פיזיקה 1 מכניקה

פרק 4 - תנועה תחת השפעה של שדה אלקטרו מגנטי

תוכן העניינים

1. תנועה תחת שדה חשמלי ומגנטי..... 1

תנועה תחת שדה חשמלי ומגנטי:

מבנה החומר:

רקע:

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

$$m_p \approx m_n = 1.67 \cdot 10^{-27}\,kg$$
$$m_e \approx 9.11 \cdot 10^{-31} kg \approx \frac{1}{2000} mp$$

כוח חשמלי הוא כוח שפועל בין אלקטרונים ופרוטונים אך הנויטרונים לא מרגישים אותו. בשביל לתאר את הכוח משתמשים בתכונה של מטען חשמלי.

$$q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} c = -e$$
$$q_p = +1.6 \cdot 10^{-19} c = e$$

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

$$\vec{F} = \frac{kq_1q_2}{r^2}\hat{r}$$
$$k = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{N \cdot m^2}{c^2}$$

r - המרחק בין הגופים.

שאלות:

1) אלקטרון ופרוטון

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

2) שני מטענים על ציר ה-X

שני גופים טעונים במטענים: $q_1 = 0.2mc, q_2 = 0.3mc$.

מיקום הגוף הראשון הוא: $\vec{r}_1(3m,0)$ ומיקום הגוף השני הוא: $\vec{r}_1(8m,0)$.

א. חשבו את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן: $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$.

3) שני מטענים במישור

שני גופים טעונים במטענים: $q_1 = 15\mu c, q_2 = -20\mu c$.

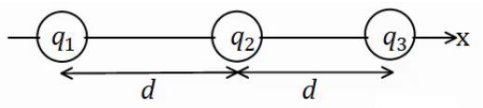
מיקום הגוף הראשון הוא: $\vec{r}_1(0,0)$ ומיקום הגוף השני הוא: $\vec{r}_1(5m,3m)$.

א. חשבו את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן: $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$.

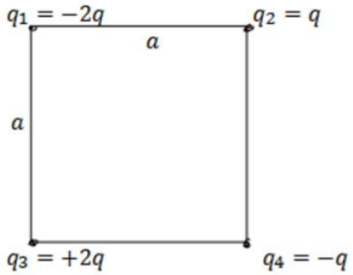
4) 3 מטענים על ציר ה-X

שלושה מטענים מונחים על ציר ה-x במרווחים של $d = 10cm$ אחד מהשני.
גודל המטענים הוא: $q_1 = 2\mu c, q_2 = -10\mu c, q_3 = 5\mu c$.
מצאו את הכוח הפועל על כל מטען גודל וכיוון.

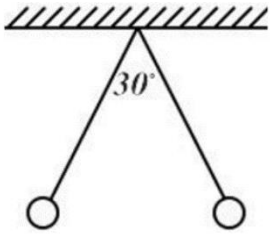


5) מטען בפינת ריבוע

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



6) שני כדורים תלויים

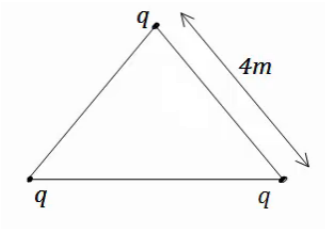


שני כדורים בעלי מסה m ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך L , הזווית בין החוטים היא 30 מעלות.
מצאו את מטען הכדורים.

7) מהירות זוויתית באטום המימן

אטום המימן מורכב מפרוטון בגרעין ואלקטרון הסובב סביב הגרעין בתנועה מעגלית ברדיוס של 0.53 אנגסטרום.
מצאו את המהירות הזוויתית של האלקטרון, אם ידוע כי מסת האלקטרון היא: $m_e = 9.1\cdot10^{-31}\text{kg}$ ומטען האלקטרון והפרוטון הוא: $q_e = -1.6\cdot10^{-19}\text{c} = -q_p$.

8) מטענים בקודקודי משולש



שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של משולש שווה צלעות.
גודל כל מטען הוא $q = 2\mu c$ ואורך צלע המשולש היא $4m$.
מצאו את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהמטענים האחרים.

תשובות סופיות:

1) $F = -2.56\cdot10^{9}\,\text{N}$, כוח המשיכה.

2) א. שניהם נעים בכיוונים הפוכים, ב- $F = 21.6\text{N}$. ב. $a_1 = -7.2\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\hat{x}$, $a_2 = 2.7\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\hat{x}$

3) א. $\theta_1 = 30.96°,\ \theta_2 = 210.96°$, $|F_1| = |F_2| = 7.94\cdot10^{-2}\text{N}$ ב. $a_1 \approx 2.65\cdot10^{-2}\frac{\text{m}}{\text{sec}}$

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

7) $\omega = \sqrt{17}\cdot10^{16}\frac{1}{\text{sec}}$

8) $\sum F = 3.897\cdot10^{-3}\text{N}$

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 בוחן – מטען מאוד קטן שבאמצעותו מודדים את השדה בנקודה בלי להשפיע על המטענים שיצרו את אותו שדה.

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

שדה של לוח אינסופי: $\vec{E} = 2\pi k\sigma\hat{z}$.
בכיוון מאונך ללא והחוצה.

שדה אחיד: $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{z}$.

$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85\cdot 10^{-12}\frac{N\cdot m^2}{c^2}$.

שאלות:

1) שדה בשתי נקודות

מטען q נמצא בראשית הצירים.

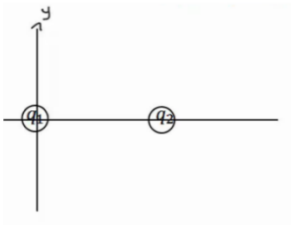
א. חשבו את השדה בנקודות $(1m,3m),(0,2m)$, אם נתון ש- $q=5c$ (גודל וכיוון).

ב. חזרו על סעיף א' אם $q=-7c$.

ג. מצאו מה יהיה הכוח על מטען $q_2=3c$ המגיע לנקודה $(1m,3m)$ עבור סעיף א'.

ד. מצאו מה יהיה הכוח על מטען $q_3=-4c$ המגיע לנקודה $(1m,3m)$ עבור סעיף א' ללא q_2.

2) חישוב שדה שקול בשלוש נקודות



מטען $q_1=5\mu c$ נמצא בראשית הצירים.

מטען $q_2=4\mu c$ נמצא במיקום $(3cm,0)$.

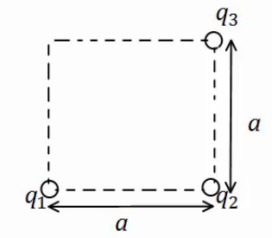
מצאו את השדה בנקודות הבאות:

א. $(5cm,0)$.

ב. $(2cm,0)$.

ג. $(2cm,1cm)$.

3) חישוב שדה שקול בפינה של ריבוע



מטענים q_1 , q_2 , q_3 נמצאים בשלוש פינותיו של ריבוע בעל צלע a.

מהו השדה בפינה הרביעית?

a , q_1 , q_2 , q_3 נתונים.

תשובות סופיות:

1) א. $\vec{E}=1.42\cdot10^9\hat{x}+4.27\cdot10^9\hat{y}$ ב. $\vec{E}=6.3\cdot10^9\hat{x}+15.75\cdot10^9(-\hat{y})$

ג. $\vec{F}=4.26\cdot10^9\hat{x}+12.81\cdot10^9\hat{y}$ ד. $\vec{F}_3=-4\cdot(1.42\cdot10^9\hat{x}+4.27\cdot10^9\hat{y})$

2) $E_{1_x}=8.05\cdot10^7$, $E_{1_y}=4.03\cdot10^7$, $E_{2_x}=-12.73\cdot10^7$, $E_{2_y}=12.73\cdot10^7$

$E_{T_x}=-4.68\cdot10^7$, $E_{T_y}=16.77\cdot10^7$

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

תנועה בשדה חשמלי אחיד:

שאלות:

1) מלוח אל לוח

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך כל צלע היא 6 ס״מ, והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ״מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה; המטען הכולל על הלוח התחתון הוא: $Q=6\cdot10^{-6}c$ והמטען הכולל על הלוח העליון זהה והפוך בסימנו.

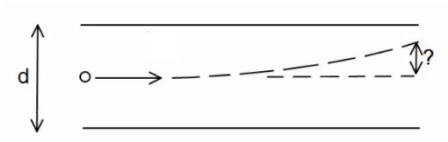
משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון: $\begin{pmatrix} q_e=-1.6\cdot10^{-19}c \\ m_e=9.1\cdot10^{-31}kg \end{pmatrix}$.

א. כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?

ב. מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?

ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון באותו הרגע?

2) חישוב סטייה



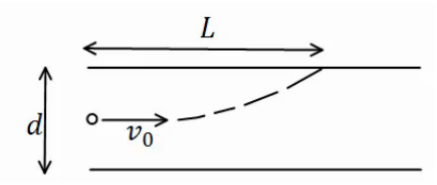
שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 5 ס״מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ״מ.
הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה.
המטען הכולל על הלוח העליון הוא: $Q=3\cdot10^{-11}c$, והמטען הכולל על הלוח התחתון זהה והפוך בסימנו.

אלקטרון נע במהירות: $v_0=2\cdot10^7\frac{m}{sec}$ במקביל ללוחות: $\begin{pmatrix} q_e=-1.6\cdot10^{-19}c \\ m_e=9.1\cdot10^{-31}kg \end{pmatrix}$.

א. מצאו את הסטייה של האלקטרון (כמה זז בציר ה- y) ברגע צאתו מן הלוחות.

ב. מהו כיוון מהירותו של האלקטרון בצאתו מן הלוחות?

3) מטען לא מזוהה



שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. המרחק בין הלוחות הוא d ואורך הצלע של כל לוח גדולה בהרבה מהמרחק בין הלוחות.
הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה, צפיפות המטען המשטחית על הלוח העליון היא σ והצפיפות על הלוח התחתון זהה והפוכה בסימנה. מטען לא מזוהה נכנס בדיוק במרכז בין הלוחות במהירות v_0 בכיוון מקביל ללוחות. המטען פוגע בלוח העליון במרחק L.

א. מצאו את סימנו של המטען, בהנחה שהצפיפות הנתונה חיובית.

ב. מצאו את היחס בין גודל המטען למסה שלו.

תשובות סופיות:

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

2) א. $y_x = 0.747\text{mm}$ ב. $\theta \approx 1.72°$

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

תנועה תחת שדות משתנים:

שאלות:

1) שדה שתלוי ב-Y בשלישית

במרחב קיים שדה חשמלי הנתון לפי הפונקציה הבאה:

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

חלקיק בעל מסה m ומטען Q נמצא בראשית ב-$t=0$ עם מהירות: $\vec{v}=v_0\hat{y}$.

ניתן להזניח את כוח הכובד.

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:

1) א. $\vec{a}=\frac{Q}{m}\vec{E}(y)$ ב. $v_x(t)=\frac{QE_0v_0^3}{ma^3}t^4$

ג. $x(t)=\frac{QE_0v_0^3}{ma^3}\frac{t^5}{5}$, $y=v_0t$, $z=0$ ד. $t=\frac{a}{v_0}$

כדורים טעונים:

רקע:

כולל $Q = pv = p_0 \frac{4\pi R^3}{3}$

כולל $Q = \int p(r) 4\pi R^2 dr$

חישוב מטען כולל עבור צפיפות שתלויה רק ב- r.

שדה של כדור מלא:

E מחוץ לכדור -

$r > R$

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

Q – המטען הכולל בכדור.

E בתוך הכדור -

$r < R$

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

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

שאלות:

1) חישוב מטען כולל בכדור

חשבו את המטען הכולל בכדור ברדיוס R אם צפיפות המטען הנפחית בכדור היא: $\rho(r)=\rho_0\frac{r^2}{R^2}$.

כאשר R ו-ρ_0 קבועים נתונים ו-r הוא המרחק ממרכז הכדור.

2) מודל למולקולת מימן

במודל למולקולת מימן יש "ענן" של מטען שלילי בצורת כדור ברדיוס R וצפיפות $-\rho_0$. בתוך הענן נעים שני פרוטונים.

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

ב. השדה החשמלי כתוצאה מצפיפות המטען השלילית במרחק r ממרכז הכדור (או ענן) הוא: $E=\frac{kq(r)}{r^2}$.

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

ג. מצאו את מיקום הפרוטונים אם נתון שהם נמצאים במנוחה.

רמז: חברו וחסרו את המשוואות. הביעו תשובתכם באמצעות: ρ_0 , R ומטען הפרוטון q_p.

ד. מצאו את המרחק בין הפרוטונים ומרחקם ממרכז הכדור אם המטען השלילי הכולל בכדור הוא $-2e$ (שני אלקטרונים) ו-$q_p=e$.

תשובות סופיות:

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

2) א. $-\rho_0\frac{4\pi r^3}{3}$

ב. $\sum F_2=q_\rho\left(\frac{kq_p}{(x_2-x_1)^2}-\frac{kp_0 4\pi x_2}{3}\right)$,

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

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

ד. מהמרכז $\frac{R}{2}$ ואחד מהשני R.

הפוטנציאל החשמלי:

רקע:

אנרגיה פוטנציאלית חשמלית:

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

עבור מטען נקודתי: $\frac{kq_1q_2}{r}$

פוטנציאל חשמלי: $U = q\varphi$

$\varphi = -\int \vec{E}d\vec{r}$

מתח: $V = \varphi_f - \varphi_i = \Delta\varphi$

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

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

שאלות:

1) חישוב מהירות ועבודה

מטען נקודתי: $q_2 = 2\mu c$ בעל מסה 4 גרם נמצא במנוחה במרחק: $d = 3m$

ממטען נקודתי: $q_1 = 1\mu c$ המקובע במקום.

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

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

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

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

ד. מה העבודה הדרושה על מנת להביא את המטען: $q_3 = 3\mu c$ מאינסוף למרחק $2m$ מהמטען q_1?

2) פוטנציאל של שדה אחיד

לוח גדול מאוד יוצר שדה אחיד במרחב: $\vec{E} = 6 \cdot 10^{-6} \frac{N}{c}\hat{x}$.

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

ב. אלקטרון מונח במנוחה במרחק: $d = 3cm$ מהלוח, לאן יתחיל לנוע האלקטרון?

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

ד. חזרו על סעיף ג' באמצעות חישובי כוחות וללא שימוש בפוטנציאל.

3) האצת יון של נתרן

יון של נתרן Na^+ מורכב מ-11 פרוטונים , 11 נויטרונים ו-10 אלקטרונים.

א. מצאו את מסת היון.

ב. מאיצים את היון ממנוחה באמצעות מתח של 500 וולט.
מה תהיה מהירות היון בסוף ההאצה?

תשובות סופיות:

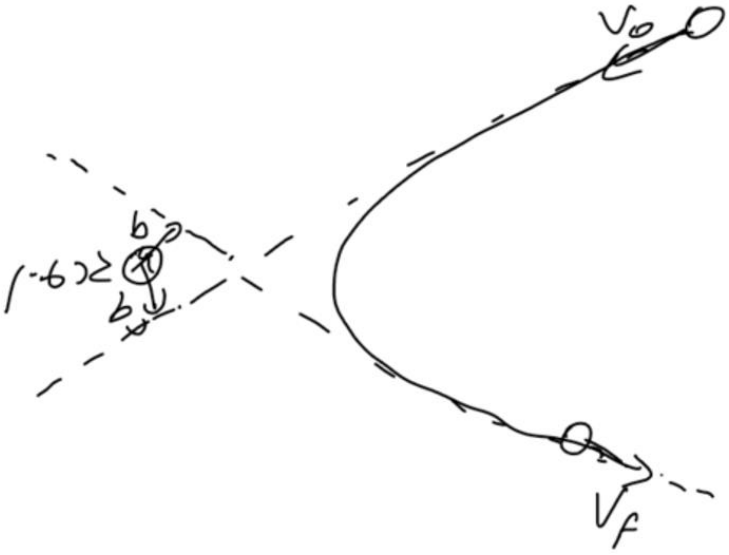
1) א. $\sqrt{3}\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ב. $\sqrt{12}\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ג. $6\cdot10^{-3}\text{J}$ ד. $13.5\cdot10^{-3}\text{J}$

2) א. $\ell(x)=-6\cdot10^{-6}x$ ב. לכיוון הלוח ג. $252\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ד. הוכחה.

3) א. $37\cdot10^{-27}\text{kg}$ ב. $6600\frac{\text{m}}{\text{sec}}$

פיזור:

רקע:



בפיזור מגרעין התנועה היא היפרבולה גם למשיכה וגם לדחייה.
b הוא פרמטר הפגיעה.
מתקיים שימור אנרגיה ותנז.
ברדיוס המינימלי המהירות מאונכת לרדיוס וניתן לחשב אותו מחוקי השימור.

השדה המגנטי, הכוח המגנטי ותנועה תחת שדה מגנטי קבוע:

רקע:

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

המטען חייב להיות בתנועה בשביל שיפעל כוח מגנטי.

הכוח תמיד מאונך לשדה המגנטי ולמהירות הגוף.

כלל יד ימין נותן את כיוון הכוח על מטען חיובי, הכוח על מטען שלילי יהיה בדיוק בכיוון ההפוך לתוצאה של כלל יד ימין.

בשדה מגנטי אחיד וללא שדה חשמלי נוצרת תנועה במעגלית או בורגית ורדיוס המעגל הוא: $R = \frac{mV_\perp}{qB}$.

שאלות:

1) חלקיק זז בשדה מגנטי

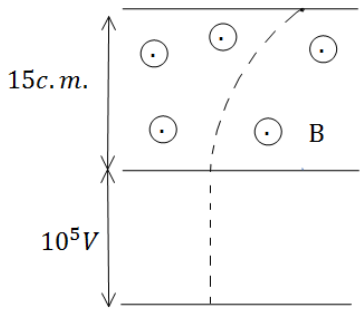
חלקיק הטעון במטען q נע במהירות $\vec{v}$ באזור בו שורר שדה מגנטי $\vec{B} = -2\hat{x} + 3\hat{y}$ טסלה.

חשבו את הכוח המגנטי שיפעל על החלקיק אם נתון:

א. $\vec{v} = 2\hat{x}+3\hat{y}$ מטר לשניה ו-$q = 2C$

ב. $\vec{v} = -\hat{x}+2\hat{z}$ מטר לשניה ו-$q = -1\mu C$

2) פרוטון פוגע במסך



פרוטון מואץ בקבל הנמצא במתח של 10^5V.
לאחר מכן הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד לפגיעתו במסך הנמצא במרחק 15c.m. מהקבל.
עוצמת השדה המגנטי היא 0.2T.

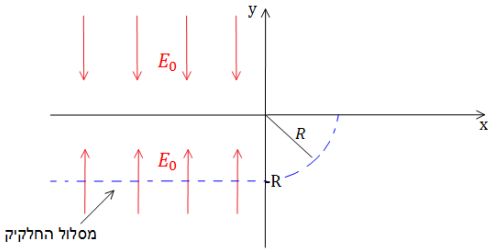
א. מצאו את המרחק האופקי שעבר הפרוטון עד לפגיעתו במסך.

ב. מצאו את הזמן עד לפגיעה במסך.

ג. 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: $\vec{E}=-E_0\hat{y}$ ומתחת לציר ה-x ($y<0$) השדה הוא: $\vec{E}=E_0\hat{y}$, ראה שרטוט.



בכל המרחב קיים גם שדה מגנטי אחיד, שכיוונו וגודלו אינם ידועים.

חלקיק בעל מסה m ומטען $|q|$ מגיע מ-$x=-\infty$ ונע בקו ישר ובמהירות קבועה.

גובה המסלול של החלקיק הוא $y=-R$.

כאשר החלקיק חוצה את ציר ה-y הוא מבצע רבע מעגל ברדיוס R (ראה ציור).

נתון: $R, m, |q|, E_0$.

א. שרטטו את המשך מסלול המטען.

ב. מה סימן המטען?

ג. מצאו את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.

ד. מצאו את המסה הדרושה על מנת לבצע אותו מסלול בשדה מגנטי הגדול פי 3 מהשדה הקיים, 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: $(0,y_0,0)$ ומהירותו באותו הזמן היא: $(v_0\sin\theta,0,v_0\cos\theta)$.

(θ היא הזווית ביחס לציר ה-x).

א. מצאו את הכוח הפועל על החלקיק כתלות ב-$t=0$.

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

ג. פתרו את משוואת התנועה ותאר את מסלול החלקיק.

תשובות סופיות:

1) א. $\vec{F}=24N\hat{z}$ ב. $\vec{F}=\left(6\hat{x}+4\hat{y}+3\hat{z}\right)\mu N$

2) א. $\Delta x=0.0315$ ב. $t=3.371\sec$ ג. $V=4.312\cdot10^{4}V$

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

ד. $m_2=qm_1$

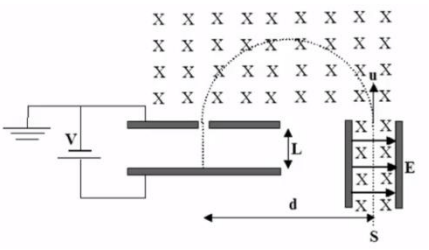
4) א. $\vec{F}=\left(-q\right)v_0B_0\cos\theta\hat{y}+\left(-q\right)E_0\hat{x}$ ב. $\vec{F}(t)=\left(-q\right)\left(v_zB_0\hat{y}-v_yB_0\hat{z}\right)+\left(-q\right)E_0\hat{x}$,

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

סיכום ותרגילים נוספים:

שאלות:

1) בורר מהירויות ומתח עצירה



חלקיקים בעלי מטען $+q$ ומסה m נפלטים ממקור S במהירויות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל.

בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד $\vec{E}$ וכיוונו ימינה ושדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ והמכוון אל תוך הדף, כמוראה בתרשים.

השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל.

במרחק d מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל, נמצא נקב קטן דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי.

על הקבל השני מופעל מתח עצירה V. ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו L.

ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על החלקיקים.

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

א. באיזו מהירות v יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?

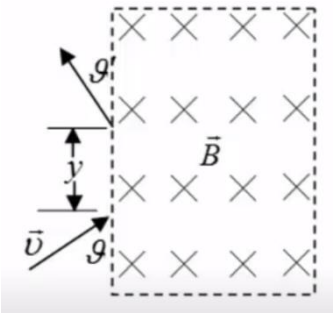
ב. מהו המרחק d (ראה ציור)?

ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?

ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V המופעל על הקבל השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?

ה. מחברים את הקבל השני לסוללה שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבתם בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

2) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

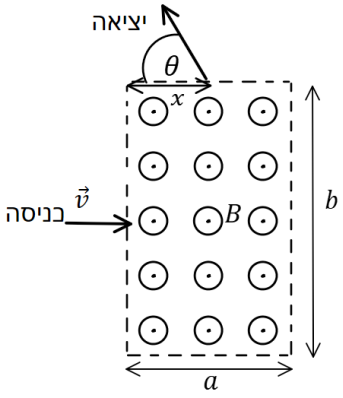


אלומות חלקיקים בעלי מסה m ומטען q נקלעות לאזור בו שורר שדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ המאונך למישור הדף במגמה פנימה. לחלקיקים אנרגיה קינטית E_k והם נכנסים לאזור המגנטי בזווית ϑ, כמתואר בציור.

א. חשבו את המרחק האנכי y אותו יעברו החלקיקים מנקודת כניסתם לאזור המגנטי ועד ליציאתם ממנו.

ב. חשבו את זווית היציאה ϑ' (ראו איור).

3) עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית



שדה מגנטי אחיד B נמצא בתחום מלבני בגודל $a\times b$.
מחוץ לתחום השדה הוא אפס. כיוון השדה החוצה מהדף.
מטען $|q|$ נכנס לתחום המלבני בדיוק במרכז המלבן,
במהירות שגודלה v וכיוונה מאונך לשפת המלבן (ראה איור).
ידוע שהמטען יוצא מהצלע העליונה של המלבן.

א. מהו סימן המטען? ומהו גודל מהירותו ביציאה?
ב. מהו המרחק x מקצה המלבן בו יוצא המטען?
ג. מהי הזווית θ של וקטור המהירות ביציאה ביחס לצלע המלבן?

4) מטען בשדה מגנטי עם משוואות דיפרנציאליות

נתון שדה חשמלי: $\vec{E}=\alpha x\hat{x}$ ושדה מגנטי קבוע ואחיד: $\vec{B}=B_0\hat{z}$.
חלקיק בעל מסה m ומטען q נמצא בראשית בזמן $t=0$.
מהירותו ההתחלתית היא: $\vec{v}=v_0\hat{x}$.
מהו מיקום החלקיק כתלות בזמן בכל אחד מהמקרים הבאים:

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

תשובות סופיות:

1) א. $\frac{E}{B}$ ב. $\frac{2mE}{qB^2}$ ג. $\frac{\pi m}{qB}$ ד. $\frac{mE^2}{2qB^2}$ ה. $\frac{2BL}{E}$

2) א. $y=\frac{\sqrt{8mE_k}\sin\vartheta}{Bq}$ ב. $\vartheta'=\vartheta$

3) א. אם כיוון הכוח הפוך לכיוון המכפלה $\vec{V}\times\vec{B}$ אז המטען שלילי.

$\vec{F}$ 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).

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

4) $\alpha=\frac{q}{m}B_0^2$: $y=\frac{1}{2}\left(-\frac{qB_0V_0}{m}\right)t^2$, $x(t)=V_0\cdot t$.

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

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