

# פיזיקה 1 מכניתה מורחב

פרק 7 - תנועה תחת השפעה של שדה אלקטטרו מגנטי

תוכן העניינים

- 1.....תנועה תחת שדה חשמלי ומגנטי.....

## תנועה תחת שדה חשמלי ומגנטי:

**מבנה החומר:**

**רקע:**

החומר מורכב מאטומים. אטומים מורכבים מגרעין ומעטפת, הגרעין מורכב מפרוטונים וניוטרונים והמעטפת מאלקטרונים.

$$m_p \approx m_n = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e \approx 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \approx \frac{1}{2000} m_p$$

כוח חשמלי הוא כוח שפועל בין אלקטرونים ופרוטונים אך הניוטרונים לא מרגישים אותו. בשבייל לתאר את הכוח משתמשים בתכונה של מטען חשמלי.

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

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

גודל המטען  $e$  הוא גודל יסודי והמטען הכולל של כל גוף חייב להיות כפולה שלמה של  $e$ .  
הכוח הפועל בין שני חלקיקים טעוניים נתון לפי חוק קולון.

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

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

ר - המרחק בין הגוףים.

**שאלות:****(1) אלקטרוון ופרוטון**

אלקטרוון ופרוטון נמצאים במרחק של  $A = 3$  אחד מהשני.  
מהו הכוח הפועל על כל אחד מהם? (גודל וכיוון).

**(2) שני מטענים על ציר ה-X**

שני גופים טעוניים במטענים:  $q_1 = 0.2\text{mc}$ ,  $q_2 = 0.3\text{mc}$ .  
מיקום הגוף הראשון הוא:  $(3m, 0)$  ומיקום הגוף השני הוא:  $(8m, 0)$ .  
א. חשבו את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.  
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהם הם:  $m_1 = 3\text{kg}$ ,  $m_2 = 8\text{kg}$ .

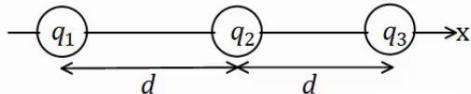
**(3) שני מטענים במשורר**

שני גופים טעוניים במטענים:  $q_1 = 15\mu\text{c}$ ,  $q_2 = -20\mu\text{c}$ .  
מיקום הגוף הראשון הוא:  $(0, 0)$  ומיקום הגוף השני הוא:  $(5m, 3m)$ .  
א. חשבו את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.  
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהם הם:  $m_1 = 3\text{kg}$ ,  $m_2 = 8\text{kg}$ .

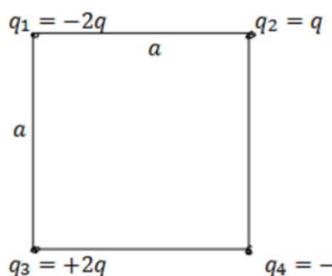
**(4) 3 מטענים על ציר ה-X**

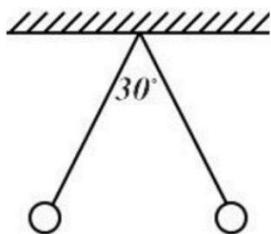
שלושה מטענים מונחים על ציר ה- $x$  במרחקים של  $d = 10\text{cm}$  אחד מהשני.  
גודל המטענים הוא:  $q_1 = 2\mu\text{c}$ ,  $q_2 = -10\mu\text{c}$ ,  $q_3 = 5\mu\text{c}$ .

מצאו את הכוח הפועל על כל מטען גודל וכיוון.

**(5) מטען בפינה ריבוע**

חשבו את הכוח הפועל על המטען בפינה הימנית  
התחתונה של הריבוע.  
 $q$  ו- $a$  נתונים.



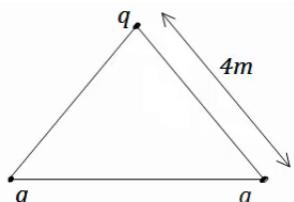
**6) שני כדורים תלויים**

שני כדורים בעלי מסה  $m$  ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך  $L$ , הזווית בין החוטים היא  $30^\circ$  מעלות. מצאו את מטען ה כדורים.

**7) מהירות זוויתית באטום המימן**

אטום המימן מורכב מפרוטון בגרעין ואלקטרון הסובב סביב הגרעין בתנועה מעגלית ברדיוס של  $0.53 \text{ }\mu\text{m}$  אנטסטרום.

מצאו את המהירות הזוויתית של האלקטרון, אם ידוע כי מסת האלקטרון  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ומטען האלקטרון והפרוטון הוא  $q_p = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

**8) מטענים בקודקוד משולש**

שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של משולש שווה צלעות.

גודל כל מטען הוא  $q = 2 \mu\text{C}$  ואורך צלע המשולש היא  $4 \text{ m}$ .

מצאו את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהטען האחרים.

**תשובות סופיות:**

$$(1) F = -2.56 \cdot 10^9 \text{ N, כוח המשיכה.}$$

$$(2) a_1 = -7.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \hat{x}, a_2 = 2.7 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \hat{x} \quad \text{ב.} \quad F = 21.6 \text{ N.}$$

$$(3) a_1 \approx 2.65 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ב.} \quad |F_1| = |F_2| = 7.94 \cdot 10^{-2} \text{ N}, \theta_1 = 30.96^\circ, \theta_2 = 210.96^\circ$$

$$(4) \sum \vec{F}_1 = 15.75 \text{ N} \hat{x}, \sum \vec{F}_2 = 27 \text{ N} \hat{x}, \sum \vec{F}_1 = 42.75 \text{ N} \hat{x}$$

$$(5) \sum F_y = \frac{kq^2}{a^2} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

$$(6) q = \sqrt{\frac{mg}{k} \tan(15) L^2 (2 - \sqrt{3})}$$

$$(7) \omega = \sqrt{17} \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{sec}}$$

$$(8) \sum F = 3.897 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

### השדה החשמלי:

**רקע:**

שדה הוא פונקציה מתמטית (וקטורית).  
הכוח שפועל על מטען  $q$  בנקודה מסוימת שווה לשדה באותה הנקודה כפול המטען שנמצא בנקודה.

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

אם המטען חיובי אז הכוח יהיה בכיוון השדה ואם המטען שלילי בכיוון הפוך לשדה מטען חיובי – מטען מאד קטן שבאמצעותו מודדים את השדה בנקודה בלי להשפיע על המטענים שייצרו את אותו שדה.

$$\text{שדה של מטען נקודתי: } \hat{\vec{E}} = \frac{kq}{r^2} \hat{r}$$

$$\text{שדה של לוח אינסופי: } \hat{\vec{E}} = 2\pi k \sigma \hat{z}$$

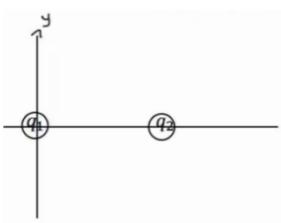
בכיוון מאונך ללא והחוצה.

$$\text{שדה אחד: } \hat{\vec{E}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z}$$

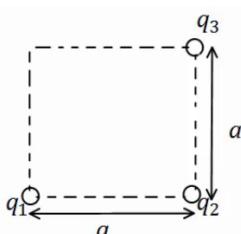
$$\cdot \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

**שאלות:****(1) שדה בשתי נקודות**טען  $q$  נמצא בראשית הצירים.

- א. חשבו את השדה בנקודות  $(0,2m)$ ,  $(1m,3m)$ , אם נתון  $\vec{r} = 5\text{c}$  (גודל וכיוון).
- ב. חזרו על סעיף א' אם  $q = -7\text{c}$ .
- ג. מצאו מה יהיה הכוח עלטען  $q_2 = 3\text{c}$  המגיע לנקודה  $(1m,3m)$  עברו סעיף א'.
- ד. מצאו מה יהיה הכוח עלטען  $q_3 = -4\text{c}$  המגיע לנקודה  $(1m,3m)$  עברו סעיף א' ללא  $q_2$ .

**(2) חישוב שדה שקל בשלוש נקודות**טען  $q_1 = 5\text{c}$  נמצא בראשית הצירים.טען  $q_2 = 4\text{c}$  נמצא במקומות  $(3\text{cm}, 0)$ .

מצאו את השדה בנקודות הבאות:

א.  $(5\text{cm}, 0)$ .ב.  $(2\text{cm}, 0)$ .ג.  $(2\text{cm}, 1\text{cm})$ .**(3) חישוב שדה שקל בפינה של ריבוע**טען  $q_3$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  מצויים בשלוש פינותיו של ריבוע בעל צלע  $a$ .

מהו השדה בפינה הרביעית?

 $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ,  $a$  נתונים.**תשובות סופיות:**

$$\vec{E} = 6.3 \cdot 10^9 \hat{x} + 15.75 \cdot 10^9 (-\hat{y}) \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = 1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\vec{F}_3 = -4 \cdot (1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y}) \quad \text{ד.} \quad \vec{F} = 4.26 \cdot 10^9 \hat{x} + 12.81 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{ג.} \quad (2)$$

$$E_{l_x} = 8.05 \cdot 10^7, E_{l_y} = 4.03 \cdot 10^7, E_{2_x} = -12.73 \cdot 10^7, E_{2_y} = 12.73 \cdot 10^7 \quad (2)$$

$$E_{T_x} = -4.68 \cdot 10^7, E_{T_y} = 16.77 \cdot 10^7$$

$$E_{T_y} = \frac{kq_1}{a^2} + \frac{kq_2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}, E_{T_x} = \frac{kq_3}{a^2} - \frac{kq_2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

## תנועה בשדה חשמלי אחיד:

### שאלות:

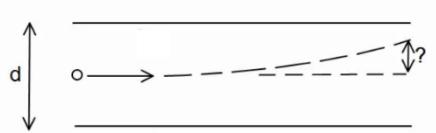
#### 1) מloth אל lot

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך כל צלע היא  $6 \text{ ס"מ}$ , והמרחק בין הלוחות הוא  $2 \text{ מ"מ}$ . הלוחות טעוניים בCAFIFOT מטען אחידה; המטען הכלול על הלוח התיכון הוא:  $c = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  ומהטען הכלול על הלוח העליון זהה והפוך בסימנו. משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחתי לloth הelowן:

$$\left( \begin{array}{l} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{array} \right)$$

- א. כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התיכון?
- ב. מהי מהירותו בזמן פגיעה בלוח?
- ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון באותו הרגע?

#### 2) חישוב סטייה

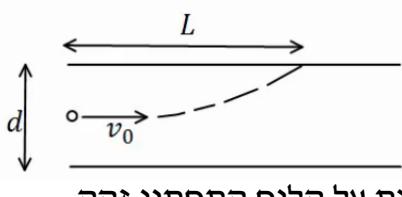


שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כלloth היא  $5 \text{ ס"מ}$  והמרחק בין הלוחות הוא  $2 \text{ מ"מ}$ . הלוחות טעוניים בCAFIFOT מטען אחידה.

הטען הכלול על הלוח העליון הוא:  $c = 3 \cdot 10^{-11} \text{ C}$  ומהטען הכלול על הלוח התיכון זהה והפוך בסימנו.

$$\left( \begin{array}{l} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{array} \right) \text{ אלקטרון נע במהירות: } v_0 = \frac{m}{sec}$$

- א. מצאו את הסטייה של האלקטרון (כמה זו בציר ה- $y$ ) ברגע צאתו מן הלוחות.
- ב. מהו כיוון מהירותו של האלקטרון ביציאתו מן הלוחות?



שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. המרחק בין הלוחות הוא  $d$  ואורך הצלע של כלloth גדול בהרבה מהמרחק בין הלוחות.

הלוחות טעוניים בCAFIFOT מטען אחידה, ציפוי המטען המשטחית על הלוח העליון היא  $\sigma$  והCAFIFOT על הלוח התיכון זהה וההפוכה בסימנה. מטען לא מזוהה נכנס בדיזוק במרכז בין הלוחות במהירות  $v_0$

בכיוון מקביל ללוחות. המטען פוגע בלוח העליון במרקם  $L$ .

- א. מצאו את סימנו של המטען, בהנחה שהCAFIFOT הנתונה חיובית.
- ב. מצאו את היחס בין גודל המטען למסה שלו.

#### 3) מטען לא מזוהה

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. המרחק בין הלוחות הוא  $d$  ואורך הצלע של כלloth גדול בהרבה מהמרחק בין הלוחות.

הלוחות טעוניים בCAFIFOT מטען אחידה, ציפוי המטען המשטחית על הלוח העליון היא  $\sigma$  והCAFIFOT על הלוח התיכון זהה וההפוכה בסימנה. מטען לא מזוהה נכנס בדיזוק במרקם בין הלוחות במהירות  $v_0$

בכיוון מקביל ללוחות. המטען פוגע בלוח העליון במרקם  $L$ .

- א. מצאו את סימנו של המטען, בהנחה שהCAFIFOT הנתונה חיובית.
- ב. מצאו את היחס בין גודל המטען למסה שלו.

**תשובות סופיות:**

$$E_k = 6.06 \cdot 10^{-16} \text{ J} \quad \text{ג.} \quad v(t) = 3.65 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad t \approx 1.1 \cdot 10^{-10} \text{ sec.} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\theta \approx 1.72^\circ \quad \text{ב.} \quad y_x = 0.747 \text{ mm} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\frac{q}{m} = \frac{dv_0^2}{4\pi k \sigma L^2} \quad \text{ב.} \quad (3) \quad \text{א. סימן המטען שלילי.}$$

### תנועה תחת שדות משתנים:

#### שאלות:

##### 1) שדה שטלי ב- $\mathbb{Z}$ בשלישית

במרחב קיים שדה חשמלי הנ吐ן לפי הפונקציה הבאה:

$$\vec{E}(y) = \begin{cases} 0 & y < 0 \\ E_0 \frac{4y^3}{a^3} \hat{x} & 0 \leq y \leq a \\ 0 & a < y \end{cases}$$

חלקיק בעל מסה  $m$  ומטען  $Q$  נמצא בראשית  $-0 = t$  עם מהירות:  $\vec{v}_0 = \hat{y}$ . ניתן להזנich את כוח הכבוד.

א. מהו וקטור התאוצה של החלקיק כפונקציה של  $y$ ?

ב. מהו וקטור המהירות של החלקיק כפונקציה של הזמן?

ג. מהו וקטור המיקום של החלקיק כפונקציה של הזמן?

ד. מתי יצא החלקיק מהאזור בו נמצא השדה החשמלי?

#### תשובות סופיות:

$$\vec{v}_x(t) = \frac{QE_0 v_0^3}{ma^3} t^4 \quad \text{ב.} \quad \vec{a} = \frac{Q}{m} \vec{E}(y) \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$t = \frac{a}{v_0} \cdot \sqrt[4]{5} \quad x(t) = \frac{QE_0 v_0^3}{ma^3} \frac{t^5}{5}, y = v_0 t, z = 0 \quad \text{ג.}$$

**כדורים טעוניים:****רקע:**

$$Q = pV = p_0 \frac{4\pi R^3}{3} \text{ כולם}$$

$$Q = \int p(r) 4\pi r^2 dr \text{ כולם}$$

чисוב מטען כולם עבור צפיפות שתלויה רק ב-  $r$ .

שדה של כדור מלא :

$$E \text{ מחוץ לכדור} - r > R$$

$$\vec{E} = \frac{KQ}{r^2} \hat{r} \text{ השדה הוא כמו של מטען נקודתי:}$$

$Q$  – המטען הכלול בכדור.

$$E \text{ בתוך הכדור} - r < R$$

$$\vec{E} = \frac{KQ(r)}{r^2} \hat{r} \text{ שדה של כדור ברדיוס } r :$$

שדה של קליפה עבה מ- $r$  עד  $R$  בתוך הקליפה = 0.

**שאלות:****1) חישוב מטען כולל בצדור**

חשבו את המטען הכלול בצדור ברדיוס  $R$  אם צפיפות המטען הנפחית בצדור

$$\text{היא : } \rho(r) = \rho_0 \frac{r^2}{R^2}.$$

כאשר  $R > r$  קבועים נתוניים ו- $r$  הוא המרחק ממרכז הצדור.

**2) מודל למולקולת מימן**

במודל למולקולת מימן יש "ען" של מטען שלילי בצדור לצדור ברדיוס  $R$  וצפיפות  $\rho_0$ . בתוך הען נעים שני פרוטונים.

א. חשבו את  $(q)$  - כמות המטען של הצדור ברדיוס  $R < r$  כתוצאה מצפיפות המטען השילילית בלבד (התעלמו מהפרוטונים).

ב. השדה החשמלי כתוצאה מצפיפות המטען השילילית במרחב  $r$  ממרכז

$$\text{הצדור (או ען) הוא : } E = \frac{kq(r)}{r^2}.$$

מצאו את הכוח הכלול הפועל על כל אחד מהפרוטונים אם מיקום אחד הפרוטונים הוא ב- $(x_1, 0, 0)$  והשני ב- $(x_2, 0, 0)$ . (התיחסו גם לכוח שפעילים הפרוטונים אחד על השני).

ג. מצאו את מיקום הפרוטונים אם נתון שהם נמצאים במנוחה. רمز : חקרו וחסרו את המשוואות. הבינו תשובתכם באמצעות  $R$ ,  $\rho_0$ ,  $R$  וטען הפרוטון  $q_p$ .

ד. מצאו את המרחק בין הפרוטונים ומרחקם ממרכז הצדור אם המטען השילילי הכלול בצדור הוא  $-2e$  (שני אלקטרוניים) ו- $e = q_p$ .

**תשובות סופיות:**

$$\frac{4\pi\rho_0 R^3}{5} \quad (1)$$

$$\sum F_2 = q_p \left( \frac{kq_p}{(x_2 - x_1)^2} - \frac{kp_0 4\pi x_2}{3} \right). \quad (2)$$

$$x_2 = \left( \frac{3q_p}{16\pi p_0} \right)^{\frac{1}{3}} = -x_1. \quad (3)$$

$$\sum F_1 = q_p \left( -\frac{kq_p}{(x_2 - x_1)^2} - \frac{kp_0 4\pi x_1}{3} \right)$$

$$d. \text{ ממרכז } \frac{R}{2} \text{ ואחד השני } R.$$

## הפוטנציאל החשמלי:

**רקע:**

אנרגייה פוטנציאלית חשמלית:

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x} \leftrightarrow U = \int F_x dx$$

$$\text{uboּר מטען נקודתי: } \frac{kq_1 q_2}{r}$$

$$U = q\phi \\ \phi = -\int \vec{E} d\vec{r}$$

$$V = \phi_f - \phi_i = \Delta\phi$$

$$|qV| = |\Delta E_k|$$

$$1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$$

**שאלות:**

### 1) חישוב מהירות ועבודה

טען נקודתי:  $Cm_2 = 2q$  בעל מסה 4 גרם נמצא במנוחה במרחב:  $d = 3m$

טען נקודתי:  $Cm_1 = q$  המקובע במקום.

א. משחררים את  $q_2$  לנוע בחופשיות, מה תהיה המהירות שלו באינסוף?

ב. נתונים ל-  $q_2$  דחיפה קלה המקנה לו מהירות התחלתית של:  $v_0 = 3 \frac{m}{sec}$ .

מה תהיה המהירות שלו כאשר יהיה במרחב  $5m$  מ-  $q_1$ ?

ג. מה העבודה שביצע הכוח החשמלי על המטען  $q_2$  בסעיף א'?

ד. מה העבודה הדרושה על מנת להביא את המטען:  $Cm_3 = 3q$  מאינסוף

למרחק  $2m$  מהטען  $q_1$ ?

### 2) פוטנציאל של שדה אחד

$$\text{ЛОЧ} \text{ גודל מואוד יוצר שדה אחד במרחב: } \vec{E} = 6 \cdot 10^{-6} \frac{N}{C} \hat{x}$$

א. מצאו את פונקציית הפוטנציאל במרחב. ניתן לבחור את הפוטנציאל אפס על הלוּח.

ב. אלקטرون מונח במנוחה במרחב:  $d = 3cm$ , לאן יתחיל לנוע האלקטרון?

ג. מה תהיה מהירות האלקטרון כאשר יפגע בלוּח? השתמשו בפוטנציאל.

ד. חזוּ על סעיף ג' באמצעות חישובי כוחות ולא שימוש בפוטנציאל.

**3) האצת יון של נתרן**

יון של נתרן  $Na^+$  מרכיב מ-11 פרוטונים, 11 נויטرونים ו-10 אלקטרונים.

א. מצאו את מסת היון.

ב. מייצגים את היון ממנוחה באמצעות מתח של 500 וולט.

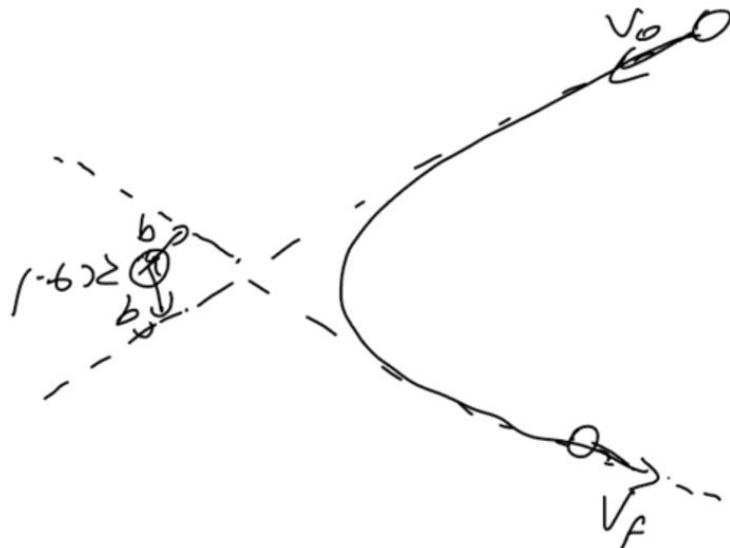
מה תהיה מהירות היון בסוף ההאצתה?

**תשובות סופיות:**

$$(1) \text{ א. } 13.5 \cdot 10^{-3} \text{ J . ד. } 6 \cdot 10^{-3} \text{ J . ג. } \sqrt{12} \frac{\text{m}}{\text{sec}} . \text{ ב. } \sqrt{3} \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$(2) \text{ א. } 252 \frac{\text{m}}{\text{sec}} . \text{ ב. לכיוון הלווח . ג. } \ell(x) = -6 \cdot 10^{-6} x . \text{ ד. הוכחה.}$$

$$(3) \text{ א. } 6600 \frac{\text{m}}{\text{sec}} . \text{ ב. } 37 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**פיזור:****רקע:**

בפייזור מגעין התנועה היא היפרבולה גם למשיכה וגם לדחיה.  
א הוא פרמטר הפגיעה.  
מתקיים שימוש אנרגיה ותנע.  
ברדיוס המינימלי מהירות מאונכת לרדיוס וניתן לחשב אותו מחוקי השימוש.

**השדה המגנטי, הכוח המגנטי ותנועת תחת שדה מגנטי קבוע:**

**רקע:**

$$\vec{F}_B = q\vec{V} \times \vec{B}$$

הטען חייב להיות בתנועה בשבייל שיפעל כוח מגנטי.

הכוח תמיד מאונך לשדה המגנטי ולמהירות הגוף.

כל יד ימין נותן את כיוון הכוח על טען חיובי, הכוח על מטען שלילי יהיה בדיק בכיוון ההפוך לזרם הטעין של כל יד ימין.

בשדה מגנטי אחיד ולא שדה חסמי נוצרת תנועה במעגלית או בורגית ורדיויס המעלג

$$R = \frac{mV_{\perp}}{qB}$$

**שאלות:**

**1) חלקיק זו בשדה מגנטי**

חלקיק הטוען במטען  $q$  נע במהירות  $\vec{v}$  באזורי בו שורר שדה מגנטי  $\vec{B} = 2\hat{x} + 3\hat{y}$  מטר טסלה.

חשבו את הכוח המגנטי שייפעל על החלקיק אם נתון :

$$A. \vec{F} = 2\hat{x} + 3\hat{y} \text{ מטר לשניה ו-} C = q$$

$$B. \vec{F} = 2\hat{x} - 3\hat{y} \text{ מטר לשניה ו-} C = q$$

**2) פרוטון פוגע במסך**

פרוטון מואץ בקובל הנמצא במתח של  $10^5 V$ .

לאחר מכון הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד

לפגיעה במסך הנמצא במרחק  $15c.m.$  מהקובל.

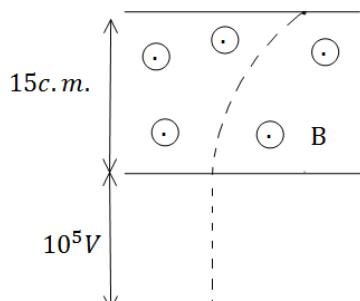
עוצמת השדה המגנטי היא  $0.2 T$ .

A. מצאו את המרחק האופקי שעבר הפרוטון

עד לפגתו במסך.

B. מצאו את הזמן עד לפגעה במסך.

C. מהו המתח המינימלי הדרוש על מנת שהפרוטון יפגע במסך?

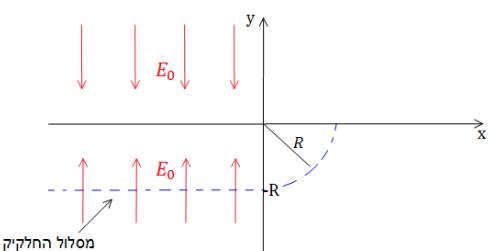


**(3) מטען בשדה מגנטי וחשמלי**

שדה חשמלי קיים בתחום  $x < 0$  כך שמעל ציר ה- $x$  ( $y > 0$ ) השדה הוא:  $\vec{E} = E_0 \hat{y}$  ו מתחת לציר ה- $x$  ( $y < 0$ )

השדה הוא:  $\vec{E} = E_0 \hat{y}$ , ראה שרטוט. בכל המרחב קיים גם שדה מגנטי אחד, שכיוונו וגודלו אינם ידועים.

חלקיק בעל מסה  $m$  ומטען  $|q|$  מגיע מ- $-\infty$  ועובר בקו ישר ובמהירות קבועה. גובה המסלול של החלקיק הוא  $-y$ .



כאשר החלקיק חוצה את ציר ה- $y$  הוא מבצע רבע מעגל ברדיוס  $R$  (ראה ציור). נתון:  $R, m, |q|$ .

א. שרטטו את המשך מסלול המטען.

ב. מה סימן המטען?

ג. מצאו את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.

ד. מצאו את המסה הדורשה על מנת לבצע אותו מסלול בשדה מגנטי גדול פי 3 מהשדה המקורי, כאשר שאר התנאים אינם משתנים.

**(4) תנועה בשדה מגנטי ושדה חשמלי**

חלקיק בעל מסה  $m$  ומטען שלילי  $q$  – נמצא באזור בו קיימים שדה חשמלי  $E_0$  ושדה מגנטי  $B_0$  אחידים בכיוון ציר ה- $x$ . מיקום החלקיק ב- $t=0$  הוא בנקודה:  $(v_0 \sin \theta, 0, v_0 \cos \theta)$  ומהירותו באותו הזמן היא:  $(v_0 \sin \theta, 0, v_0 \cos \theta)$ .

א. מצאו את הכוח הפועל על החלקיק כתלות ב- $t$ .

ב. מצאו את הכוח הפועל על החלקיק כתלות בזמן ורשום את משוואת התנועה.

ג. פתרו את משוואת התנועה ותאר את מסלול החלקיק.

**תשובות סופיות:**

$$\vec{F} = (6\hat{x} + 4\hat{y} + 3\hat{z}) \mu N \quad \text{ב. נ. } \vec{F} = 24N\hat{z} \quad \text{(1)}$$

$$V = 4.312 \cdot 10^4 V \quad \text{ג.} \quad t = 3.371 \text{ sec.} \quad \Delta x = 0.0315 \text{ נ.} \quad \text{(2)}$$

$$V = \sqrt{\frac{qRE_0}{m}}, \quad \vec{B} = \sqrt{\frac{mE_0}{qR}}\hat{z} \quad \text{ג.} \quad \text{sign}(q) = -1 \quad \text{ב. א. ראו סרטון} \quad \text{(3)}$$

$$m_2 = qm_1 \cdot T$$

$$, \quad \vec{F}(t) = (-q)(v_z B_0 \hat{y} - v_y B_0 \hat{z}) + (-q)E_0 \hat{x} \quad \text{ב.} \quad \vec{F} = (-q)v_0 B_0 \cos \theta \hat{y} + (-q)E_0 \hat{x} \quad \text{נ.} \quad \text{(4)}$$

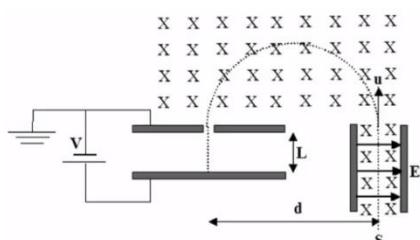
$$\ddot{v}_z = -\frac{q^2 B_0^2}{m^2} v_z, \quad \ddot{v}_y = -\frac{q^2 B_0^2}{m^2} v_z \quad \text{ג. ראו סרטון}$$

## סיכום ותרגילים נוספים:

### שאלות:

**1) בורר מהירותו ומתח עצירה**

חלקיים בעלי מטען  $q+$  ומסה  $m$  נפלטים ממוקור S ב מהירותו שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל.



בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחד  $\vec{E}$  וכיוננו ימינה ושדה מגנטי אחד  $\vec{B}$  והמכoonן אל תוך הדף, כמו זה בתרשימים.

השדה המגנטי פועל על החלקיים גם לאחר יציאתם מהקbel.

בمرחק  $d$  מנקודת הייציאה של החלקיים מהקbel, נמצא נקב קטן דרכו נכנסים החלקיים אל תוך הקbel השני אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקbel השני מופעל מתח עצירה  $V$ . ידוע כי המרחק בין לוחות הקbel השני הינו  $L$ . ניתן להזנich את כוח הכבוד הפועל על החלקיים.

נתונים:  $L, q, m, \vec{E}, \vec{B}$ .

א. באיזו מהירות  $v$  יוצאים החלקיים מהקbel הראשון?

ב. מהו המרחק  $d$  (ראה ציור)?

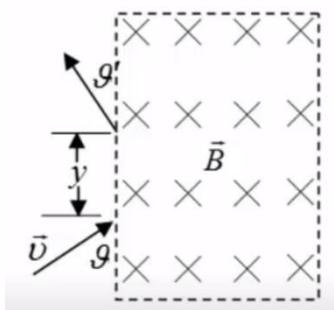
ג. תוך כמה זמן משלים החליקיק את חצי הסיבוב?

ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר  $V$  המופעל על הקbel השני כדי שהחלקיים הנכנסים לתוךו יעצרו לחוטיו?

ה. מחברים את הקbel השני למסלול שמתבהה גדול פי שתיים ממה שהчисבתם בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעזור החליקיק מרגע כניסה אל בין לוחות הקbel השני כעת?

**2) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית**

אלומות חלקיים בעלי מסה  $m$  וטען  $q$  נקלעות לאזור בו שורר שדה מגנטי אחד  $\vec{B}$  המאונך למישור הדף  $E_k$  ובגובה פנים. החלקיים אנרגיה קינטית  $E_k$  והם נכנסים לאזור המגנטי בזווית  $\theta$ , כמו זה בתמונה.

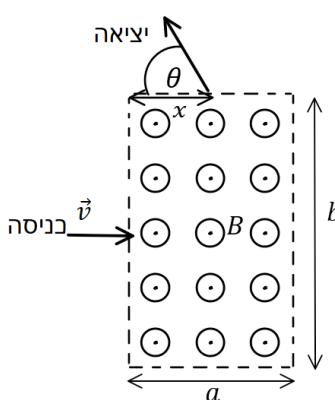


א. חשבו את המרחק האנכי  $y$  אותו עברו החלקיים מנוקודת כניסה לאזור המגנטי ועד ליציאתם ממנו.

ב. חשבו את זווית היציאה  $\varphi$  (ראו איור).

**3) עוד מטען נכנס ו יוצא משדה מגנטי בזווית**

שדה מגנטי אחיד  $B$  נמצא בתחום מלבני בגודל  $a \times b$ . מחוץ לתחום השדה הוא אפס. כיוון השדה החוצה מהד'



מטען  $|q|$  נכנס בתחום המלבני בדיק במרקם המלבן, בהירות שוגולה  $v$  וכיוונה מאונך לשפת המלבן (ראה איור).

ידוע שהמטען יוצא מהצלע העליון של המלבן.

א. מהו סימן המטען? ומהו גודל מהירותו ביציאה?

ב. מהו המרחק  $x$  מקצה המלבן בו יוצא המטען?

ג. מהי הזווית  $\theta$  של וקטור מהירות ביציאה ביחס לצלע המלבן?

**4) מטען בשדה מגנטי עם משוואות דיפרנציאליות**

נתון שדה חשמלי:  $\hat{x}\alpha = \hat{E} = B_0 \hat{z}$  ושדה מגנטי קבוע ואחד:  $\vec{B} = B_0 \hat{z}$ .

חלקיק בעל מסה  $m$  ומטען  $q$  נמצא בראשית זמן  $t=0$ .

מהירותו ההתחלתית היא:  $\hat{x}_0 = v_0 \hat{x}$ .

מהו מיקום החלקיק כתלות בזמן בכל אחד מהמקרים הבאים:

$$\alpha > \frac{q}{m} B_0^2, \quad \alpha < \frac{q}{m} B_0^2, \quad \alpha = \frac{q}{m} B_0^2$$

### תשובות סופיות:

$$\frac{2BL}{E} \cdot \text{ה.} \quad \frac{mE^2}{2qB^2} \cdot \text{ט} \quad \frac{\pi m}{qB} \cdot \text{ג.} \quad \frac{2mE}{qB^2} \cdot \text{ב.} \quad \frac{E}{B} \cdot \text{א.} \quad (1)$$

$$\theta' = \theta \cdot \text{ב.} \quad y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \theta}{Bq} \cdot \text{א.} \quad (2)$$

(3) א. אם כיוון הכוח הפוך לכיוון המכפלת  $\vec{V} \times \vec{B}$  אז המטען שלילי.  
 ב' תמיד מאונך ל-  $\vec{V}$  ול-  $\vec{B}$  לכן ה-  $\vec{F}_B$  אף פעם לא ישנה את גודל המהירות, רק את הכיוון ( $V$  כניסה =  $V$  יציאה).

$$\cos \theta = \frac{b}{2R} - 1 \cdot \text{ג.} \quad x = \sqrt{b \left( \frac{b}{4} - \frac{mV}{qB} \right)} \cdot \text{ב.}$$

$$x(t) = V_0 \cdot t, y = \frac{1}{2} \left( -\frac{qB_0 V_0}{m} \right) t^2 : \alpha = \frac{q}{m} B_0^2 \quad (4)$$

$$x(t) = \frac{V_0}{\sqrt{\frac{q}{m} \left( \frac{qB_0^2}{m} - \alpha \right)}} \sin \left( \sqrt{\frac{q}{m} \left( \frac{qB_0^2}{m} - \alpha \right)} \cdot t \right) : \alpha < \frac{q}{m} B_0^2$$

$$x(t) = \frac{V_0}{\sqrt{\frac{q}{m} \left( \alpha - \frac{qB_0^2}{m} \right)}} \sinh \left( \sqrt{\frac{q}{m} \left( \alpha - \frac{qB_0^2}{m} \right)} \cdot t \right) : \alpha > \frac{q}{m} B_0^2$$