

הכוחות היסודיים בטבע

<u>סימון</u>	<u>מקור</u>	<u>כוח</u>
m	מסה	• משיכה/גרביטציה
e, q	מטען חשמלי	• אלקטרומגנטי (חשמלי ומגנטי)
	אלה הם כוחות גרעיניים	{ • חלש • חזק

מק"ש



טבלת יחידות וממדים

<i>m.k.s</i>	ממד	גודל פיסיקלי
<i>m</i>	<i>L</i>	אורך
sec	<i>T</i>	זמן
<i>kg</i>	<i>M</i>	מסה
<i>m</i> ³	<i>L</i> ³	נפח
<i>m</i> ²	<i>L</i> ²	שטח
<i>m</i> /sec	<i>L</i> / <i>T</i>	מהירות
<i>m</i> /sec ²	<i>L</i> / <i>T</i> ²	תאוצה
$\frac{kg \cdot m}{sec^2} = \text{newton}$	$F = \frac{ML}{T^2}$	כוח
$1 \cdot Pa = \frac{N}{m^2}$ Pascal	$P = \frac{M}{T^2 L}$	לחץ – כוח ליחידת שטח
$\frac{kg \cdot m^2}{sec^2} = N \cdot m = J$ Joule	$E = \frac{M \cdot L^2}{T^2}$	אנרגיה

המטען החשמלי

המטען החשמלי הוא המקור של הכוח החשמלי. בניגוד למסה, מטען יכול להיות חיובי או שלילי, ויש לו גם תכונה מיוחדת: המטען החשמלי q של כל גוף הוא כפולה שלמה של מטען אלמנטרי שנקרא e :

$$q=ne; \quad n=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3....$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

היחידה C היא קולון (Coulomb)

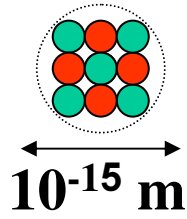
דוגמאות

● פרוטון $q = +e$

● נויטרון $q = 0$

• אלקטרון $q = -e$

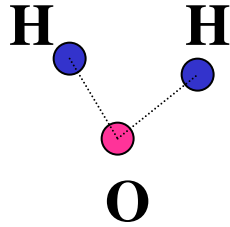
גרעין



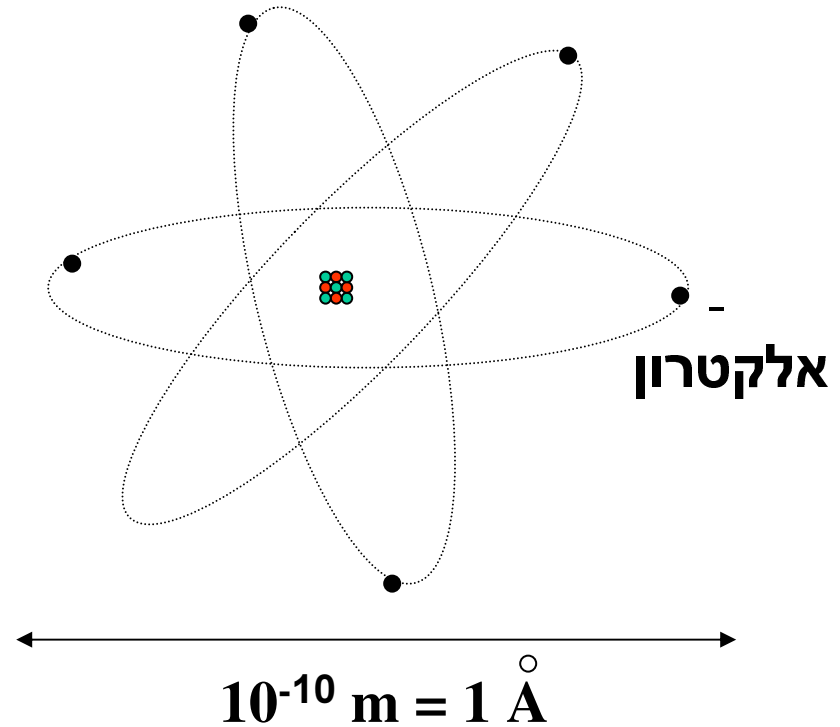
● פרוטון+
● נויטרון

מולקולה מורכבת מאטומים. בכל אטום יש גרעין כבד ומסביבו אלקטרונים קלים. הכוח החזק מחזיק את הגרעין כיחידה ומתגבר על הדחייה החשמלית בין הפרוטונים.

מולקולת מים
(מימן: Hydrogen)
(חמצן: Oxygen)



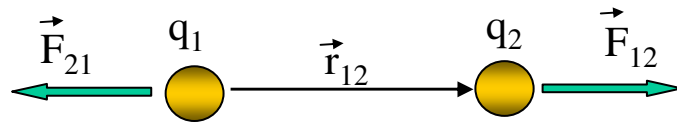
אטום



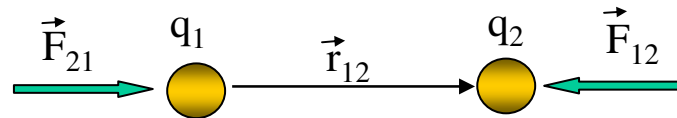
כוח חשמלי

תזכורת: כוח הוא ווקטור!

מטענים בעלי סימן זהה ($q_1 * q_2 > 0$) דוחים אחד את השני



מטענים בעלי סימן הפוך ($q_1 * q_2 < 0$) מושכים אחד את השני



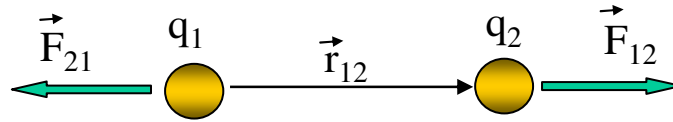
המספרים הולכים משמאל לימין:

\vec{r}_{12} - ווקטור המרחק (מיקום) שהולך ממטען 1 למטען 2

\vec{F}_{12} - הכוח שמטען 1 מפעיל על מטען 2

\vec{F}_{21} - הכוח שמטען 2 מפעיל על מטען 1

חוק קולון (Coulomb's law)



$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

במילים: הכוח גדל ביחס למטענים, אבל משתנה ביחס הפוך למרחק בריבוע. בחוק מופיע קבוע k :

$k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ ביחידות מק"ש.

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

גם מופיע "ווקטור יחידה": זהו ווקטור בעל גודל=1 (ללא יחידות), אשר מצוין כיוון מסוים:

שימו לב: אם $q_1 q_2 > 0$ הכוח פועל בכיוון \hat{r}_{12} , כלומר כוח דחייה

אם $q_1 q_2 < 0$ הכוח פועל בכיוון $-\hat{r}_{12}$, כלומר כוח משיכה

המלצה: מיצאו בנפרד את כיוון הכוח לפי דחייה/משיכה, ואת הגודל לפי:

$$F_{12} = k \frac{|q_1 q_2|}{r_{12}^2}$$

אם מחשבים עוצמה בלבד, ללא כיוון, אז אפשר להתעלם מווקטור היחידה ומסימני מינוס.

הסבר ליחידות של k, לפי חוק קולון:

נכניס את כל היחידות לחוק קולון, ונבדוק שאכן מתקבלות יחידות של כוח:

$$\frac{Nm^2}{C^2} \frac{CC}{m^2} = N$$

עיקרון הסופרפוזיציה (Superposition)

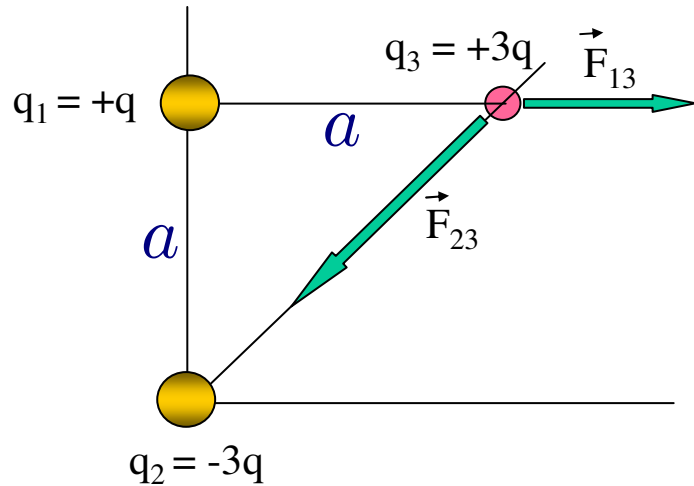
בניח שנתונים לנו מטענים $i=1,2,3\dots$.

הכוח הכולל הפועל על מטען מסוים j הוא הסכום הווקטורי של הכוחות שמפעילים עליו כל המטענים i האחרים:

$$\vec{F}_j = \sum_{i \neq j} \vec{F}_{ij}$$

דוגמא

$$q = 10^{-6} \text{ C}, \quad a = 1 \text{ m}$$



נתונים שלשה מטענים,
ואנחנו רוצים למצוא את
הכוח החשמלי על השלישי:

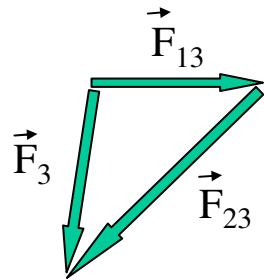
מטען 1 דוחה את מטען 3, בגלל ששניהם
מטענים חיוביים. מטען 2 מושך את מטען 3
בגלל המטענים ההפוכים בסימן. הכוח הכולל
הוא הסכום הווקטורי של שני כוחות אלה.

חוק קולון נותן את עוצמת הכוחות:

$$F_{13} = \frac{k q (3q)}{a^2} = \frac{8.99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} 10^{-6} \text{ C } 3 \times 10^{-6} \text{ C}}{(1 \text{ m})^2} = 2.70 \times 10^{-2} \text{ N}$$

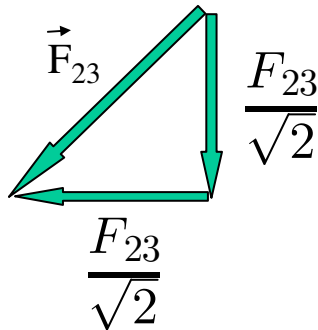
$$F_{23} = \frac{k (3q) (3q)}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{3}{2} F_{13} = 4.05 \times 10^{-2} \text{ N}$$

דוגמא: המשך



הכוח הכולל הוא הסכום הווקטורי של שני כוחות אלה:

בשביל למצוא את הסכום, מוצאים את הרכיבים ב-X וב-Y של שני הווקטורים, ואז מחברים את הרכיבים ב-X בנפרד, וב-Y בנפרד. F_{13} הוא כולו בכיוון X. את F_{23} מפרידים לרכיבים לפי משולש של 45° :



$$\frac{F_{23}}{\sqrt{2}} = 2.86 \times 10^{-2} \text{ N} \quad \text{קודם נמצא את:}$$

רכיב ה-X הכולל הוא הסכום של רכיב ה-X של F_{13} ושל F_{23} :

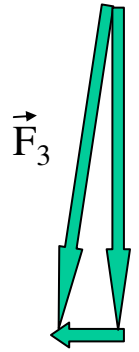
$$2.70 \times 10^{-2} \text{ N} - 2.86 \times 10^{-2} \text{ N} = -1.6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

כמו-כן, רכיב ה-Y הכולל הוא:

$$-2.86 \times 10^{-2} \text{ N}$$

(המינוס אומר כיוון $-Y$, ז"א כלפי מטה)

דוגמא: סוף



עכשיו מצאנו את הרכיבים של הכוח הכולל: $2.86 \times 10^{-2} \text{ N}$

$$1.6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

את העוצמה של הכוח מוצאים
בעזרת משפט פיתגורס:

$$F_3 = \sqrt{(2.86 \times 10^{-2})^2 + (1.6 \times 10^{-3})^2} \text{ N}$$

$$F_3 = 2.86 \times 10^{-2} \text{ N}$$

התשובה, בדיוק של שלש ספרות:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1.6 \times 10^{-3}}{2.86 \times 10^{-2}}\right) = 3.2^\circ$$

הכיוון של F_3 הוא כלפי מטה,
חוץ מסיבוב נוסף בזווית: