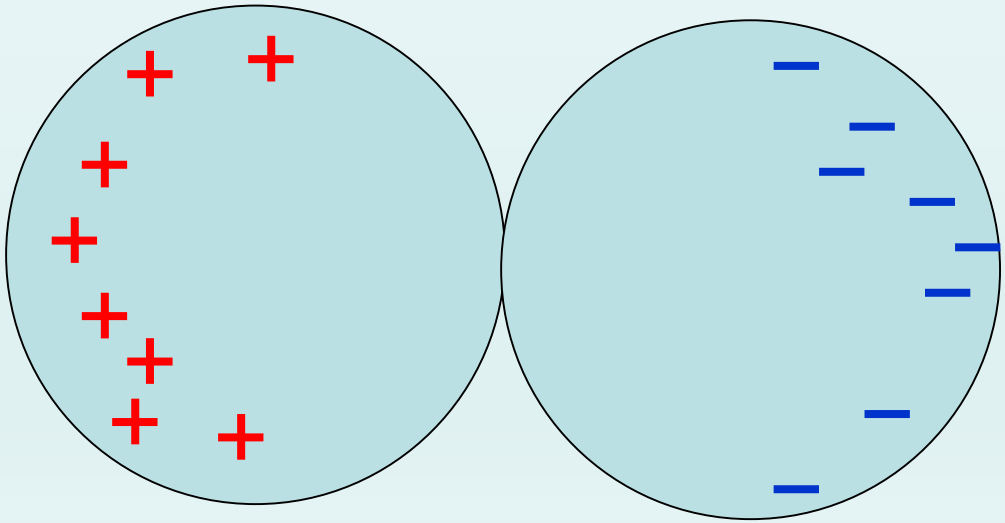
קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית
שלב 1

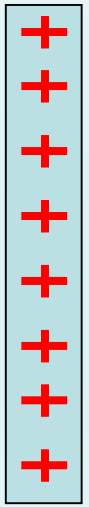
שני כדורים **מוליכים** **ניטראליים** (כמות מטענים חיוביים ושליליים בכל כדור שווה) נמצאים במגע.



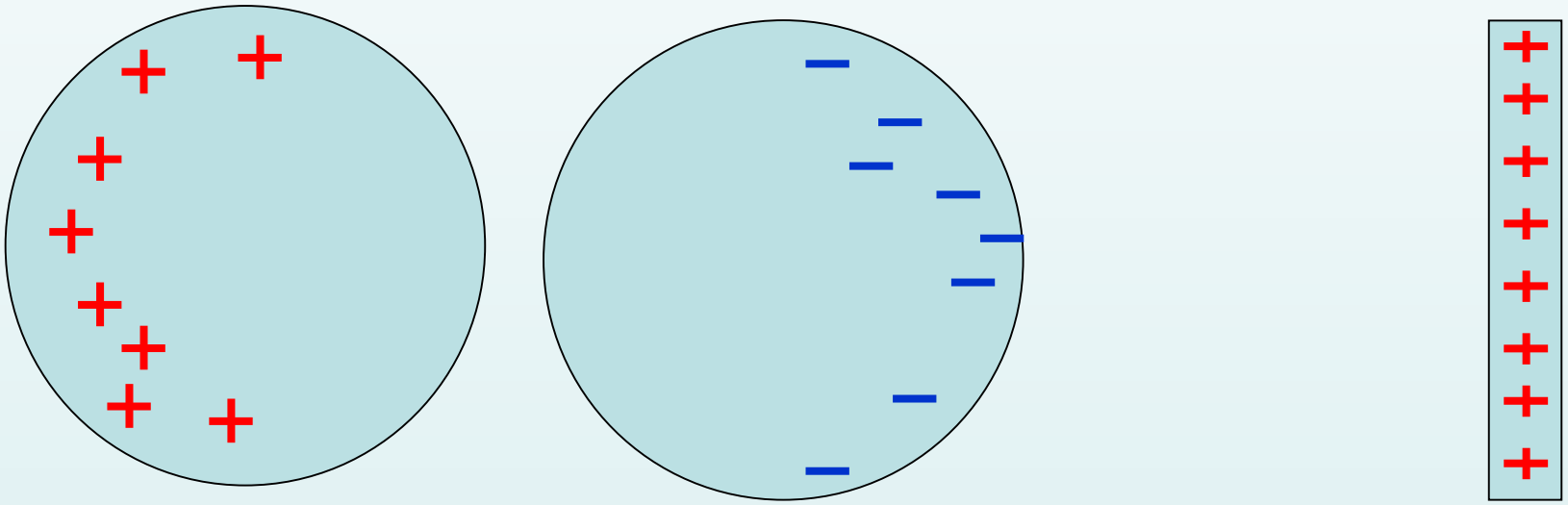
קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית
שלב 2

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





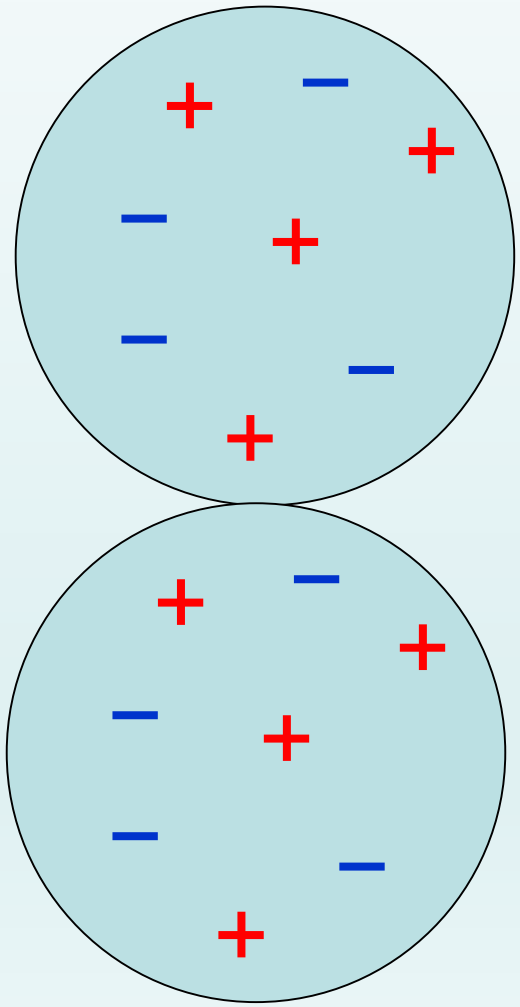
קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית
שלב 3



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

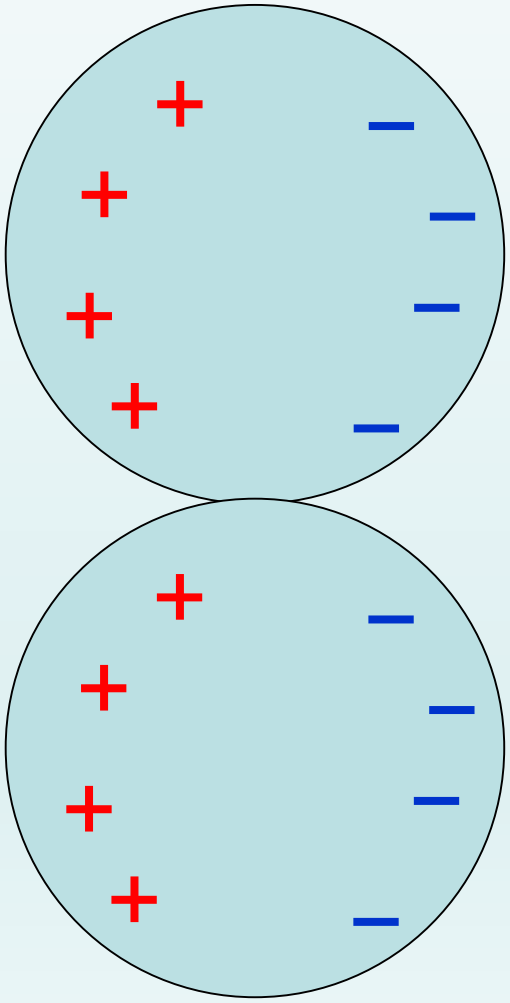
קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית

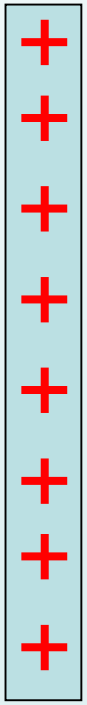
גופים ניטראלים



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

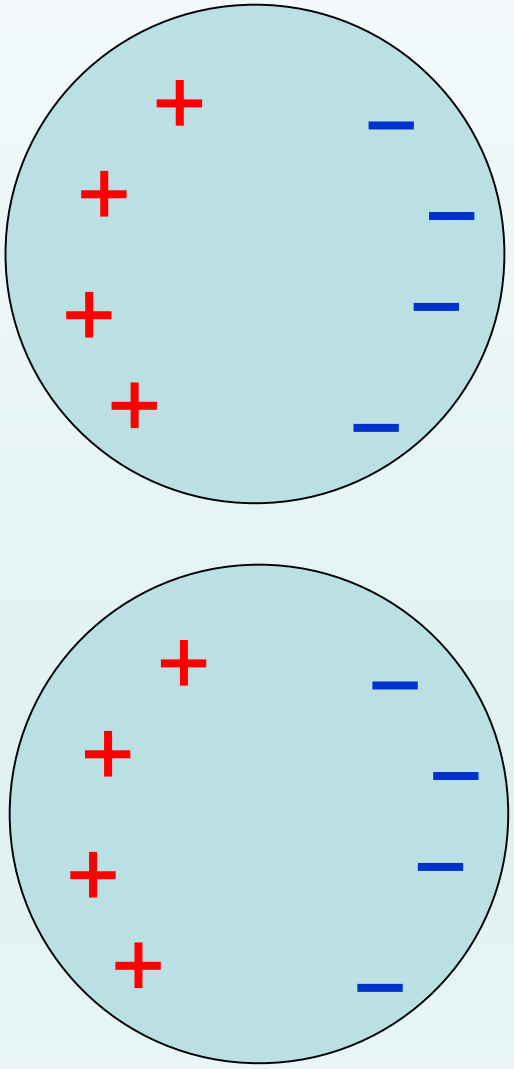
קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית





מפרידים בין הכדורים

קיטוב חשמלי והשראה אלקטרוסטטית



מסלקים את המוט.

הכדורים נשארים ניטראליים

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

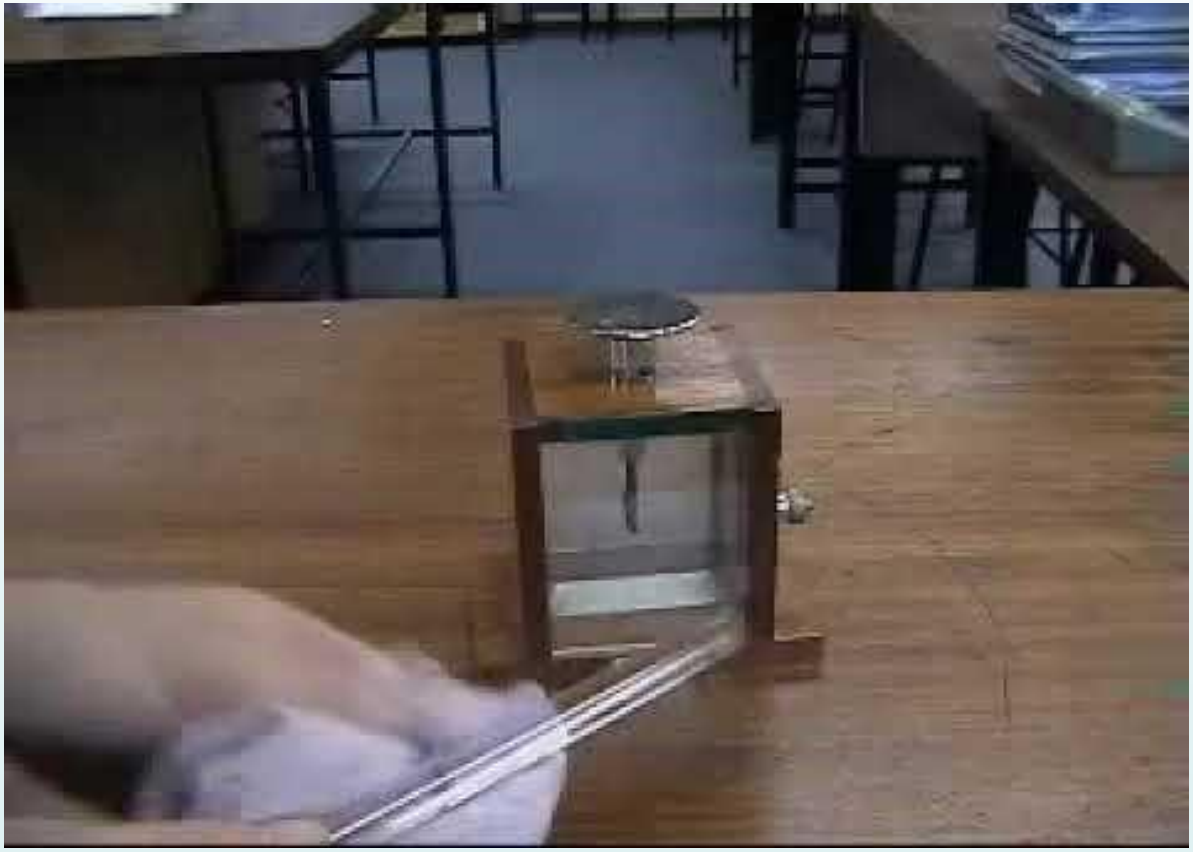
(א) שני כדורים נייטרליים נוגעים זה בזה.

(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



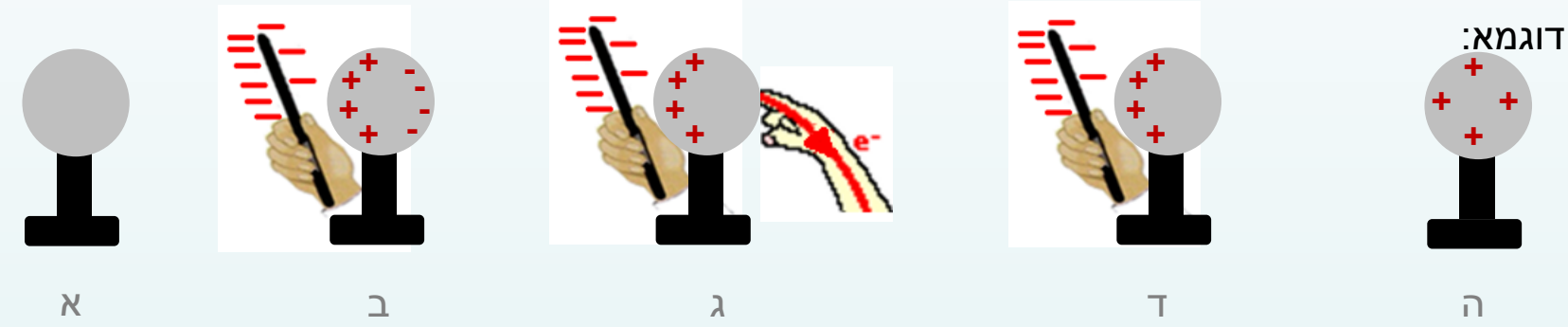
https://youtu.be/ffOd7nP5dEw?t=1m44s

הדגמה: טעינה בהשראה והארקה - כדור מוליך בודד

טעינה של גוף בודד יכולה להתבצע על ידי השראה (שיוצרת קיטוב) ובו זמנית- הארקה.

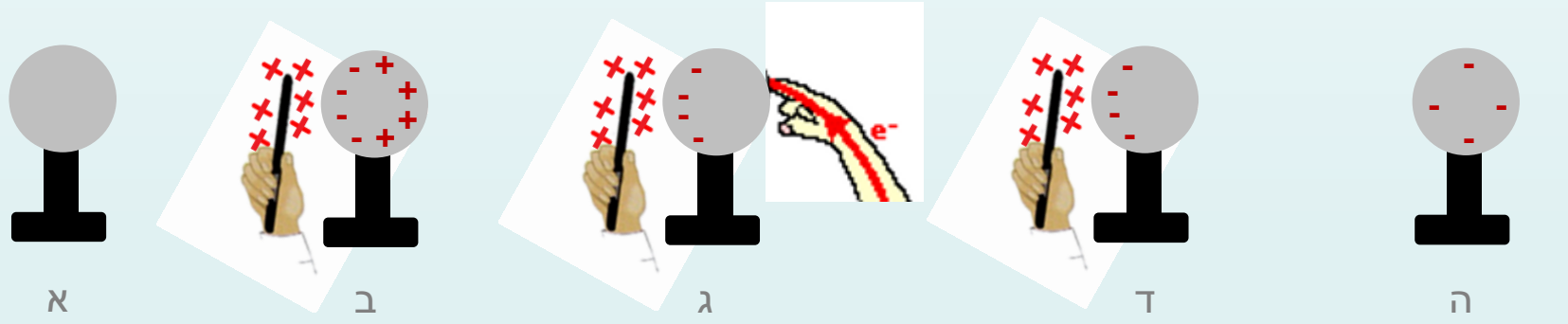
הארקה היא תהליך של העברת מטענים אל האדמה או ממנה באמצעות מגע של מוליך (למשל- גוף האדם).

דוגמא:



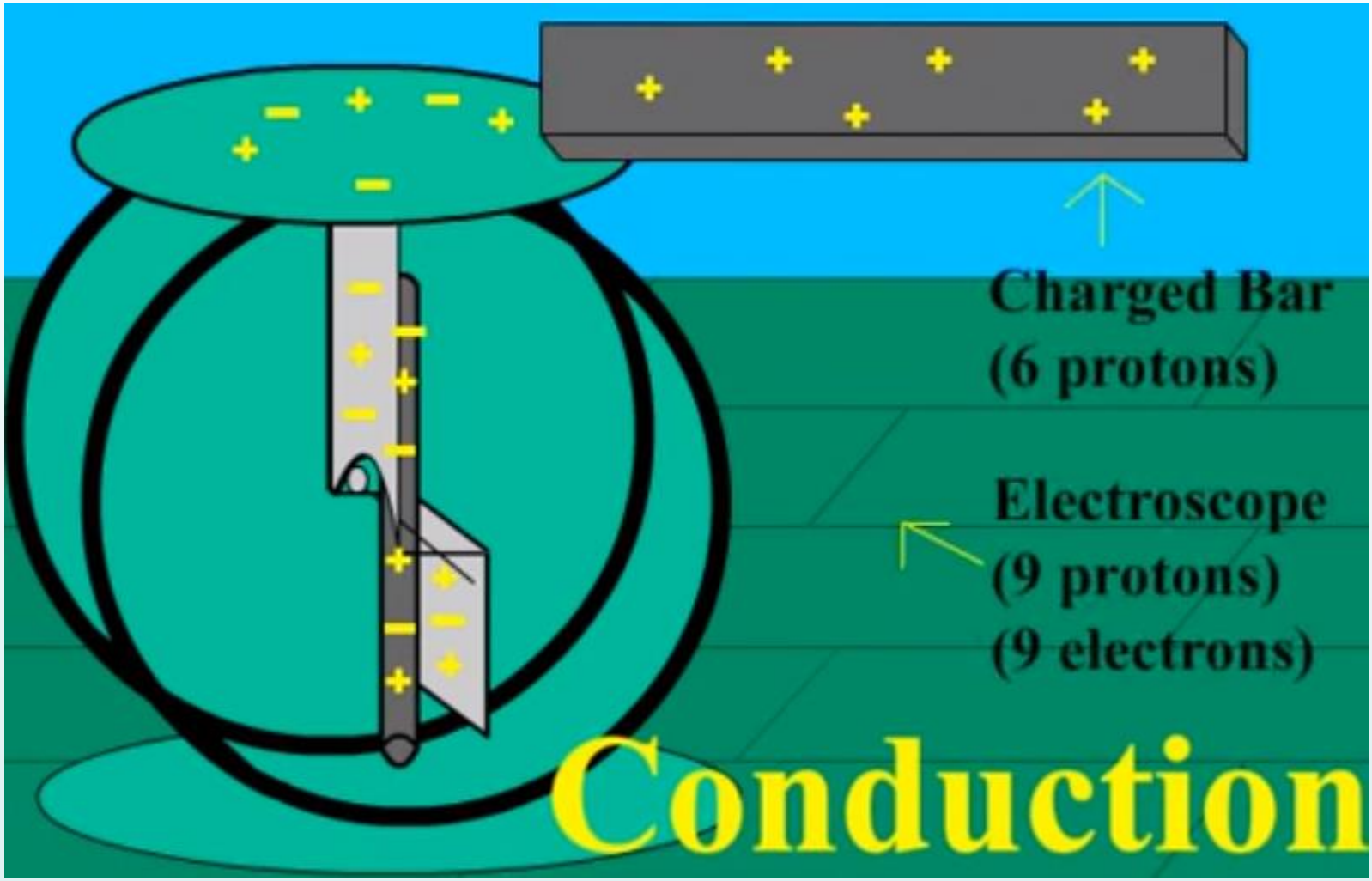
ה ד ג ב א

טעינת גוף יחיד בהשראה באמצעות הארקה ומוט שלילי



ה ד ג ב א

טעינת גוף יחיד בהשראה באמצעות הארקה ומוט חיובי



https://youtu.be/rWHLXV96dKQ

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

Join.quiziz.com

חוק קולון

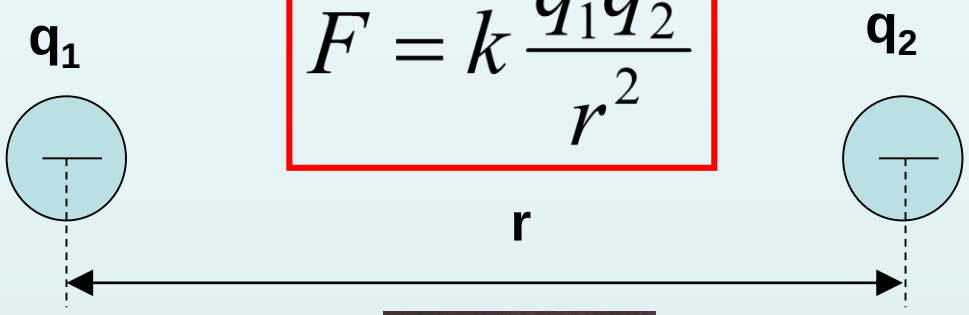
חוק קולון

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

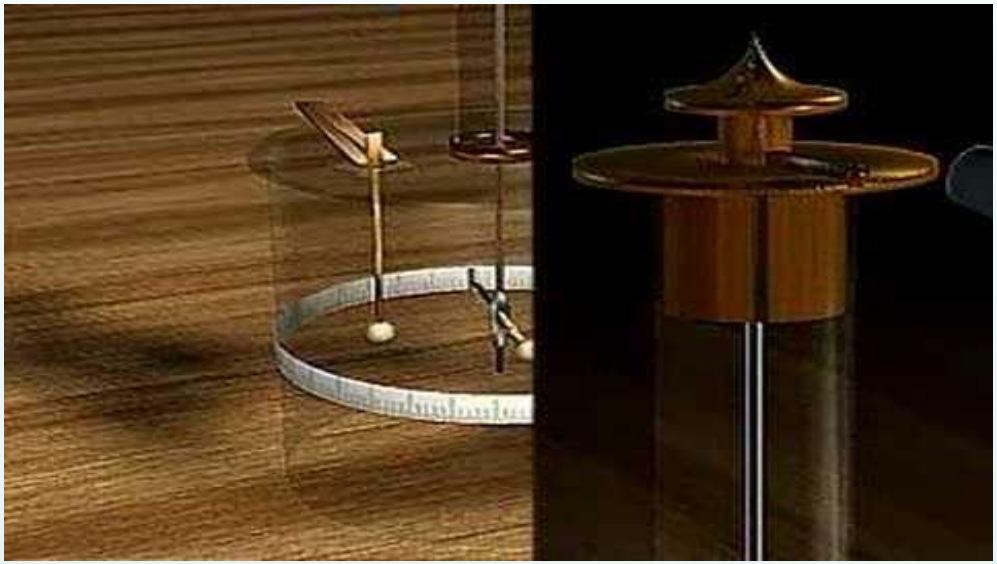
F	כוח חשמלי
k	המקדם בחוק קולון
q	מטעני הגופים
r	מרחק בין **מרכזי** הגופים

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



מאזני פיתול

מכשיר למדידה של קבוע בחוק קולון



https://www.youtube.com/watch?v=_5VpIje-R54

להעתיק

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

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

להעתיק

צורה נוספת של כתיבת חוק קולון

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\ \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

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.quiziz.com

תרגיל 2

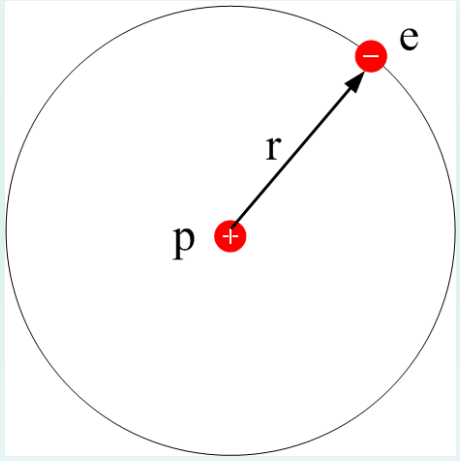
אטום המימן מכיל גרעין חיובי (פרוטון) ואלקטרון שלילי. על פי מודל אטום המימן של בוהר, רדיוס אטום המימן הוא $5.29*10^{-11}m$ (ראו תרשים).

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

ב- מהי תאוצתו הרדיאלית של האלקטרון? נתון כי מסת האלקטרון היא $9.11X10^{-31}kg$

ג- מהו זמן המחזור של תנועתו?

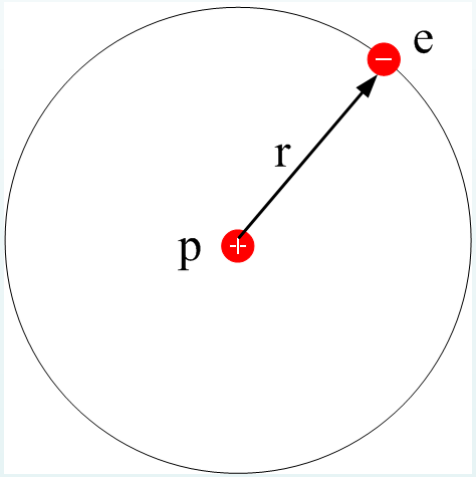
ד- מהי מהירות תנועתו?



פתרון 2

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:



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

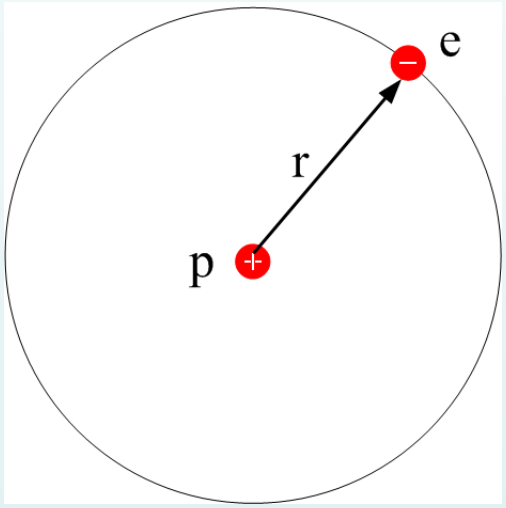
$$F_e = 9\cdot 10^9 \frac{(1.6\cdot 10^{-19})^2}{(5.29\cdot 10^{-11})^2} = 82.33\cdot 10^{-9}\,N = 82.33nN$$

◄ 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.

פתרון 2 המשך (ב)

ב- מהי תאוצתו הרדיאלית של האלקטרון? נתון כי מסת האלקטרון היא $9.11X10^{-31}kg$

◄ נחשב על פי הנתון הקודם:



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

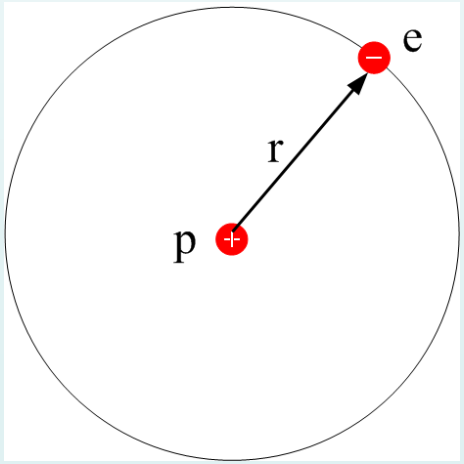
פתרון 2 המשך (ג)

ג- מהו זמן המחזור של תנועתו?

◄ מתוך הקשר בין התאוצה הרדיאלית לזמן המחזור:

$$a_R = \omega^2 r$$

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



פתרון 2 המשך (ד)

ד- מהי מהירות תנועתו?

◄ מתוך הקשר בין המהירות לזמן המחזור, נקבל:

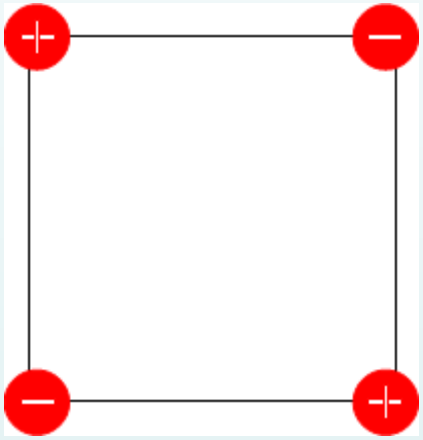
$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 5.29 \cdot 10^{-11}}{1.52 \cdot 10^{-16}} = 2.18 \cdot 10^{6} \frac{m}{s}$$

תרגיל 3

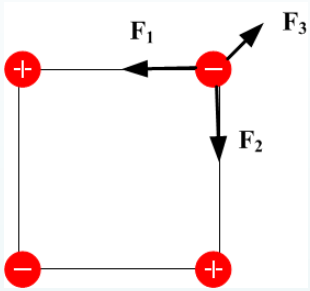
ארבעה מטענים חשמליים נקודתיים בני 3μC (מיקרו-קולון = 10^{-6} קולון) מצויים ב-4 פינות של ריבוע, שצלעו 0.4 מטר, כפי שמתואר בתרשים.

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

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

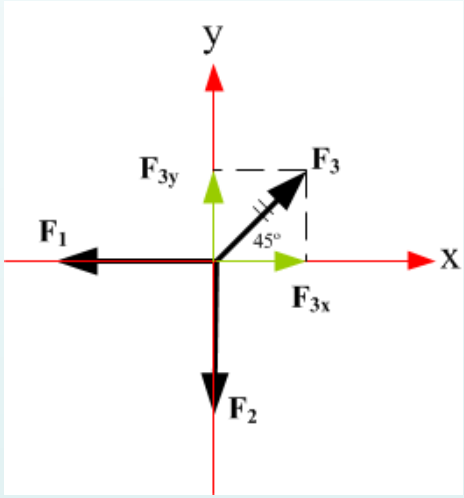


פתרון 3א



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:



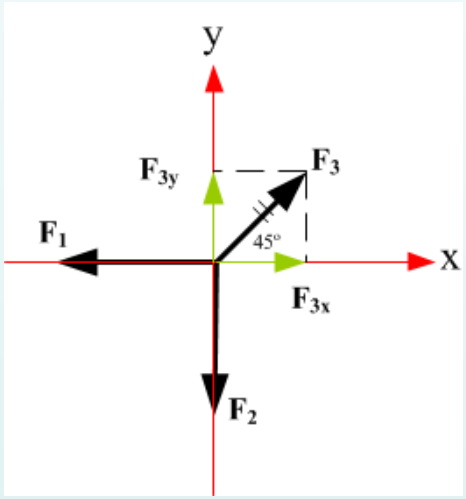
$$\Sigma F_x = F_{3x} - F_1$$
$$\Sigma F_y = F_{3y} - F_2$$

פתרון 3א- המשך

◄ נפרק לרכיבים ונסכם:

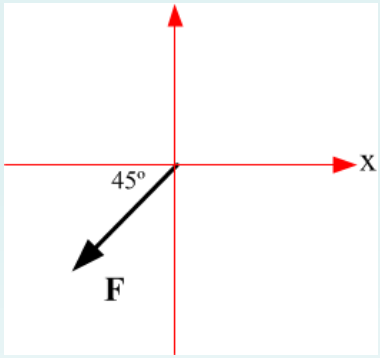
$$\Sigma F_x = k\frac{(3\cdot10^{-6})^2}{(0.4\sqrt{2})^2}\cos 45° - k\frac{(3\cdot10^{-6})^2}{0.4^2} = k\frac{(3\cdot10^{-6})^2}{0.4^2}(\cos 45° - 1) = -0.327N$$

$$\Sigma F_y = k\frac{(3\cdot10^{-6})^2}{(0.4\sqrt{2})^2}\sin 45° - k\frac{(3\cdot10^{-6})^2}{0.4^2} = k\frac{(3\cdot10^{-6})^2}{0.4^2}(\sin 45° - 1) = -0.327N$$



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

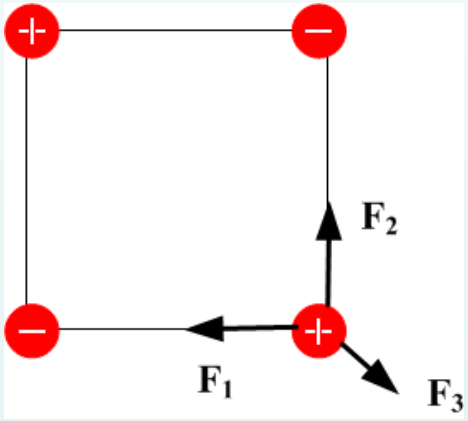
$$F = \sqrt{(-0.327)^2 + (-0.327)^2} = 0.463N$$



פתרון 3 המשך (ב)

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

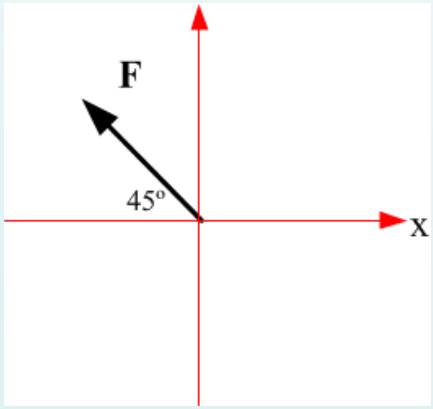
◄ גם כאן נעזר בשיקולי סימטריה, ונקבל תרשים כוחות דומה לזה של הסעיף הקודם:
הכוחות F_1 ו- F_2 הם כוחות משיכה והכוח F_3 הוא כוח דחייה, בזווית של 45 מעלות ביחס לציר x.



◄ לכן, ערכו של שקול הכוחות הוא:

$$F = 0.463N$$

◄ וכיוונו בזווית של 45 מעלות אל מרכז הריבוע.



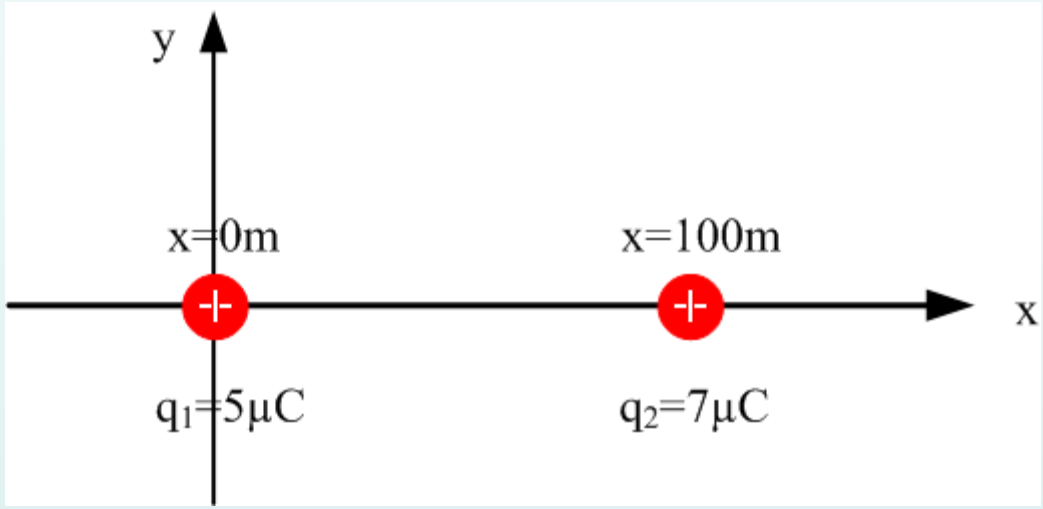
תרגיל 4

מטען של 5μC+ מונח בראשית הצירים ומטען שני של 7μC+ מונח בנקודה x=100cm.

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.

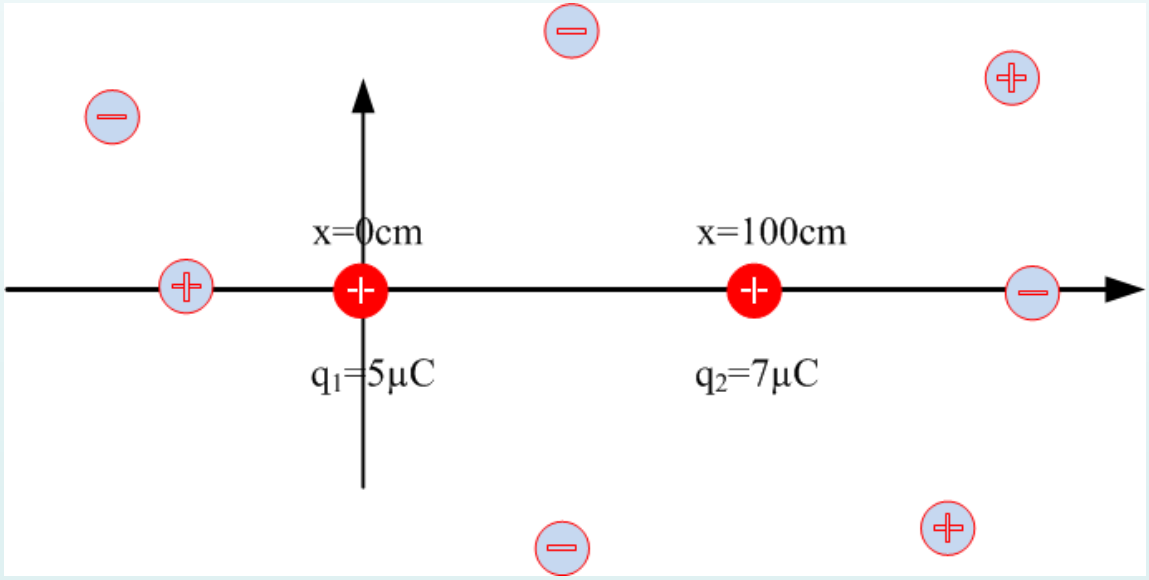
ג- מה צריך להיות גודלו של מטען כזה?



פתרון 4 (א)

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

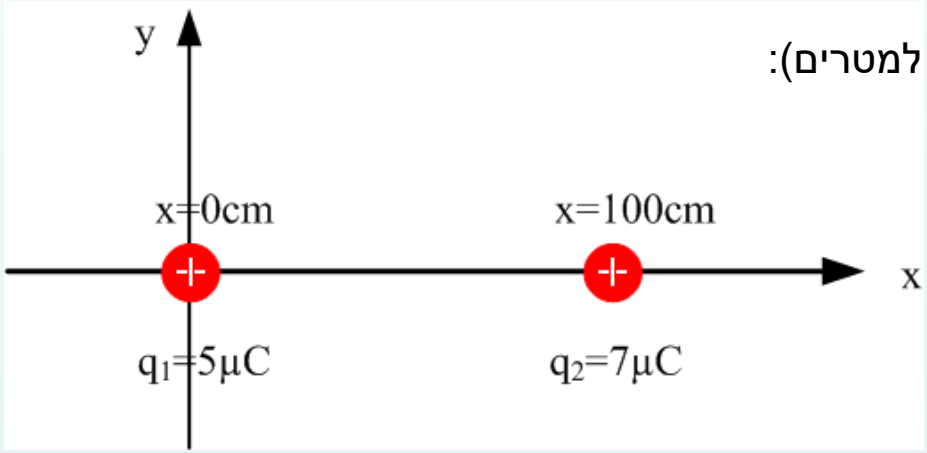
- בכל נקודה במישור, פרט לנקודות שעל ציר x שבין שני המטענים, שני המטענים הקיימים יפעילו על המטען השלישי כוחות משיכה או דחייה (בהתאם לסימנו) באותו הכיוון, לכן הוא לא יימצא במנוחה.
- במיקום שבין המטענים, הכוחות שיופעלו על המטען השלישי יהיו בכיוונים מנוגדים, ולכן ייתכן מצב בו הוא יהיה במנוחה.



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):



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

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

$$x_1 = -5.458m$$

$$x_2 = +0.458m$$

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

פתרון 4 המשך (ג)

ג- מה צריך להיות גודלו של מטען זה?

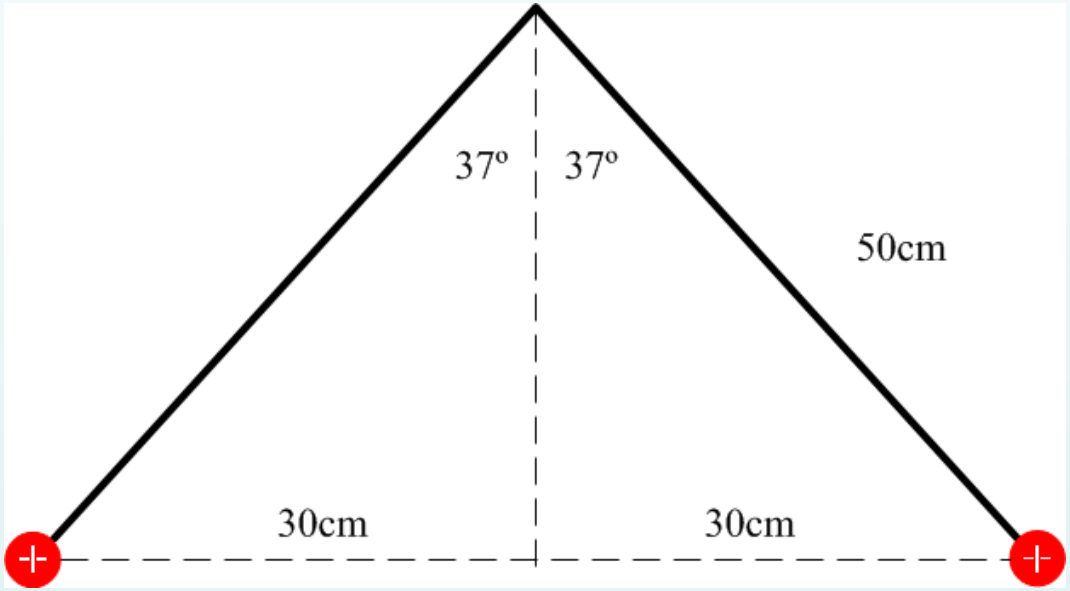
- כפי שראינו בחישוב שבסעיף 2, גודלו של מטען הבוחן מצטמצם, כלומר אין חשיבות לגודלו (או לסימנו).
- הסיבה הפיזיקלית לכך: גודלו של הכוח הפועל בין כל שני מטענים מושפע משניהם גם יחד, והואיל ומדובר בכוחות על <u>אותו</u> מטען בוחן, תרומתו לשני הכוחות הללו זהה, ולכן מתקזזת.

תרגיל 5

שני גופים הזהים במסתם (m=0.2gr) ובמטענם תלויים על שני חוטים כמוראה בתרשים.

א- מה גודלו של המטען?

ב- מהי המתיחות בחוט?



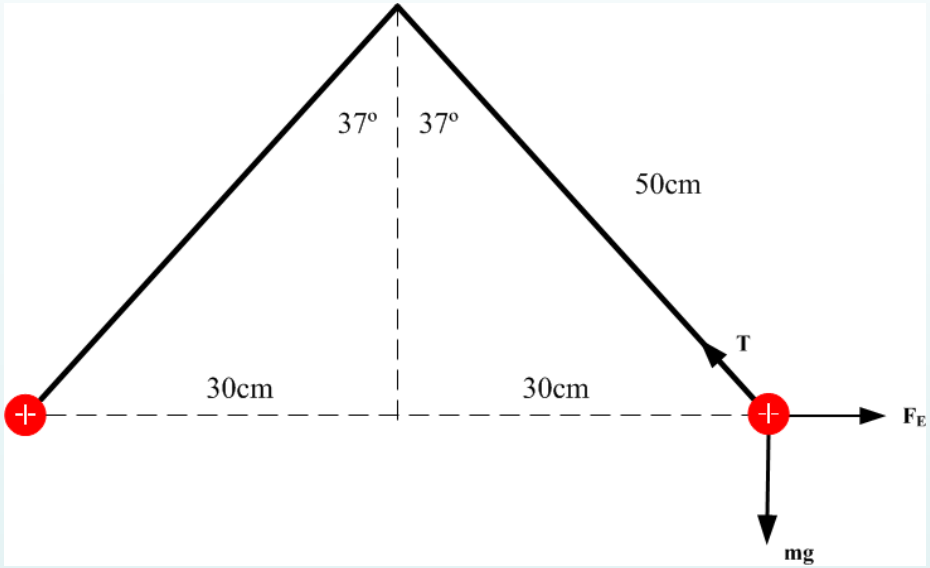
פתרון 5

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:

$$tan37 = \frac{F_E}{mg}$$

$$F_E = mg\tan 37$$

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

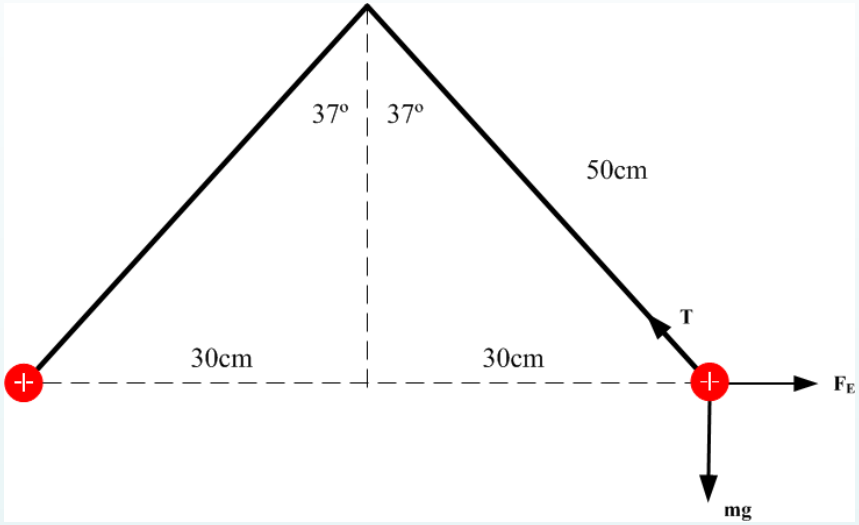
- ולחישוב המטען:

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

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

- בחרנו בסימן החיובי כי כך נתון בתרשים.
- הערך הכמותי של המטען היה שווה גם לו היינו מתייחסים למטען שלילי.

פתרון 5 המשך



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:

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

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

תרגול חוק קולון (זינגר)

23/1
23/2
23/3
23/4
23/5
23/6
23/7

- 23/9
- 24/11
- 24/12
- 24/13
- 24/14

תרגול חוק קולון (אשל)

- 20/1
- 20/2
- 20/3
- 20/5
- 20/6
- 20/7

- 20/10
- 20/11
- 21/12
- 21/13
- 22/15

השדה החשמלי

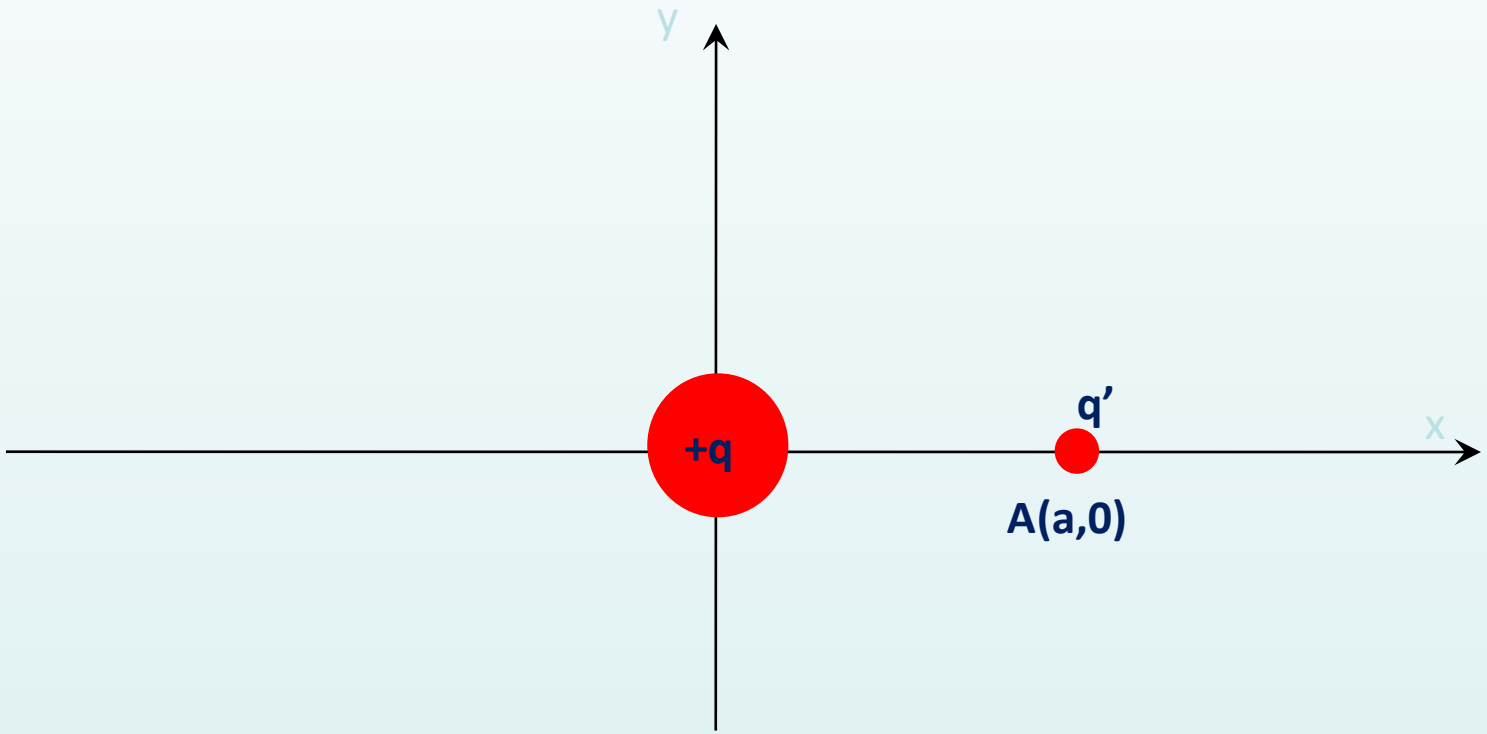
להעתיק

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.

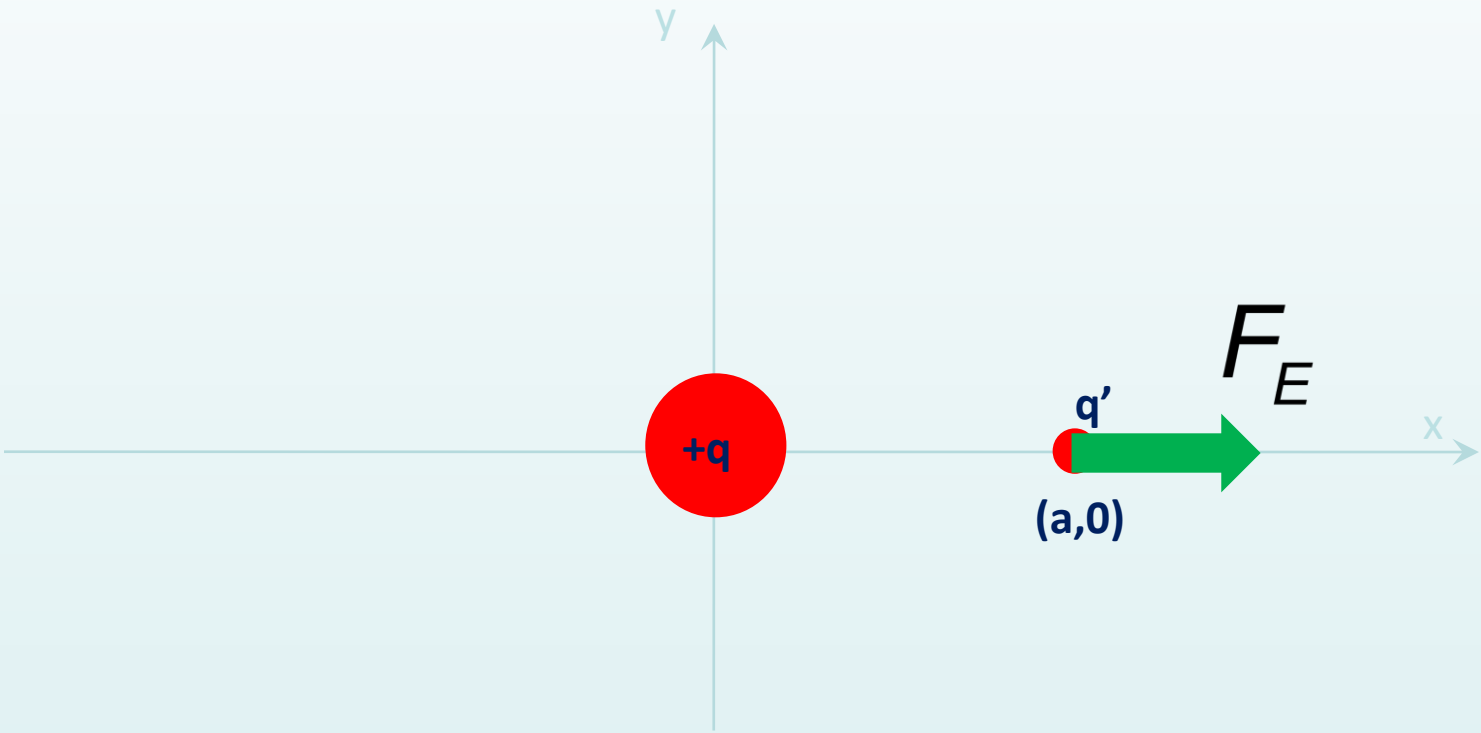
מטען ⟷ **השדה החשמלי** ⟷ מטען

נתון מטען נקודתי q+הנמצא בראשית הצירים

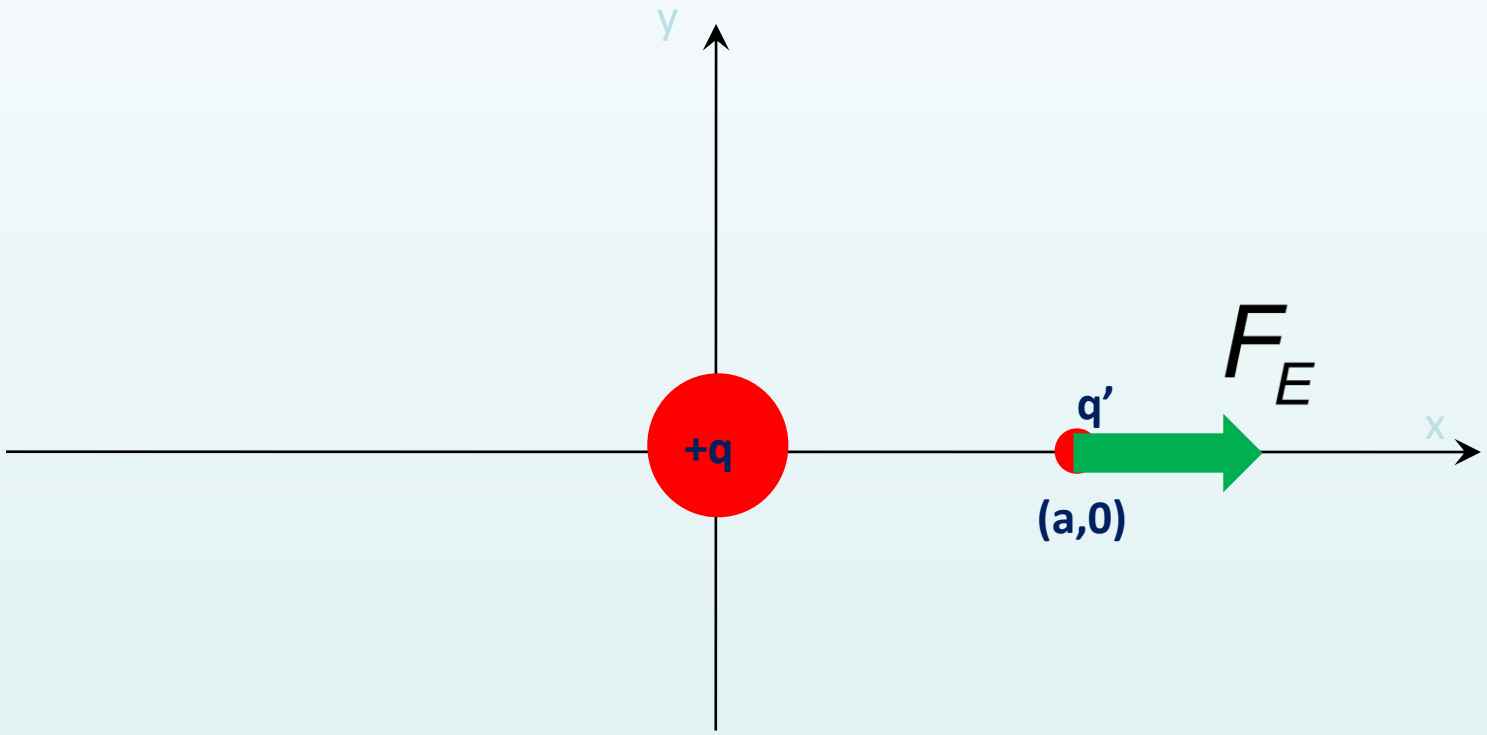


מהו הכוח שמרגיש מטען q’הנמצא בנקודה A(a,0) ?

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

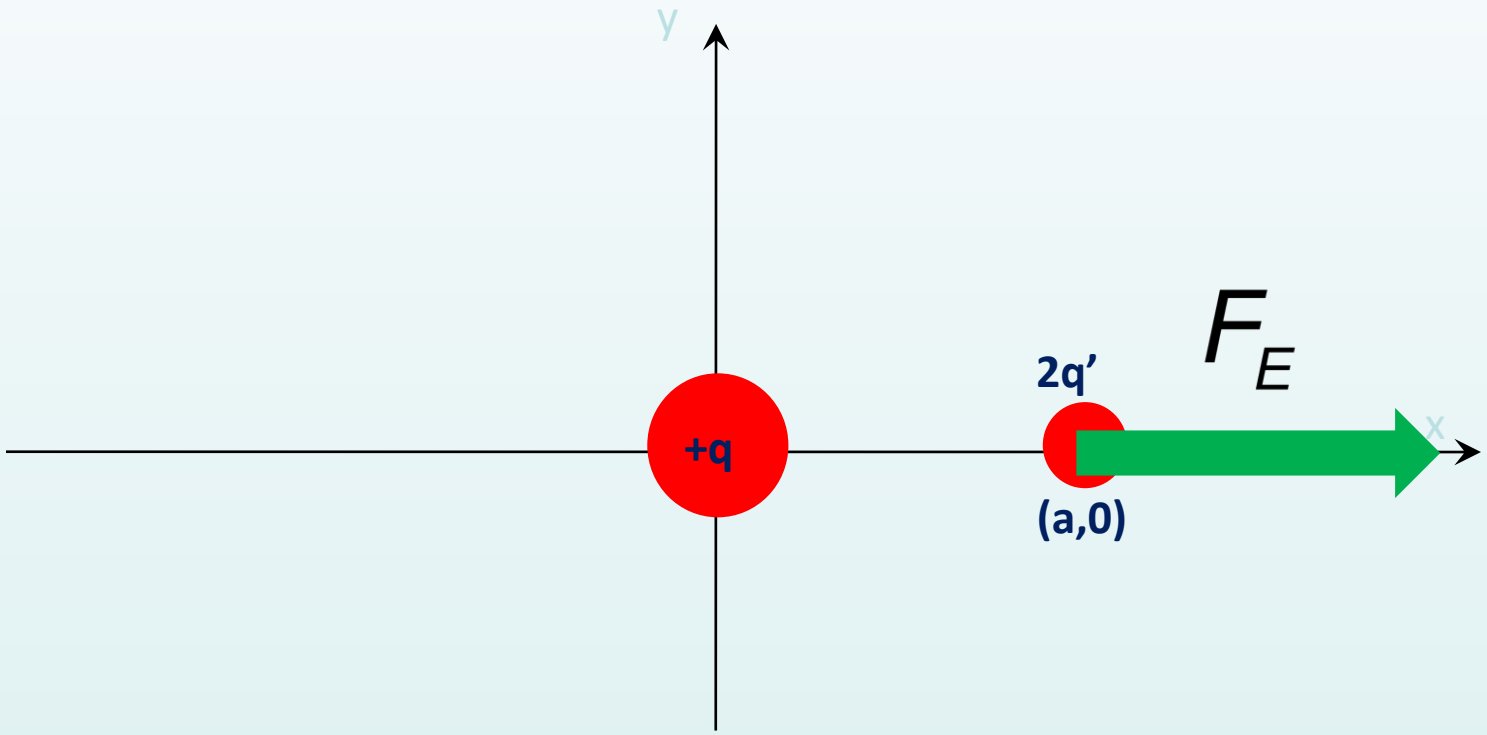


$$F_E = K\frac{q \cdot q'}{a^2}$$



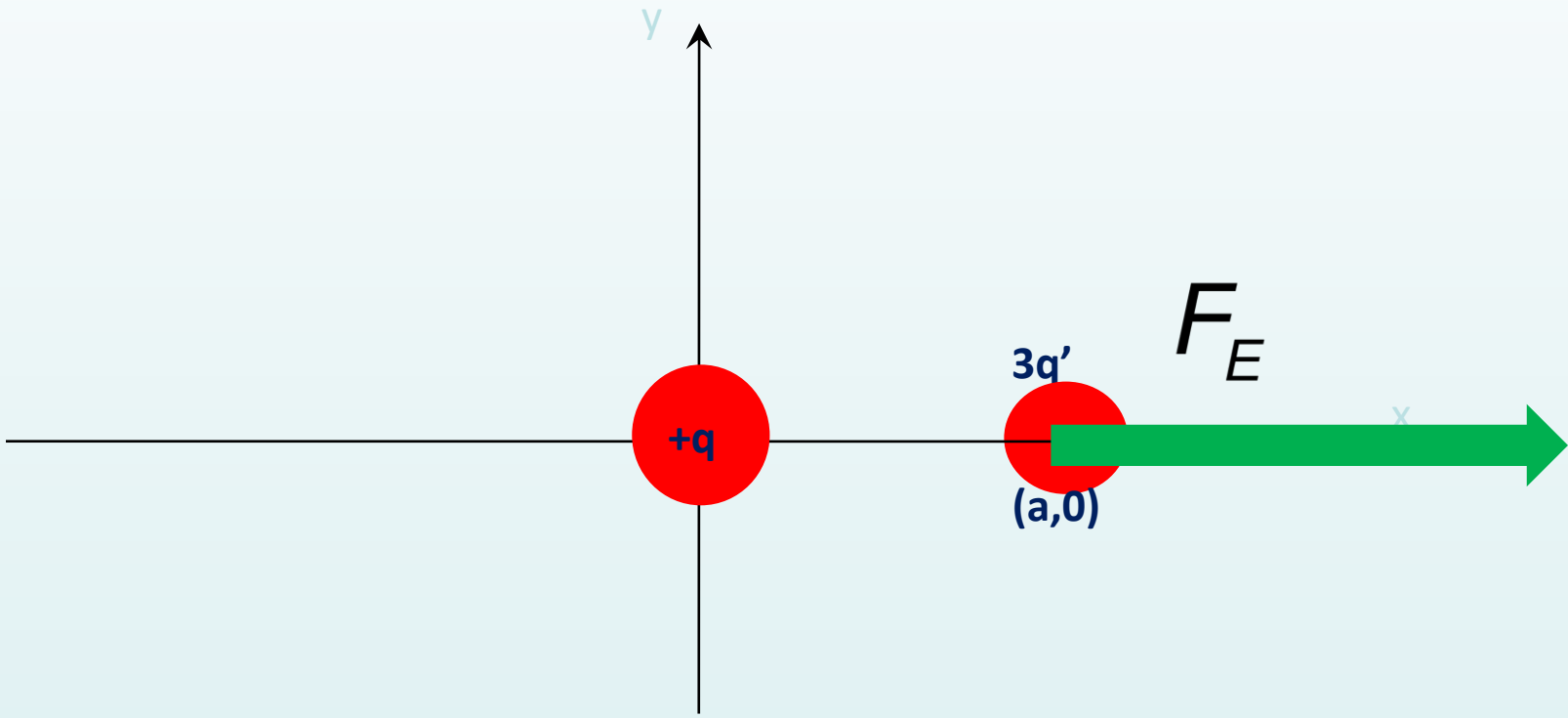
אם נכפיל את המטען q' שנמצא בנקודה (a,0) פי 2 מה יהיה שווה ל F_E?
איזה כוח ירגיש הפעם q'?

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



כאשר נכפיל את המטען q' שומטענו יהיה שווה ל
2. כוח החשמלי שיפעיל q על q' יגדל פי 2q'

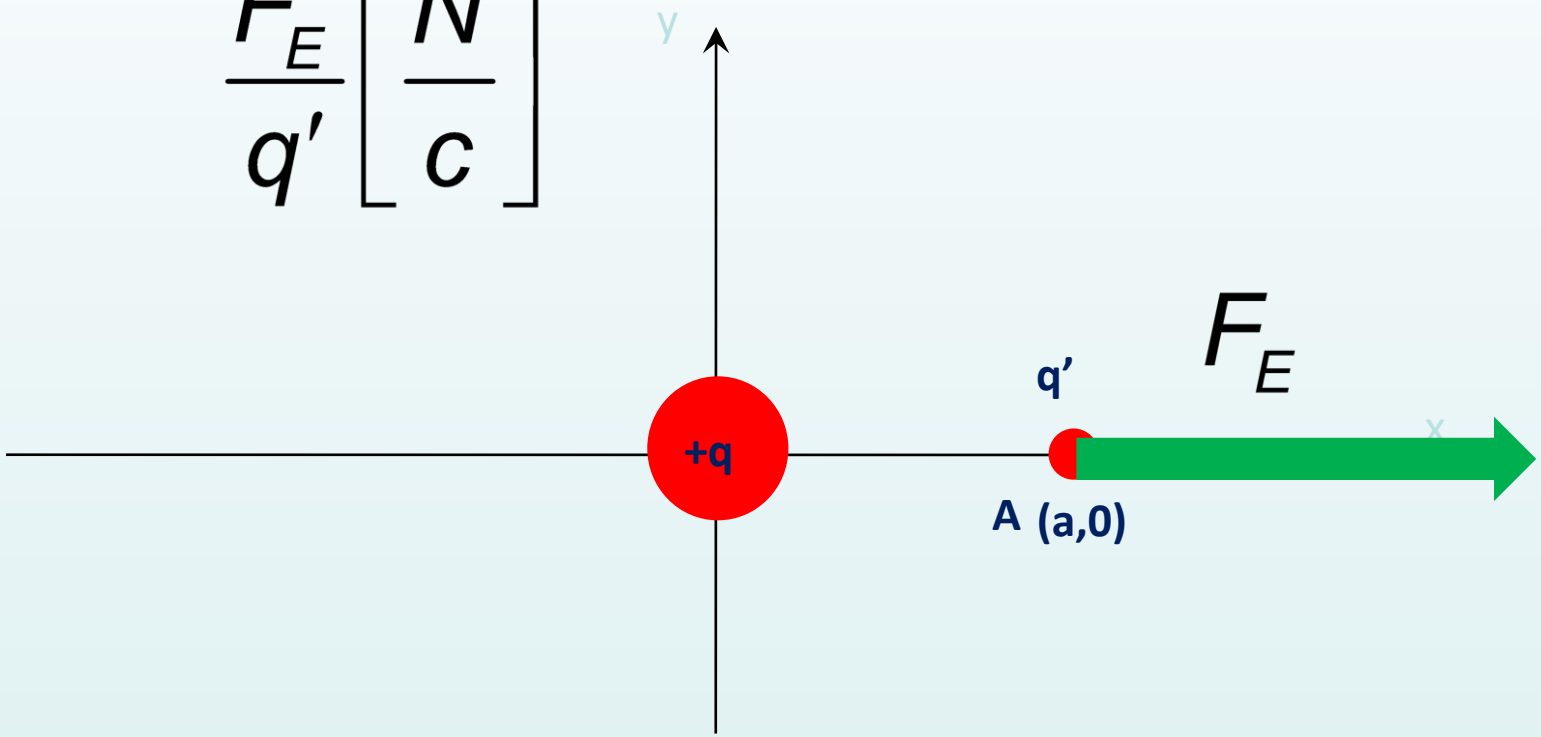
$$F_E = 3K\frac{q \cdot q'}{a^2}$$



כמובן שאם נכפיל את המטען פי 3 הכוח יגדל פי 3

נוכל להגדיר גודל המייצג את הכוח ליחידת מטען

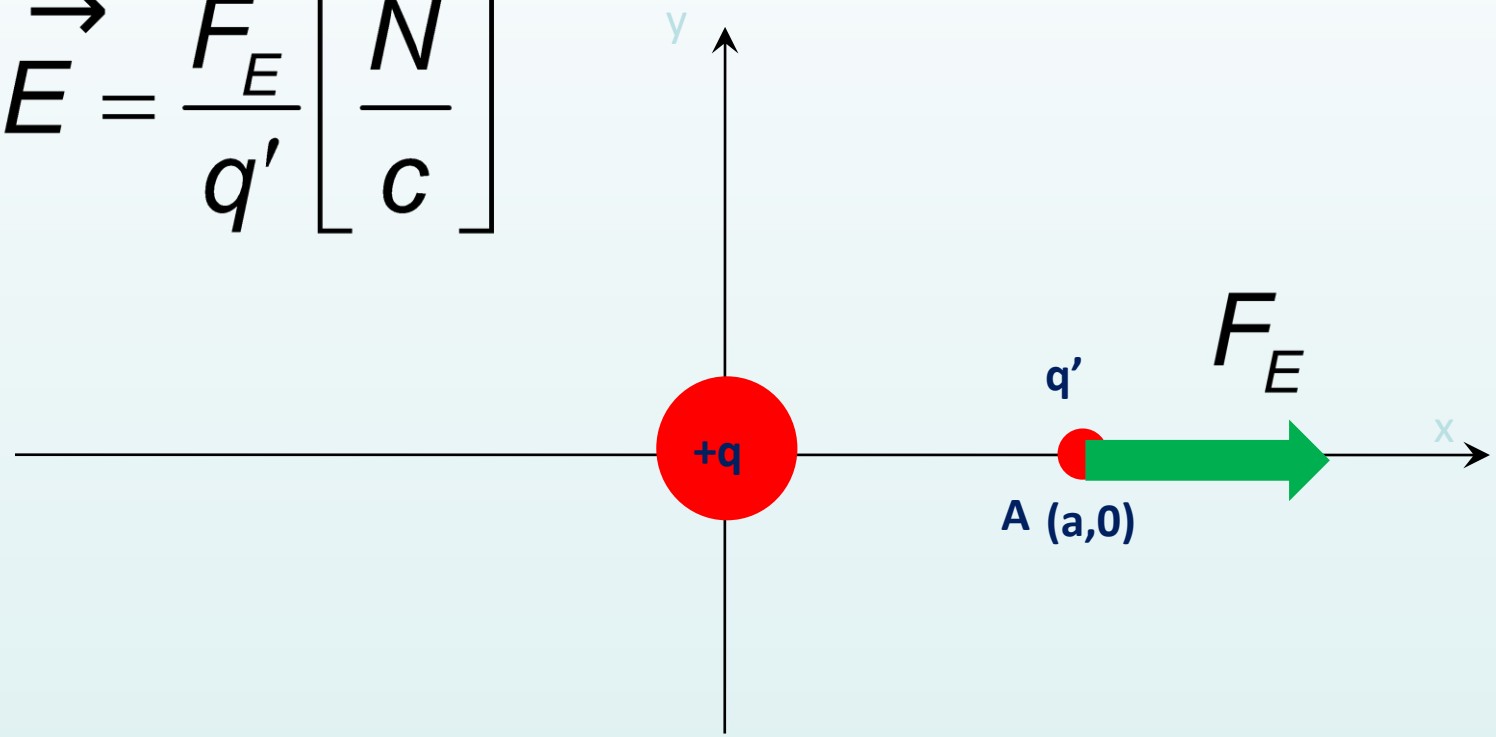
$$\frac{F_E}{q'}\left[\frac{N}{c}\right]$$



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

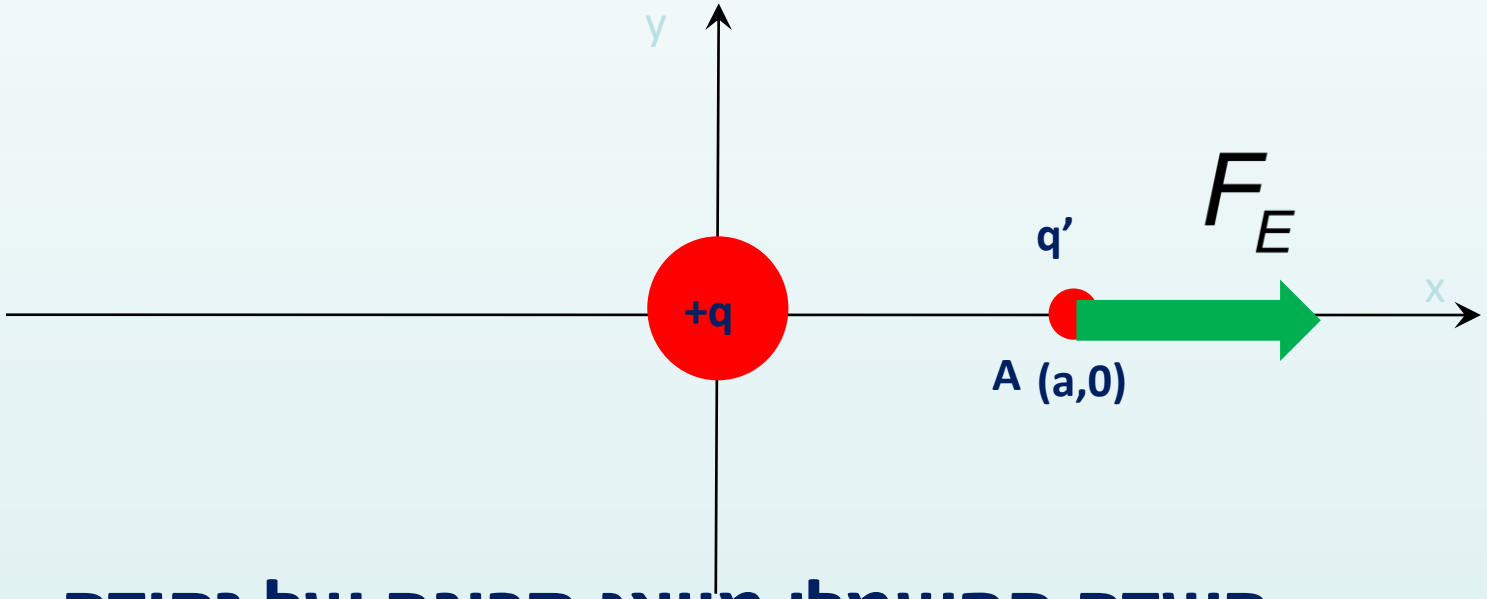
$$\vec{E} = \frac{\vec{F_E}}{q'}\left[\frac{N}{c}\right]$$



את השדה אנחנו מסמנים באות E

השדה הוא גודל ווקטורי

לדוגמה, שדה של 5N/C
פרושו שיפעל כוח של 5Nעל 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.

להעתיק

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

להעתיק

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**

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

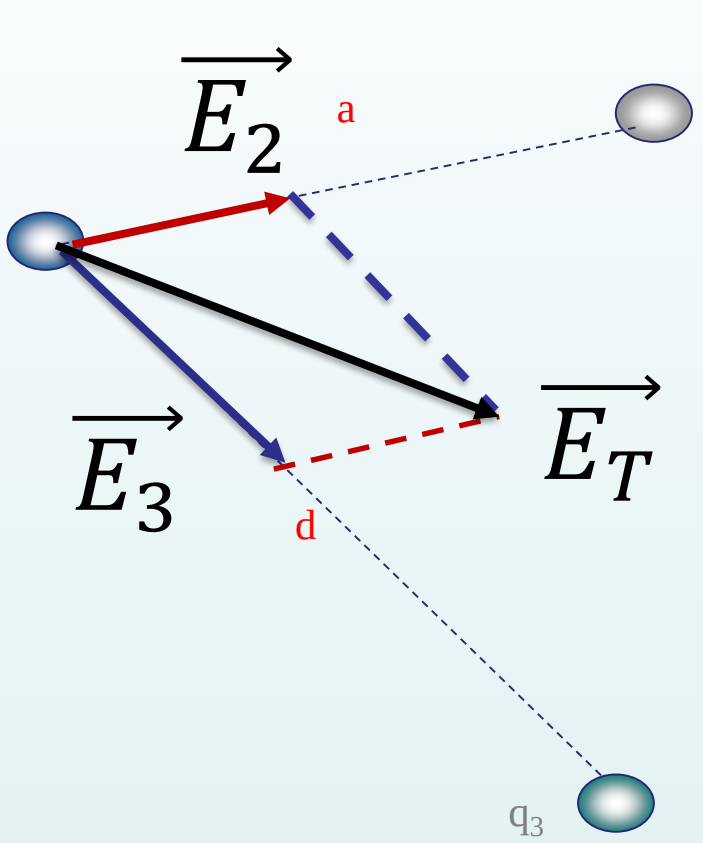
$$F = k\frac{Q \cdot q}{r^2}$$

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

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

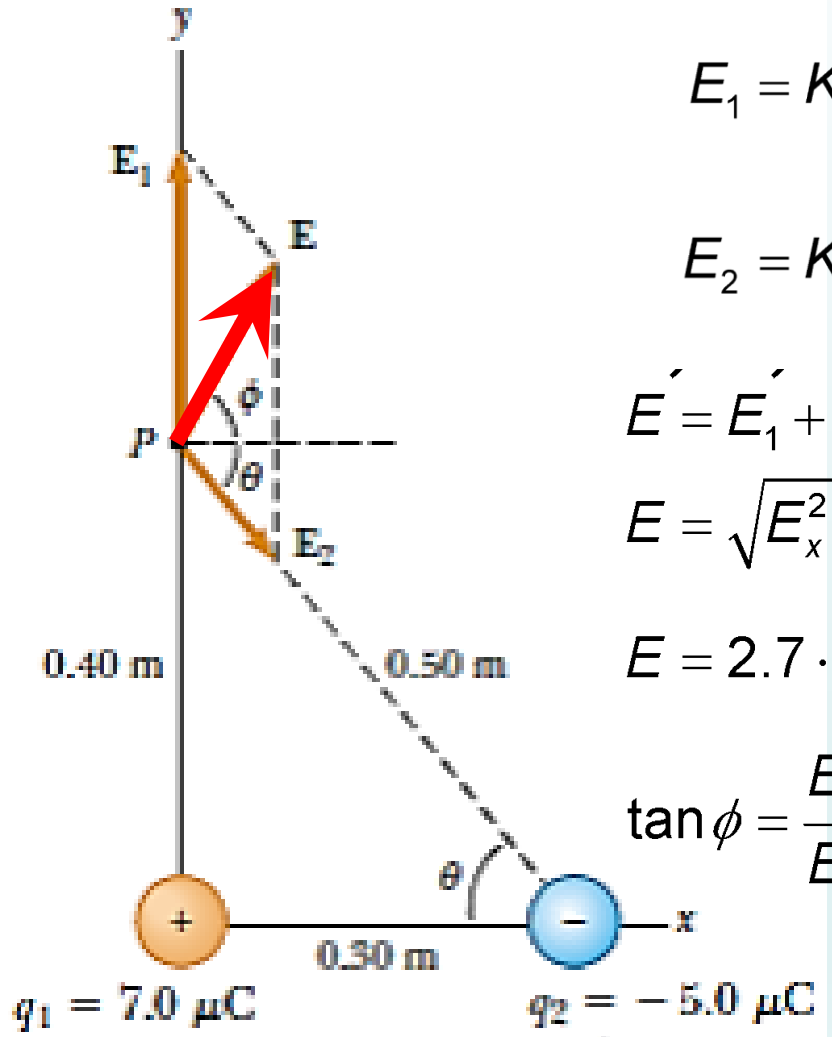
להעתיק

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



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

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

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2}$$

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

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

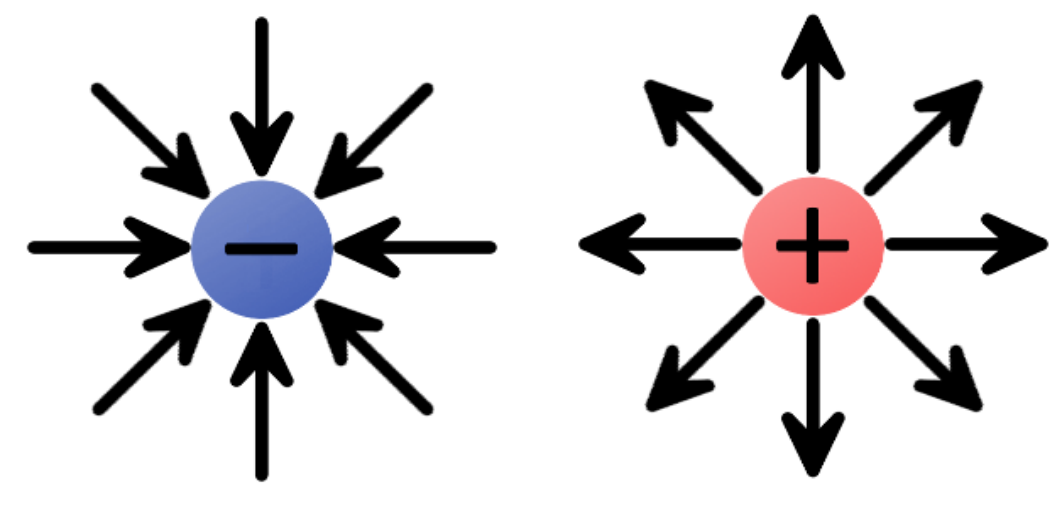
$$\tan\phi = \frac{E_y}{E_x} \rightarrow \phi = 66^0$$

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

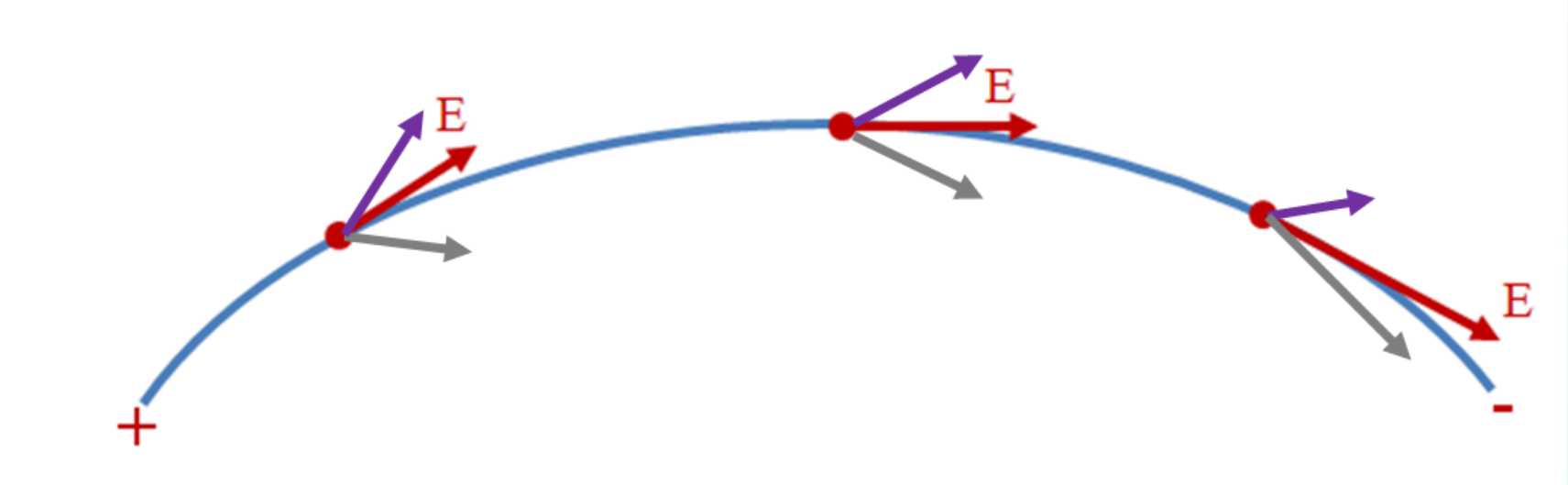
Join.quiziz.com

קווי השדה החשמלי

קו שדה מוגדר כקו, אשר כיוון המשיק בכל נקודה עליו הוא כיוון השדה החשמלי

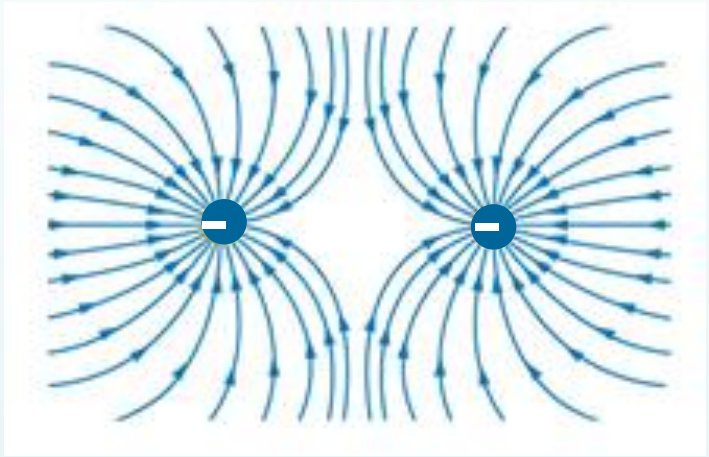


קו שדה הנצר של שני מטענים בעליי סימנים מנוגדים

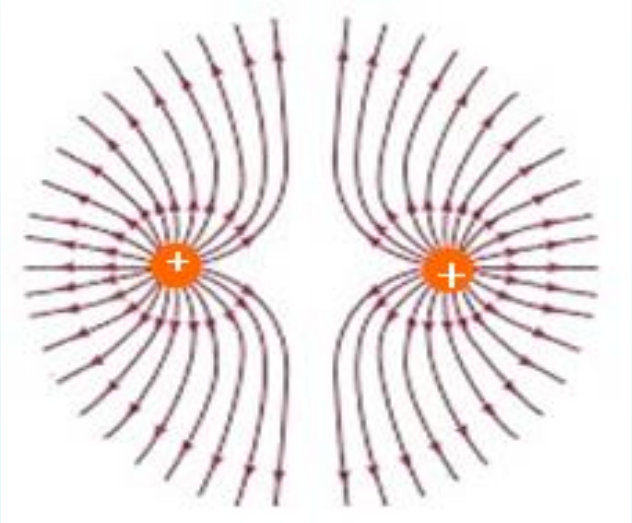


קווי שדה של שני מטענים

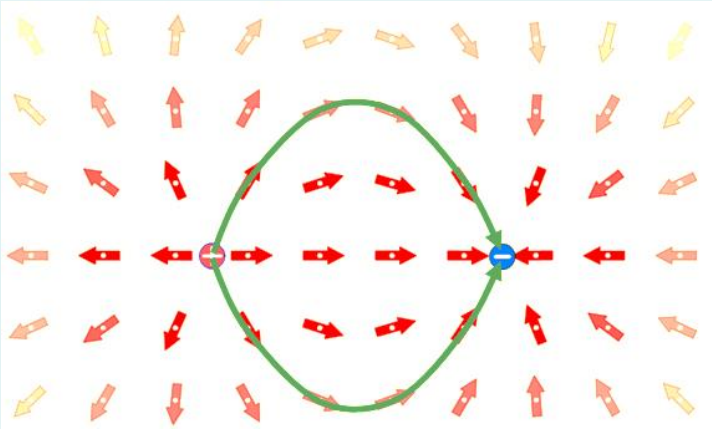
א. קווי שדה סביב זוג מטענים שליליים

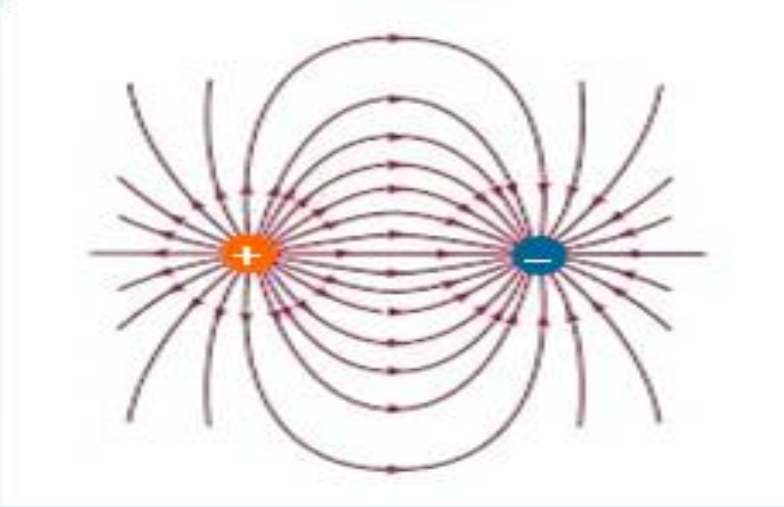


ב. קווי שדה סביב זוג מטענים חיוביים



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





להעתיק

קווי השדה החשמלי

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

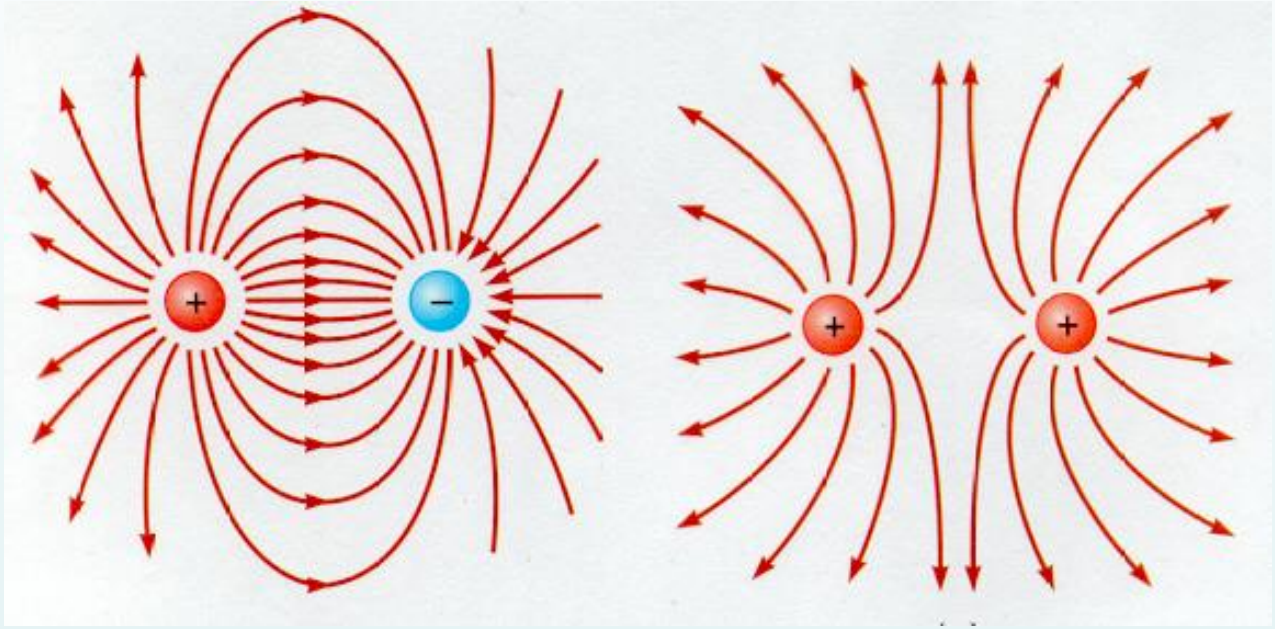
*קווי שדה חשמלי תמיד מתחילים במטען חיובי או אינסוף ומסתיימים במטען שלילי או אינסוף

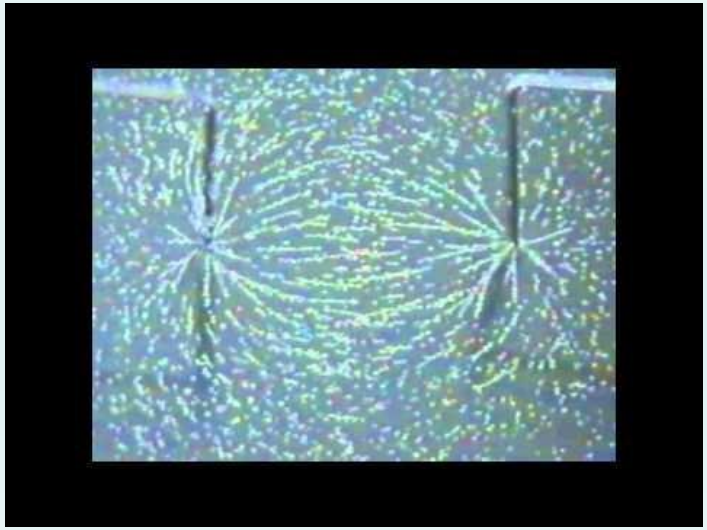
* צפיפות קווי שדה חשמלי =עוצמת השדה .ככל שצפיפות הקווים גדולה יותר ,כך גם עוצמת השדה גדולה יותר ולהפך

*קווי שדה חשמלי לא חותכים זה את זה

להעתיק

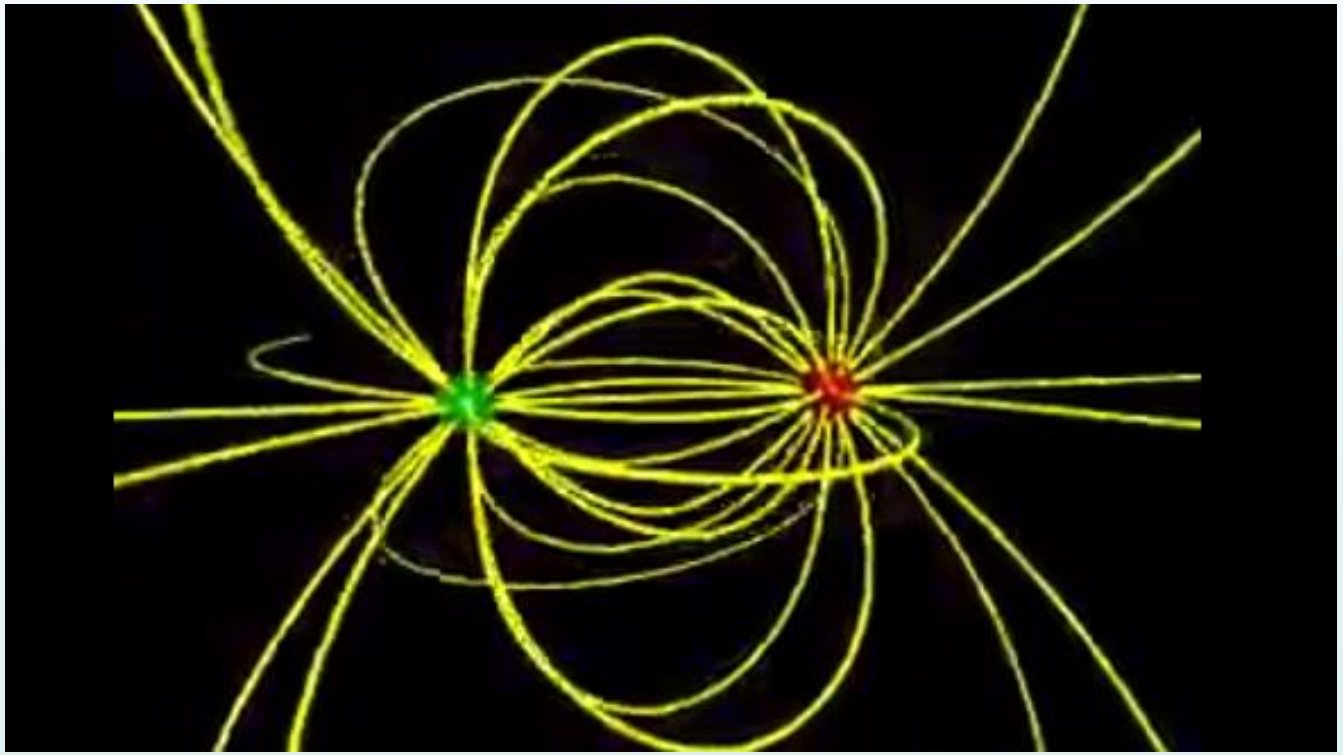
קווי שדה חשמלי 2





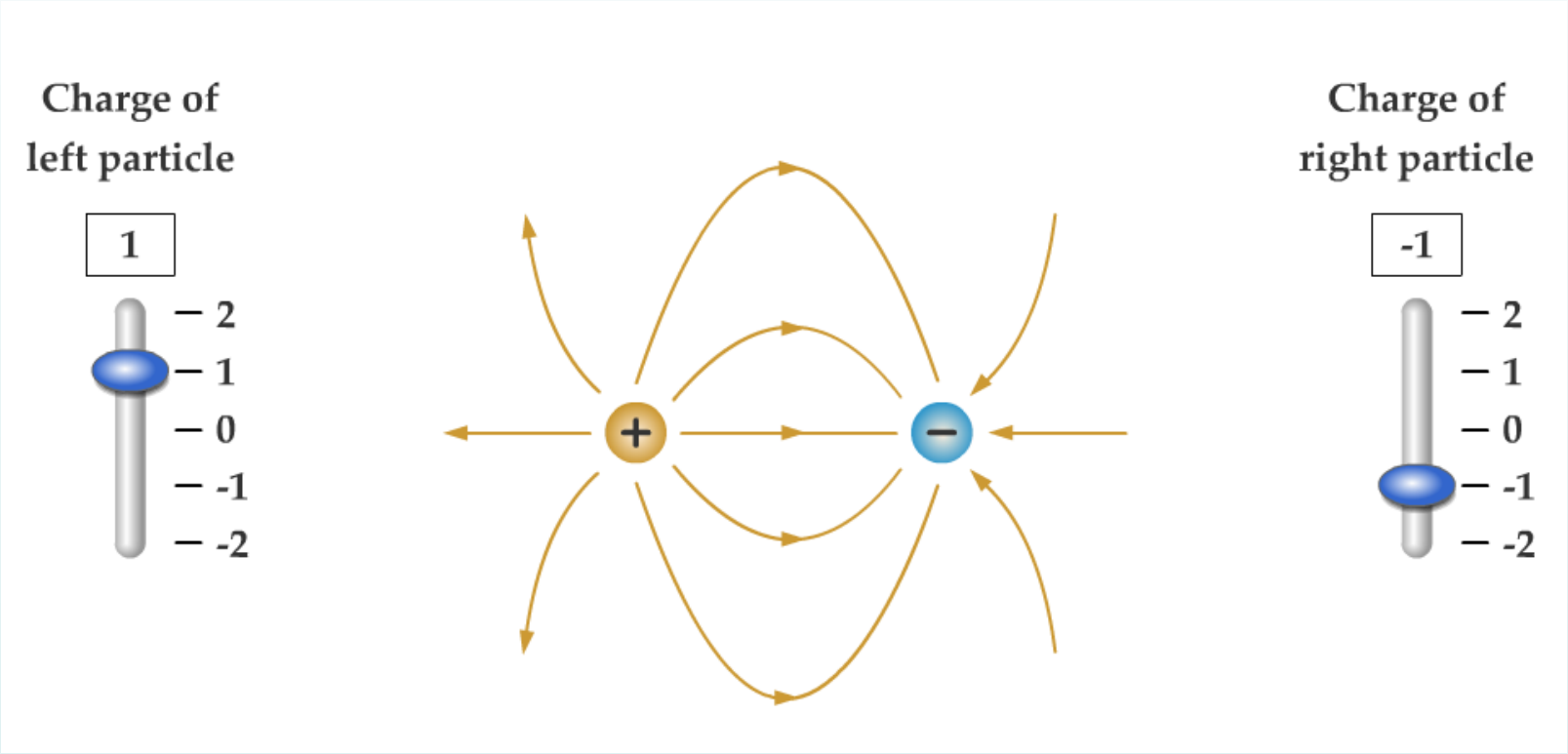
http://www.youtube.com/watch?v=7vnmL853784&noredirect=1

קווי שדה חשמלי



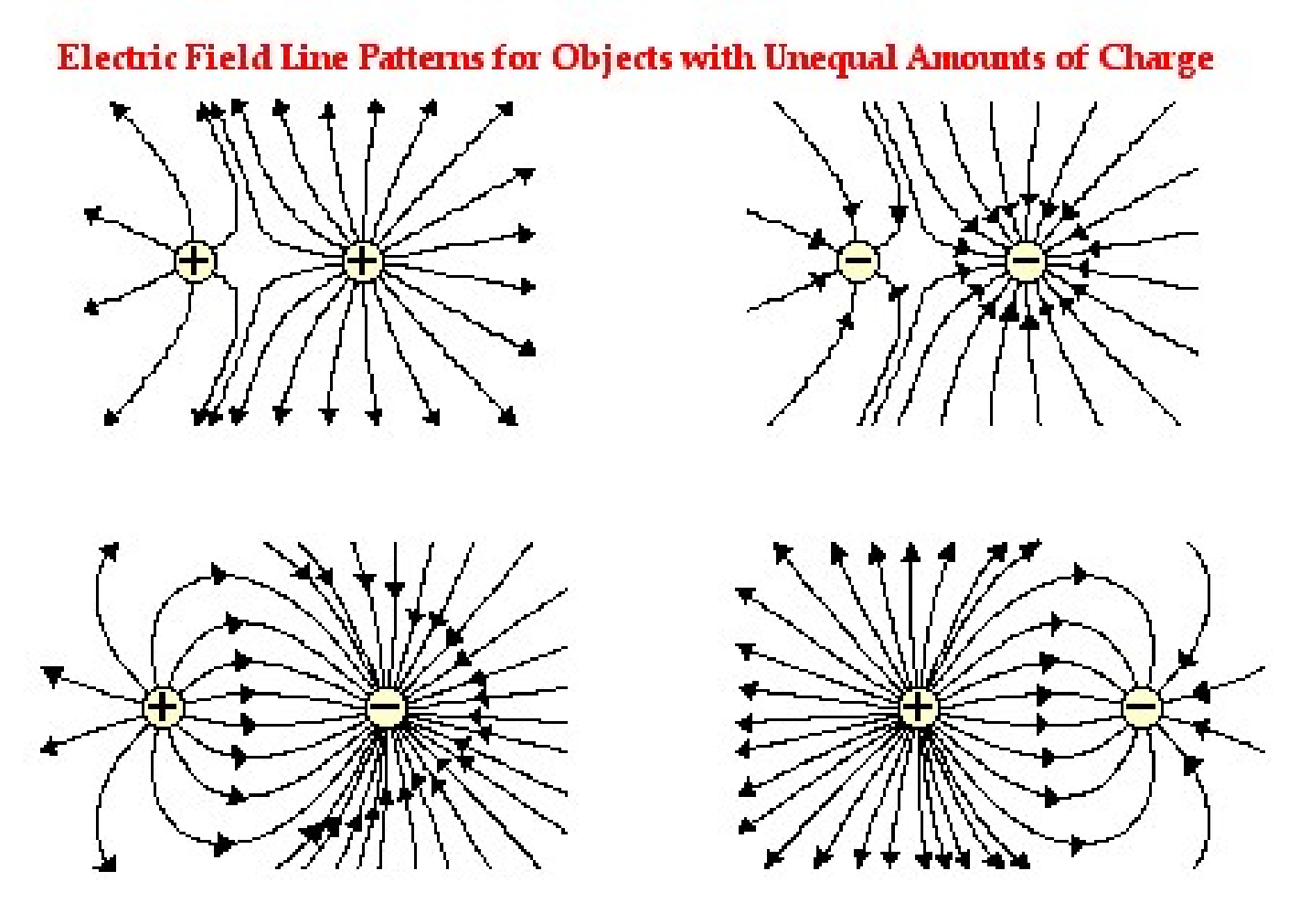
https://www.youtube.com/watch?v=bG9XSY8i_q8

קווי השדה החשמלי



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

צפיפות קווי שדה = עוצמת השדה



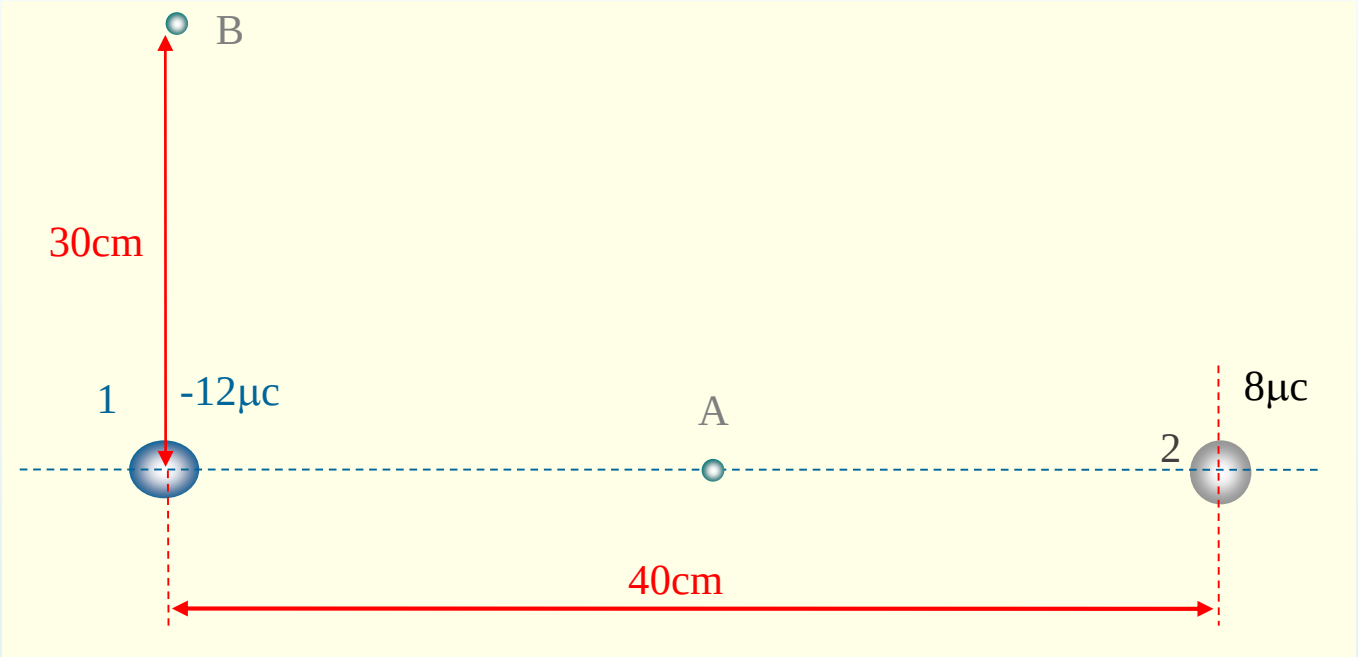
http://www.physicsclassroom.com/Class/estatics/u8l4c.cfm

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

Join.quiziz.com

תרגיל 1

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



א. מהו השדה החשמלי (גודל וכיוון) בנק' A הנמצאת באמצע המרחק בין המטענים?

ב. היכן לאורך הקו המחבר בין המטענים עצמת השדה החשמלי שווה אפס?

ג. מהו השדה החשמלי (גודל וכיוון) בנק' B הנמצאת במרחק 30cm בדיוק מעל מטען q_1?

פתרון תרגיל 1

א.

$$E_A = -9\cdot10^9\cdot\frac{12\cdot10^{-6}}{(0.2)^2} - 9\cdot10^9\cdot\frac{8\cdot10^{-6}}{(0.2)^2} = -4.5\cdot10^6\,\frac{N}{C}$$

ב.

$$E_C = -9\cdot10^9\cdot\frac{12\cdot10^{-6}}{(x+0.4)^2} + 9\cdot10^9\cdot\frac{8\cdot10^{-6}}{x^2} = 0 \Rightarrow x = 1.78m$$

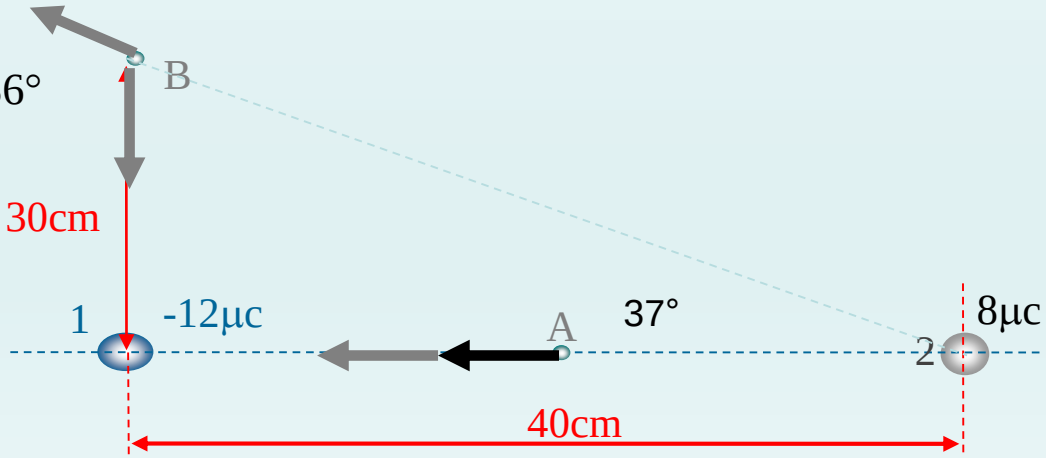
ג.

$$E_{By} = -9\cdot10^9\cdot\frac{12\cdot10^{-6}}{(0.3)^2} + 9\cdot10^9\cdot\frac{8\cdot10^{-6}}{(\sqrt{0.3^2+0.4^2})^2}\cdot\sin 37° = -1.026\cdot10^6\,\frac{N}{C}$$

$$E_{Bx} = -9\cdot10^9\cdot\frac{8\cdot10^{-6}}{(\sqrt{0.3^2+0.4^2})^2}\cdot\cos 37° = -2.3\cdot10^5\,\frac{N}{C}$$

$$E_B = \sqrt{(2.3\cdot10^5)^2 + (1.026\cdot10^6)^2} = 1.052\cdot10^6\,\frac{N}{C}$$

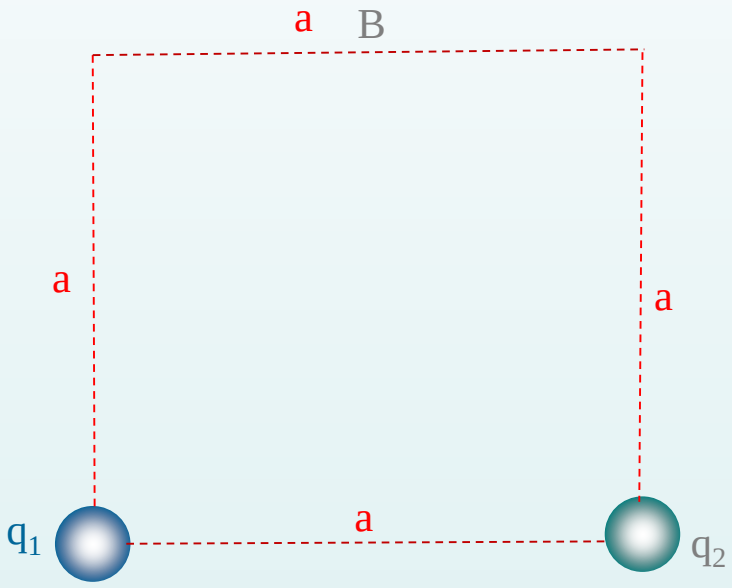
$$tg\theta = \left|\frac{1.026\cdot10^6}{2.3\cdot10^5}\right| = 4.46 \Rightarrow \theta = 77.36°$$



תרגיל 2

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?

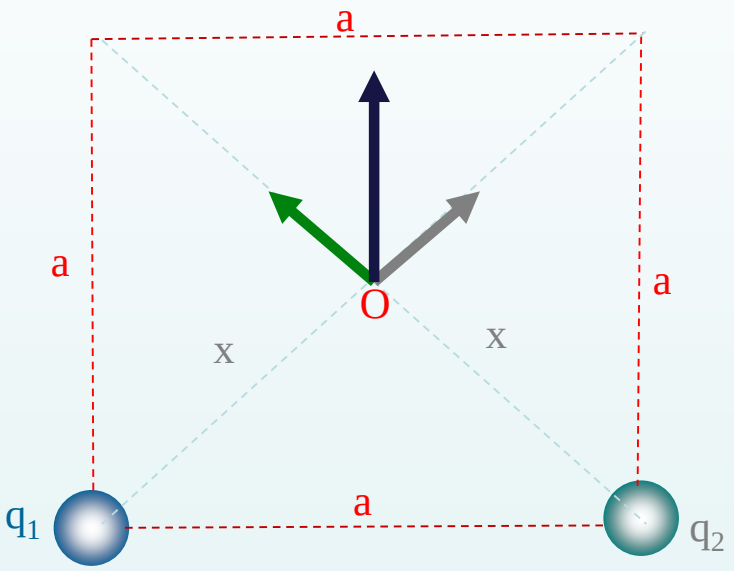
ב. מהו גודל המטען q_3 שיש להציב בנק' B הנמצאת באמצע הצלע העליונה בכדי שהשדה השקול במרכז הריבוע יהיה שווה אפס?

פתרון תרגיל 2

א.

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

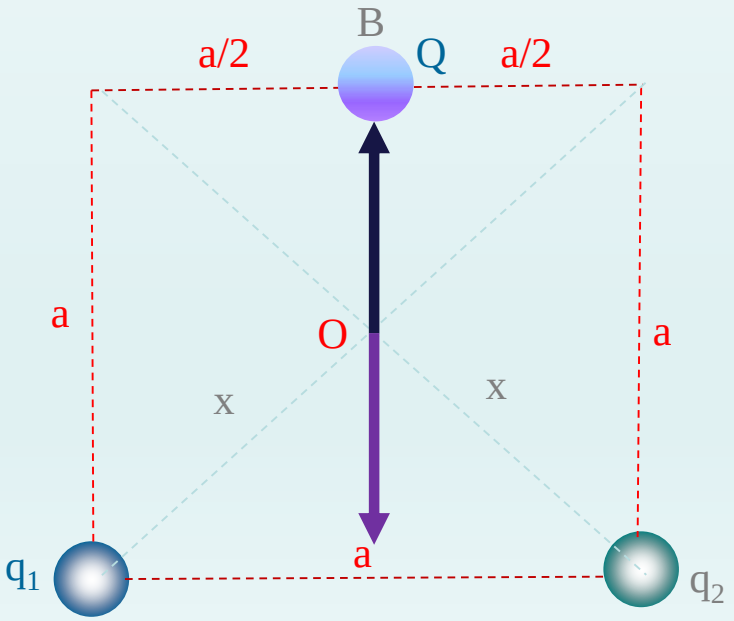
$$E_O = K \cdot \frac{q}{(\frac{a}{\sqrt{2}})^2} \cdot 2 \cdot \sin 45° = 2.82K \cdot \frac{q}{a^2}$$



ב.

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

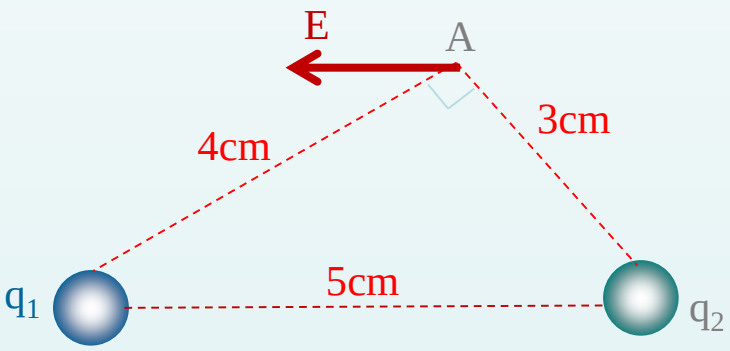
$$Q = 0.705q$$



תרגיל 3

שני מטענים נקודתיים ממוקמים בקדקודיו של משולש ישר זווית בקצות היתר.

גודל המטען $q_1 = -4 \cdot 10^{-6} C$. נתון כי השדה בנקודה A מכוון אופקית ימינה.



א. מהם סימני המטענים q_2, q_1.

ב. מה גודלו של השדה החשמלי?

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

פתרון תרגיל 3

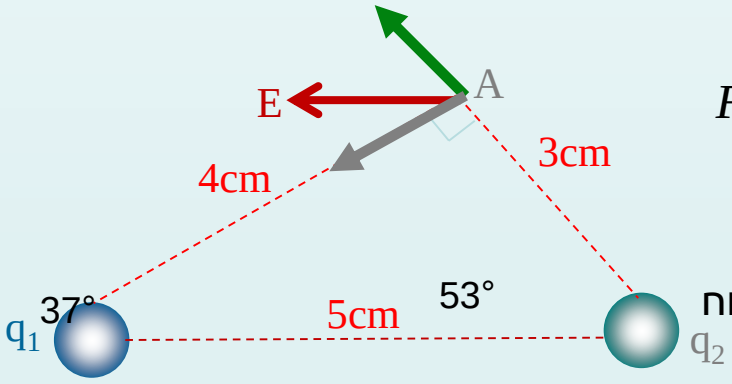
א. q_2 , q_1 חיובי , שלילי. ראו תרשים חיצים בהתאם לשדה השקול.

ב.

$$E_{Ay} = 0 = 9\cdot10^9 \cdot \frac{q_2}{0.03^2}\cdot\sin 53° - 9\cdot10^9 \cdot \frac{4\cdot10^{-6}}{0.04^2}\cdot\sin 37°$$

$$q_2 = 1.695\cdot10^{-6} C$$

$$E_A = \sqrt{(9\cdot10^9 \cdot \frac{1.695\cdot10^{-6}}{0.03^2})^2 + (9\cdot10^9 \cdot \frac{4\cdot10^{-6}}{0.04^2})^2} = 28.17\cdot10^6 \frac{N}{C}$$



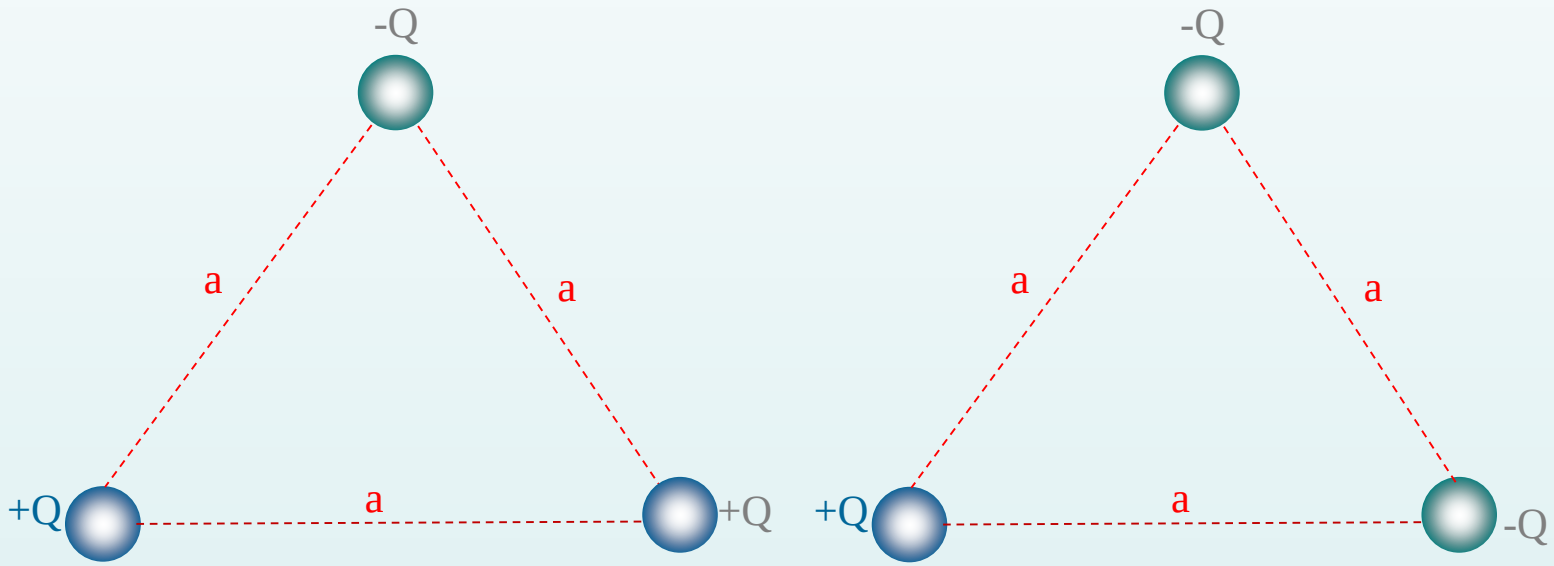
$$F_A = q\cdot E_A = 8\cdot10^{-6}\cdot 28.17\cdot10^6 = 225.32 N$$

גודל הכוח

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

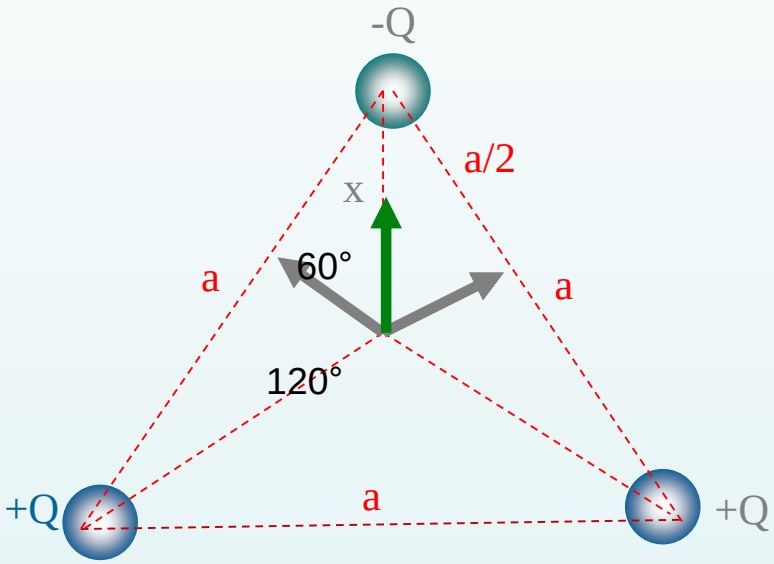
תרגיל 4

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.



פתרון תרגיל 4

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



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

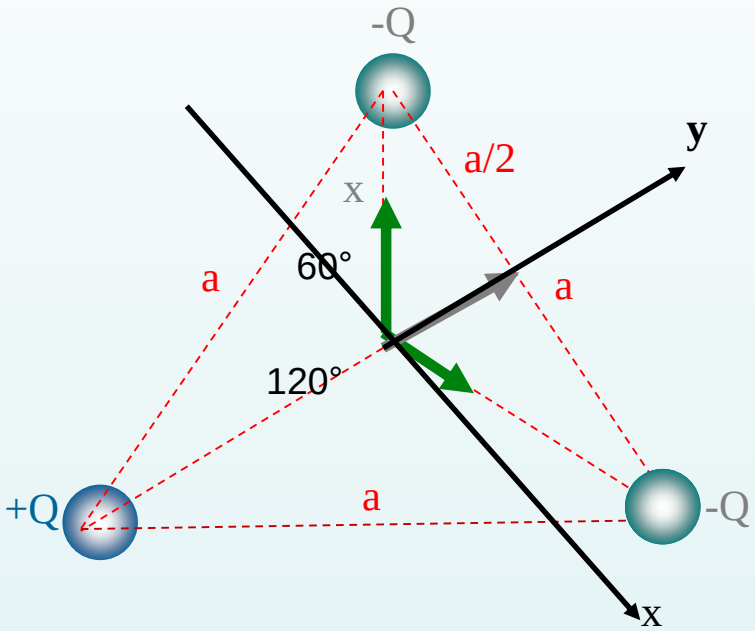
$$E = K \cdot \frac{Q}{(\frac{a \cdot \sqrt{3}}{3})^2} = 3K \cdot \frac{Q}{a^2}$$

השדה השקול בכיוון מעלה, וגודלו:

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

המשך פתרון תרגיל 4

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



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

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

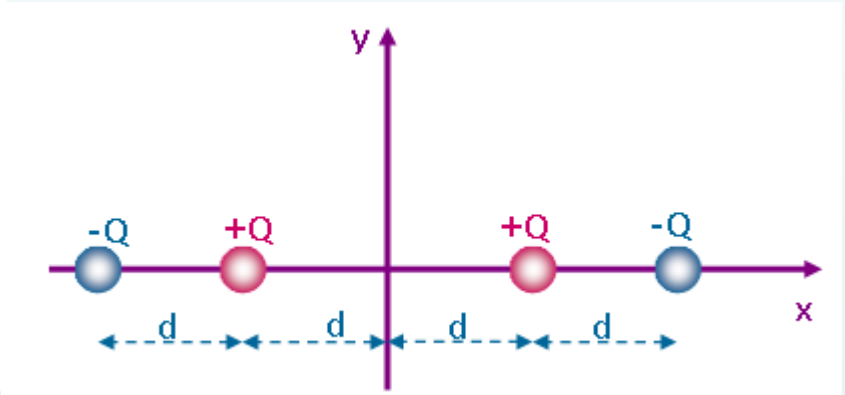
השדה השקול יהיה מכוון לאורכו של ציר y מאחר ורכיבי השדה בציר x שווים ומנוגדים, לכן :

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

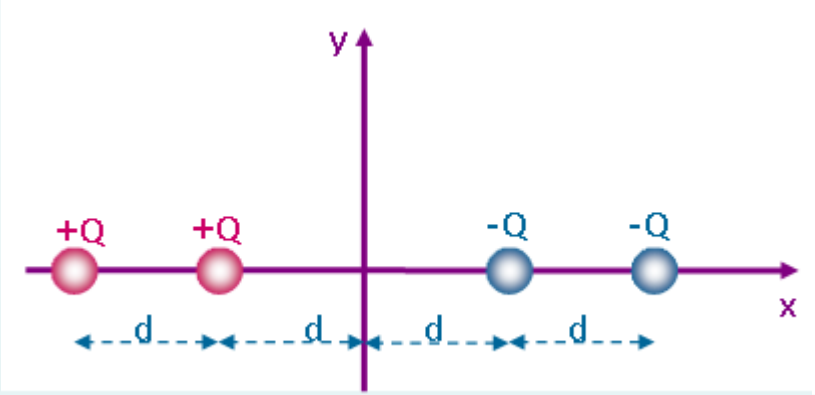
תרגיל 5

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

תרשים א



תרשים ב

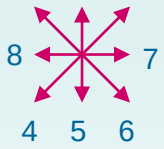


א. עבור כל אחד מהתרשימים מצא מהו השדה החשמלי בראשית הצירים ?

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

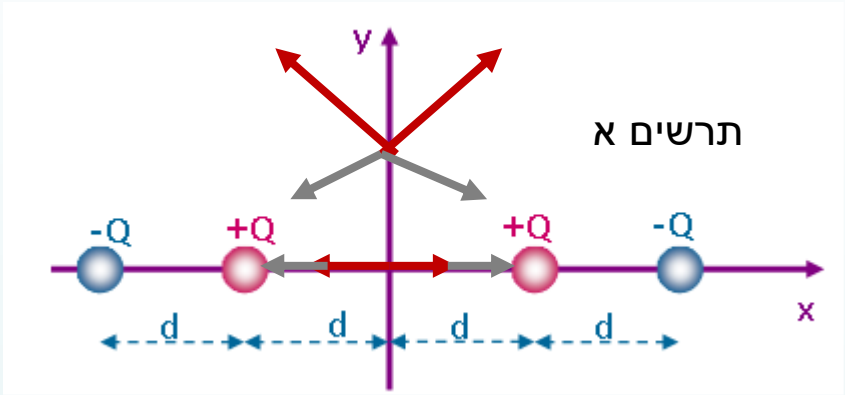
1) בסידור המתואר בתרשים א?

2) בסידור המתואר בתרשים ב?

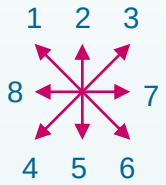


פתרון תרגיל 5

תרשים א

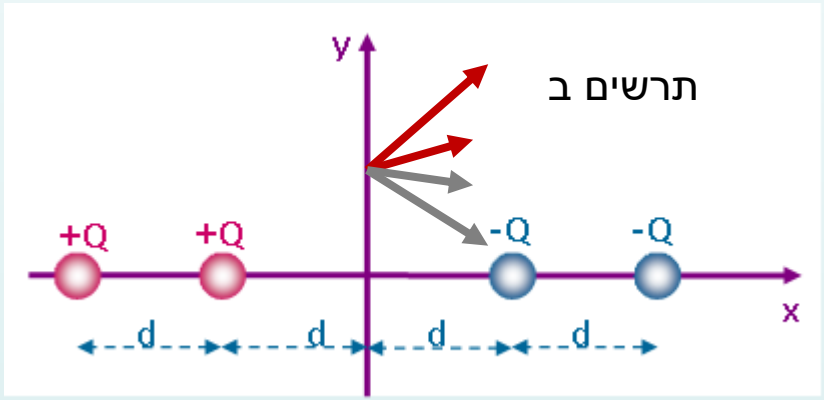


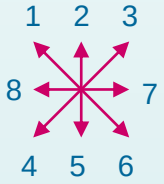
א. E=0



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

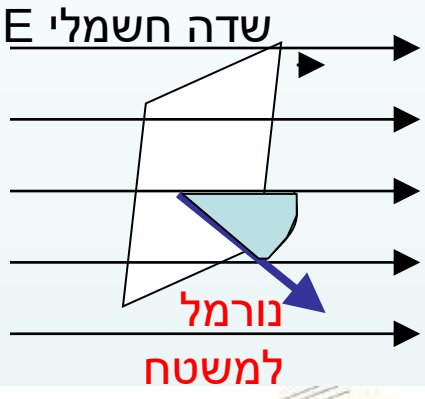
השטף החשמלי וחוק גאוס

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

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

להעתיק

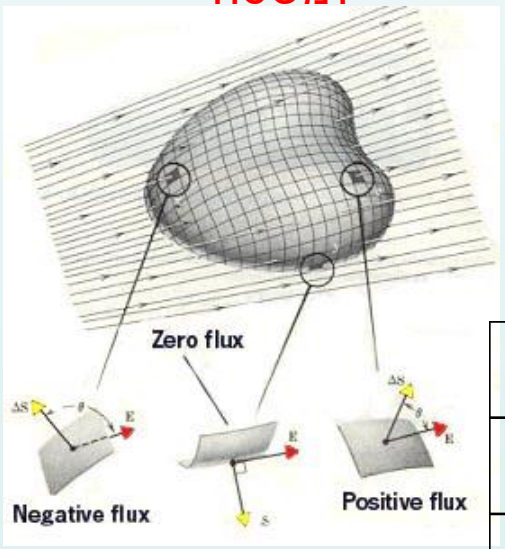
השטף החשמלי

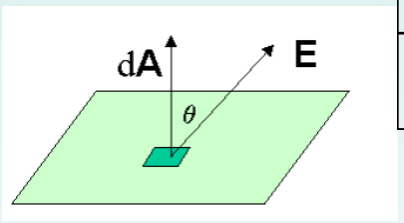


השטף החשמלי שווה למכפלת עוצמה של שדה החשמלי בשטח וקוסינוס זווית בין כיוון וקטור השדה ונורמל לשטח.

המחשה :כמות קווי שדה דרך יחידת שטח.

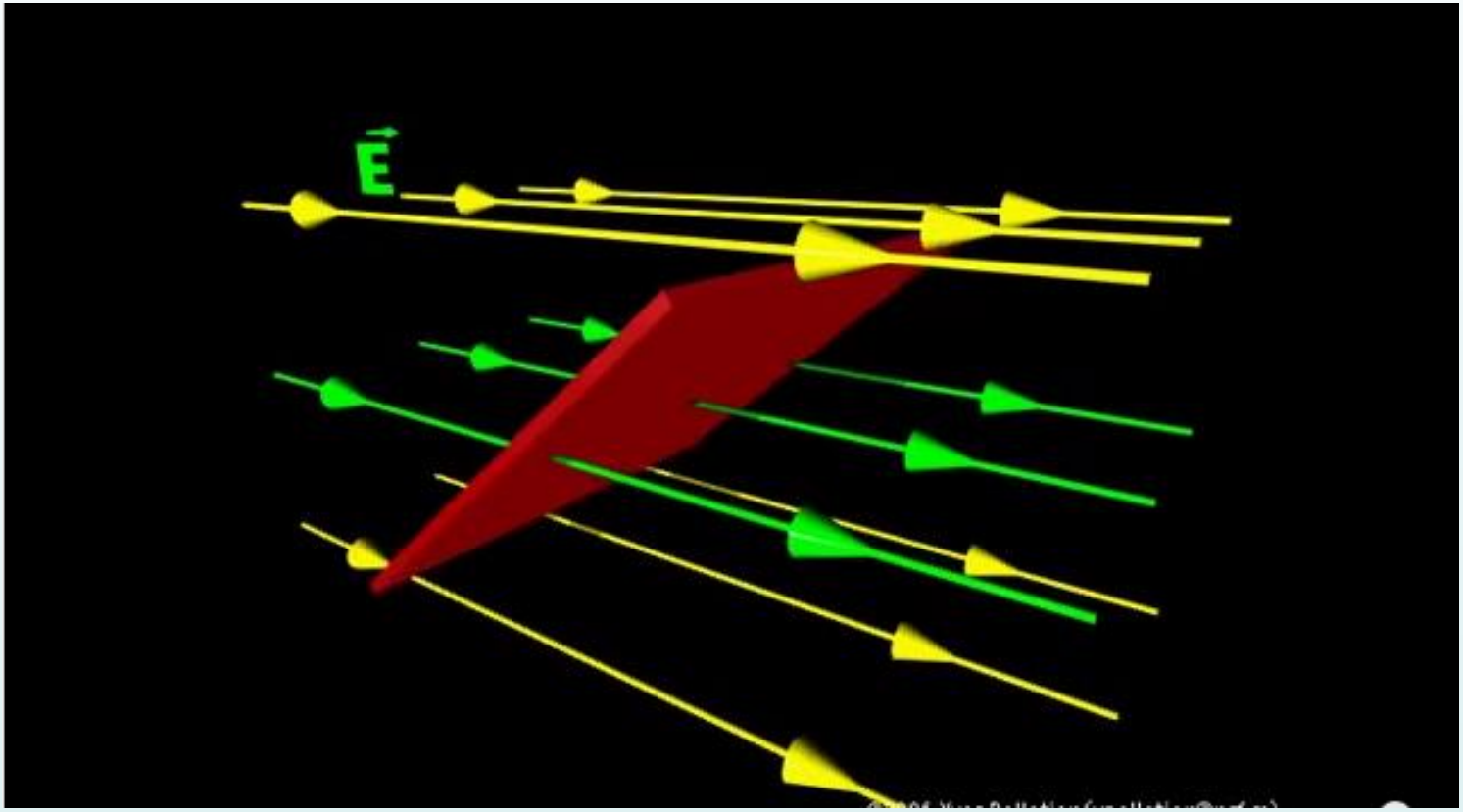
$$\Phi_E = E \cdot S \cdot \cos \alpha$$





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

שטף חשמלי



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

להעתיק

חוק גאוס

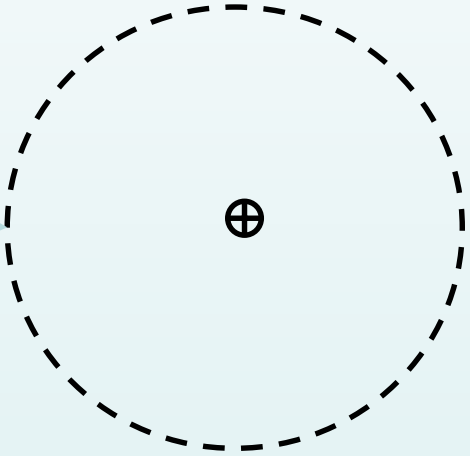
שטף חשמלי דרך שטח סגור שווה מכפלת מקדם בסכום אלגברי של המטענים שנמצאים **בתוך השטח הסגור**

$$\Phi_E = 4\pi k \sum_{i=1}^{n} q_i \qquad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

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

מקרה פרטי –שדה של מטען נקודתי

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



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

עוצמת השדה החשמלי שקיבלנו מחוק קולון

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

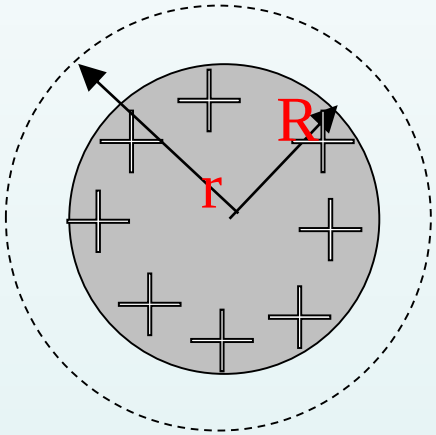
השדה החשמלי בתוך כדור מוליך

להעתיק

השדה החשמלי בתוך ומחוץ לקליפה כדורית טעונה

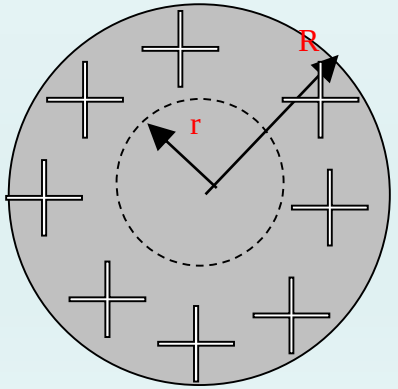
שדה חשמלי של כליפה כדורית טעונה –מחוץ לה כאילו יש מטען נקודתי במרכזה

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



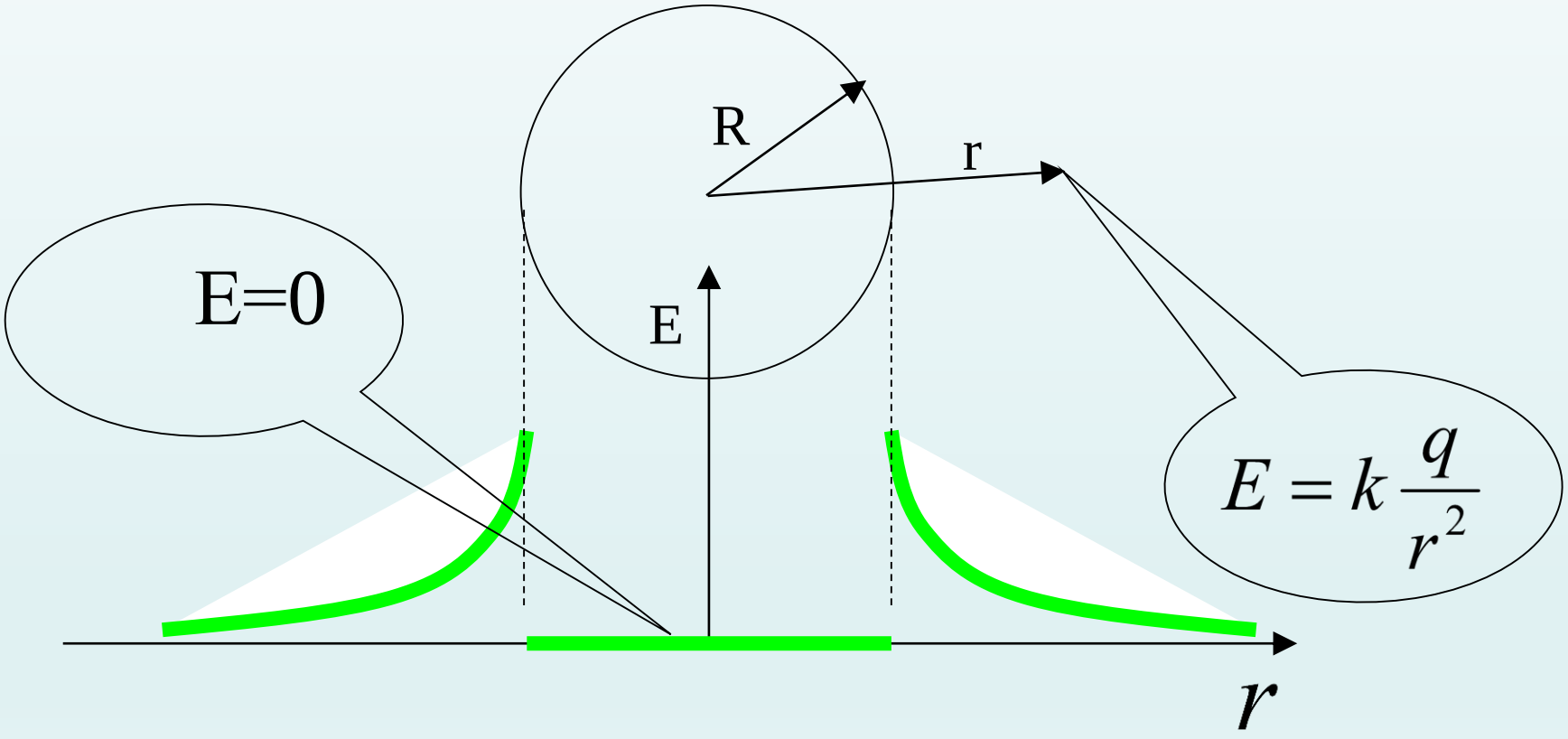
שדה חשמלי בתוך קליפה כדורית טעונה שווה לאפס

$$E = 0$$

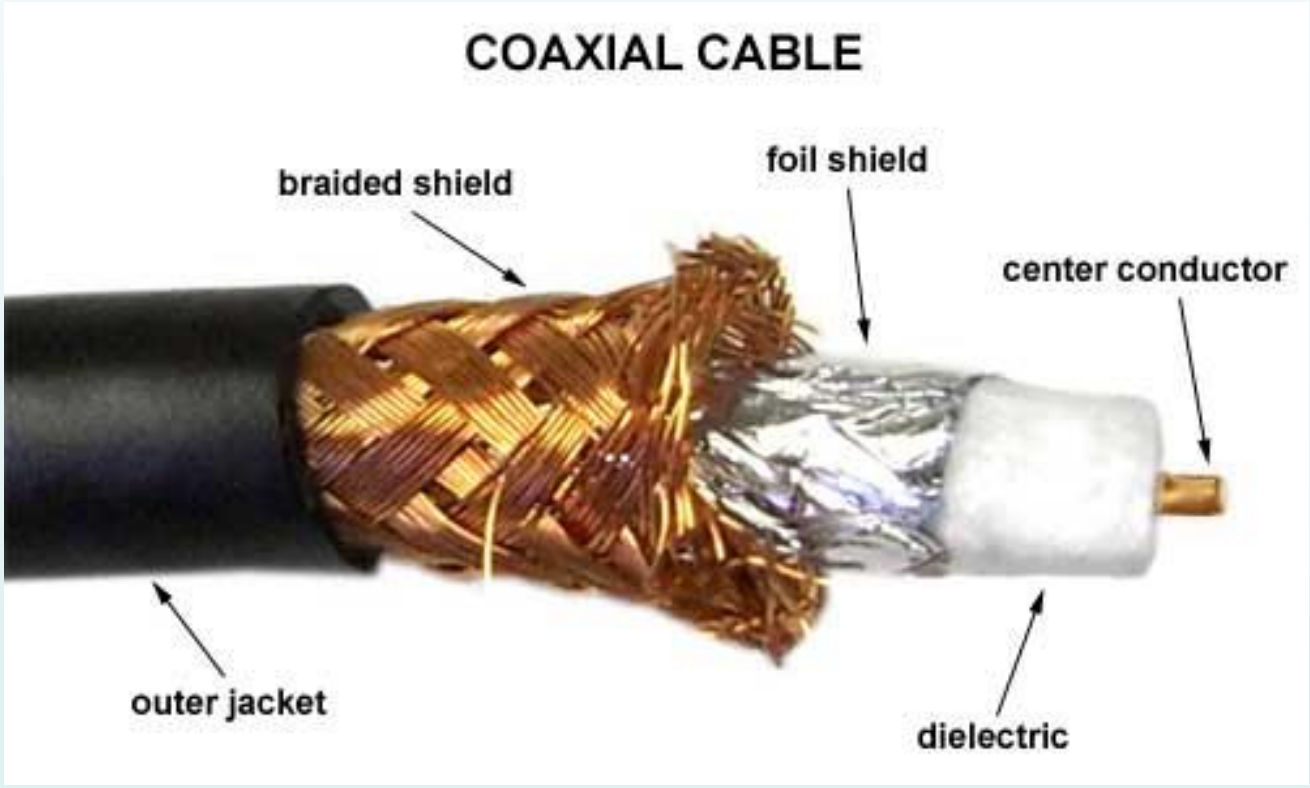


להעתיק

השדה החשמלי בתוך ומחוץ לקליפה כדורית טעונה



סיכוך חשמל


COAXIAL CABLE
braided shield
foil shield
center conductor
outer jacket
dielectric

סיכוך חשמל

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

סיכוך חשמל

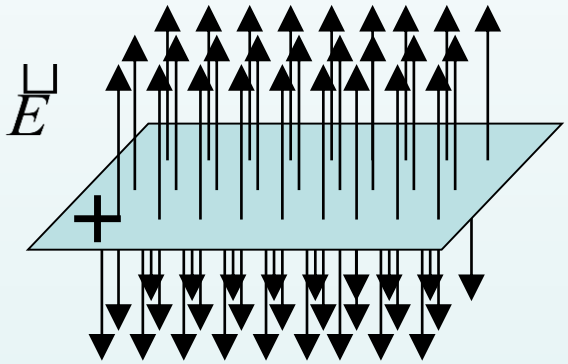
https://www.youtube.com/watch?v=93OhpY65Xo0

Join.quiziz.com

השדה החשמלי
של לוח אינסופי

מקרה פרטי -שדה של לוח אינסופי טעון

להעתיק



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

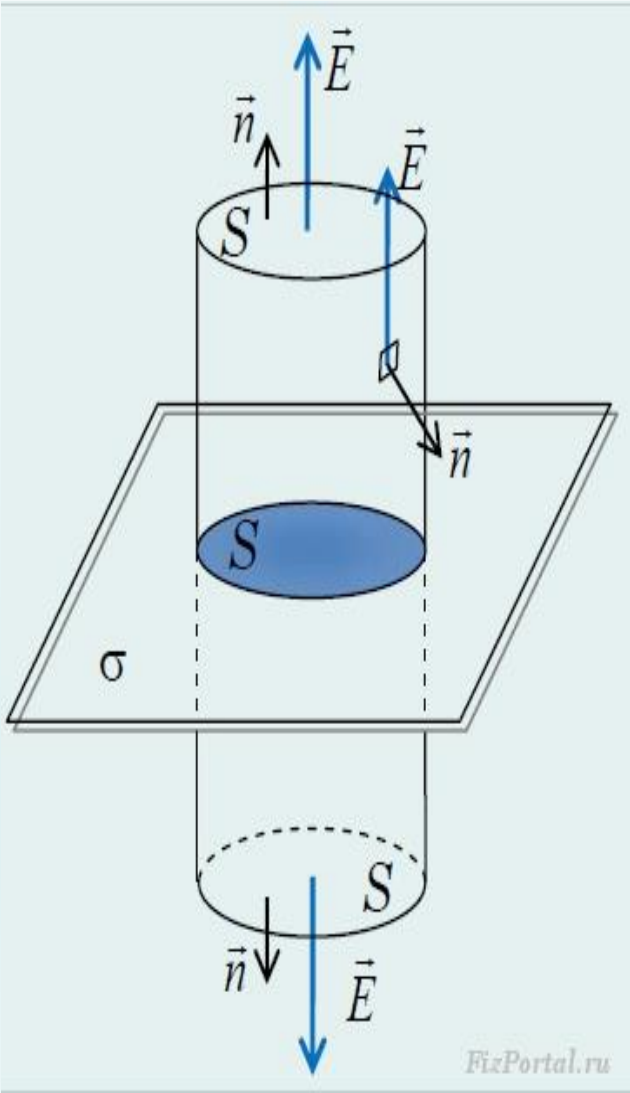
$$E \cdot S \cdot \cos 0^0 = 4\pi kq$$

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

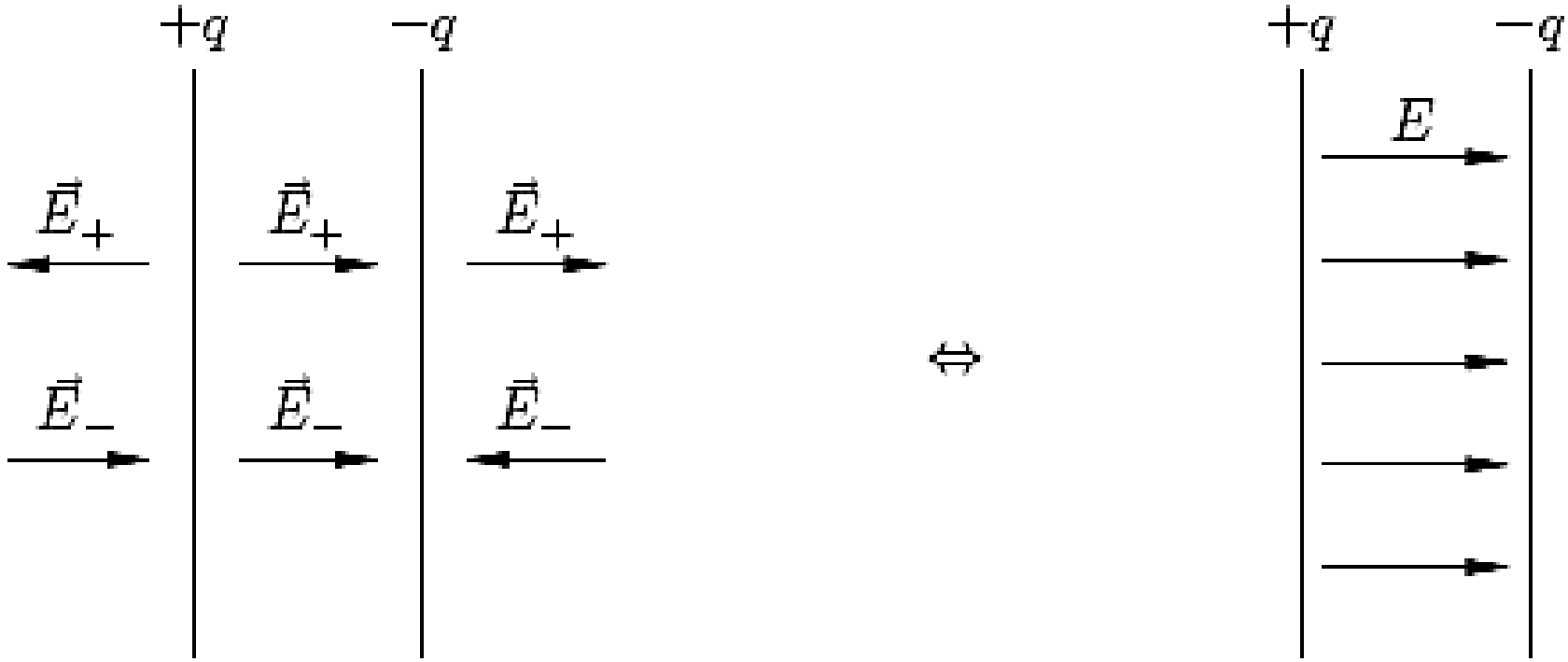
$$E \cdot = 2\pi k\sigma$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

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

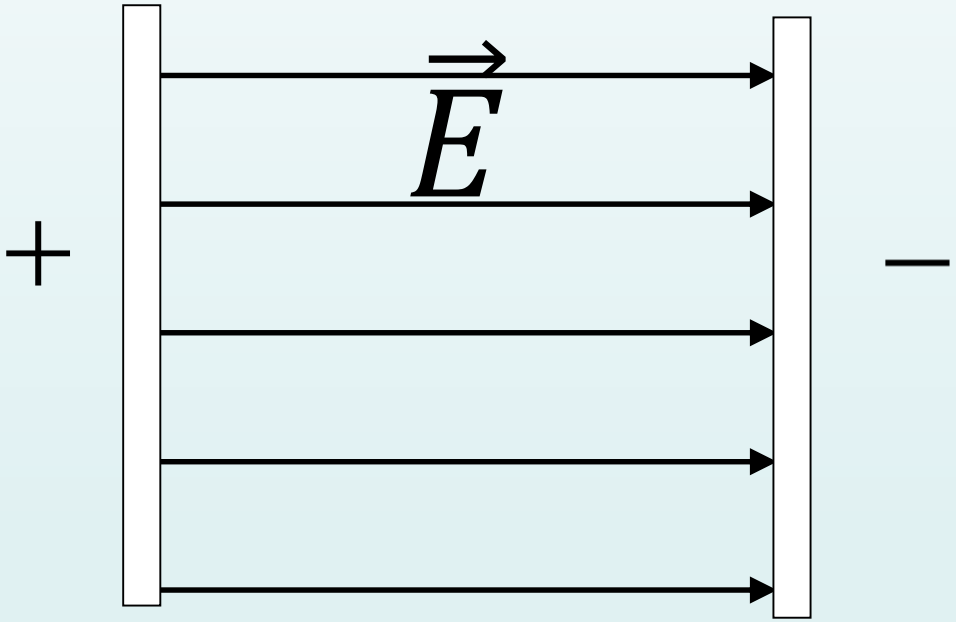


להעתיק

שדה חשמלי אחיד

שדה חשמלי אחיד –עוצמה השדה שווה בגודל וכיוון

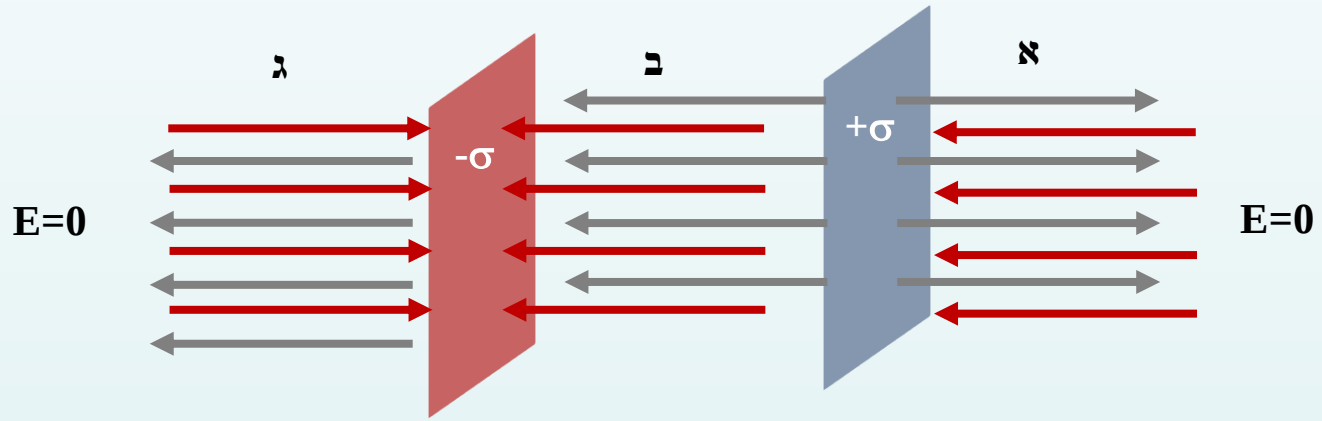
שדה חשמלי אחיד – כוח שפועל על מטען קבוע



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 σ+, והשני בצפיפות מטען אחידה σ-.
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.

להעתיק

השדה החשמלי של התקנים שונים

כדור מוליך	בתוך הכדור	$E = 0$
	מחוץ לכדור	$E = \frac{kq}{r^2}$
לוח		$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
קבל לוחות	בין הלוחות	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$
	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.quiziz.com

תרגילים שדה חשמלי(אשל)

- 45/1
- 45/3
- 45/4
- 45/5
- 46/6
- 46/12
- 46/13
- 46/14
- 47/15
- 47/16
- 48/21
- 48/23
- 48/24
- 50/28
- 50/29
- 50/30
- 50/31