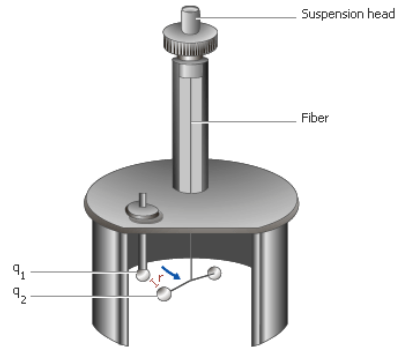




Charles Augustin COULOMB (1736 - 1806)

חוק קולון

חוק קולון, אשר נקרא על שם הפיזיקאי הצרפתי שארל-אוגוסטין דה קולון שהיה אחד הראשונים שחקר באופן כמותי את הכוחות הפועלים בין שני גופים טעונים.



מדידותיו התבססו על מיתקן הנקרא מאזני פיתול.

בעזרת מתקן זה הסיק קולון את המסקנות הבאות:

- 1) הכוח החשמלי שנסמן אותו ב F_E שמפעיל גוף נקודתי טעון על גוף נקודתי טעון אחר נמצא ביחס הפוך לריבוע המרחק ביניהם. נסמן את המרחק בין הגופים הטעונים באות r . שני גופים נחשבים "נקודתיים" אם מימדי גופם קטן מאוד יחסית למרחק ביניהם.
- 2) הכוח החשמלי שנסמן אותו ב F_E שמפעיל גוף נקודתי טעון על גוף נקודתי טעון אחר נמצא ביחס ישר למכפלת המטענים שלהם. נסמן את מטען הגופים באות q , לכן נוכל לסמן שלגוף הראשון יש מטען q_1 ולגוף השני מטען q_2 .

אפשר לאחד מסקנות אלה ולרשום כך $F_E \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ וכדי שיהיה שיוויון נוכל לכתוב זאת עם מקדם פרופורציה. $F_E = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

K נקרא קבוע קולון והוא קבוע התלוי ביחידות שבהן הגדלים נמדדים. מחושב מתוך ניסויים.

כדי שנוכל למדוד אותו אנחנו צריכים לדעת למדוד את יתר הגדלים.

הכוח F נמדד ביחידות של כוח, במקרה שלנו בניוטונים. המרחק r נמדד ביחידות של אורך, במקרה שלנו במטרים.

נשאר לנו להגדיר את המטען או לחילופין אם נגדיר את קבוע קולון המטען יוגדר מתוך המשוואה.

אז מה אתם אומרים? מה עדיף?

הפיתוי גדול, אני הייתי בוחרת להגדיר את הקבוע ומחליטה שגודלו שווה אחד! בזמנו גם המדענים חשבו כמוני אבל אז הם עבדו לא בשיטה המטרית אלא בס"מ והכוחות נמדדו בדינמים ולא בניוטונים, עניין של הגדרה. עכשיו נשאר רק להגדיר את המטען! בשיטה הזאת המטען נקרא סטט-קולון.

שימו לב יחידות קבוע קולון הם דין כפול סמ"ר חלקי סטט-קולון בריבוע וגודלו שווה לאחד.

כלומר כאשר יש לנו שני מטענים הטעונים באופן זהה ופועל עליהם כוח של אחד דין ומרחקם אחד מהשני אחד סמ"ר מטענם אחד סטט-קולון.

אבל, היום אנחנו עובדים אחרת! מערכת היחידות שלנו היא המטרית, והמטען מוגדר אחרת. על השאלה מהו מטען, קולון לא יכל לענות, הוא לא הכיר אלקטרונים ולא היה לו מושג לגבי מבנה האטום.

היום אנחנו מגדירים את המטען מתוך הזרם. מכשיר למדידת זרם נבנו כבר בתחילת המאה ה-18, והיום אנחנו יודעים שזרם חשמלי הוא למעשה תנועה של מטענים חשמליים. $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ הזרם נמדד באמפרים והזמן נמדד בשניות. לכן הוחלט שכאשר זרם של אחד אמפר במשך שניה אחת נקבל מטען השווה לאחד קולון.

כלומר את המטענים מודדים בקולון, מסמנים קולון באות c.

שימו לב אין לנו הסבר למהות המטען אלא רק הגדרה שלו.

עכשיו אחרי שיש לנו הגדרת מטען ניתן למצוא את קבוע קולון.

מתוך ניסויים מתקבל שקבוע קולון שווה ל $K = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right)$ כאשר הניסוי מתרחש בריק (בקירוב טוב גם באוויר).

מסיבה היסטורית לפעמים מבטאים את קבוע קולון דרך קבוע אחר, הנקרא קבוע הדיאלקטריות של הריק והוא מסומן באות ϵ_0 (אפסילון אפס)

$$K = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \quad \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$$

כרגע, זה נראה לכם מיותר לקרוא לקבוע בשם אחר דרך קבועים אחרים, יכול להיות שאתם צודקים, אבל חשוב להשאיר ראש פתוח, ואולי יום יבוא ונבין למה.

חוק קולון, אשר נקרא על-שם הפיזיקאי הצרפתי שארל-אוגוסטין דה קולון שגילה אותו, קובע כי גודלו של הכח החשמלי (דחייה או משיכה),

המפעילים שני גופים נקודתיים, טעונים חשמלית, זה על זה נתון בנוסחה: $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$ כאשר -

F הוא גודל הכח החשמלי הפועל בקו ישר בין המטענים. נמדד בניוטון.

q_1 הוא גודל המטען החשמלי הראשון. נמדד בקולון

q_2 הוא גודל המטען החשמלי השני. נמדד בקולון

r הוא המרחק בין שני המטענים. נמדד במטר

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \text{כאשר נקרא } \epsilon_0 \text{ קבוע, } K = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right) \text{ הינו יחס קבוע, המכונה קבוע קולון. כמו כן:}$$

$$\epsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \quad \text{דיאלקטריות הריק.}$$

אם אחד המטענים חיובי והאחר שלילי, הכוח יגרום למשיכה בין המטענים. אחרת, הכח יגרום לדחייה.

חוק קולון הוא חוק ווקטורי ומדבר רק על הכוח בין שני מטענים.

דוגמה:

שני מטענים נקודתיים האחד של $4\mu\text{C}$ (4 מיקרוקולון) והשני של $3\mu\text{C}$ נמצאים במרחק 40 ס"מ זה מזה. מהו הכוח ביניהם?

תשובה:

קולון היא יחידה גדולה מאוד לכן נקבל יחידות קטנות ממנה כמו מיקרוקולון או מיליקולון.

$$mc = 10^{-3}c \quad \text{מיליקולון} \qquad \mu c = 10^{-6}c \quad \text{מיקרוקולון.}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{0.4^2} = 0.675(N) \quad \text{נציב את הנתונים בנוסחת קולון.}$$

גודלו של כוח הדחיה בין שני המטענים שווה ל 0.675 ניוטון.

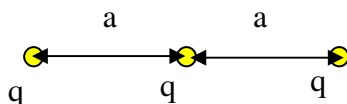
במידה ויש יותר משני מטענים, נצטרך לפעול לפי עיקרון סופרפוזיציה!

עיקרון סופרפוזיציה אומר: שגוף ימשיך להשפיע באותו סוג של השפעה ללא קשר לנוכחות מטען נוסף אחר לידו. או במילים אחרות הכוח החשמלי שמטען מסוים מפעיל על מטען אחר הנמצא בקרבתו אינו מושפע ואינו משתנה עקב הוספת מטענים נוספים לסביבתם הקרובה של שני המטענים.

במידה ונקבל שלושה מטענים או יותר, נוכל לטפל בכל זוג מטענים בנפרד, ואז לחבר את סכום ההשפעות, באופן ווקטורי.

דוגמה:

(1) על קו ישר מונחים שלושה מטענים זהים במרחקים שווים a זה מזה. מהו הכוח שמרגיש כל מטען.

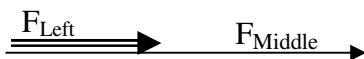


פתרון:

נתחיל עם המטען הימני.

למעשה אנחנו צריכים לעשות לו תרשים כוחות. בתרשים יהיו כל הכוחות שפועלים עליו !!!!! לעולם לא הכוחות שהוא עצמו עושה. המטען האמצעי משפיע עליו כאילו רק הוא נמצא לידו, ואין כלל מטען שמאלי. לכן נוכל להשתמש בחוק קולון. גודל הכח יחושב לפי קולון והכיוון יהיה ימינה, דחייה בין מטענים שווי סימן.

המטען השמאלי משפיע על המטען הימני, כאילו רק הוא נמצא, ואין כלל מטען אמצעי. גודל הכוח יחושב על פי חוק קולון וכיוונו גם כן יהיה ימינה, דחייה בין מטענים שווי סימן.



המטען הימני מרגיש כוח השווה ל

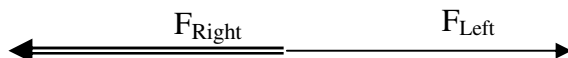
$$F = F_{left} + F_{middle} = K \frac{q \cdot q}{a^2} + k \frac{q \cdot q}{(2a)^2} = K \frac{5q^2}{4a^2}$$

וכיוונו ימינה

עבור המטען האמצעי:

המטען הימני דוחה אותו שמאלה, בלי קשר לנוכחות של המטען השמאלי, גודלו נתון על פי חוק קולון. ואילו המטען השמאלי דוחה אותו ימינה, בלי קשר לנוכחות המטען הימני.

נסכם בתרשים:



נקבע כיוון חיובי ימינה.

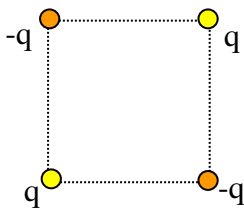
$$F = \vec{F}_{left} + \vec{F}_{right} = K \frac{q \cdot q}{a^2} - k \frac{q \cdot q}{a^2} = 0$$

הכוח השקול על המטען האמצעי שווה לאפס.

עבור המטען השמאלי, נוכל להבין שמטעמי סימטריה של המערכת, מטען זה ירגיש כוח שקול שמאלה השווה בגודלו לכוח שפועל על המטען הימני.

דוגמה נוספת:

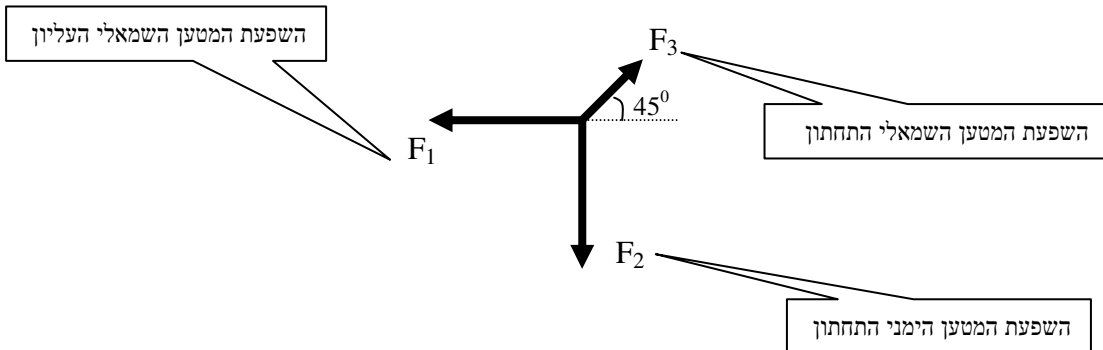
בארבעת קודקודיו של ריבוע שארוך צלעו 1 מטר מונחים מטענים. בשני קודקודים נגדיים מטען של $5 \cdot 10^{-9}(c)$ ובשני הקודקודים האחרים מטען של $-5 \cdot 10^{-9}(c)$. מהו הכוח הפועל על המטען הימני העליון?



פתרון:

על פי עקרון סופרפוזיציה כל אחד משלושת המטענים משפיע על המטען הימני, כאילו רק הוא נמצא שם. לכן המטען הימני מרגיש שלושה כוחות. כל אחד מהכוחות ניתן לחשב מחוק קולון, כיוון הכוח יהיה תמיד לאורך הקו המחבר בין שני המטענים. לדוגמא המטען הימני התחתון מפעיל כוח משיכה כלפי מטה, לאורך הקו המחבר את שני המטענים הימניים. המטען השמאלי התחתון מפעיל כוח דחייה לאורך האלכסון של הריבוע.

לבסוף יש לחבר את סכומם באופן ווקטורי. נבצע תרשים כוחות על המטען הימני העליון.



את כיוון הכוחות מוצאים מגיאומטריה הבעיה ואילו את גודל הכוחות מחוק קולון. נחשב את גודל הכוחות: הכוחות F_1 ו F_2 שווים בגודלם בגלל גדלים זהים.

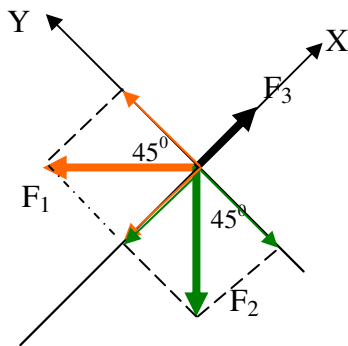
$$F_1 = F_2 = K \frac{q \cdot q}{a^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{-9}}{1^2} = 2.25 \cdot 10^{-7} (N)$$

שימו לב! בחישוב גודל הכוח לא מכניסים את סימן המטען!!!!!!

$$F_3 = K \frac{q \cdot q}{a^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{-9}}{(\sqrt{2})^2} = 1.125 \cdot 10^{-7} (N)$$

כדי למצוא את השקול נפרק לרכיבים.

נתבונן שוב על התרשים ובמחשבה שניה לא כדאי לבחור מערכת צירים אופקית ואנכית, למרות שמדובר בלפרק רק ווקטור אחד, כי מיד רואים שהשקול יוצא בזווית 45 מעלות, לכן כדאי לבחור מערכת צירים חכמה, כך שציר אחד יהיה מכוון בכיוון הכח השלישי ואילו הציר השני ניצב לו.

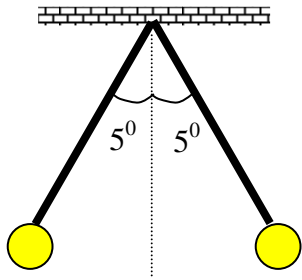


רואים שמשיקולי סימטריה רכיבי ה y מתאפסים, ונשאר לסכם רק בציר ה x.

$$\Sigma F_y = F_1 \cos 45 - F_2 \cos 45 = 0$$

$$\Sigma F_x = F_3 - F_1 \sin 45 - F_2 \sin 45 = F_3 - 2F_1 \sin 45 = -2.06 \cdot 10^{-7} (N)$$

הכוח השקול שווה ל $2.06 \cdot 10^{-7} (N)$ וכיוונו אל מרכז הריבוע.



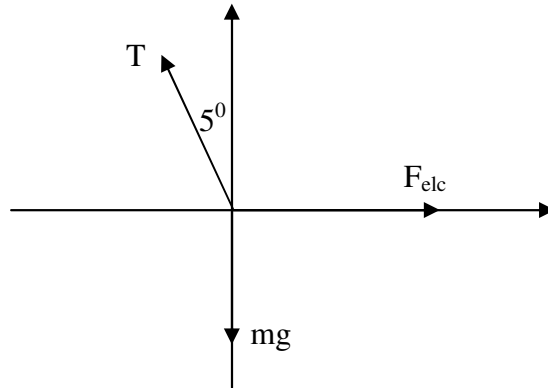
עוד תרגיל:
 שני כדורים שמסתם 50 גר' תלויים מנקודה משותפת בעזרת שני חוטים שאורך כל אחד מהם 1 מטר. כל אחד מהחוטים נפרש בזווית 5 מעלות לאנך. הכדורים טעונים במטען זהה. מהו?

פתרון:

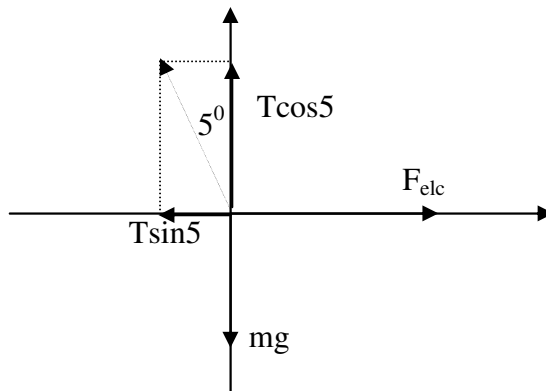
נבצע תרשים כוחות על אחד מהכדורים, בגלל הסמטריה אין צורך לעשות תרשים כוחות על שניהם.

מכיוון שהמטענים שווי סימן, הכח החשמלי הוא כח דחייה, וכיוונו לאורך הקו המחבר את שני המטענים.

תרשים כוחות על הכדור הימני:



הכדור נמצא במנוחה לכן שקול הכוחות עליו שווה לאפס. נפרק את הכוחות לרכיבים ונמצא את המשוואות המקיימות את התנאי לשקול כוחות שווה לאפס.



$$\Sigma F_x = F_{elc} - T \sin 5 = 0 \Rightarrow T \sin 5 = F_{elc}$$

$$\Sigma F_y = T \cos 5 - mg = 0 \Rightarrow T \cos 5 = mg$$

$$\text{לכן: } \tan 5 = \frac{F_{elc}}{mg}$$

$$F_{elc} = K \frac{q \cdot q}{(2 \cdot (1 \cdot \sin 5))^2} \text{ ומחוק קולון:}$$

$$mg \cdot \tan 5 = K \frac{q \cdot q}{(2 \cdot (1 \cdot \sin 5))^2} \text{ נשווה בין הביטויים}$$

$$q = \left(\frac{(2 \cdot \sin 5)^2 \cdot 0.05 \cdot 10 \cdot \tan 5}{9 \cdot 10^9} \right) = 3.8 \cdot 10^{-7} (c) \text{ נציב ערכים ונקבל:}$$