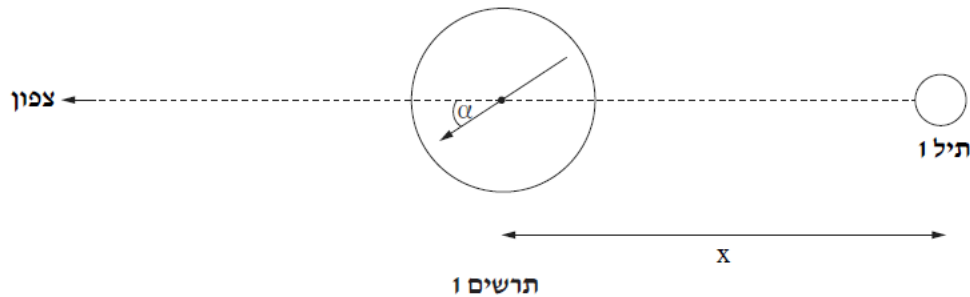


4. קבוצת תלמידים ערכה מדידות למציאת הרכיב האופקי $B_{E\parallel}$ של השדה המגנטי הארצי באזור מגוריהם. הם הניחו מצפן קטן על שולחן ומתחו תיל מוליך ישר וארוך, תיל 1, בניצב למישור השולחן. המרחק בין המצפן לתיל מסומן ב- x . התלמידים הזיזו את המצפן לאורך קו שכיוונו צפונה ממיקום התיל. תרשים 1 מתאר במבט מלמעלה את התיל הניצב לשולחן ואת סטיית מחט המצפן כאשר זרם I_1 כלשהו זורם בתיל.



- במהלך הניסוי סטתה מחט המצפן בזווית α נגד כיוון השעון, כמתואר בתרשים 1.
- א. קבעו אם כיוון הזרם, I_1 , הזורם בתיל 1, הוא לתוך הדף או החוצה מן הדף. נמקו את קביעתכם. (4 נקודות)
- ב. פתחו ביטוי של $\tan \alpha$ כפונקצייה של המרחק x ושל הפרמטרים μ_0 , I_1 , $B_{E\parallel}$. (6 נקודות)

התלמידים העבירו בתיל זרם שעוצמתו $I_1 = 8A$ ושינו את המרחק x בין המצפן לבין התיל כמה פעמים. בכל פעם הם מדדו את זווית הסטייה α וחישבו את $\tan \alpha$. תוצאות המדידות והחישובים מוצגות בטבלה שלפניכם.

$x(m)$	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
α°	29	20	16	13	9
$\tan \alpha$	0.55	0.36	0.29	0.23	0.16

- כדי לחשב את $B_{E\parallel}$ סרטטו התלמידים גרף של $\tan \alpha$ כפונקצייה של משתנה חדש כך שהתקבל גרף ליניארי.
- ג. קבעו מהו המשתנה החדש, ומה הן היחידות שלו. העתיקו מן הטבלה למחברתכם את השורה של $\tan \alpha$, הוסיפו מתחתיה שורה ורשמו בה את הערכים והיחידות של המשתנה החדש. (4 נקודות)
- ד. (1) סרטטו במחברתכם דיאגרמת פיזור (נקודות במערכת צירים) של $\tan \alpha$, כפונקצייה של המשתנה החדש. (2) הוסיפו לדיאגרמת הפיזור את הישר המתאים לה ביותר (קו מגמה). (8 נקודות)
- ה. חשבו את $B_{E\parallel}$. (7 נקודות)

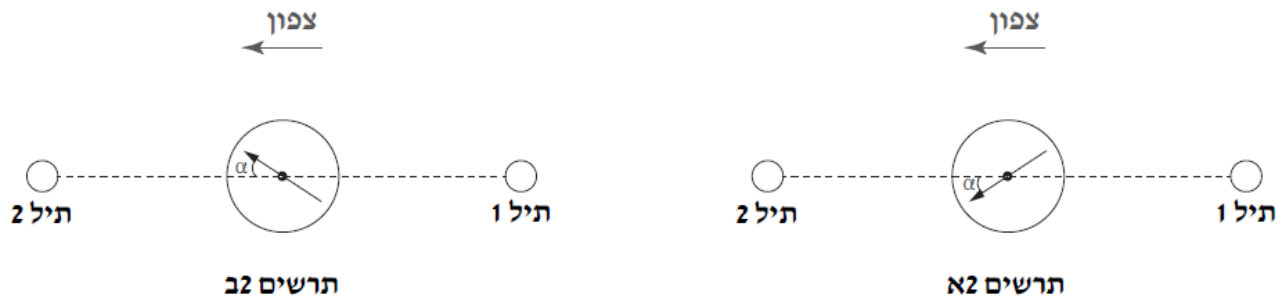
(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

התלמידים מתחו עוד תיל מוליך ישר וארוך בניצב למישור השולחן, תיל 2. הם הציבו את המצפן על הקו הישר המחובר בין שני התילים, במרחק שווה משני התילים.

התלמידים העבירו בתיל 1 זרם שעוצמתו $I_1 = 5A$.

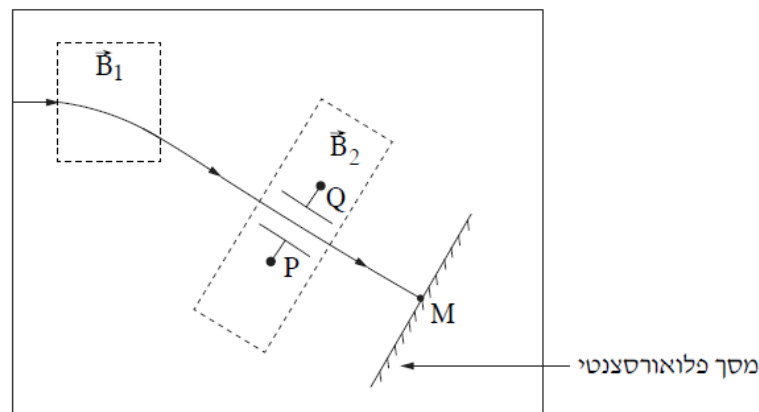
כאשר בתיל 2 לא עבר זרם, סטתה מחט המצפן מן הציר דרום-צפון בזווית α נגד כיוון השעון (ראו תרשים א2, במבט מלמעלה).

כאשר בתיל 2 עבר זרם שעוצמתו I_2 , סטתה מחט המצפן באותה זווית α עם כיוון השעון (ראו תרשים ב2, במבט מלמעלה).



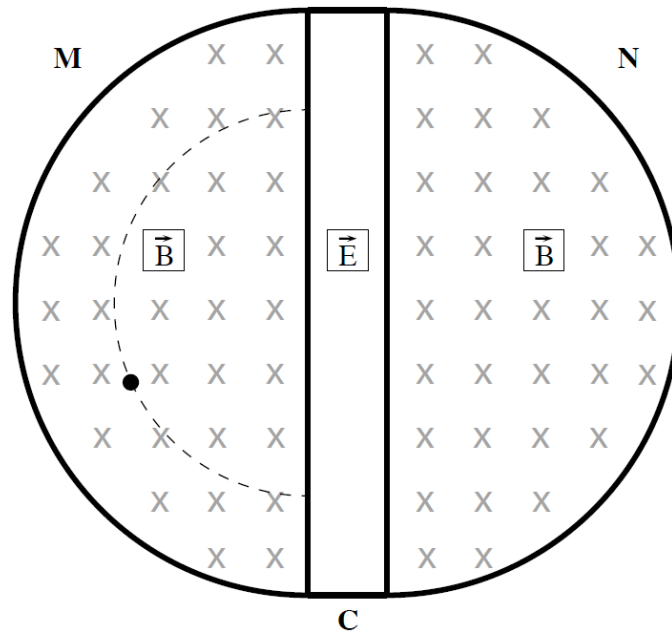
ו. קבעו מהו כיוון הזרם בתיל 2, ומהי עוצמתו, I_2 . נמקו את תשובותיכם. ($4\frac{1}{3}$ נקודות)

5. בתרשים שלפניכם מתואר מסלול תנועה של אלומת פרוטונים עד לפגיעתה במסך פלואורסצנטי, שבו נוצרת נקודת אור. בדרכה אל המסך האלומה עוברת דרך שני אזורים שבהם שוררים שדות שונים. בתחילת המסלול האלומה נכנסת במהירות שגודלה $v = 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ לאזור שבו שורר שדה מגנטי אחיד $\vec{B}_1$ שעוצמתו 0.12T וכיוונו ניצב למישור הדף. כיוון המהירות מאונך לכיוון השדה המגנטי. אלומת הפרוטונים יוצאת מן האזור שבו שורר השדה המגנטי בזווית כלשהי ביחס לכיוון כניסתה (ראו תרשים).
- בדרכה אל המסך, האלומה עוברת בין שני לוחות מתכת מקבילים P ו- Q המחוברים לספק מתח. בין שני הלוחות שוררים שדה חשמלי אחיד $\vec{E}$ ושדה מגנטי אחיד $\vec{B}_2$. האלומה עוברת בין שני הלוחות בלי לשנות את כיוונה, והיא ממשיכה לנוע בקו ישר עד שהיא פוגעת במסך בנקודה M . המסך ניצב לכיוון מסלול התנועה של אלומת הפרוטונים ביציאתה מן השדה המגנטי $\vec{B}_1$. המערכת כולה נמצאת בתא מרוקן מאוויר. בשאלה כולה יש להזניח את כוח הכבידה.



- א. (1) קבעו מהו הכיוון של השדה המגנטי $\vec{B}_1$ – לתוך הדף או החוצה מן הדף.
 (2) חשבו את רדיוס מסלול התנועה של הפרוטונים באזור שבו שורר השדה $\vec{B}_1$. (8 נקודות)
- נתון: הפרש הפוטנציאלים בין הלוחות המקבילים P ו- Q הוא $\Delta V = 800\text{V}$, והמרחק בין הלוחות הוא $\Delta x = 5\text{cm}$.
 כיוון השדה המגנטי $\vec{B}_2$ זהה לכיוון השדה המגנטי $\vec{B}_1$.
- ב. חשבו את הגודל של השדה החשמלי $\vec{E}$ בין שני הלוחות, וצינו מהו כיוונו – מן הלוח P ללוח Q או להפך. (8 נקודות)
- ג. חשבו את הגודל של השדה המגנטי $\vec{B}_2$. (8 נקודות)
- מפסיקים את פעולת השדה המגנטי $\vec{B}_2$ ובעקבות זאת אלומת הפרוטונים משנה את כיוון מסלולה. היא יוצאת מבין הלוחות בלי לפגוע בהם, ופוגעת במסך בנקודה אחרת ולא בנקודה M .
- ד. קבעו אם כעת גודל המהירות של הפרוטונים ברגע פגיעתם במסך קטן מגודל המהירות של הפרוטונים ברגע פגיעתם במסך בנקודה M , גדול ממנו או שווה לו. נמקו את קביעתכם. (5 נקודות)
- ה. קבעו אם לאחר הפסקת הפעולה של השדה המגנטי $\vec{B}_2$, זמן התנועה של הפרוטונים קטן מזמן התנועה של הפרוטונים כאשר השדה פעל, גדול ממנו או שווה לו. נמקו את קביעתכם. ($4\frac{1}{3}$ נקודות)

4. בתרשים 1 מתוארת מערכת להאצת חלקיקים טעונים המכונה ציקלוטרון. המערכת מורכבת משני חצאי עיגול, M ו- N , המופרדים זה מזה באזור מלבני C . בכל אחד מחצאי העיגול החלקיקים נעים בהשפעת שדה מגנטי $\vec{B}$ שגודלו קבוע. כיוון השדה המגנטי לתוך הדף, והוא ניצב למסלול תנועת החלקיקים. באזור המלבני C אין שדה מגנטי, אך קיים בו שדה חשמלי $\vec{E}$ שגודלו קבוע. כיוון השדה החשמלי מקביל לכיוון תנועת החלקיקים בתוך האזור המלבני C , והופך את כיוונו בכל פעם שהחלקיקים משלימים חצי הקפה. כך השדה החשמלי מאיץ את החלקיקים בכל מעבר שלהם בין שני חצאי העיגול M ו- N . בתרשים מתואר חלקיק וקטע ממסלול תנועתו.



תרשים 1

א. (1) הסבירו מדוע תנועת החלקיקים בשני חצאי העיגול היא מעגלית (בקירוב), ומדוע רדיוס הסיבוב שלה הולך וגדל.

(2) קבעו אם פרוטון הנע בשדה המגנטי המתואר, נע בכיוון השעון או נגד כיוון השעון.

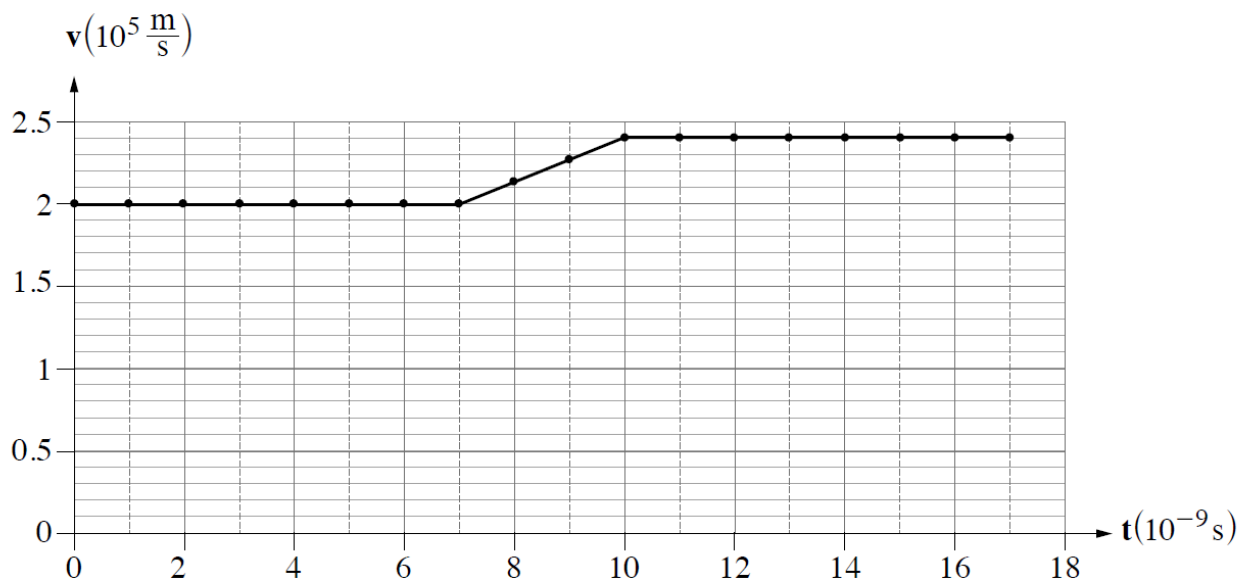
(8 נקודות)

ב. הוכיחו כי זמן התנועה של פרוטון בחצי העיגול M שווה לזמן התנועה שלו בחצי העיגול N . (6 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

באחד הניסויים במערכת להאצת החלקיקים המתוארת, מדדו חוקרים את מהירותו של פרוטון כפונקציה של הזמן, מרגע כניסתו לחצי העיגול M , דרך תנועתו באזור השדה החשמלי C ועד ליציאתו מחצי העיגול N . מנתוני המדידות סרטטו החוקרים גרף המתאר את גודל מהירות הפרוטון כפונקצייה של הזמן, כמתואר בתרשים 2 (שימו לב ליחידות המידה בשני הצירים).

גודל מהירות הפרוטון כפונקציה של הזמן



תרשים 2

נתון: מסת פרוטון היא $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

ג. חשבו באמצעות הגרף את הגודל של השדה המגנטי $\vec{B}$. (6 נקודות)

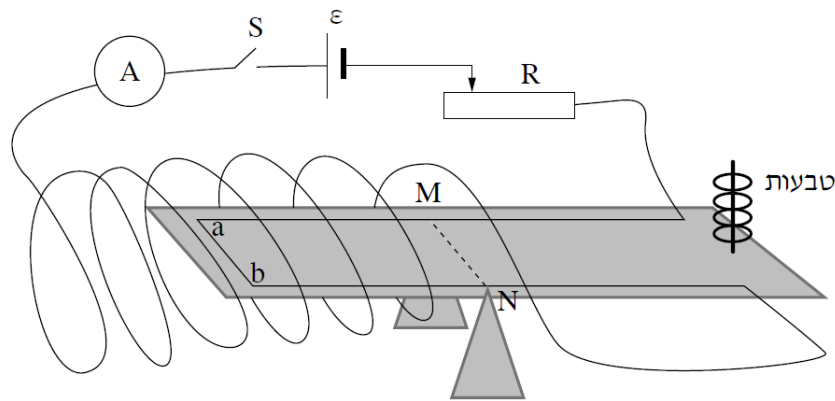
ד. חשבו באמצעות הגרף את הגודל של השדה החשמלי $\vec{E}$. (7 נקודות)

ה. F_1 הוא גודל הכוח הרדיאלי שפעל על הפרוטון ברגע כניסתו לחצי העיגול M .

F_2 הוא גודל הכוח הרדיאלי שפעל על הפרוטון ברגע כניסתו לחצי העיגול M בפעם הבאה.

קבעו אם F_1 גדול מ- F_2 , קטן ממנו או שווה לו. נמקו את קביעתכם. (6 $\frac{1}{3}$ נקודות)

5. נתונה מערכת למדידת המסה של גופים קטנים (מאזני זרם). המערכת מורכבת מסילונית שהאורך שלה הוא L ומספר הכריכות שלה הוא N , לוחית מבודדת מלבנית שלאורך שלוש מצלעותיה צמוד תיל מוליך, מקור מתח אידיאלי ε , נגד משתנה R , מפסק S , מד-זרם אידיאלי, תילים מוליכים אידיאליים וכמה טבעות זהות עשויות חומר מבודד. באמצעות המערכת מבקשים למדוד את המסה של טבעת, m_0 . מכניסים לתוך הסילונית חלק מן הלוחית שלאורך צלעותיה צמוד התיל, במצב שבו היא מאוזנת אופקית. את קצות התיל שצמוד ללוחית מחברים בטור לסילונית. הלוחית חופשית לנוע סביב הציר MN שעובר במרכזה, כמתואר בתרשים.



במצב ההתחלתי המפסק S פתוח, לא זורם זרם במערכת, והלוחית מאוזנת אופקית. סוגרים את המפסק, ועל קטע התיל המוליך המונח לרוחב הלוחית, שאורכו ℓ_{ab} (ראו תרשים), פועל כוח F_B שגורם ללוחית לצאת ממצבה המאוזן אופקית. מניחים טבעת אחת על קצה הלוחית שנמצא מחוץ לסילונית, ובאמצעות הנגד המשתנה משנים את עוצמת הזרם במעגל עד שהכוח המגנטי מאזן את הכוח שהטבעת מפעילה על הלוחית, והלוחית חוזרת למצב מאוזן אופקית.

- א. קבעו מהו הכיוון של השדה המגנטי שנוצר בסילונית לאחר סגירת המפסק – משמאל לימין או מימין לשמאל. (4 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

חוזרים על המדידות כמה פעמים ובכל פעם מניחים על הלוחית טבעת נוספת, משנים את עוצמת הזרם עד לחזרת הלוחית למצב אופקי, ורושמים את עוצמת הזרם ואת ריבוע עוצמת הזרם. תוצאות הניסוי מוצגות בטבלה שלהלן.

מספר הטבעות K	I (A)	I ² (A ²)
1	4.0	16.0
2	5.0	25.0
3	6.5	42.3
4	7.5	56.3
5	8.5	72.3

ב. בטאו את הגודל של הכוח המגנטי F_B הפועל על קטע התיל ab , כפונקצייה של עוצמת הזרם I (השתמשו בפרמטרים $(I, N, L, \ell_{ab}, \mu_0)$). (6 נקודות)

ג. בטאו את ריבוע עוצמת הזרם (I^2) כפונקצייה של מספר הטבעות (K) שהונחו על הלוחית. (6 נקודות)

ד. על פי התוצאות המוצגות בטבלה:

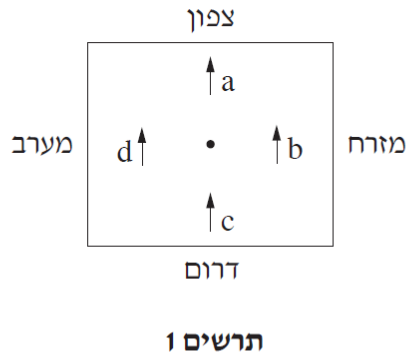
(1) סרטטו דיאגרמת פיזור (נקודות במערכת צירים) של ריבוע עוצמת הזרם (I^2) כפונקצייה של מספר הטבעות (K).

(2) הוסיפו לדיאגרמת הפיזור את הישר המתאים לה ביותר (קו מגמה). (7 נקודות)

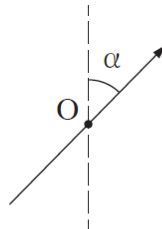
נתון: $N = 2500$, $L = 25 \text{ cm}$, $\ell_{ab} = 2.8 \text{ cm}$.

ה. על פי הערך של שיפוע הגרף, חשבו את המסה של טבעת, m_0 . (5 נקודות)

4. תלמיד במגמת פיזיקה רצה למדוד את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_{E\parallel}$, באזור מגוריו. לשם כך הוא התקין מערכת ניסוי: הוא השחיל תיל מוליך ארוך וישר דרך נקב שבמרכז שולחן, ומתח אותו כך שהתיל היה ניצב למישור השולחן. על השולחן הוא מיקם ארבעה מצפנים a, b, c, d , כל אחד במרחק r מהתיל, לפי הכיוונים המוצגים בתרשים 1 שלפניך.
- תרשים 1 הוא מבט מלמעלה על המערכת, ובו רואים את החתך של התיל ואת הכיוונים של מחטי המצפנים כאשר לא עבר זרם בתיל.



כאשר התלמיד הזרים בתיל זרם שכיוונו אינו נתון ועוצמתו $I = 8.5 \text{ A}$, המחט של מצפן a הסתובבה עם כיוון השעון, והתייצבה בזווית α (ראה תרשים 2).



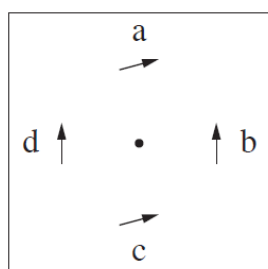
תרשים 2

- א. העתק את תרשים 2 למחברתך, וסמן בנקודה O את הכיוונים של השדות המגנטיים הפועלים על המחט של מצפן a : את כיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_{E\parallel}$, ואת כיוון השדה המגנטי, B_I , שיוצר הזרם. (6 נקודות)
- ב. קבע אם כיוון הזרם בתיל היה מעלה ("החוצה מן הדף") או מטה ("אל תוך הדף"). נמק את קביעתך. (6 נקודות)
- ג. בטא את $\tan(\alpha)$ כפונקציה של I באמצעות r , $B_{E\parallel}$ ו- μ_0 . (6 נקודות)
- נתון: $r = 10 \text{ cm}$, $\alpha = 37^\circ$.
- ד. חשב, בעזרת הביטוי שפיתחת בסעיף ג, את גודלו של הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_{E\parallel}$, באזור מגוריו של התלמיד. (5 נקודות)
- (שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

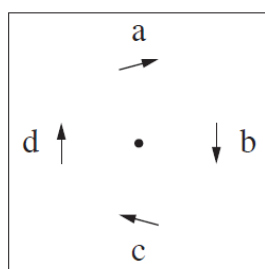
התלמיד רצה לבחון את הכיוונים שבהם יתייצבו מחטי המצפנים בעקבות מעבר זרם בתיל. לשם כך הוא הגדיל בהדרגה את עוצמת הזרם I עד ערך מסוים והרעיד מעט את השולחן שהמצפנים היו מונחים עליו.

נתון כי במצפן a המחט התייצבה בזווית α והיא שווה כעת 55° .

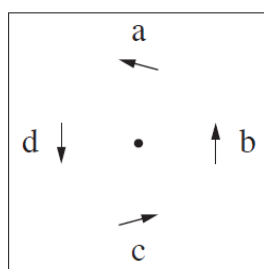
ה. לפניך ארבעה תרשימים 1-4, רק אחד מהם מתאר נכון את כיווני המחטים של כל המצפנים.



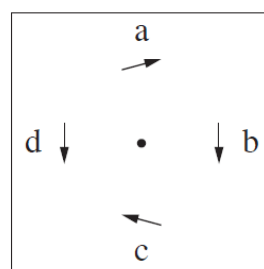
1



2



3

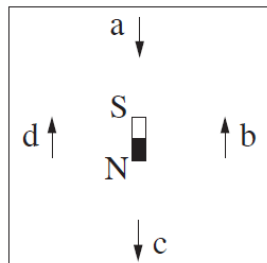


4

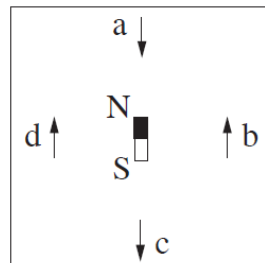
קבע איזה מן התרשימים הוא הנכון. נמק את קביעתך. (6 נקודות)

במקרה אחר התלמיד הסיר את התיל והניח במרכז השולחן מגנט מוט.

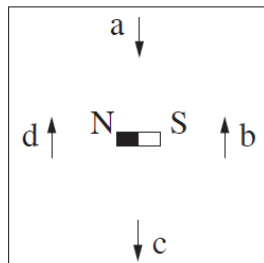
ו. לפניך ארבעה תרשימים 1-4, רק אחד מהם מתאר נכון את כיווני המחטים של כל המצפנים ואת מגנט המוט.



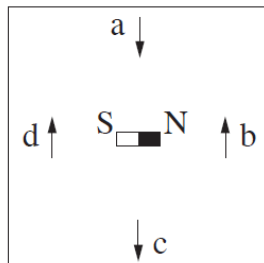
1



2



3



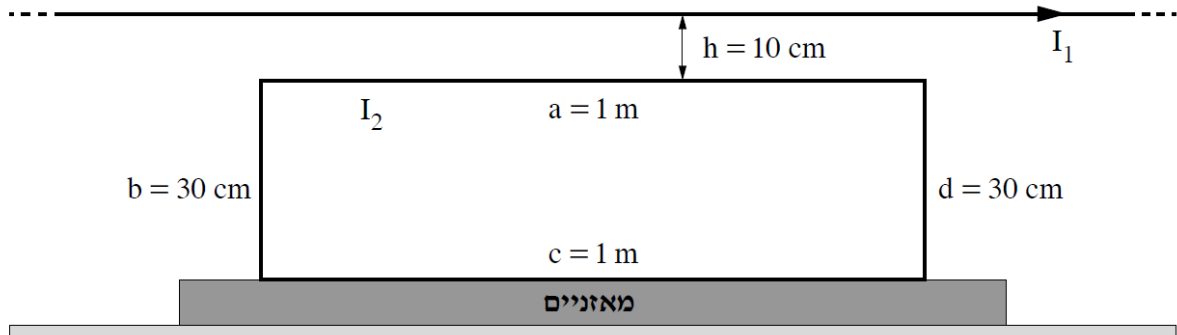
4

קבע איזה מן התרשימים הוא הנכון. (4 $\frac{1}{3}$ נקודות)

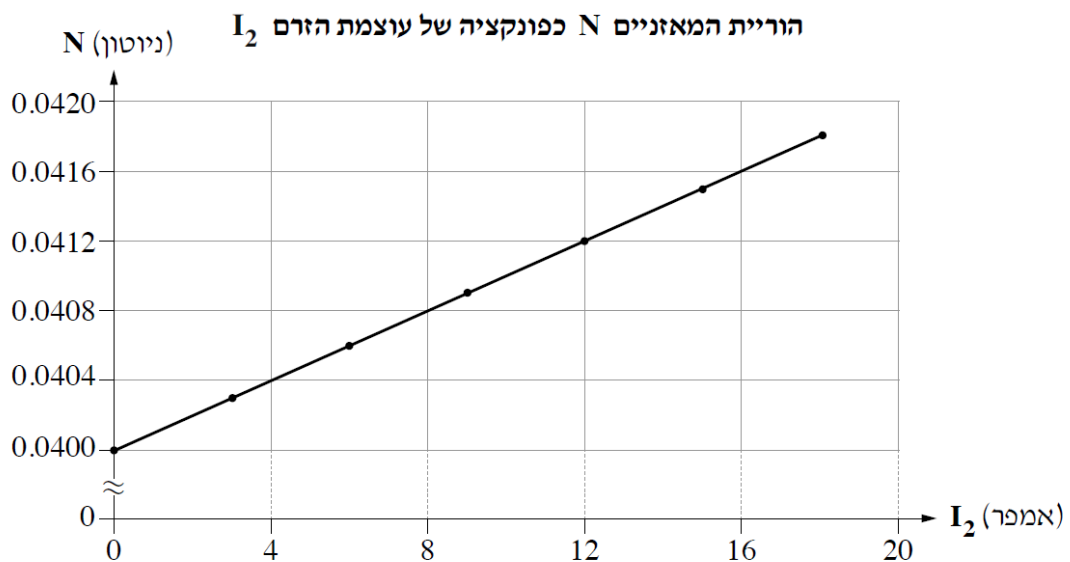
4. תלמידה ערכה ניסוי באמצעות המערכת המוצגת בתרשים שלפניך. המערכת בנויה מכריכה מלבנית מוליכה המונחת על מאזניים. מישור הכריכה מאונך לפני המאזניים.

אורכי הצלעות של הכריכה $a = c = 1 \text{ m}$ ו- $b = d = 30 \text{ cm}$. מסת הכריכה, m , אינה נתונה.

בגובה $h = 10 \text{ cm}$ מעל הצלע a של הכריכה מתוח תיל מוליך ישר וארוך מאוד ביחס לצלעות הכריכה. התיל מקביל לצלעות a ו- c של הכריכה. בתיל הישר זורם זרם שעוצמתו I_1 וכיוונו ימינה (ראה תרשים).



מהלך הניסוי: התלמידה העבירה בכריכה כמה זרמים בזה אחר זה. כל אחד מן הזרמים היה בעוצמה אחרת אך כולם באותו הכיוון (כיוון זה אינו נתון). בכל מדידה קראה התלמידה את עוצמת הזרם בכריכה, I_2 , ואת הורייט המאזניים, N . בכל מהלך הניסוי לא השתנו המרחקים הנתונים ועוצמת הזרם בתיל, I_1 . הצגת תוצאות המדידות: על פי תוצאות המדידות התלמידה סרטטה גרף המתאר את הורייט המאזניים, N , כפונקציה של עוצמת הזרם בכריכה, I_2 .



(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

בשאלה זו יש להזניח את השפעת השדה המגנטי של כדור הארץ.

א. (1) מהו הכיוון של הכוח המגנטי **השקול** הפועל על הכריכה? נמק את תשובתך.

(2) קבע אם גודל הכוח המגנטי הפועל על צלע a קטן מגודל הכוח המגנטי הפועל על צלע c , גדול ממנו או שווה לו. נמק את קביעתך.

(8 נקודות)

ב. (1) מהו הכיוון של הזרם I_2 בצלע a – ימינה או שמאלה? נמק את תשובתך.

(2) סרטט במחברתך את הכריכה המלבנית. על כל אחת מצלעות הכריכה סמן את הכיוון של הכוח המגנטי שהשדה המגנטי שמקורו ב- I_1 מפעיל עליה.

(7 נקודות)

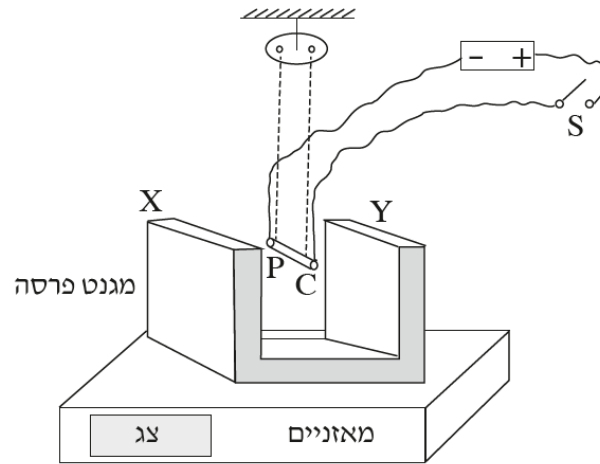
ג. בטא את הוריית המאזניים, N , כפונקציה של עוצמת הזרם בכריכה, I_2 .

השתמש בקבועים: $a, b, h, m, g, I_1, \mu_0$. (7 נקודות)

ד. חשב את m , מסת הכריכה. (5 נקודות)

ה. חשב את עוצמת הזרם בתיל, I_1 . ($6\frac{1}{3}$ נקודות)

4. בתרשים 1 שלפניך מתוארת מערכת למדידת שדה מגנטי של מגנט פרסה. במערכת זו מוט מוליך PC תלוי בין הקוטב X לקוטב Y של מגנט הפרסה ובמקביל אליהם. המוט PC הוא חלק ממעגל חשמלי שבו מקור מתח, מפסק S ותילי הולכה אידיאליים. מסת המגנט היא m , והוא מוצב על מאזניים דיגיטליים. בין קוטבי המגנט קיים שדה מגנטי אחיד B.

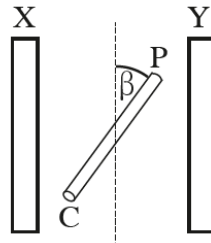


תרשים 1

- בפתרון השאלה יש להזניח את השדה המגנטי של כדור הארץ ואת הכוחות הפועלים על התילים. כאשר סוגרים את המפסק S, זורם זרם I במוט PC והוריית המאזניים גדלה.
- א. קבע מהו כיוון הכוח שהשדה המגנטי מפעיל על המוט PC: כלפי מעלה או כלפי מטה. נמק את קביעתך. (5 נקודות)
- ב. קבע מהו כיוונו של השדה המגנטי: $X \rightarrow Y$ או $Y \rightarrow X$. פרט את שיקוליך. (5 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

במהלך ניסוי מסובבים את המוט PC במישור אופקי ובזווית β ביחס למיקומו ההתחלתי (ראה תרשים 2, במבט מלמעלה). במהלך הניסוי זורם דרך המוט זרם קבוע $I = 15A$. אורך המוט PC הוא $\ell = 4cm$. בעבור זוויות β שונות מודדים את הוריית המאזניים F ביחידות ניוטון (N).



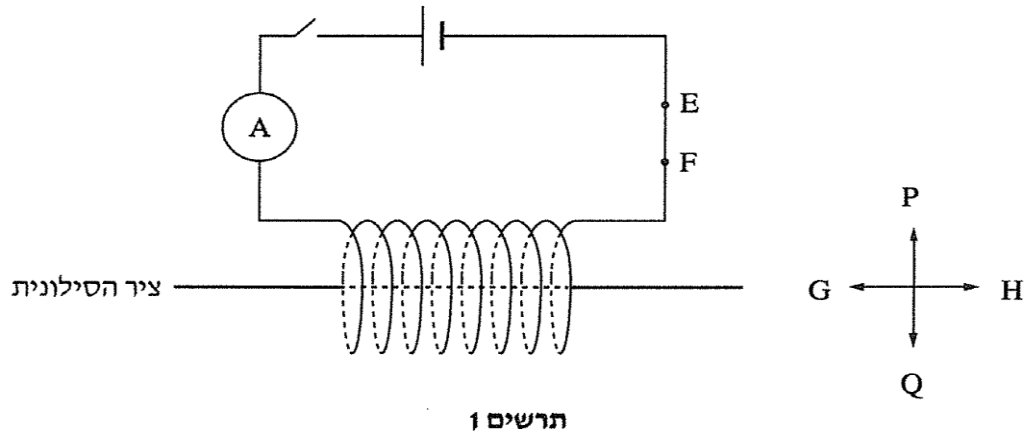
תרשים 2

בטבלה שלפניך מוצגות כמה מתוצאות הניסוי:

$\beta(^{\circ})$	0	36	48	72	90	120
$\cos \beta$	1	0.81	0.67	0.31	0	-0.5
F(N)	0.88	0.80	0.70	0.56	0.40	0.18

- ג. סרטט במחברתך גרף המתאר את הוריית המאזניים F כפונקציה של $\cos \beta$. (8 נקודות)
- ד. בטא באמצעות הפרמטרים B, ℓ, I, m, g (גודל תאוצת הנפילה החופשית) את הקשר בין הוריית המאזניים F לבין $\cos \beta$. (6 נקודות)
- ה. חשב בעזרת הגרף והביטוי שפיתחת את הגודל של השדה המגנטי B. (5 נקודות)
- ו. חשב את מסת המגנט, m. ($4\frac{1}{3}$ נקודות)

4. בתרשים 1 שלפניך מתואר מעגל חשמלי שמורכב ממקור מתח, סילוניית (ארוכה), מד-זרם, מפסק ותילים.

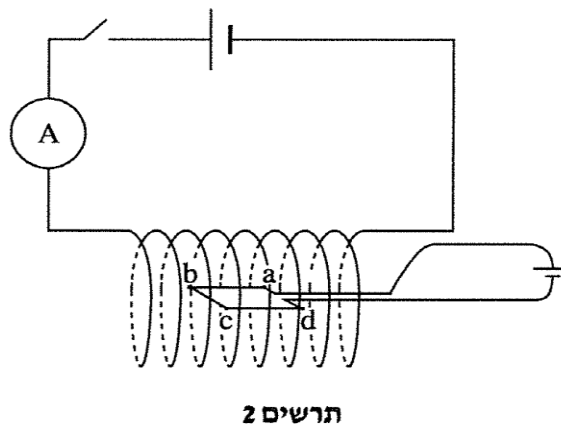


סגרו את המפסק ובסילוניית זורם זרם I_1 .

- א. (1) קבע מהו כיוון הזרם במעגל: מ- E ל- F או מ- F ל- E.
 (2) קבע מהו הכיוון של השדה המגנטי, B_1 , בתוך הסילוניית: P, Q, H או G (ראה את סימון החיצים בתרשים 1).
 נמק את קביעתך.

(8 נקודות)

הכניסו לתוך הסילוניית מסגרת ריבועית מוליכה abcd כמתואר בתרשים 2, שדרכה זורם זרם I_2 . הצלע cd של המסגרת מקבילה לציר הסילוניית.

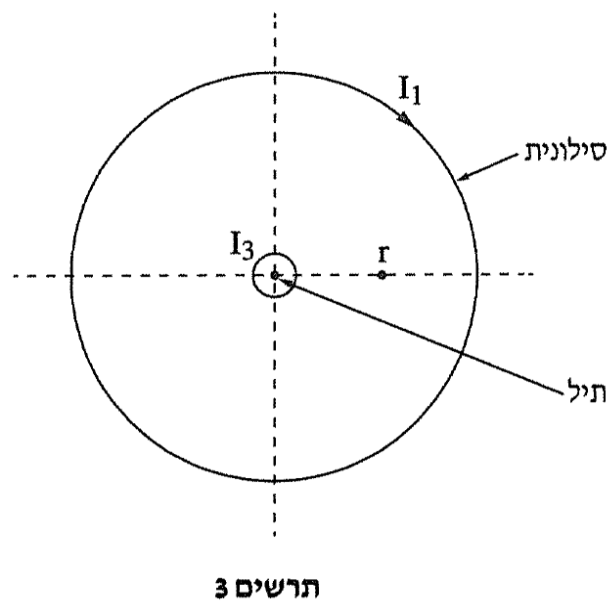


נתון: צפיפות הליפופים של הסילוניית היא 6,000 ליפופים למטר, $I_1 = 0.1A$, $I_2 = 20A$, אורך צלע המסגרת abcd הוא 4 cm.

- ב. חשב את הכוח המגנטי (גודל וכיוון) הפועל על כל אחת מן הצלעות ab, bc. פרט את שיקוליך.
 (11 $\frac{1}{3}$ נקודות)

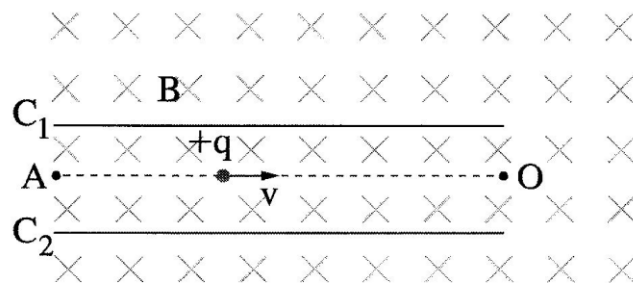
(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

הוציאו את המסגרת מן הסילוניית והניחו לאורך ציר הסילוניית תיל מוליך ארוך מאוד שזורם בו זרם $I_3 = 20\text{A}$. לפניך תרשים של הסילוניית והתיל במבט מן הצד (חתך רוחב), כיוון הזרם בסילוניית, I_1 , בכיוון השעון, וכיוון הזרם בתיל, I_3 , "החוצה מן הדף".



- ג. העתק את תרשים 3 למחברתך. סמן בנקודה r בתרשים שבמחברתך את כיוון השדה המגנטי שנוצר על ידי הסילוניית, B_1 , ואת כיוון השדה המגנטי שנוצר על ידי התיל, B_3 . (8 נקודות)
- ד. חשב באיזה מרחק מציר הסילוניית גודל השדה B_1 שווה לגודל השדה B_3 . (6 נקודות)

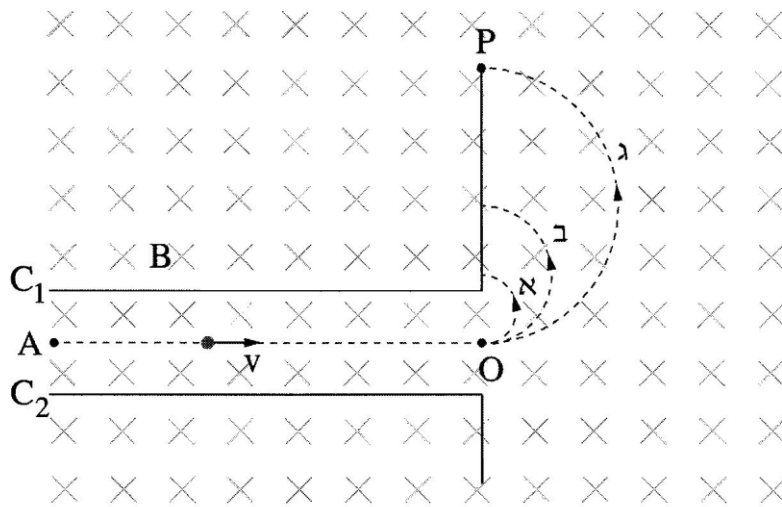
4. באמצעות ספקטרומטר מסות אפשר להפריד בין חלקיקים טעונים שיש להם מסות ומטענים שונים (יונים). בתהליך ההפרדה היונים עוברים תחילה באזור שיש בו שדה חשמלי ושדה מגנטי ("בורר מהירויות"). לאחר מכן היונים ממשיכים לאזור ששורר בו שדה מגנטי בלבד. תרשים 1 שלפניך מתאר בורר מהירויות. בבורר שורר שדה מגנטי אחיד B שכיוונו "לתוך הדף", כמתואר בתרשים. בין הלוחות C_1 ו- C_2 שורר שדה חשמלי אחיד E שכיוונו מקביל למישור הדף (השדות B ו- E מאונכים זה לזה). אחד הלוחות טעון במטען חיובי והאחר במטען שלילי. הזנח את כוח הכובד ואת התנגדות האוויר.



תרשים 1

- יון חיובי $+q$ נע ימינה בין שני הלוחות, בקו ישר AO המקביל ללוחות.
- א. סרטט במחברתך את תרשים הכוחות שפועלים על היון, וסמן את השמות של כל אחד מן הכוחות. (4 נקודות)
- ב. קבע איזה לוח, C_1 או C_2 , טעון במטען חיובי. הסבר את קביעתך. (4 נקודות)
- ג. פתח ביטוי לגודל המהירות v שבה נע היון לאורך הקו AO. (6 נקודות)
- החליפו את היון החיובי ביון שלילי $-q$ שמהירותו שווה למהירות של היון החיובי, בלי לשנות את השדה המגנטי.
- ד. קבע אם נדרש להפוך את כיוון השדה החשמלי בין הלוחות כדי שגם יון זה ינוע ימינה לאורך הקו AO. פרט את שיקולך. (5 נקודות)

שלושה יונים: 1, 2, 3, נכנסים לתוך הספקטרומטר. הם נעים בזה אחר זה בתוך בורר המהירויות לאורך הקו AO באותה מהירות v . מן הנקודה O הם עוברים לאזור שיש בו רק שדה מגנטי, שהוא באותה עוצמה ובאותו כיוון כמו השדה השורר בבורר המהירויות. בהשפעת השדה המגנטי כל יון נע באחד מן המסלולים א, ב או ג. הצורה של כל אחד מן המסלולים היא חצי מעגל, כמתואר בתרשים 2.



תרשים 2

בטבלה שלפניך מוצגים נתונים על המסה והמטען של שלושת היונים.

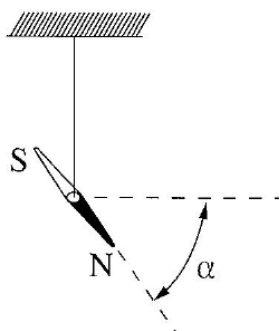
המטען	המסה	היון
$Q_1 = q$	$M_1 = m$	1
$Q_2 = 2q$	$M_2 = m$	2
$Q_3 = q$	$M_3 = 2m$	3

ה. קבע באיזה מן המסלולים א, ב או ג נע כל אחד משלושת היונים 1, 2, 3. פרט את שיקוליך. (9 נקודות)

נתון: $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m = 1.3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$, $B = 0.1 \text{ T}$, $E = 6.15 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

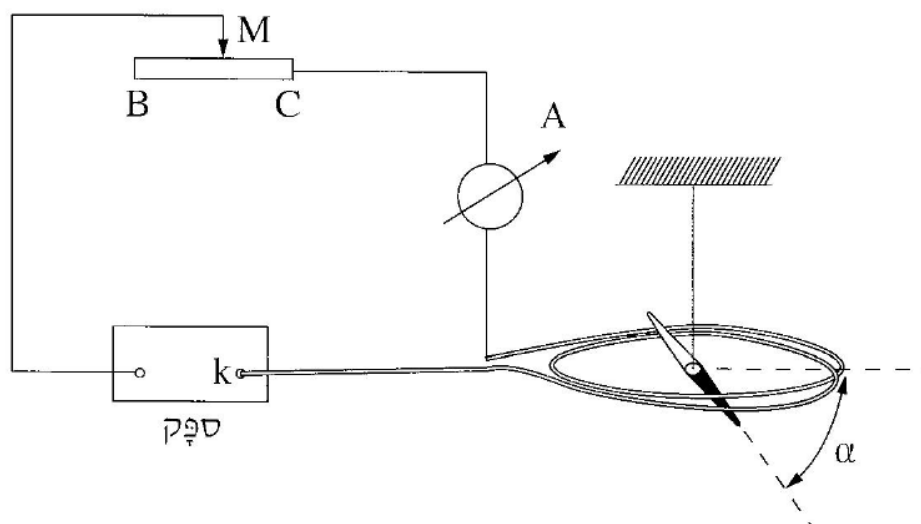
ו. חשב את המרחק OP. (5 $\frac{1}{3}$ נקודות)

4. תלמיד ערך ניסוי למדידת הגודל של השדה המגנטי של כדור הארץ, B_E , בסביבת מגוריו. כדי למצוא את כיוון השדה, הוא תלה מחט מגנטית על חוט דק הקשור למרכז המחט. התלייה מאפשרת למחט לנוע בחופשיות. α היא זווית ההרכנה, שהיא הזווית בין כיוון המחט ובין המישור האופקי (ראה תרשים 1). התלמיד מדד את זווית α ומצא $\alpha = 53^\circ$. תוצאה זו התקבלה בהשפעת השדה המגנטי של כדור הארץ בלבד.



תרשים 1

- כדי למדוד את הגודל של השדה המגנטי, B_E , הרכיב התלמיד מעגל חשמלי ובו: ספק, נגד משתנה, מד זרם וסליל מעגלי דק הממוקם במישור האופקי. התלמיד תלה את המחט המגנטית מעל מרכז הסליל (ראה תרשים 2). נתון: הסליל הדק עשוי 4 כריכות ($N = 4$). רדיוס כל כריכה $r = 20 \text{ cm}$.



תרשים 2

- התלמיד הזיז את הגרר M של הנגד המשתנה, וראה שהזווית α קטנה בהדרגה, עד שבנקודה מסוימת המחט המגנטית התייצבה במצב אופקי ($\alpha = 0^\circ$).

א. על פי הכיוון של השדות המגנטיים, קבע אם ההדק k של הספֵק הוא חיובי או שלילי. נמק את קביעתך. (6 נקודות)

ב. האם במהלך הניסוי הזיו התלמיד את הגררה M של הנגד המשתנה מנקודה C לנקודה B או מנקודה B לנקודה C ? נמק את תשובתך. (6 נקודות)

ג. כאשר המחט התייצבה במצב אופקי, מד הזרם הורה 3.2 A . חשב את גודלו של הרכיב האנכי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_E \perp$. (6 נקודות)

התלמיד לא היה מרוצה מדיוק המדידה בניסוי שערך, ולכן החליט למצוא את הרכיב האנכי של השדה המגנטי, $B_E \perp$, באמצעות גרף. לשם כך הוא חזר על המדידות כמה פעמים, ובכל פעם שינה את מספר הכריכות.

בכל מדידה הוא רשם את מספר הכריכות N ואת הזרם I שהתקבל כאשר המחט התלויה התייצבה במצב אופקי ($\alpha = 0^\circ$). התלמיד חישב את הערכים של $\frac{1}{I}$ ורשם גם אותם. התוצאות מוצגות בטבלה שלפניך.

כריכות N	4	6	8	10	12
$I \text{ (A)}$	3.2	2.1	1.5	1.3	1
$\frac{1}{I} \left(\frac{1}{\text{A}} \right)$	0.3	0.5	0.7	0.8	1

ד. סרטט במחברתך גרף של $\frac{1}{I}$ כפונקציה של מספר הכריכות N . (9 נקודות)

ה. חשב באמצעות שיפוע הגרף את גודל הרכיב האנכי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_E \perp$. ($\frac{1}{3}$ נקודות)

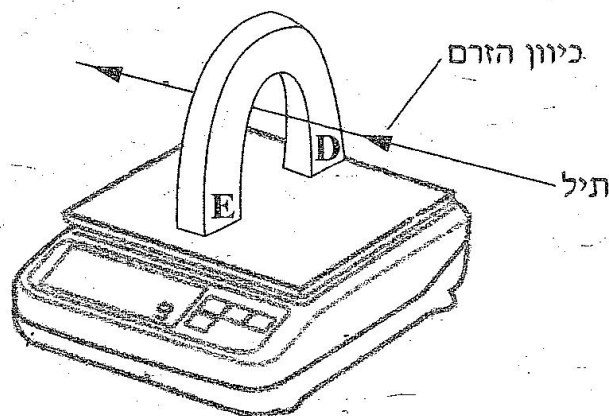
4. התרשים שלפניך מתאר ניסוי שערך תלמיד. התלמיד הציב מאזניים דיגיטליים על שולחן והפעיל אותם. הוריית המאזניים הייתה 0.

אחר כך הוא הציב מגנט פרסה על המשטח העליון של המאזניים. קוטבי המגנט מסומנים בתרשים באותיות D ו-E.

לבסוף העביר התלמיד תיל מוליך בין קוטבי המגנט כמתואר בתרשים: התיל אינו מונח על משטח המאזניים ולא על המגנט, וכיוונו מאונך לכיוון קווי השדה המגנטי שמקורם במגנט. התיל מחובר בטור למקור מתח ולמד-זרם (שאינם נראים בתרשים).

הנח כי השדה המגנטי באזור המאזניים קבוע, וכי האורך של קטע התיל הנמצא בשדה המגנטי הוא $\ell = 0.1 \text{ m}$.

בתשובותיך הזנח את השפעות השדה המגנטי של כדור הארץ על מערכת הניסוי.



התלמיד העביר בתיל זרמים בכמה עוצמות. בכל העברת זרם הוא מדד את עוצמת הזרם בתיל ואת הוריית המאזניים. תוצאות המדידות מוצגות בשורות 1, 2 בטבלה שלפניך.

בסוף הניסוי החסיר התלמיד מכל אחד מערכי הוריית המאזניים שמדד (שורה 2 בטבלה)

את ערך הוריית המאזניים שהתקבל בעוצמת זרם אפס. תוצאות החישובים האלה הם ערכי הכוח F (שורה 3 בטבלה).

1	עוצמת הזרם בתיל – I (A)	0	4	8	12	16	20
2	הוריית המאזניים (N)	1.500	1.509	1.524	1.530	1.548	1.555
3	הכוח F (N)	0	0.009	0.024	0.030	0.048	0.055

א. היעזר בנתונים שבטבלה וחשב את מסת המגנט. (3 נקודות)

ב. כאשר עוצמת הזרם הייתה $4A$ כיוון הזרם היה כמתואר בתרשים.

האם במהלך הניסוי שינה התלמיד את כיוון הזרם? נמק. (6 נקודות)

ג. האם הקוטב של המגנט המסומן ב-D הוא הקוטב הצפוני (N) של המגנט או הקוטב הדרומי (S) שלו? נמק. (8 נקודות)

ד. (1) סרטט במחברתך דיאגרמת פיזור של הכוח F (שורה 3 בטבלה),

כפונקציה של עוצמת הזרם בתיל — I (שורה 1 בטבלה).

(2) הוסף לדיאגרמת הפיזור קו מגמה קווי (לינארי).

(10 נקודות)

ה. חשב את עוצמת השדה המגנטי באזור המאזניים. ($6\frac{1}{3}$ נקודות)

5. בסדרת ניסויים חקרו את התנהגותם של חלקיקים טעונים באזור שבו הופעלו שדה מגנטי

ושדה חשמלי. מטענו של כל חלקיק הוא $+q$ ומסתו היא m .

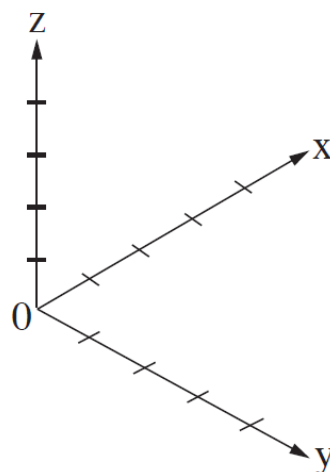
(הזנח את השפעתו של כוח הכבידה.)

בשלב ראשון, הפעילו באזור רק שדה מגנטי B , בכיוון החיובי של ציר ה- x .

את החלקיקים הטעונים הכניסו אל תוך השדה המגנטי במהירות שגודלה v . נמצא שהחלקיקים המשיכו לנוע בקו ישר.

א. החלקיקים נעו במקביל לאחד הצירים x, y, z המוצגים במערכת הצירים שבתרשים א.

קבע במקביל לאיזה ציר נעו החלקיקים. נמק את קביעתך. (6 נקודות)



תרשים א

בשלב שני נוסף על השדה המגנטי B הפעילו גם שדה חשמלי E , בכיוון החיובי של ציר ה- y .

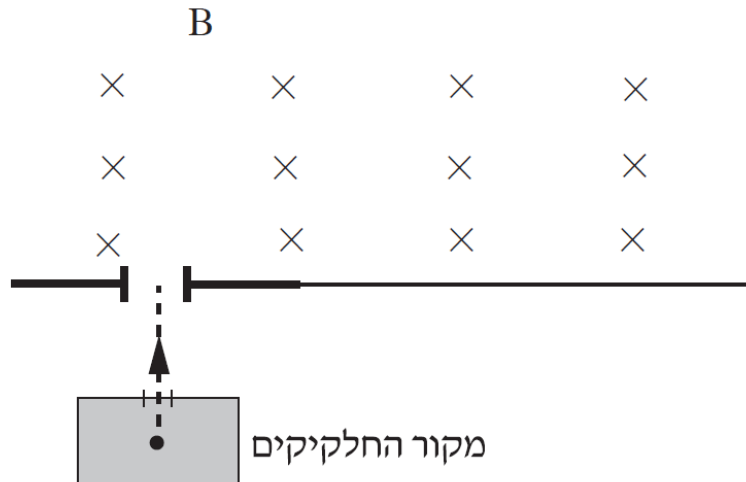
ב. שחררו את החלקיקים ממנוחה באזור הניסוי.

קבע אם החלקיקים נשארו במנוחה, נעו בקו ישר או נעו בקו עקום. נמק.

(6 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

בניסוי נוסף, באזור שבו פעלו שני השדות, החלקיקים נעו במקביל לציר ה- z , ולאחר מכן הם עברו לאזור אחר שבו פעל רק השדה המגנטי (ראה תרשים ב).



תרשים ב

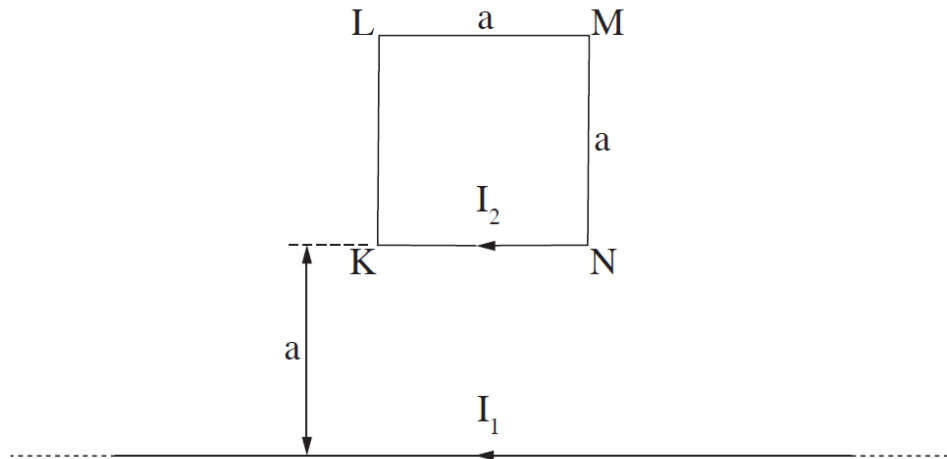
- ג. החלקיקים ינועו בקו ישר באזור שבו פועלים שני השדות רק כאשר מתקיים קשר מסוים בין העוצמות של שני השדות לבין גודל מהירות החלקיקים.
- התבסס על עקרונות פיזיקליים ומצא קשר זה. פרט את שיקוליך. (9 נקודות)
- ד. תאר במילים את מסלול החלקיקים באזור שבו פעל רק השדה המגנטי. (4 נקודות)
- ה. השתמש בפרמטרים: m, q, E, B , ופתח נוסחה המראה כי המערכת המתוארת בתרשים ב יכולה לשמש להפרדת איזוטופים של יסוד כלשהו. ($8\frac{1}{3}$ נקודות)

4. תלמיד התבקש למדוד את B_E , הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ. לצורך המדידה הוא מתח תיל ישר וארוך על פני שולחן אופקי בכיוון צפון-דרום (של השדה המגנטי הארצי). אל התיל הוא חיבר בטור מקור מתח, נגד משתנה ואמפרמטר. התלמיד הציב מצפן בגובה h מעל התיל, כך שמישור המצפן מקביל לפני השולחן. התלמיד שינה את הגובה h כמה פעמים. בכל פעם הוא כיוון את הזרם בעזרת הנגד המשתנה, ובדק באיזו עוצמת זרם מחט המצפן סוטה בזווית של 45° מהכיוון שאליו היא הצביעה כאשר לא עבר זרם בתיל. תוצאות המדידות מוצגות בטבלה שלפניך.

3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	h (cm)
4.5	3.6	2.9	2.0	1.5	I (A)

- א. על פי הנתונים המוצגים בטבלה, סרטט גרף של הזרם, I , כפונקציה של גובה המצפן, h . (10 נקודות)
- ב. הראה כי שיפוע הגרף הוא $\frac{2\pi B_E}{\mu_0}$. (10 נקודות)
- ג. חשב את B_E בעזרת שיפוע הגרף. (6 נקודות)
- ד. התלמיד כתב בטבלה שהזרם המתאים לגובה 1.5 ס"מ הוא 2.0A, ולא 2A. הסבר מדוע. ($3\frac{1}{3}$ נקודות)
- ה. במצב שבו לא זורם זרם בתיל, קבע — בלי לנמק — אם הקוטב הצפוני של מחט המצפן
- (1) פונה אל הקוטב המגנטי הארצי הצפוני או הדרומי. (2 נקודות)
- (2) פונה בקירוב אל הקוטב הגאוגרפי הצפוני או הדרומי. (2 נקודות)

4. על שולחן אופקי מונחים כריכה ריבועית KLMN שאורך צלעה $a = 0.1\text{m}$, ותיל שאורכו גדול מאוד ביחס לצלע a . התיל הארוך מקביל לצלע KN, ונמצא במרחק $y = a$ ממנה (ראה תרשים).

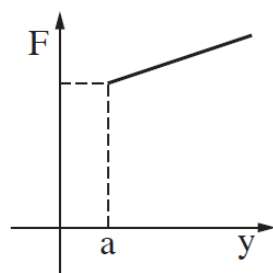


- בתיל הארוך עובר זרם שעוצמתו $I_1 = 8\text{A}$, ודרך הכריכה הריבועית עובר זרם שעוצמתו $I_2 = 5\text{A}$. כיווני הזרמים מוצגים בתרשים.
- א. מצא את הכוח (גודל וכיוון) שהתיל הארוך מפעיל על הצלע KN של הכריכה. (7 נקודות)
- ב. מצא את הכוח (גודל וכיוון) שהתיל הארוך מפעיל על הכריכה הריבועית כולה. (7 נקודות)
- ג. מצא את הכוח (גודל וכיוון) שהכריכה מפעילה על התיל. הסבר את תשובתך. (6 נקודות)
- ד. קבע בלי לחשב, אם גודל הכוח שמפעיל התיל הארוך על הצלע האנכית KL גדול מגודל הכוח שמפעיל התיל הארוך על הצלע KN, קטן ממנו או שווה לו. הסבר את תשובתך. (6 נקודות)

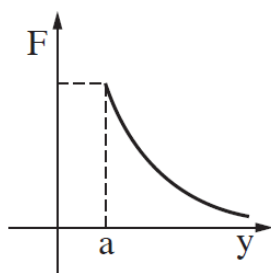
(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

מגדילים בהדרגה את המרחק y של הכריכה מן התיל הארוך (כך שהצלע KN נשארת מקבילה לתיל).

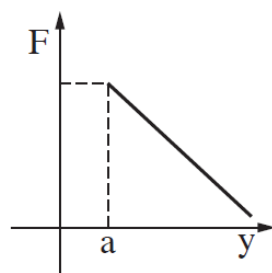
ה. איזה מבין הגרפים א-ד שלהלן מתאר נכון את גודל הכוח שהתיל הארוך מפעיל על הכריכה כפונקציה של המרחק y (התעלם מזרמים במערכת הנוצרים מהשראה אלקטרומגנטית)? הסבר את תשובתך. ($7\frac{1}{3}$ נקודות)



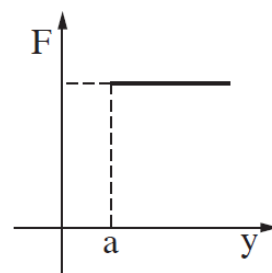
א



ב

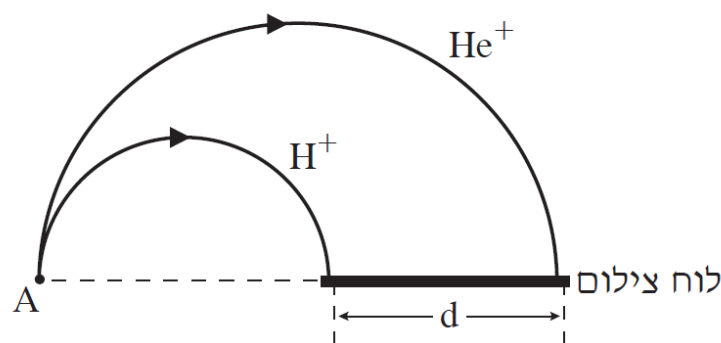


ג



ד

4. יון מימן, H^+ (חלקיק טעון שמסתו m_H ומטענו q_H), ויון הליום, He^+ (חלקיק טעון שמסתו $m_{He} = 4m_H$ ומטענו $q_{He} = q_H$), מואצים ממנוחה בשדה חשמלי על ידי מתח V . לאחר ההאצה היונים נכנסים בנקודה A לשדה מגנטי אחיד, $\vec{B}$. היונים נכנסים לשדה המגנטי במאונך לקווי השדה, ונעים במסלולים מעגליים עד שהם פוגעים בלוח צילום. השדה המגנטי ניצב למישור הדף (ראה תרשים).



א. מהו כיוון השדה המגנטי – יוצא מן הדף או נכנס אל הדף? נמק. (6 נקודות)

ב. האם הגודל של מהירות היונים משתנה בתנועתם בשדה המגנטי? נמק. (6 נקודות)

בטא את תשובותיך לסעיפים ג ו-ד באמצעות הפרמטרים m_H , q_H , V , B או חלק מהם.

ג. (1) בטא את זמן התנועה של יון המימן H^+ בשדה המגנטי.

(2) פי כמה גדול זמן התנועה של יון הליום He^+ מזמן התנועה של יון המימן

בשדה המגנטי? נמק.

(12 נקודות)

ד. בטא את המרחק d בין נקודות הפגיעה של היונים בלוח הצילום.

($9\frac{1}{3}$ נקודות)

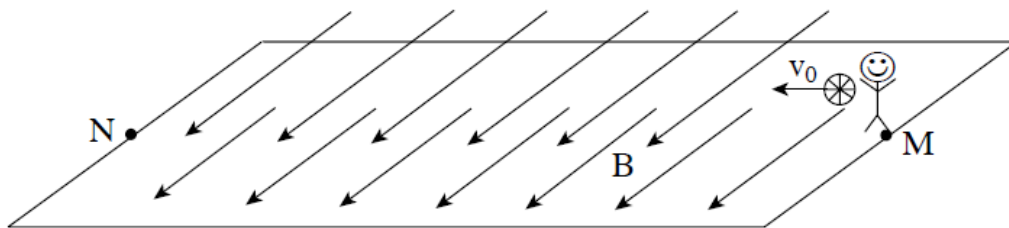
4.

קבוצת שחקנים משחקת בכדור טעון במטען חשמלי במגרש מלבני המצוי בתוך שדה מגנטי. המטען של הכדור גדול במיוחד: $Q = 1.26 \text{ C}$, והמסה שלו היא $m = 280 \text{ gr}$. בחישובך בשאלה זו הזנח את השפעת השדה המגנטי הארצי.

א.

במשחק ראשון המגרש נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד מקביל לרצפה, אשר עוצמתו היא $B = 0.5 \text{ T}$. (ראה תרשים א).

שחקן זורק את הכדור זריקה אופקית באוויר מנקודה M לכיוון הנקודה N בניצב לקווי השדה. המהירות ההתחלתית של הכדור היא v_0 . הכדור נע בקו ישר במקביל לרצפה כל עוד הוא נמצא בתחום המגרש. חשב את המהירות v_0 . ($8\frac{1}{3}$ נקודות)

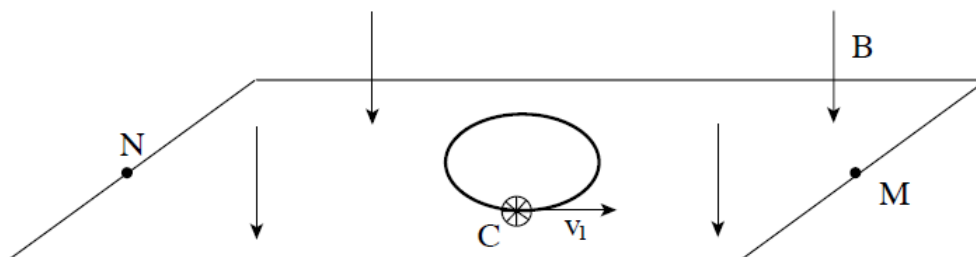


תרשים א

במשחק שני כיוון השדה המגנטי הוא אנכי כלפי מטה, כמתואר בתרשים ב. השדה המגנטי אחיד על פני כל המגרש ועוצמתו היא כמקודם, $B = 0.5 \text{ T}$. סעיפים ב-ד מתייחסים למצב זה.

ב.

שחקן מניח את הכדור על הרצפה בנקודה C, ומעניק לו מהירות התחלתית v_1 במישור הרצפה בכיוון המתואר בתרשים ב. הכדור נע על הרצפה במסלול מעגלי, וחוזר לידי שחקן לאחר סיבוב אחד. חשב את הזמן שארכה תנועת הכדור במסלול. (יש להתעלם מגלגול הכדור ומכוחות חיכוך). (9 נקודות)



תרשים ב

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

ג. האם השדה המגנטי מבצע עבודה על הכדור? הסבר. (7 נקודות)

ד. במהלך המשחק השני אחד השחקנים זורק את הכדור באוויר מהנקודה M לכיוון חברו הנמצא בנקודה N.

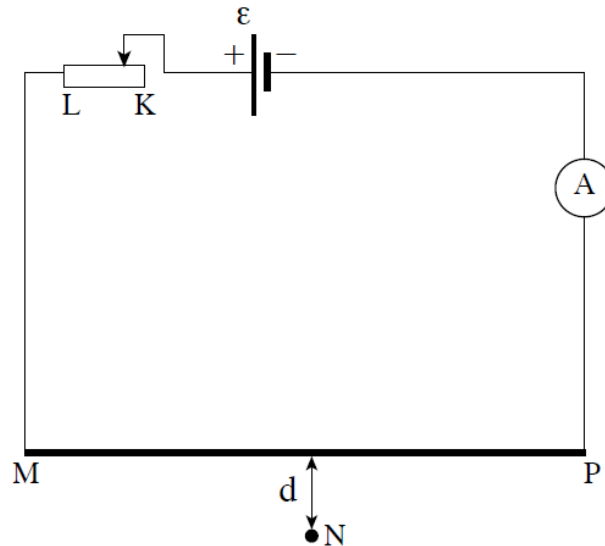
(1) האם לכוח המגנטי הפועל על הכדור יש רכיב בכיוון המקביל לכוח הכובד? הסבר.

(2) האם משך הזמן שהכדור נמצא באוויר ארוך ממשך הזמן שהכדור היה נמצא באוויר אילו לא היה שדה מגנטי (כלומר כאשר פועל רק כוח הכובד), קצר ממנו, או שווה לו? הסבר.

(9 נקודות)

5. בניסוי מעבדה חוקרים את השדה המגנטי של תיל נושא זרם.

לצורך זה תלמיד בונה את המעגל המתואר בתרשים.



המעגל מורכב מהרכיבים האלה:

— ספק שהכא"מ שלו $\varepsilon = 24 \text{ V}$ והתנגדותו הפנימית זניחה.

— נגד משתנה, LK

— תיל מוליך ישר וארוך, MP

— אמפרמטר אידאלי

תילים שהתנגדותם זניחה מחברים בין רכיבי המעגל.

ההתנגדות המרבית של הנגד המשתנה היא 20Ω ואורכו 8 cm . התנגדותו של התיל MP אינה ידועה.

בנקודה N שנמצאת במרחק d מהתיל MP מציבים חיישן לשדה מגנטי.

א. כאשר המגע הנייד (זחלן) נמצא במרחק 2 cm מהקצה K של הנגד המשתנה, זרם

במעגל זרם של 1 A . חשב את המתח על התיל המוליך MP במצב המתואר.

(8 נקודות)

ב. חשב את עוצמת הזרם המרבית (מקסימלית) ואת עוצמת הזרם המזערית (מינימלית)

שיכולות להתקבל במעגל הנתון. (8 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

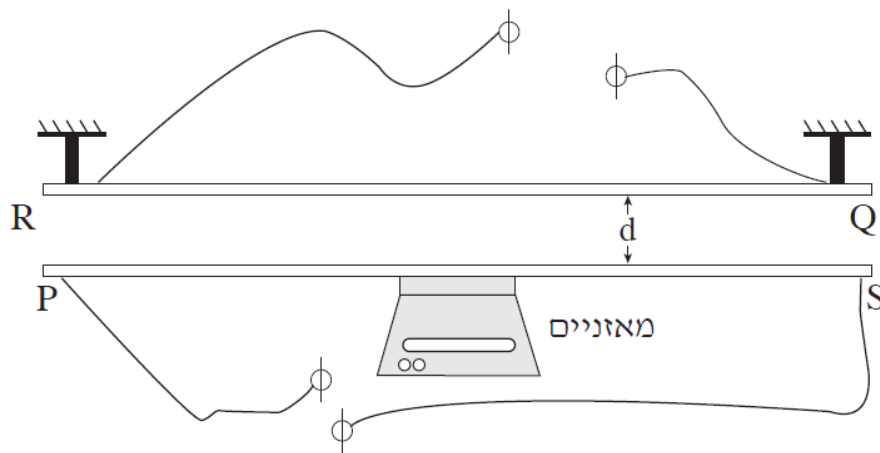
במהלך הניסוי התלמיד מזיז את המגנט הנייד ומודד בכל פעם את עוצמת הזרם במעגל, ואת עוצמת השדה המגנטי בנקודה N. הנח שהחיישן מודד את עוצמת השדה המגנטי הנוצר על ידי התיל MP בלבד. תוצאות המדידות מוצגות בטבלה שלפניך.

המדידה	1	2	3	4	5
I (A)	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6
B (μT)	4.3	5.6	7.4	8.8	10.3

- ג. (1) סרטט גרף של עוצמת השדה המגנטי, B, בנקודה N, כפונקציה של עוצמת הזרם, I, בתיל.
- (2) חשב את שיפוע הגרף, ורשום את יחידות השיפוע.
- (3) חשב את המרחק d בין התיל לבין החיישן בנקודה N (ראה תרשים). (14 נקודות)
- ד. התלמיד מבצע ניסוי נוסף, שבו הוא משתמש במקום בתיל MP בתיל בעל שטח חתך גדול יותר (כל המאפיינים האחרים של המעגל לא משתנים).
- קבע אם שיפוע הגרף יהיה גדול יותר מהשיפוע שחישבת בתת-סעיף ג (2), קטן ממנו או שווה לו. נמק. (3 $\frac{1}{3}$ נקודות)

4. תלמידים עורכים ניסוי במערכת המוצגת בתרשים. המערכת מורכבת משני מוטות מוליכים RQ ו- PS , ממאזניים אלקטרוניים מכוילים בניוטונים ומתילים. המוטות נמצאים אחד מעל השני במישור אנכי. הם מקבילים זה לזה וארוכים. האורך L של כל מוט גדול בהרבה מהמרחק d שביניהם.

המוט RQ מוחזק במקומו, ודרכו זורם זרם קבוע (בגודל ובכיוון) שעוצמתו I . המוט PS שמסתו m מונח על המאזניים. מסת התילים זניחה. מזרימים דרך המוט PS זרם I_1 . המאזניים מורים N_1 , כך ש- $N_1 < mg$.



א. סרטט את תרשים הכוחות הפועלים על המוט PS . (6 נקודות)

ב. כיוון הזרם העובר במוט PS הוא מ- P ל- S .

מהו כיוון הזרם העובר במוט RQ – מ- R ל- Q או מ- Q ל- R ? נמק.

(8 נקודות)

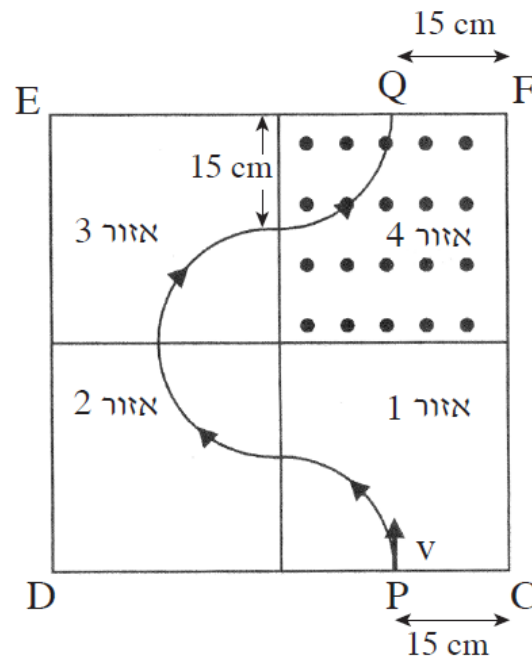
ג. פתח ביטוי למרחק d בין שני המוטות, באמצעות הפרמטרים I, I_1, m, L, N_1 .

במידת הצורך השתמש בקבועים פיזיקליים. (10 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

- ד. נתון שעוצמת הזרם I_1 גדולה פי 4 מעוצמת הזרם I . נקודה A נמצאת במישור המוטות, והשדה המגנטי השקול בנקודה זו שווה לאפס.
- (1) האם הנקודה A נמצאת בין המוטות PS ו-RQ, מעל המוט RQ או מתחת למוט PS? נמק.
- (2) בטא את המרחק בין נקודה A למוט RQ באמצעות d .
- (6 נקודות)
- ה. מחליפים את המוט PS במגנט מוט (מגנט קבוע). האם המוט המוליך RQ, שדרכו זורם זרם, יכול להפעיל כוח על המגנט הקבוע? נמק. ($3\frac{1}{3}$ נקודות)

4. ריבוע CDEF מחולק לארבעה אזורים 1-4 (ראה תרשים). כל אחד מארבעת האזורים הוא ריבוע שממדיו $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$. בכל אזור שורר שדה מגנטי אחיד שגודלו $B = 1 \text{ T}$, וכיוונו ניצב לריבוע CDEF. באזור 4 השדה "יוצא מהדף". חלקיק א טעון חודר לתחום הריבוע CDEF בנקודה P (ראה תרשים), שמרחקה מהנקודה C הוא 15 cm , במהירות שכיוונה ניצב לקו CD ולכיוון השדה המגנטי, וגודלה $v = 3.6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. מסת החלקיק $6.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ (ראה תרשים).



- א. האם המטען החשמלי של חלקיק א הוא חיובי או שלילי? נמק. (5 נקודות)
- ב. מה הם כיווני השדות המגנטיים באזורים 1, 2, 3? (כתוב $\times$ אם כיוון השדה "לתוך הדף", וכתוב $\bullet$ אם כיוון השדה "יוצא מהדף"). נמק. (5 נקודות)
- ג. חשב את המטען של חלקיק א. (5 נקודות)
- ד. האם לאורך מסלול התנועה של חלקיק א מנקודה P לנקודה Q וקטור המהירות של החלקיק משתנה:

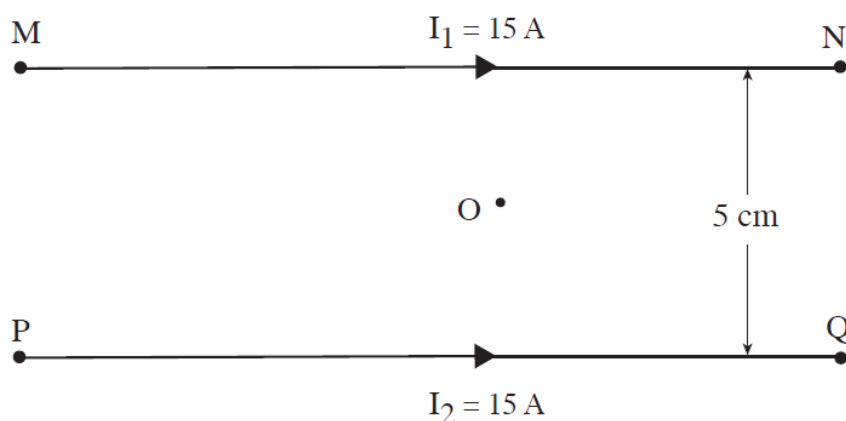
(1) בכיוונו? נמק. (4 נקודות)

(2) בגודלו? נמק. (4 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

- ה. חשב את משך הזמן שבו חלקיק א נע מנקודה P לנקודה Q. (5 נקודות)
- ו. בנקודה Q (ראה תרשים) משגרים לתוך אזור 4 בזה אחר זה שני חלקיקים, ב ו- ג, באותו גודל מהירות ($v = 3.6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$), במאונך ל- EF ולשדה המגנטי שבאזור 4. לשני החלקיקים ב ו- ג מסות זהות למסה של חלקיק א. לחלקיק ב יש מטען זהה למטען של חלקיק א, ולחלקיק ג יש מטען מנוגד למטען של חלקיק א.
- איזה משני החלקיקים – ב או ג – ינוע לאורך מסלול התנועה של חלקיק א? נמק.
- (הנח כי אין אינטראקציה בין החלקיקים במהלך תנועתם בשדות המגנטיים.)
- ($5\frac{1}{3}$ נקודות)

5. שני תילים ארוכים, MN ו-PQ, נמצאים במישור אחד. התילים מקבילים זה לזה, והמרחק ביניהם הוא 5 cm.



תרשים א

- דרך התילים MN ו-PQ עוברים זרמים I_1 ו- I_2 בהתאמה, הזרמים בכיוונים, ועוצמתו של כל אחד מהם היא 15A (ראה תרשים א).

א. מהו כיוון הכוח המגנטי שהתיל MN מפעיל על התיל PQ? הסבר. (9 נקודות)

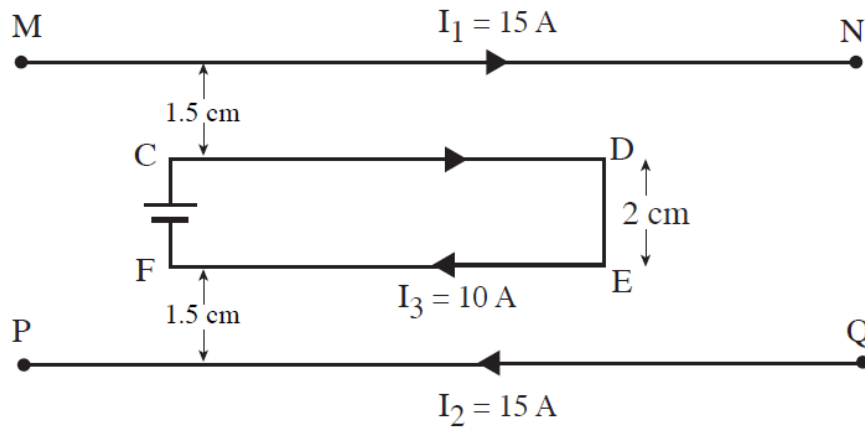
ב. מהו השדה המגנטי השקול לשדות המגנטיים הנוצרים על ידי הזרמים בתילים

MN ו-PQ בנקודה O, הנמצאת במישור של שני התילים במרחק של 2.5 cm

מכל אחד מהם (ראה תרשים א)? נמק. (7 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

הופכים את כיוון הזרם בתיל PQ. המרחק בין התילים נשאר 5 cm. במישור התילים ובדיוק באמצע ביניהם מוסיפים מסגרת מלבנית מוליכה CDEF, שאורכי צלעותיה הם $CD = 10 \text{ cm}$ ו- $DE = 2 \text{ cm}$. הצלע CD והתיל MN מקבילים זה לזה, והמרחק ביניהם הוא $l = 1.5 \text{ cm}$. במסגרת זרם שעוצמתו $I_3 = 10 \text{ A}$, כמתואר בתרשים ב.



תרשים ב

- ג. הסבר מדוע במצב זה הכוח המגנטי השקול הפועל על המסגרת CDEF שווה לאפס. $(8\frac{1}{3}$ נקודות)
- ד. מסלקים את התיל PQ. מהו הכוח המגנטי השקול (גודל וכיוון), הפועל על המסגרת CDEF בהשפעת הזרם הזורם בתיל MN? (9 נקודות)

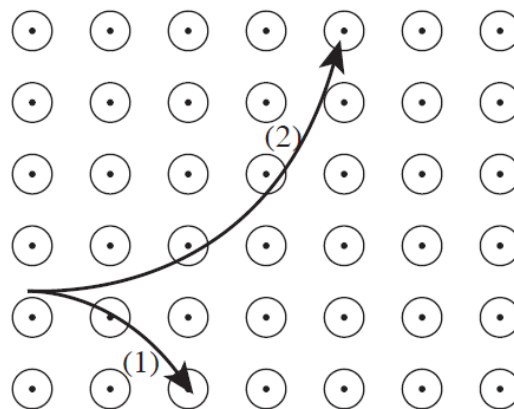
4. נתונים חלקיקים הטעונים במטען חשמלי. הנח כי כוח הכובד הפועל על החלקיקים זניח.

לכל אחד משני המצבים המתוארים בסעיפים א-ב, קבע אם הוא אפשרי או אינו אפשרי, ונמק כל אחת מקביעותיך.

א. החלקיקים נעים באזור שבו שורר שדה מגנטי בלי שיפעל עליהם כוח מגנטי. (6 נקודות)

ב. החלקיקים נמצאים במנוחה באזור שבו שוררים גם שדה חשמלי וגם שדה מגנטי (כל אחד מן השדות קבוע), והכוח השקול הפועל עליהם שווה לאפס. (6 נקודות)

שני חלקיקים (1) ו-(2) נכנסים במאונך לשדה מגנטי אחיד. השדה המגנטי מאונך למישור הדף וכיוונו "אל הקורא". בתרשים א מוצגים חלקים מהמסלולים של החלקיקים בשדה המגנטי.



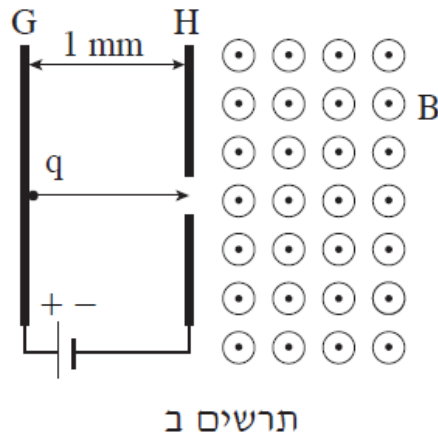
תרשים א

ג. קבע איזה סוג מטען יש לכל אחד מהחלקיקים (1) ו-(2) – חיובי או שלילי. נמק את קביעותיך. (6 נקודות)

ד. לשני החלקיקים יש מסה שווה, והמהירויות הזוויתיות שלהם בתוך השדה שוות. הראה שהמטענים של שני החלקיקים שווים בגודלם. (8 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

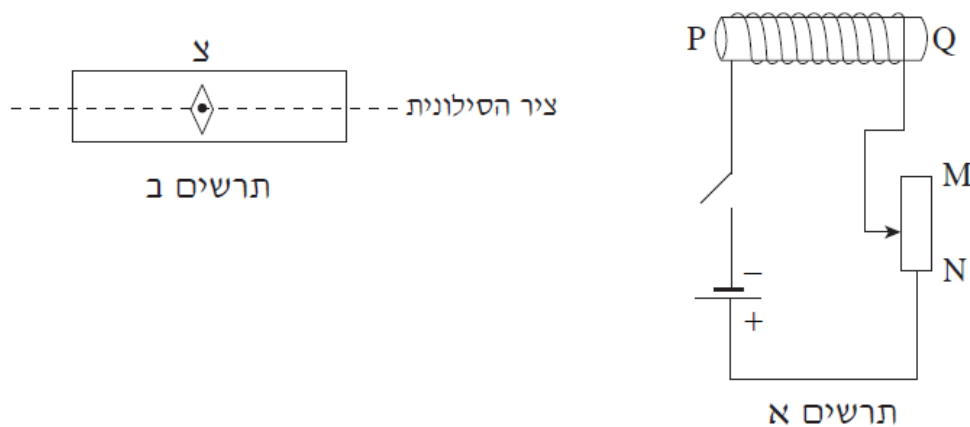
חלקיק, הטעון במטען חיובי $q = 3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, משוחרר ממנוחה קרוב מאוד ללוח מוליך G, המחובר להדק החיובי של מקור מתח. החלקיק עובר דרך נקב בלוח מוליך H, המחובר להדק השלילי של מקור המתח ונכנס לאזור שבו שורר שדה מגנטי אחיד, B. השדה המגנטי מאונך למישור הדף, וכיוונו "אל הקורא" (ראה תרשים ב). המרחק בין הלוחות G ו-H הוא $d = 1 \text{ mm}$, והפרש הפוטנציאלים בין הלוחות הוא $V = 1000 \text{ V}$.



- ה. סרטט גרף של האנרגיה הקינטית של החלקיק במהלך תנועתו כפונקציה של מרחקו האופקי מן הלוח G, עבור המרחקים שבין 0 ל- 2 mm . (הנח שבמהלך תנועתו החלקיק מגיע למרחק אופקי מהלוח G שגדול מ- 2 mm). מצא את ערכי האנרגיה הקינטית של החלקיק במרחקים 1 mm ו- 2 mm מהלוח G, ורשום אותם על הציר האנכי של הגרף שסרטטת. ($7\frac{1}{3}$ נקודות)

5. על מנת לחקור את השדה המגנטי של סילוניית, משתמשים במעגל המתואר בתרשים א, ובו סילוניית PQ, מקור מתח ונגד משתנה. צפיפות הליפופים בסילוניית היא 2000 ליפופים למטר. ציר הסילוניית מאונך לרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי. במרכז הסילוניית נמצא מצפן קטן, חופשי להסתובב סביב צירו. בתרשים ב מתואר חתך רוחב של הסילוניית, ובו מסומנת מחט המצפן כאשר המעגל החשמלי פתוח.

עוצמת הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי היא $B_{\text{אופקי}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.



בניסוי מזרימים דרך הסילוניית זרם שעוצמתו $I = 5 \text{ mA}$. מחט המצפן סוטה ממצבה ההתחלתי בזווית α .

א. בתרשימים ג-ד מסורטטים חתכי רוחב של הסילוניית ומחט המצפן בשני מצבי סטייה. רק אחד מהמצבים מתאים לתנאי הניסוי.



איזה משני התרשימים, תרשים ג או תרשים ד, מציג נכון את מצב הסטייה של המחט המתאים לתנאי הניסוי? נמק את תשובתך. (6 נקודות)

ב. חשב את גודל הזווית α . (10 נקודות)

ג. האם זווית α תגדל, תקטן או לא תשתנה, כאשר הגררה של הנגד המשתנה תועבר לכיוון הקצה N? הסבר את תשובתך. (7 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

ד. רוצים לִאֶפֶס את הרכיב האופקי של השדה המגנטי במרכז הסילוניית.

(1) מה צריך להיות הכיוון של ציר הסילוניית ביחס לרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי, על מנת לאפשר את איפוס הרכיב האופקי של השדה המגנטי במרכז הסילוניית? נמק את תשובתך.

(2) מהו הגודל של עוצמת הזרם שמאפשר לאפס את הרכיב האופקי של השדה המגנטי במרכז הסילוניית, לאחר שהסילוניית סובבה על פי הדרישה בסעיף ד(1)?
($10\frac{1}{3}$ נקודות)

.4

מסגרת מוליכה מלבנית MNPQ

מונחת על לוח אופקי.

אורכי צלעות המסגרת הם a ו- b .

המסגרת מחוברת למקור מתח,

באופן שזורם בה זרם I.

תיל ישר וארוך, שגם בו זורם זרם I ,

MN נמצא על הלוח במקביל לצלע

של המסגרת, ובמרחק $a/2$ ממנה.

בתרשים א' שלפניך מתוארת באופן סכמטי המערכת ממבט על.

נתון: $b = 18 \text{ cm}$, $a = 2 \text{ cm}$, $I = 30 \text{ A}$

א. חשב את הכוח המגנטי השקול (גודל וכיוון) הפועל על המסגרת MNPQ.

(10 נקודות)

ב. הסבר מדוע בחישוב הכוח המגנטי השקול בסעיף א אין צורך לחשב את הכוחות

המגנטיים שהתיל מפעיל על הצלעות MQ ו- NP. (5 נקודות)

ג. הסבר מדוע בחישוב הכוח המגנטי השקול בסעיף א אין צורך להתחשב בכוחות

המגנטיים שצלעות המסגרת מפעילות זו על זו. (5 נקודות)

ד. מצא את הגודל ואת הכיוון של הכוח המגנטי, שהמסגרת מפעילה על התיל.

(6 נקודות)

ה. מסלקים את המסגרת מהמערכת, ועל הלוח נשאר התיל בלבד.

מבין האפשרויות (1)-(6) שלפניך, מהו הכיוון של השדה המגנטי בנקודה A

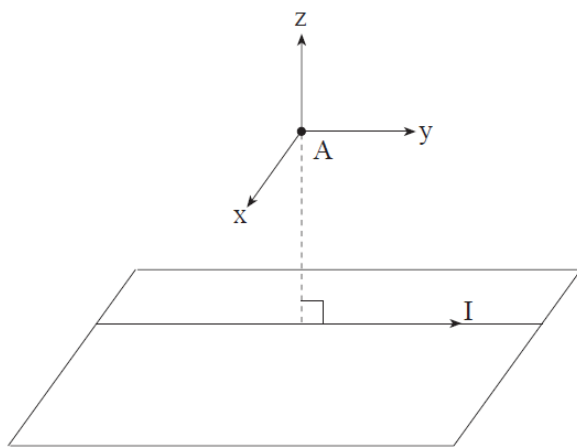
הנמצאת מעל התיל? (ראה תרשים ב)

$$x \quad \text{כיוון} \quad (1)$$

(2) כיוון $-x$

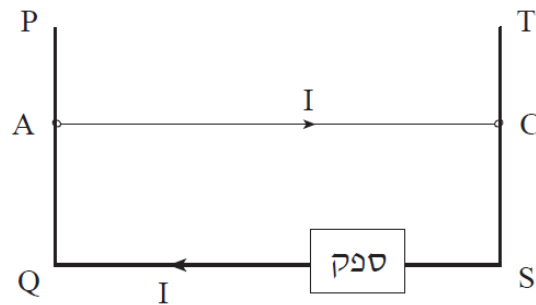
$$y \quad (3)$$
$$-y \quad \text{כיוון } (4)$$
$$z \quad (5)$$
$$-Z \quad (6)$$

($7\frac{1}{3}$ נקודות)



תרשים ב

4. בתרשים שלפניך מוצג תיל TSQP המחובר לספק, ותיל AC שאורכו d . הקטע QS בתיל TSQP מהודק למשטח אופקי והזרועות TS ו- PQ ניצבות למשטח. התיל AC חופשי לנוע ללא חיכוך לאורך הזרועות TS ו- PQ, במקביל ל- QS. במעגל CSQA שנוצר, זורם זרם I . הזנח את השדה המגנטי של כדור הארץ ואת השדות המגנטיים שיוצרים הקטעים הניצבים של התיל. כמו כן, הנח כי $QS \gg AQ$, כלומר אפשר להתייחס אל השדה המגנטי שהתיל QS יוצר כאל שדה הנוצר על ידי תיל אינסופי.

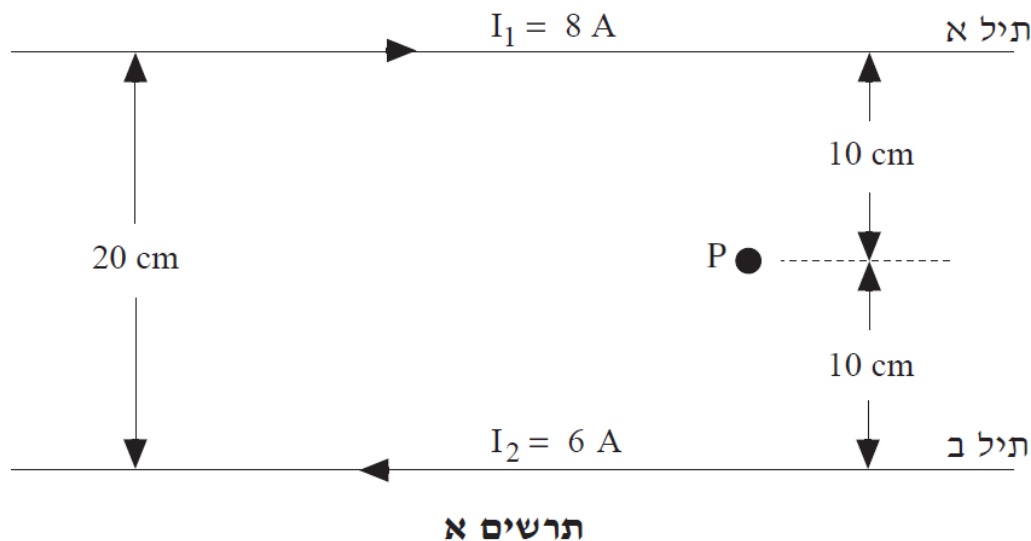


- מסת התיל AC היא m , והוא נמצא בשיווי-משקל בגובה h_1 מעל הקטע QS. א. ציין מה הם הכוחות הפועלים על התיל AC במצב זה. (6 נקודות) ב. נתון כי $I = 50 \text{ A}$, $h_1 = 0.2 \text{ cm}$, $d = 30 \text{ cm}$.

חשב את m . ($10\frac{1}{3}$ נקודות)

- מוסיפים שדה מגנטי אחיד בניצב למישור הדף, ובעקבות זאת נקודת שיווי-המשקל של התיל AC היא בגובה $h_2 = 0.15 \text{ cm}$ מעל הקטע QS. ג. מהו כיוון השדה הנוסף – לתוך הדף או החוצה ממנו? נמק. (7 נקודות) ד. חשב את עוצמת השדה הנוסף. (10 נקודות)

4. בתרשים א מתוארים שני תילים ישרים וארוכים מאוד ("אין-סופיים"): תיל א, שבו עובר זרם שעוצמתו $I_1 = 8A$ וכיוונו ימינה; ותיל ב, שבו עובר זרם שעוצמתו $I_2 = 6A$ וכיוונו שמאלה. שני התילים מקבילים זה לזה, והמרחק ביניהם 20 cm . P היא נקודה הנמצאת בין שני התילים במרחק 10 cm מכל אחד מהם.



הציבו בין התילים כריכה מעגלית שרדיוסה $R = 5\text{ cm}$ ומרכזה בנקודה P , והעבירו בה זרם שגורם לכך שבנקודה P התאפס השדה המגנטי הכולל (שמקורו בזרמים העוברים בשני התילים הישרים ובכריכה המעגלית).

א. באיזה משני המצבים שלפניך, מצב א או מצב ב, הציבו את הכריכה? נמק.

מצב א: הכריכה במישור שבו נמצאים שני התילים הישרים (כלומר במישור הדף).

מצב ב: הכריכה במישור המאונך למישור שבו נמצאים שני התילים הישרים (כלומר

במישור הניצב למישור הדף), כך ששני התילים מקבילים למישור הכריכה.

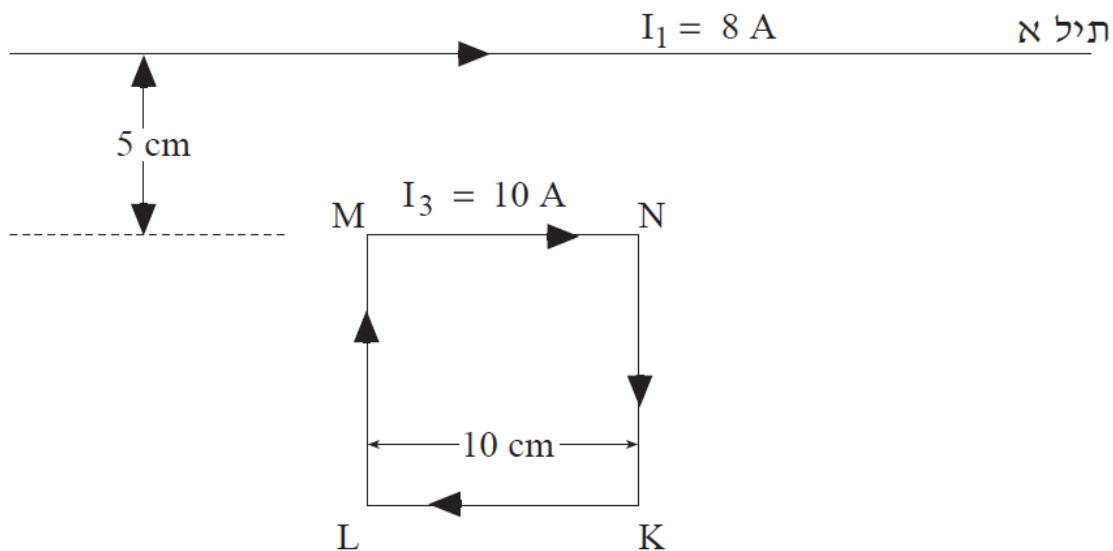
(8 נקודות)

ב. חשב עוצמת הזרם בכריכה. (8 נקודות)

(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

מסלקים את הכריכה המעגלית ואת תיל ב, ומציבים כריכה ריבועית MNKL באופן שבו תיל א נמצא במישור הכריכה הריבועית ומקביל לצלע MN (ראה תרשים ב).

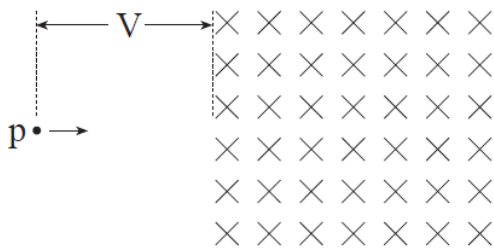
אורך הצלע של הכריכה הריבועית 10 cm, והמרחק בין צלע MN לתיל א 5 cm. בכריכה הריבועית עובר זרם שעוצמתו $I_3 = 10 \text{ A}$, וכיוונו עם כיוון השעון. וכמו קודם, בתיל א עובר זרם ימינה שעוצמתו $I_1 = 8 \text{ A}$.



תרשים ב

ג. העתק למחברתך את תרשים ב, וסמן בו את כיווני הכוחות המגנטיים אשר תיל א מפעיל על כל אחת מצלעות הריבוע. הסבר כיצד קבעת את כיווני הכוחות. (7 נקודות)

ד. מצא את הגודל ואת הכיוון של הכוח המגנטי השקול, אשר תיל א מפעיל על הכריכה הריבועית. $(10 \frac{1}{3})$ נקודות



4. פרוטון p , שמסתו m_p ומטענו q_p ,

מואץ ממנוחה משמאל לימין על ידי מתח V ,

ונכנס לאזור שבו שורר שדה מגנטי $\vec{B}$.

השדה $\vec{B}$ מאונך לדף, וכיוונו – אל תוך הדף

(ראה תרשים).

רוצים שהפרוטון יצא מן השדה המגנטי במאונך

לכיוון תנועתו המקורי, במרחק אופקי d , מנקודת הכניסה שלו. לשם כך מכבים את

השדה המגנטי בזמן t מהרגע שבו נכנס אליו הפרוטון.

א. בטא את הזמן t באמצעות נתוני השאלה. (6 נקודות)

ב. בטא את המרחק האופקי d באמצעות נתוני השאלה. (6 נקודות)

ג. כיצד ישתנו תשובותיך לסעיפים א-ב, אם המתח המאץ יגדל פי 2? (7 נקודות)

ד. כיצד ישתנו תשובותיך לסעיפים א-ב, אם במקום הפרוטון יאיצו חלקיק α (שהוא

גרעין הליום המורכב משני ניוטרונים ומשני פרוטונים)?

הנח כי מסת חלקיק זה גדולה פי 4 ממסת הפרוטון. (7 נקודות)

ה. בניסוי אחר, הפעילו גם שדה חשמלי $\vec{E}$ באזור השדה המגנטי, כך שהפרוטון נע

בקו ישר לאורך כל הדרך.

ציין את הכיוון של השדה $\vec{E}$, ובטא את עוצמתו באמצעות נתוני השאלה.

($\frac{1}{3}$ 7 נקודות)

5. תלמיד התבקש ליצור שדה מגנטי של 0.005 טסלה בנקודה מסוימת במרחב, באמצעות

מקור מתח ותיל נחושת המצופה בשכבת בידוד דקה. אורך התיל 80 ס"מ, קוטרו

$$0.6 \text{ מ"מ} \text{ והתנגדותו ליחידת אורך } 0.0594 \frac{\Omega}{\text{m}}.$$

א. התלמיד שָׁקל ליצור לולאה מעגלית אחת שהיקפה 80 ס"מ.

איזה זרם היה דרוש כדי ליצור במרכז הלולאה את השדה המבוקש? ($7\frac{1}{3}$ נקודות)

ב. התלמיד החליט לבנות סילוניית ארוכה (יחסית לרדיוסה), על-ידי ליפוף התיל, בשכבה

אחת, באופן שכריכות הסליל צמודות זו לזו.

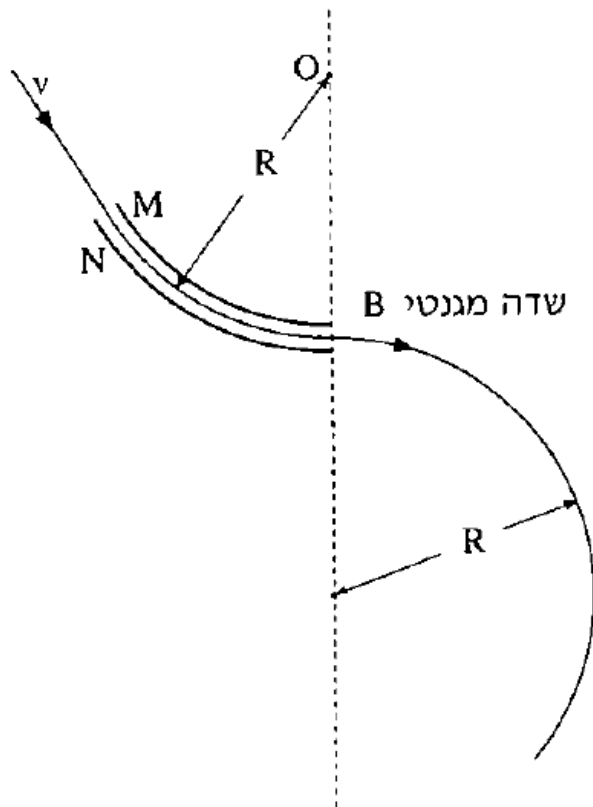
איזה זרם דרוש כדי ליצור בתוך הסילוניית את השדה המבוקש? (12 נקודות)

ג. חשב את ההספק הדרוש כדי ליצור את השדה המגנטי המבוקש:

(1) בלולאה המתוארת בסעיף א. (7 נקודות)

(2) בסילוניית המתוארת בסעיף ב. (7 נקודות)

4. התרשים שלפניך מתאר אלומה צרה של אלקטרונים הנעים במהירות v .



האלקטרונים נכנסים אל בין שני לוחות גליליים, M ו- N , בעלי מרכז משותף O . הלוחות טעונים במטענים מנוגדים, כך שקווי השדה החשמלי שבין הלוחות מכוונים לאורך הרדיוס R . בגלל המרחק הקטן בין הלוחות (בהשוואה לרדיוס R) גודל השדה החשמלי E הוא קבוע בכל התחום שבין הלוחות, והאלקטרונים נעים בו בקשת מעגלית שרדיוסה R . ביציאה מבין הלוחות הם מגיעים לאזור שבו שורר שדה מגנטי אחיד B .

בהשפעת שדה זה נעים האלקטרונים שוב בקשת מעגלית שרדיוסה R .

נתון: $R = 0.1 \text{ m}$, $v = 1.5 \times 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

א. (1) קבע איזה מבין שני הלוחות (M או N) טעון במטען חיובי, ואיזה מביניהם

טעון במטען שלילי. נמק. (5 נקודות)

(2) חשב את גודל השדה החשמלי E שבין הלוחות M ו- N . (8 נקודות)

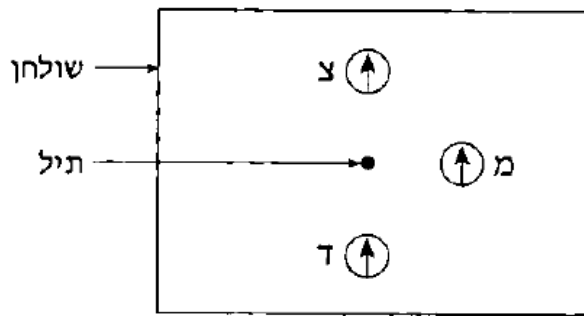
ב. (1) מהו כיוון השדה המגנטי B ? נמק. (5 נקודות)

(2) חשב את עוצמת השדה המגנטי B . (8 נקודות)

ג. (1) האם השדה החשמלי מבצע עבודה על האלקטרונים? נמק. ($3\frac{1}{3}$ נקודות)

(2) האם השדה המגנטי מבצע עבודה על האלקטרונים? נמק. (4 נקודות)

5. תלמיד רוצה למדוד את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ. לשם כך הוא העביר תיל ישר וארוך דרך חור בשולחן אופקי, בניצב לשולחן, והציב סביב התיל שלושה מצפנים, כל מצפן במרחק 10 ס"מ מן התיל.



תרשים א

תרשים א שלפניך מתאר במבט מלמעלה את השולחן כאשר בתיל לא זורם זרם, כך ששלושת המצפנים מצביעים אל הצפון המגנטי. המצפנים מסומנים באותיות: צ, ד, מ.

התלמיד חיבר בטור אל התיל נגד משתנה,

אמפרמטר ומקור מתח, והחל להזרים בתיל זרם בכיוון אנכי מעלה (החוצה מן הדף).

הזנה את ההשפעה המגנטית ההדדית של המצפנים.



תרשים ב

א. בזרם מסוים מחט מצפן ד סטה

מכיוון הצפון, כמתואר בתרשים ב.

סרטט את מצב המחט של מצפן צ

ואת מצב המחט של מצפן מ

באותו זרם שהביא לסטייה שבתרשים ב. נמק. (6 נקודות)

ב. סמן ב- B_E את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, ופתח ביטוי

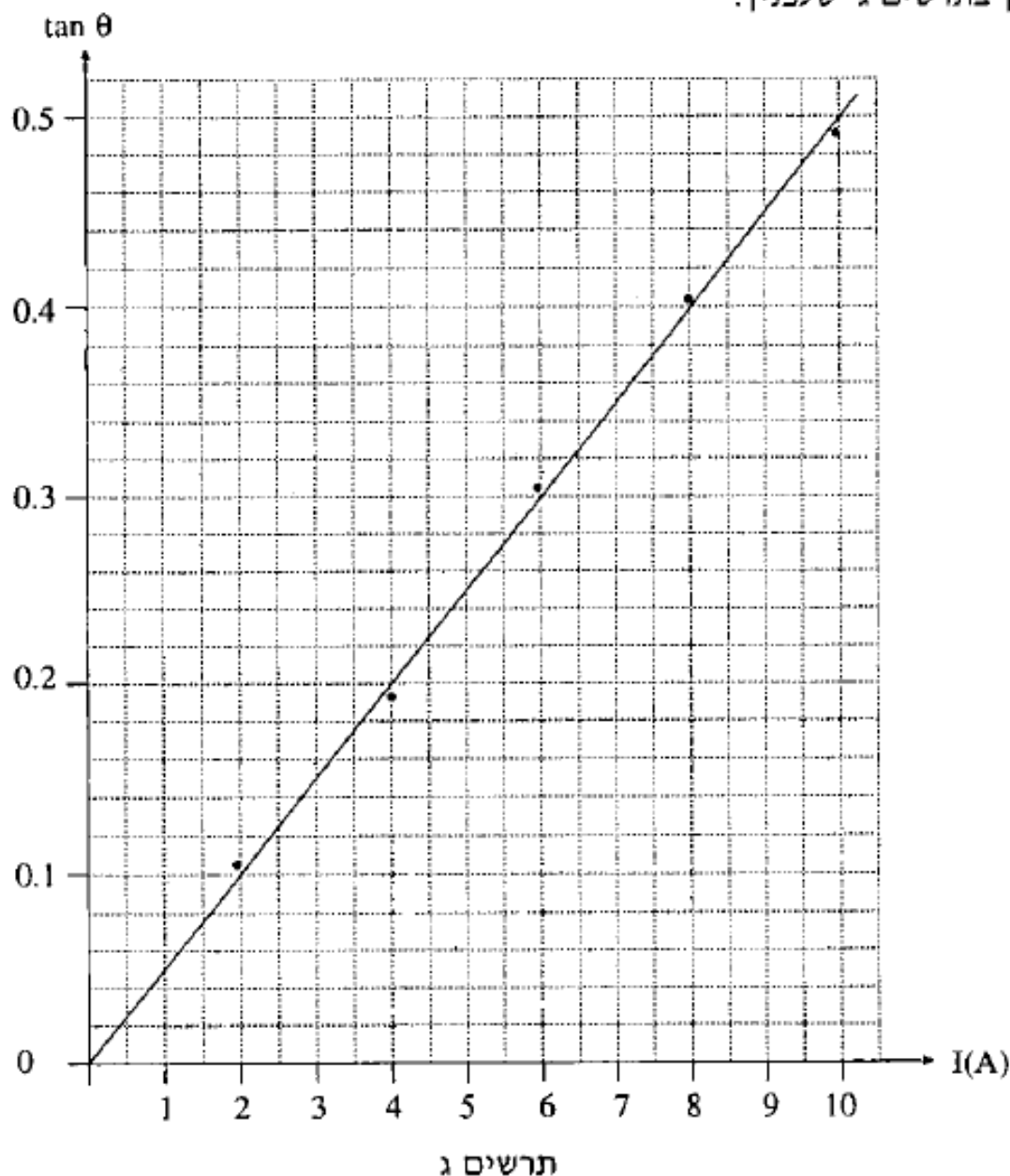
של $\tan \theta$ כפונקציה של הזרם I הזורם בתיל. θ היא זווית הסטייה של מצפן ד

מכיוון הצפון. (12 נקודות)

(שים לב: המשך סעיפי השאלה בעמוד הבא.)

ג. תלמיד מדד את זווית הסטייה θ עבור חמישה ערכים של זרם I , ושרטט את הגרף

הנתון בתרשים ג שלפניך.



(1) הסבר מדוע עדיף לסמן על הציר האנכי את ערכי $\tan \theta$ ולא את ערכי θ .

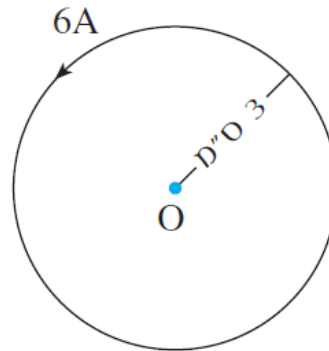
(4 נקודות)

(2) הסבר מדוע התלמיד ידע בוודאות כי הגרף חייב לעבור דרך ראשית הצירים.

(3 נקודות)

(3) חשב בעזרת הגרף את B_E . $8\frac{1}{3}$ (נקודות)

4. טבעת מוליכה, שרדיוסה 3 ס"מ, נושאת זרם של 6A שכיוונו נגד כיוון מחוגי השעון. התרשים שלפניך מתאר את הטבעת במבט מלמעלה.



תרשים 4

א. (1) חשב את הגודל של השדה המגנטי הנוצר במרכז הטבעת O. (8 נקודות)

(2) מצא את הכיוון של השדה המגנטי הנוצר במרכז הטבעת O. (6 נקודות)

ב. אלקטרון נע במעגל קטן במישור הטבעת סביב מרכזה O (רדיוס המעגל קטן בהרבה מרדיוס הטבעת). באזור תנועת האלקטרון שורר שדה מגנטי אחיד (בקירוב רב), וגודל השדה הוא כמו במרכז הטבעת.

(1) מהי מגמת הסיבוב של האלקטרון (עם/נגד כיוון השעון)? **הסבר.**

(2) חשב את תדירות הסיבוב של האלקטרון.

($10\frac{1}{3}$ נקודות)

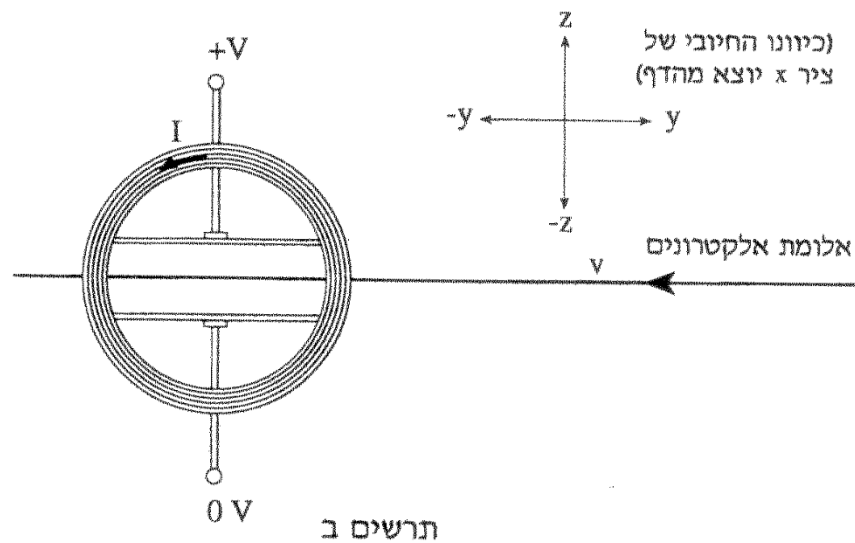
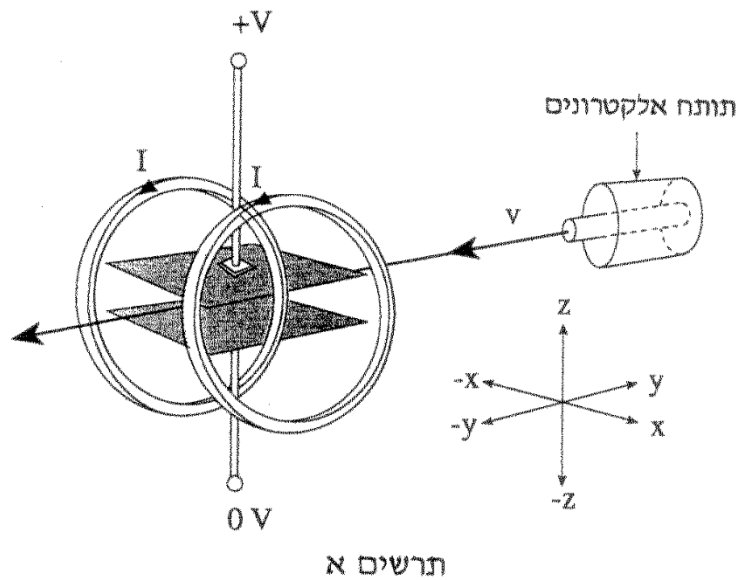
ג. במקום האלקטרון שבסעיף ב. פרוטון נע עכשיו במעגל קטן במישור הטבעת סביב מרכזה.

(1) האם מגמת הסיבוב של הפרוטון שונה ממגמת הסיבוב של האלקטרון או שווה לה? **הסבר.**

(2) האם תדירות הסיבוב של הפרוטון גדולה מתדירות הסיבוב של האלקטרון, קטנה ממנה או שווה לה?

הסבר. (9 נקודות)

4. מתקן שעשוי משפופרת זכוכית המרוקנת מאוויר, כולל: "תותח אלקטרוני" הפולט אלומה מקבילה של אלקטרונים שגודל מהירותם v , שני לוחות אופקיים של קבל שביניהם שורר שדה חשמלי שעוצמתו E , ושני סלילים זהים המאונכים ללוחות. בכל אחד מהסלילים זורם זרם I , היוצר ביניהם שדה מגנטי אחיד שעוצמתו B . בתרשימים א' ו-ב מתוארים החלקים העיקריים של השפופרת, ומסומנים כיווני הזרמים בסלילים. הלוח העליון של הקבל מחובר לפוטנציאל חיובי, והלוח התחתון מחובר לפוטנציאל אפס.



(שים לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

הזנח את הכוח שמפעיל כדור הארץ על אלומת האלקטרונים, וענה על הסעיפים א - ג.

- א. היעזר במערכת הצירים x, y ו- z שמתוארת בכל אחד מהתרשימים א ו-ב, וקבע את כיווני השדות והכוחות שבתת-סעיפים (1) - (4) שלהלן. רשום את הכיוון על-ידי ציון הציר באמצעות האות x או y או z ולידה הסימן $+$ (פלוס) או הסימן $-$ (מינוס).

(1) כיוון השדה החשמלי $\vec{E}$.

(2) כיוון השדה המגנטי $\vec{B}$.

(3) כיוון הכוח, שמפעיל השדה החשמלי $\vec{E}$ בלבד על אלומת האלקטרונים בהיכנסה לשדה החשמלי.

(4) כיוון הכוח, שמפעיל השדה המגנטי $\vec{B}$ בלבד על אלומת האלקטרונים בהיכנסה לשדה המגנטי.

(12 נקודות)

ב. העוצמות של השדות $\vec{E}$ ו- $\vec{B}$ נקבעו כך שאלומת האלקטרונים נעה בקו ישר.

בטא את מהירות האלקטרונים v באמצעות E ו- B . (13 נקודות)

ג. (1) מבטלים את השדה החשמלי בין לוחות הקבל (השדה המגנטי נשאר כמו

שמתואר בסעיף ב). אלומת האלקטרונים נעה במצב זה בקשת של

מעגל שרדיוסו R .

בטא את היחס $\frac{e}{m}$ של האלקטרון באמצעות E , B ו- R .

(2) מצא את הערך של R עבור הערכים $E = 2 \times 10^4 \frac{N}{C}$, $B = 8 \times 10^{-4} T$.

($8\frac{1}{3}$ נקודות)

5. תלמיד רצה למדוד את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ. לשם כך הוא מתח על שולחן תיל ישר וארוך בכיוון צפון-דרום (המגנטי של הארץ). הוא חיבר בטור אל התיל נגד משתנה, אמפרמטר ומקור מתח, והזרים בתיל זרם שעוצמתו $I = 3.7 \text{ A}$ וכיוונו מדרום לצפון.

התלמיד הציב מצפן בגובה r מעל התיל, ומדד את זווית הסטייה α של מחט המצפן מכיוון צפון. התלמיד שינה את r כמה פעמים, ובכל פעם מדד את α . תוצאות המדידות רשומות בטבלה שלפניך, וכן רשומים ערכים של $\text{ctg } \alpha$ ($\text{ctg } \alpha = \frac{1}{\text{tg } \alpha}$).

$\text{ctg } \alpha$	α	$r \text{ (cm)}$
0.9	48.5°	2.2
1.4	36°	3.6
2.1	26°	5.0
2.6	21°	6.3
3.1	18°	7.8

- א. סרטט גרף של $\text{ctg } \alpha$ כפונקציה של r . (9 נקודות)
- ב. סרטט את מחט המצפן ואת הכיוונים של כל אחד מהשדות המגנטיים הפועלים עליה (במצב שבו עובר זרם במעגל החשמלי). סמן בסרטוט את הזווית α . (6 נקודות)
- ג. (1) פתח ביטוי ל- $\text{ctg } \alpha$ כפונקציה של r .
- (2) חשב בעזרת הגרף, שסרטטת בסעיף א, את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ.

(12 נקודות)

- ד. אילו התלמיד היה חוזר על הניסוי במקום גאוגרפי אחר (עם אותם ערכים של r ושל I), האם הערכים של α שהיו מתקבלים היו זהים לאלה שבטבלה? נמק. (אל תתייחס לשגיאות שנובעות מגורמים שונים של אי-דיוקים). (6 $\frac{1}{3}$ נקודות)

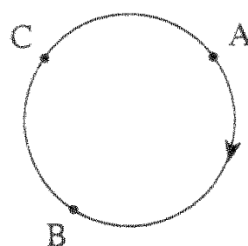
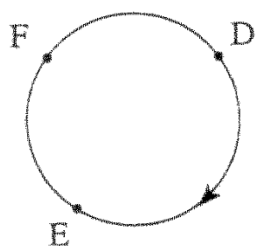
3. תלמיד רצה למדוד את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ. לשם כך הוא בנה סילונית שבה צפיפות הליפופים (מספר הליפופים ליחידת אורך) היא $\frac{N}{\ell} = 79 \text{ m}^{-1}$. הוא שם מצפן במרכז הסילונית, וסובב אותה עד שציר הסילונית היה בכיוון מאונך למחט המצפן. התלמיד חיבר בטור אל הסילונית נגד משתנה, אמפרמטר ומקור מתח. הוא הזרים זרמים שונים במעגל החשמלי, ובכל פעם מדד את עוצמת הזרם I (במיליאמפר) ואת זווית הסטייה α של מחט המצפן מכיוון צפון. תוצאות המדידות רשומות בטבלה שלפניך.

$\tan \alpha$	$\alpha (^{\circ})$	$I \text{ (mA)}$
0.14	8	50
0.29	16	100
0.44	24	150
0.58	30	200
0.73	36	250

- א. סרטט תרשים של המעגל החשמלי. ($3\frac{1}{3}$ נקודות)
- ב. סרטט גרף של $\tan \alpha$ כפונקציה של I . (8 נקודות)
- ג. סרטט את כיווני השדות המגנטיים הפועלים על מחט המצפן (במצב שבו עובר זרם במעגל החשמלי). סמן בתרשים זה את הכיוון צפון ואת הזווית α . (7 נקודות)
- ד. (1) פתח ביטוי ל- $\tan \alpha$ כפונקציה של I .
 (2) חשב בעזרת הגרף, שסרטטת בסעיף ב, את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ.
 (11 נקודות)
- ה. התלמיד הציב את המצפן בקצה הסילונית והזרים בה זרם. זווית הסטייה של מחט המצפן מכיוון צפון הייתה שונה מזווית הסטייה שהייתה במצב שבו המצפן היה במרכז הסילונית. הסבר מדוע השתנתה זווית הסטייה של מחט המצפן. (4 נקודות)

4. נתונים שני חלקיקים זהים, שלכל אחד מסה m ומטען שלילי $-q$.

שני החלקיקים נעים במסלולים מעגליים שרדיוסם R , במהירות שגודלה v ובכיוון מחוגי השעון. חלקיק אחד נע במסלול מעגלי הודות לשדה חשמלי שנוצר על-ידי מטען נקודתי חיובי הקבוע במקומו (תרשים א). חלקיק שני נע במסלול מעגלי הודות לשדה מגנטי אחיד



(תרשים ב).

תרשים א – תנועת חלקיק בשדה חשמלי תרשים ב – תנועת חלקיק בשדה מגנטי

א. העתק למחברתך את התרשימים, וסמן את כיוון השדה החשמלי בכל אחת מהנקודות

C, B, A ואת כיוון השדה המגנטי בכל אחת מהנקודות F, E, D . ($7\frac{1}{3}$ נקודות)

ב. בטא באמצעות R, m, q ו- v את גודל השדה החשמלי במסלול החלקיק

שבתרשים א. (10 נקודות)

ג. בטא באמצעות R, m, q ו- v את גודל השדה המגנטי במסלול החלקיק

שבתרשים ב. (10 נקודות)

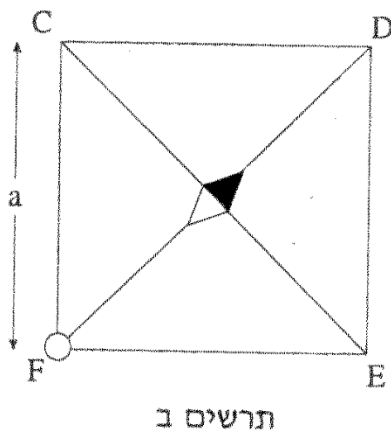
ד. בהגיע החלקיקים לנקודה A ולנקודה D הופכים את כיוון מהירותם (בלי לשנות את

גודל המהירות, את השדה החשמלי ואת השדה המגנטי).

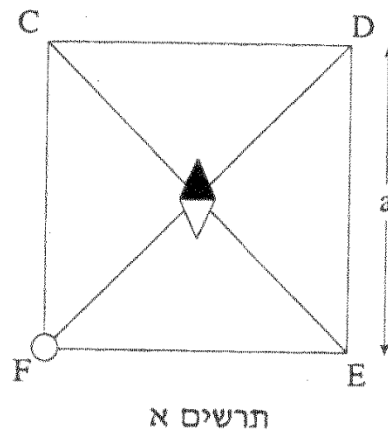
תאר את מסלולי החלקיקים במצב החדש (היעזר בסרטוט), וציין את מגמת התנועה

(בכיוון מחוגי השעון או נגד כיוון מחוגי השעון). (6 נקודות)

3. במרכזו של שולחן קטן CDEF מונח מצפן קטן המורה את הצפון. השולחן הוא אופקי וצורתו ריבועית. אורך צלע הריבוע הוא $a = 40 \text{ cm}$ (ראה תרשים א).
 בפינה F של השולחן עובר תיל מוליך ישר וארוך מאוד. התיל ניצב למישור השולחן (העיגול הקטן שבתרשים מייצג את החתך של התיל).
 כאשר מזרימים בתיל זרם שעוצמתו $I = 25 \text{ A}$, סוטה מחט המצפן כך שהקוטב הצפוני שלה פונה לכיוון הקדקוד D של השולחן (ראה תרשים ב).

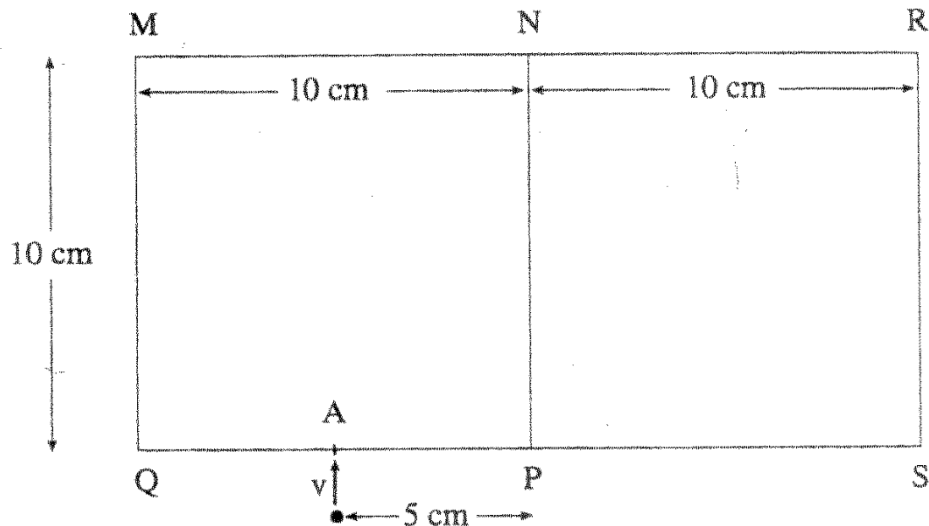


צפון
↑



- א. העתק את אחד התרשימים למחברתך, ציין בו את כיוון הזרם בתיל (סמן $\times$ אם הזרם נכנס אל הדף, וסמן $\bullet$ אם הזרם יוצא מן הדף), והסבר כיצד קבעת את הכיוון. (8 נקודות)
- ב. חשב את עוצמת השדה המגנטי (גודל וכיוון) שנוצר במרכז השולחן על-ידי הזרם שבתיל. ($8\frac{1}{3}$ נקודות)
- ג. חשב את עוצמת הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי B_E במרכז השולחן. (9 נקודות)
- ד. בפינה E של השולחן מוסיפים תיל זהה לתיל שבפינה F, ומזרימים בו אותו זרם I באותו כיוון. האם מחט המצפן תסטה מכיוונה בתרשים ב? אם כן – לאיזה כיוון (עם כיוון תנועת מחוגי השעון או נגד כיוון תנועתם)? אם לא – הסבר. (8 נקודות)

4. נתונים שני אזורים MNPQ ו-NRSP שבהם שוררים שדות מגנטיים אחידים, שגודל כל אחד מהם הוא $B = 5 \text{ T}$. כיווני השדות מנוגדים זה לזה וניצבים למישור MRSQ. ממדי האזורים נתונים בתרשים שלפניך:



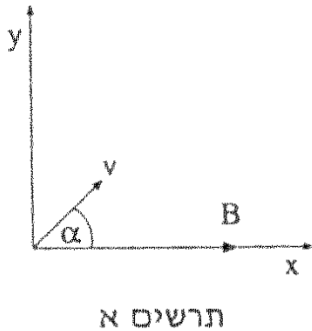
- בנקודה A, הנמצאת במרכז הקטע QP, נכנס בכיוון ניצב לשדה חלקיק שגודל מהירותו v , כמתואר בתרשים. מסת החלקיק $m = 6.6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ומטענו $q = +3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. במהלך תנועתו עובר החלקיק מאזור MNPQ ונכנס לאזור NRSP בניצב לקטע NP.
- א. העתק את התרשים למחברתך, וציין בו את כיווני השדות המגנטיים בשני האזורים (סמן $\times$ עבור שדה הנכנס אל הדף, וסמן $\bullet$ עבור שדה היוצא מהדף). הסבר כיצד קבעת את הכיוונים. (6 נקודות)
- ב. הוסף לתרשים שהעתקת את מסלול החלקיק מרגע כניסתו לאזור MNPQ עד רגע צאתו מהאזור NRSP. (8 נקודות)
- ג. חשב את v . ($12\frac{1}{3}$ נקודות)
- ד. חשב את פרק הזמן שעבר מרגע הכניסה של החלקיק לאזור MNPQ עד רגע צאתו מהאזור NRSP. (7 נקודות)

לשדה מגנטי אחיד B , שכיוונו "לתוך הדף", נכנס חלקיק במהירות שגודלה v וכיוונו ניצב לכיוון השדה. לחלקיק יש מסה m ומטען חשמלי חיובי q . (הנח שעל החלקיק פועל רק הכוח המגנטי.)

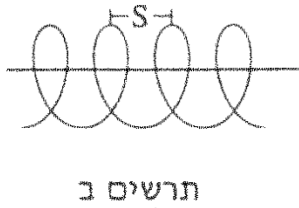
- א. (1) סרטט את המסלול של החלקיק. סמן בסרטוט את מגמת תנועתו. (4 נקודות)
 (2) בטא באמצעות נתוני השאלה את רדיוס המסלול R ואת זמן המחזור T . (8 נקודות)

ב. אותו חלקיק נכנס לאותו שדה B במהירות שגודלה v , אך הפעם כיוונו מקביל לכיוון השדה.

מהי צורת המסלול של החלקיק במקרה זה? האם מהירות החלקיק משתנה לאורך המסלול? נמק. (8 נקודות)



- ג. אותו חלקיק בעל מסה m ומטען q נכנס לאותו שדה B במהירות שגודלה v , אך הפעם כיוון המהירות יוצר זווית α עם כיוון השדה (ראה תרשים א). וקטור המהירות נמצא (ברגע הכניסה) במישור xy . הכיוון של השדה המגנטי הוא בכיוון ציר ה- x .

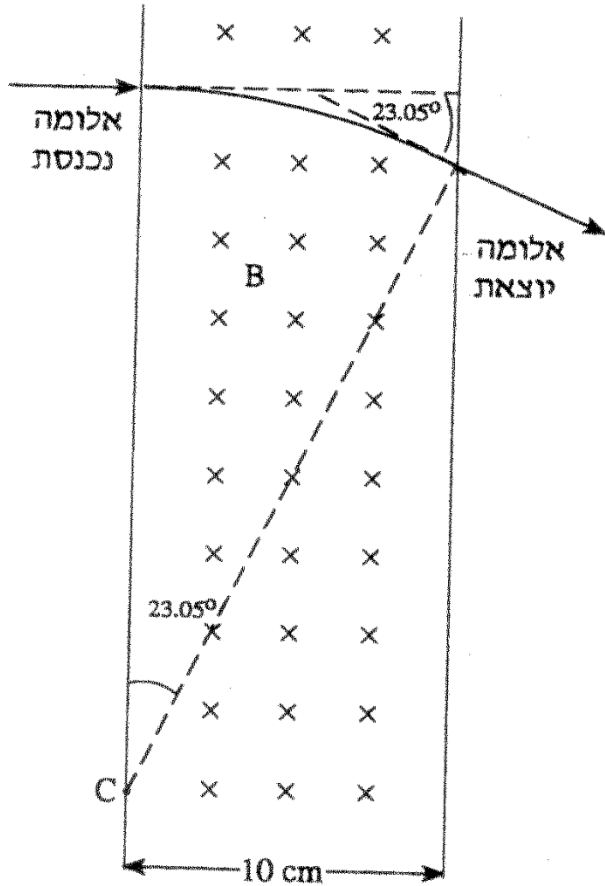


- (1) הסבר מדוע החלקיק מבצע תנועה לאורך מסלול בורגי (ראה תרשים ב). (5 נקודות)
 (2) חשב את פסיעת המסלול הבורגי S (המרחק שהתקדם החלקיק לאורך השדה המגנטי בהשלימו סיבוב אחד), אם נתון:

$$\alpha = 53^\circ, \quad v = 6.25 \cdot 10^4 \text{ m/s}, \quad B = 2.25 \text{ T}$$

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad m = 11.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

(8 $\frac{1}{3}$ נקודות)



4. 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)

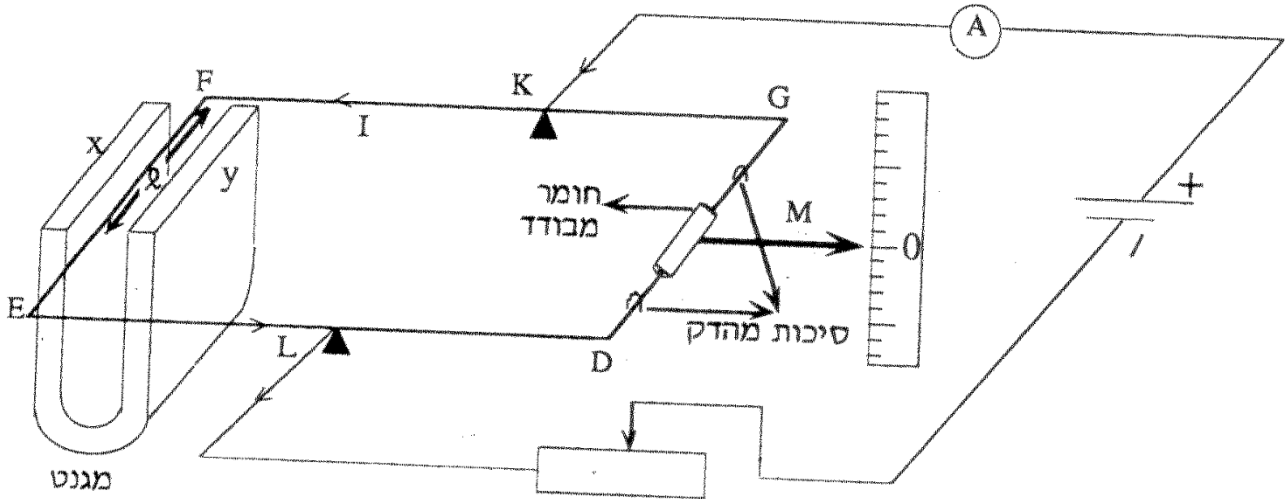
ב. נתון כי מטען כל חלקיק באלומה זהה למטען האלקטרון.

(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)

4. התרשים שלפניך מתאר מערכת מאזני זרם.



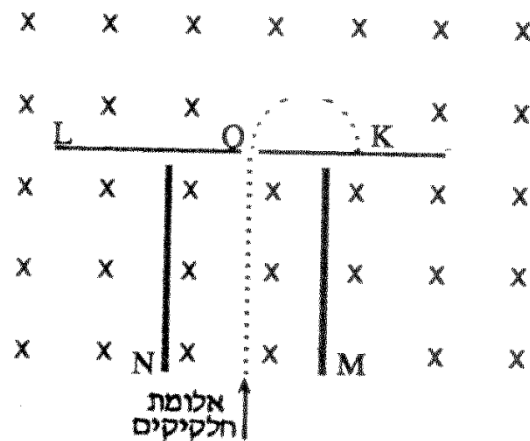
מסגרת DEFG העשויה מתיל מוליך, נתמכת בשתי נקודות K ו L, כך שהיא חופשייה לנוע סביב הציר KL. המסגרת פתוחה בקטע שבו נמצא חומר מבודד. קטע מסגרת, שאורכו $2 \text{ ס"מ} = \ell$, נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד שבין קוטבי מגנט. כאשר לא עובר זרם במסגרת, היא נמצאת במצב אופקי, והמחוג M מצביע על אפס. כשמחברים את מקור המתח, פועל על המסגרת כוח מגנטי F, שאותו מאזנים באמצעות סיכות מהדק. המסה של סיכה אחת היא 0.02 גרם .

בטבלה שלפניך רשום מספר הסיכות (N), המאזנות את הכוח המגנטי עבור זרמים שונים (I).

N מספר הסיכות	1	2	3	4	5
I עוצמת זרם באמפרים	0.500	0.950	1.50	2.05	2.50

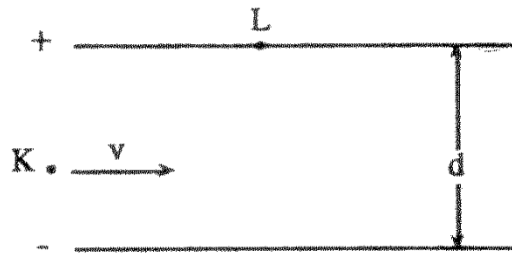
- מהו כיוון השדה המגנטי (סמן $x \rightarrow y$ או $y \rightarrow x$)? הסבר. (6 נקודות)
- סרטט גרף, המתאר את הכוח המגנטי F בניוטונים כפונקציה של עוצמת הזרם I שזורם במסגרת. (12 נקודות) –
- חשב את שיפוע הגרף שסרטטת. (5 נקודות)
 - ציין את היחידות של השיפוע. (5 נקודות)
 - חשב את עוצמת השדה המגנטי. ($5 \frac{1}{3}$ נקודות)

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



- א. האם מטען החלקיקים הוא חיובי או שלילי? נמק. (5 נקודות)
- ב. מה כיוון השדה החשמלי? נמק. (5 נקודות)
- ג. בטא את המרחק OK באמצעות q , m , B ו- E . (13 $\frac{1}{3}$ נקודות)
- ד. רוצים שהחלקיקים יפגעו בחיץ בנקודה קרובה יותר לחריז 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)

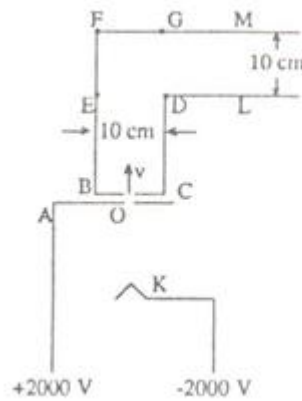
4. בין שני לוחות מקבילים גדולים, שהמרחק ביניהם הוא d , שורר מתח V . מנקודה K הנמצאת בין שני הלוחות (ראה תרשים) יורים חלקיק במהירות v בכיוון מקביל ללוחות. מסת החלקיק m ומטענו $+q$. הזנח את השפעת הגרביטציה.



- א. מהי צורת המסלול (קו ישר, מעגל, פרבולה, היפרבולה, אחר) של החלקיק?
 סרטט באופן סכמטי את המסלול בין שני הלוחות הטעונים. הסבר. (8 נקודות)
 ב. כדי שחלקיק זהה לראשון ינוע בקו ישר בין הלוחות הטעונים, מוסיפים למרחב שבין הלוחות שדה מגנטי אחיד. קבע מה כיוונו של השדה המגנטי. נמק. (3 $\frac{1}{3}$ נקודות)
 ג. מצא ביטוי לגודלו של השדה המגנטי באמצעות הגדלים המופיעים בשאלה. (8 נקודות)
 ד. מפסיקים את המתח בין הלוחות, משאירים את השדה המגנטי (שביטאת בסעיף ג), ויורים מנקודה L (ראה תרשים) חלקיק נוסף זהה לראשון במהירות v כלפי מטה. האם החלקיק יפגע בטבלה התחתונה? נמק. (14 נקודות)

נתון (לסעיף ד בלבד): $V = 2000V$, $d = 4cm$, $m = 0.2gr$, $q = +10^{-6}C$, $v = 5 \frac{m}{s}$

17.



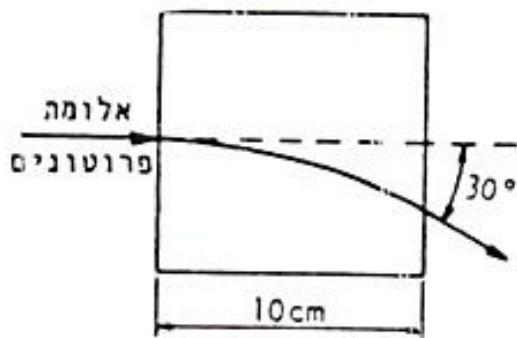
במתקן להאצת אלקטרונים, הקתודה K, שהפוטנציאל שלה הוא -2000 V , לוחטת ופולטת אלקטרונים. האלקטרונים הנפלטים מואצים אל האנודה A, שהפוטנציאל שלה הוא 2000 V . חלק מהאלקטרונים עוברים דרך נקב O שבאנודה, ונכנסים לצינור מתכתי, הכפוף בזווית ישרה, דרך חור שבמרכז התחתית BC של הצינור. קוטר הצינור הוא 10 cm (ראה תרשים).

המתקן והצינור מרוקנים מאוויר. ניתן להזניח את מהירותם ההתחלתית של האלקטרונים הנפלטים מהקתודה.

- א. חשב את מהירות האלקטרונים v בעוברם דרך הנקב O. (4 נקודות)
- ב. משרים שדה מגנטי מאונך למישור EDGF, המוגבל רק לחלק זה של הצינור, כך שהאלקטרונים נכנסים לחלק DGML של הצינור, ונעים לאורך צירו.
 - (1) מהו כיוון השדה המגנטי? נמק. (2 נקודות)
 - (2) מהי עוצמת השדה המגנטי? (4 נקודות)
- ג. האם מהירות האלקטרונים בחלק DGML תהיה קטנה, שווה או גדולה ממהירותם בחלק BCDE? הסבר. (2 נקודות)

9.

אלומת פרוטונים, בעלת אנרגיה קינטית של 1 MeV , מכוונת לאורך באורך 10 cm . באזור זה שורר שדה מגנטי אחיד, בכיוון מאונך לאלומה. האלומה יוצאת מתוך השדה כשהיא מוטה בזווית של 30° ביחס לכיוונה המקורי. (ראה תרשים).



א. מהי צורת מסלולם של חלקיקי האלומה בתוך השדה המגנטי? נמקו (4 נקודות)

ב. מהו כיוונו של השדה המגנטי? נמקו (3 נקודות)

ג. מהי עוצמתו של השדה המגנטי? (3 נקודות)

20. שדה חשמלי אחיד שעוצמתו $80 \frac{\text{וולט}}{\text{ס"מ}}$ מאונך לשדה מגנטי שעוצמתו $3 \cdot 10^{-3}$ טסלה $\left(\frac{\text{ובר}}{\text{מ}^2}\right)$. אלומת אלקטרונים נעה במהירות קבועה ובלי סטייה במאונך לקווי השדה של שני השדות הנ"ל.

- א. חשב את מהירות האלקטרונים. (5 נקודות)
- ב. חשב את המרחק שהיה דרוש כדי להאיץ את האלקטרונים למהירותם זו, לפני כניסתם לשני השדות. (2 נקודות)
- ג. כיצד יראה מסלול התנועה של האלקטרונים, אם מבטלים את השדה החשמלי ומשאירים את השדה המגנטי בלבד? נמק. (4 נקודות)
- ד. כיצד יראה מסלול התנועה של האלקטרונים, אם מבטלים את השדה המגנטי ומשאירים את השדה החשמלי בלבד? נמק. (4 נקודות)