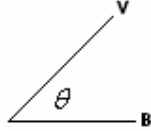


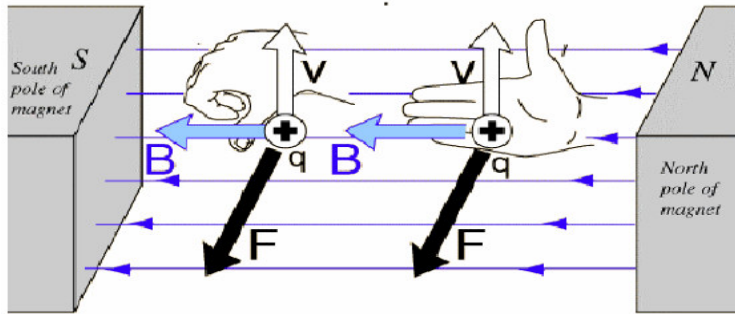
תרגול 10 בפיסיקה ב' לביוולוגים

שדה מגנטי - שדה מגנטי נוצר כאשר יש מטען התנועה (לדוגמא זרם חשמלי או אלקטרון שנע מסביב לאטום). לא נמצאה בטבע מקבילה מגנטית למטען חשמלי (כלומר לא נמצא מטען מגנטי). השדה המגנטי נמדד ביחידות של טסלה [T].

מכפלה וקטורית - מכפלה וקטורית היא מכפלה בין 2 וקטורים הנותנת וקטור (להבדיל ממכפלה סקלרית הנותנת סקלר). אם נתונים 2 וקטורים באופן:



אזי המכפלה הוקטורית $\vec{F} = \vec{V} \times \vec{B}$ נותנת וקטור שגודלו $|\vec{F}| = |\vec{V}| \cdot |\vec{B}| \sin \theta$ וכיוונו **מאוונך** למישור הנוצר על ידי 2 הוקטורים היוצרים אותו. קביעת הכיוון נקבעת על ידי הצבת האגודל בכיוון הוקטור השמאלי שאר אצבעות היד בכיוון הוקטור הימני - כיוון הוקטור הוא בכיוון כף היד הפתוחה כמתואר באיור (אם יש סימן מינוס אז הכיוון הוא הכיוון ההפוך). אם הוקטורים V ו-B מקבילים אזי המכפלה הסקלרית היא 0 מאחר ו- $\sin \theta = 0 \Rightarrow \theta = 0^\circ \text{ (or } 180^\circ)$.



כוח לורנץ - כוח לורנץ הוא נוסחא המתארת את הכוח הכולל הפועל על חלקיק טעון הנע בשדה חשמלי ובשדה מגנטי. הכוח הכולל הוא:

$$\vec{F} = \overbrace{q \cdot \vec{E}}^{\text{electric}} + \overbrace{q\vec{V} \times \vec{B}}^{\text{magnetic}}$$

Q הוא מטען החלקיק, V מהירות החלקיק, E השדה החשמלי ו-B השדה המגנטי. יש לשים לב כי גוף ניטרלי לא מרגיש שום כוח (לא מגנטי ולא חשמלי). חלקיק טעון ירגיש שדה מגנטי רק אם הוא נמצא בתנועה ורק אם לכיוון המהירות שלו יש רכיב בכיוון המאוונך לכיוון השדה המגנטי. מטען שלילי מרגיש כוח מגנטי (וחשמלי) בכיוון ההפוך למטען חיובי.

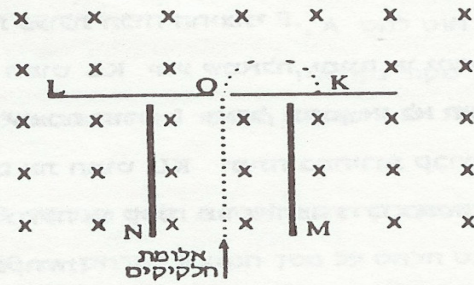
הסכמי כיוון:

- שדה היוצא ממישור הדף
- × שדה הנכנס למישור הדף

תרגיל 1:

9. בשדה מגנטי אחיד, שעוצמתו B וכיוונו "לתוך הדף", נמצא קבל טעון. בין לוחות הקבל, N ו M, הניצבים למישור הדף, שורר שדה חשמלי אחיד שעוצמתו E. אלומת חלקיקים ננסת אל בין לוחות הקבל בניצב לשדות E ו B. החלקיקים נעים בין הלוחות במסלול ישר. חלקם עוברים דרך חריר O שבחיץ L, ולאחר מכן פוגעים בחיץ בנקודה K (ראה תרשים). מטענו של כל חלקיק הוא q ומסתו m.

לוחות הגרביטציה הפועלים על החלקיקים ניתנים להזנחה.



- האם מטען החלקיקים הוא חיובי או שלילי נמק. (5 נקודות)
- מה כיוון השדה החשמלי נמק. (5 נקודות)
- בטא את המרחק OK באמצעות q, m, B, E. (13 נקודות)
- רוצים שהחלקיקים יפגעו בחיץ בנקודה קרובה יותר לחריר O (כלומר רוצים להקטין את OK). ניתן לשנות אך ורק את עוצמות השדות E ו B (ולא, למשל, את מהירות החלקיקים). מה יש לעשות לשם כך? הסבר. (10 נקודות)

פתרון:

א. לפי כיוון התנועה המעגלית בשדה המגנטי המטענים הם מטענים שליליים, כי כיוון הכח על מטען חיובי הוא שמאלה, ועל מטען שלילי הוא ימינה.

ב. כיוון השדה החשמלי הוא ימינה מ-N ל-M. הכח המגנטי מפעיל על המטענים השליליים כח ימינה, כך שהשדה החשמלי מפעיל כח שמאלה לביטול הכח המגנטי בין הלוחות. מכיוון שהכח הפועל על מטענים שליליים בשדה חשמלי הוא בכיוון הפוך לכיוון השדה החשמלי - כיוון השדה החשמלי הוא ימינה מ-N ל-M.

ג. מהירות הכניסה אל המסלול המעגלי היא המהירות המאפשרת תנועה בקו ישר בין השדות החשמלי והמגנטי על ידי ביטול שני הכוחות.

$$q \cdot v \cdot B = q \cdot E \implies v = \frac{E}{B}$$

סיבוב בשדה מגנטי נוצר בגלל שהכח המגנטי הוא הכח הצנטריפטלי:

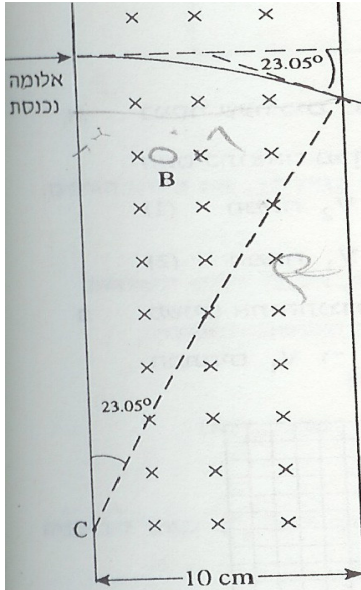
$$q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R} \implies R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} = \frac{m \cdot E}{q \cdot B^2}$$

המרחק OK הוא הקוטר של תנועת המטען, לכן: $OK = 2 \cdot R = \frac{2 \cdot m \cdot E}{q \cdot B^2}$

ד. רדיוס הסיבוב נקבע על פי השדה המגנטי: $R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$ לכן אם רוצים

שרדיוס המסלול יהיה קטן יותר צריך להגדיל את השדה המגנטי. בו זמנית, כדי שהמטענים ימשיכו לנוע בקו ישר בין הלוחות צריך להגדיל באותו היחס את השדה החשמלי.

תרגיל 2:



9. אלומת חלקיקים בעלי אנרגיה של 2 MeV ($3.2 \times 10^{-13} \text{ J}$) נכנסת לשדה מגנטי אחיד ברוחב 10 cm , שעוצמתו 0.8 T וכיוונו לתוך הדף. האלומה נעה לאורך קשת של מעגל שמרכזו C, ויוצאת מהשדה כשהיא מוטה בזווית של 23.05° ביחס לכיוונה המקורי (ראה תרשים).
 א. (1) האם האנרגיה הקינטית של חלקיק באלומה משתנה בעקבות מעברו דרך השדה המגנטי? נמק. (6 נקודות)
 (2) האם התנע של חלקיק באלומה משתנה בעקבות מעברו דרך השדה המגנטי? נמק. (6 נקודות)

ב. נתון כי מטען כל חלקיק באלומה זהה למטען האלקטרון.
 (1) חשב את רדיוס המסלול המעגלי של חלקיק באלומה. (2 נקודות)
 (2) חשב את מסת החלקיק. (14 נקודות)
 (3) חשב את זמן התנועה של החלקיק בשדה המגנטי. ($5 \frac{1}{3}$ נקודות)

פתרון:

א. (1) האנרגיה הקינטית של חלקיק באלומה לא משתנה מכיוון שגודל המהירות לא משתנה בתנועה בשדה מגנטי.
 (2) התנע הקווי של החלקיק כן משתנה מכיוון שכיוון המהירות משתנה ולכן גם משתנה כיוון התנע הקווי (גודל התנע הקווי נשאר קבוע אבל כיוונו משתנה).

ב. (1) מן הגיאומטריה שבשרטוט:

$$\frac{0.1}{R} = \sin(23.05^\circ)$$

$$R = \frac{0.1}{\sin(23.05^\circ)} = 0.2554 \text{ m}$$

(2) מהירות החלקיקים תלויה באנרגיה שהיתה להם:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad 3c v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_K}{m}}$$

רדיוס הסיבוב תלוי במסה ובמהירות:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} = \frac{m}{q \cdot B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_K}{m}} = \frac{\sqrt{2 \cdot E_K \cdot m}}{q \cdot B}$$

$$m = \frac{q^2 \cdot B^2 \cdot R^2}{2 \cdot E_K} = \frac{(-1.6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 0.8^2 \cdot 0.2554^2}{2 \cdot 3.2 \cdot 10^{-13}} = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

חלקיק זה שמסתו זהה למסת הפרוטון ומטענו הוא שלילי נקרא אנטי-פרוטון.

$$\theta = 23.05 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360} = 0.402 \text{ Rad} \quad (3)$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{m}{q \cdot B}$$

$$t = \frac{\theta}{2 \cdot \pi} \cdot T = \frac{\theta \cdot m}{q \cdot B} = \frac{0.402 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27}}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 0.8} = 5.25 \cdot 10^{-9} \text{ sec}$$