

פיזיקה חשמל הוראות

א. משך הבחינה: שעתיים.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה:

בשאלון זה שש שאלות, ומהן יש לענות על שלוש בלבד.
לכל שאלה – $33\frac{1}{3}$ נקודות; $3 \times 33\frac{1}{3} = 100$ נקודות

ג. חומר עזר מותר בשימוש: (1) מחשבון לא גרפי. אין להשתמש באפשרויות התכנות במחשבון שיש בו אפשרות תכנות.
(2) דפי נוסחאות ונתונים (מצורפים).

ד. הוראות מיוחדות:

- (1) יש לענות על שלוש שאלות בלבד. אם תענו על יותר משלוש שאלות, ייבדקו רק שלוש התשובות הראשונות שבמחברת. יש לציין באופן ברור את מספר השאלה והסעיף שבחרתם.
- (2) בשאלות שבפתרון שלהן נדרש חישוב, יש להציג את השלבים האלה:
רישום הביטוי המתמטי כפי שהוא כתוב בדפי הנוסחאות והנתונים המצורפים, פיתוח מתמטי ושינוי נושא נוסחה בהתאם לבעיה, הצגה מפורשת של הנתונים בביטוי שהתקבל, הצגת תוצאות החישוב באמצעות שבר עשרוני ובו מספר סביר של ספרות משמעותיות ויחידות המדידה המתאימות.
- (3) בשאלות שהתשובה עליהן מילולית, יש לענות בקצרה אך ורק בנוגע למה שנשאלתם.
- (4) בגרפים, יש לסרטט קווים ישרים באמצעות סרגל.
- (5) כאשר אתם נדרשים להביע גודל באמצעות נתוני השאלה, יש לרשום ביטוי מתמטי הכולל את נתוני השאלה או את חלקם; במידת הצורך אפשר להשתמש גם בקבועים בסיסיים מתוך הטבלה שבדפי הנוסחאות והנתונים או בגודל תאוצת הנפילה החופשית g .
- (6) בחישובים יש להשתמש בערך 10 m/s^2 לגודל תאוצת הנפילה החופשית (בסמוך לפני כדור הארץ).
- (7) יש לכתוב את התשובות בעט. אם תכתבו בעיפרון או תמחקו בטיפקס לא תוכלו לערער. מותר להשתמש בעיפרון לסרטוטים וגרפים בלבד.

יש לכתוב במחברת הבחינה בלבד. יש לרשום "טיוטה" בראש כל עמוד המשמש טיוטה.
כתיבת טיוטה בדפים שאינם במחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה.

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

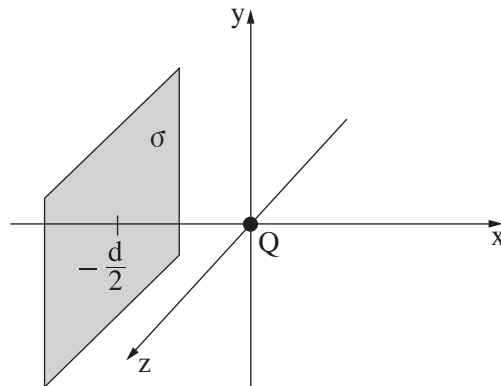
בהצלחה!

השאלות

ענו על שלוש מן השאלות 1-6.

(לכל שאלה – $3\frac{1}{3}$ נקודות; מספר הנקודות לכל סעיף רשום בסופו).

1. נתונה מערכת המורכבת ממטען נקודתי חיובי שמטענו Q , ומלוח מישורי גדול מאוד ("לוח אינְ־סופי") הטעון בצפיפות משטחית חיובית אחידה σ . המטען הנקודתי מוחזק במנוחה בראשית הצירים, והלוח ממוקם בנקודה $x = -\frac{d}{2}$ בניצב לציר ה- x (הלוח מקביל למישור yz). המערכת מתוארת בתרשים שלפניכם.



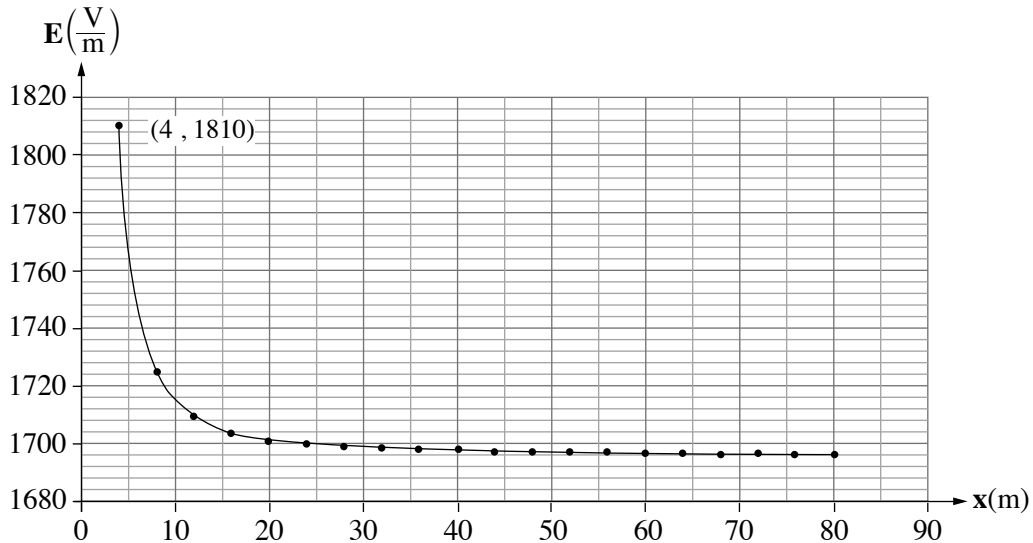
המערכת נמצאת בתנאי ריק. ההשפעה של המטען הנקודתי על צפיפות המטען המשטחית σ ניתנת להזנחה בשאלה כולה.

- א. בטאו את עוצמת השדה החשמלי, $E(x)$, לאורך ציר ה- x , עבור $x > 0$. השתמשו בפרמטרים Q , σ , ובקבועים בסיסיים. (6 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

לפניכם גרף המתאר את עוצמת השדה החשמלי, E , בכמה נקודות לאורך ציר ה- x , החל בנקודה $x = d$.
נתון: $E(4) = 1810 \frac{V}{m}$, $d = 4m$.

עוצמת השדה החשמלי לאורך ציר ה- x



ב. (1) חשבו באמצעות הגרף את צפיפות המטען המשטחית, σ .

(2) חשבו את גודל המטען הנקודתי Q .

(9 נקודות)

משחררים ממנוחה חלקיק שטעון חיובי מנקודה הנמצאת על החלק החיובי של ציר ה- x . החלקיק נע לאורך ציר ה- x בכיוון החיובי.

ג. קבעו איזה מן ההיגדים 1-4 שלפניכם נכון, ונמקו את קביעתכם. (6 נקודות)

1. כשהחלקיק נמצא במרחק גדול מאוד מן המערכת – תנועתו היא שוות תאוצה בקירוב.

2. כשהחלקיק נמצא במרחק גדול מאוד מן המערכת – תנועתו היא שוות מהירות בקירוב.

3. כשהחלקיק נמצא במרחק גדול מאוד מן המערכת – מהירותו מתאפסת.

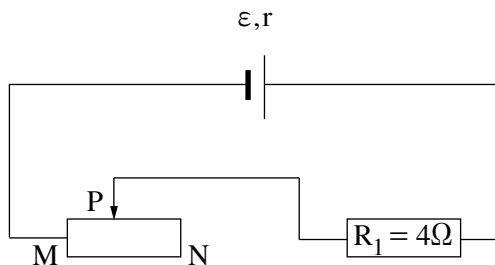
4. אי אפשר לדעת מהו סוג התנועה בלי לדעת מהי מסת החלקיק.

ד. חשבו את $V_{d, 2d}$, הפרש הפוטנציאלים בין הנקודה $x = d$ לנקודה $x = 2d$ (שתי הנקודות נמצאות על ציר ה- x).
(7 נקודות)

ה. אילו הלוח הטעון היה ממוקם בנקודה $x = \frac{d}{2}$, האם הפרש הפוטנציאלים בין הנקודה $x = d$ לנקודה $x = 2d$ היה גדל, קטן או לא משתנה? נמקו את קביעתכם. (3 נקודות)

2.

בתרשים 1 מתואר מעגל חשמלי המורכב מסוללה שהכא"מ שלה ε והתנגדותה הפנימית r , נגד שהתנגדותו קבועה $R_1 = 4\Omega$, נגד משתנה MN שנקודת המגע הנייד (הגררה) שלו היא P ותילים אידיאליים. נתון כי ההתנגדות של הנגד המשתנה ליחידת אורך היא $\lambda = 0.8 \frac{\Omega}{\text{cm}}$ ואורכו הכולל $\ell = 30 \text{ cm}$.



תרשים 1

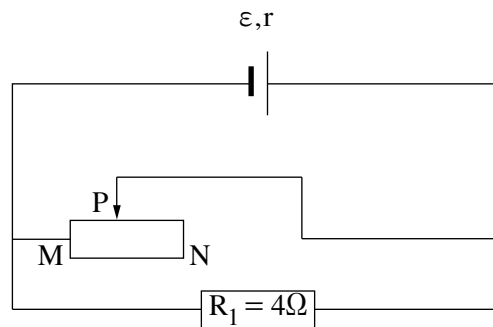
- א. לפניכם חמישה היגדים 1-5. העתיקו למחברת הבחינה רק את ההיגדים הנכונים. (6 נקודות)
1. הערך של מתח ההדקים תלוי בהתנגדות הפנימית של הסוללה.
 2. הערך של מתח ההדקים קטן כאשר ההתנגדות החיצונית של המעגל גדלה.
 3. ככל שעוצמת הזרם במעגל גדלה – מתח ההדקים גדל.
 4. ערך הכא"מ אינו תלוי בזרם.
 5. $\frac{J}{C}$ היא יחידה המבטאת כא"מ.

נתון:

- כאשר עוצמת הזרם במעגל היא $I = 1.5 \text{ A}$, מתח ההדקים הוא $V = 18 \text{ V}$.
 כאשר עוצמת הזרם במעגל היא $I = 2.5 \text{ A}$, מתח ההדקים הוא $V = 16 \text{ V}$.
- ב. חשבו את כא"מ הסוללה, ε , ואת התנגדותה הפנימית, r . (8 נקודות)
- ג. חשבו את המרחק של המגע הנייד P מן הקצה N של הנגד המשתנה, כאשר הזרם במעגל הוא $I = 1.5 \text{ A}$. (7 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

פירקו את המעגל המתואר בתרשים 1 והרכיבו מאותם הרכיבים מעגל אחר, המתואר בתרשים 2. המגע הנייד P נמצא במיקום שחישבתם בסעיף ג.



תרשים 2

ענו על סעיפים ד-ה בנוגע למעגל המתואר בתרשים 2.

ד. האם מתח ההדקים שווה ל- $18V$, גדול ממנו או קטן ממנו? נמקו את קביעתכם. (7 נקודות)

ה. (1) האם אפשר למדוד במעגל זה מתח הדקים שערכו $V = \varepsilon$? אם כן - הסבירו כיצד,

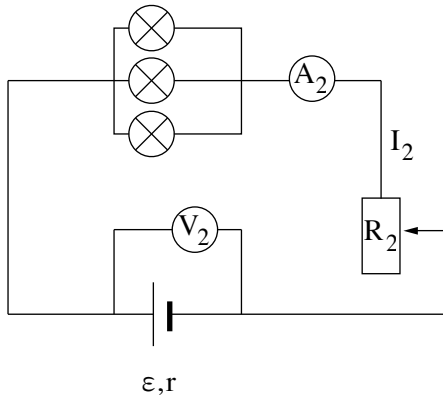
אם לא - נמקו את קביעתכם.

(2) האם אפשר למדוד במעגל זה מתח הדקים שערכו $V = 0$? אם כן - הסבירו כיצד,

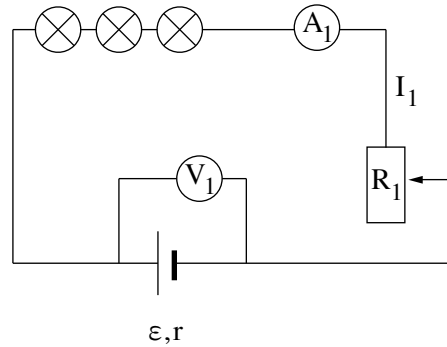
אם לא - נמקו את קביעתכם.

($5\frac{1}{3}$ נקודות)

3. בתרשימים שלפניכם מתוארים שני מעגלים חשמליים שונים, מעגל 1 ומעגל 2, המורכבים מרכיבים זהים: מקור מתח שהכא"מ שלו ε והתנגדותו הפנימית r , שלוש נורות שעל כל אחת מהן רשום $3V$ ו- $2W$, נגד משתנה, תילים ומכשירי מדידה אידיאליים.



מעגל 2



מעגל 1

בכל אחד משני המעגלים מזיזים את הגרר של הנגד המשתנה עד שכל הנורות מאירות באורן המלא, בהתאם לרשום עליהן. מצב זה אינו משתנה בכל סעיפי השאלה.

א. חשבו את I_1 , הוריית המד-זרם במעגל 1, ואת I_2 , הוריית המד-זרם במעגל 2. (7 נקודות)

נתון: הוריית המד-מתח במעגל 1 היא $V_1 = 9\frac{1}{3}V$, והוריית המד-מתח במעגל 2 היא $V_2 = 4V$.

ב. חשבו את R_1 , ההתנגדות של הנגד המשתנה במעגל 1, ואת R_2 , ההתנגדות של הנגד המשתנה במעגל 2. (7 נקודות)

ג. קבעו באיזה משני המעגלים, מעגל 1 או מעגל 2, ההספק המושקע על ידי מקור המתח גדול יותר, וחשבו פי כמה ההספק המושקע גדול יותר. (6 נקודות)

ד. קבעו באיזה משני המעגלים, מעגל 1 או מעגל 2, ההספק המבובז בתוך מקור המתח גדול יותר, וחשבו פי כמה ההספק המבובז גדול יותר. (5 נקודות)

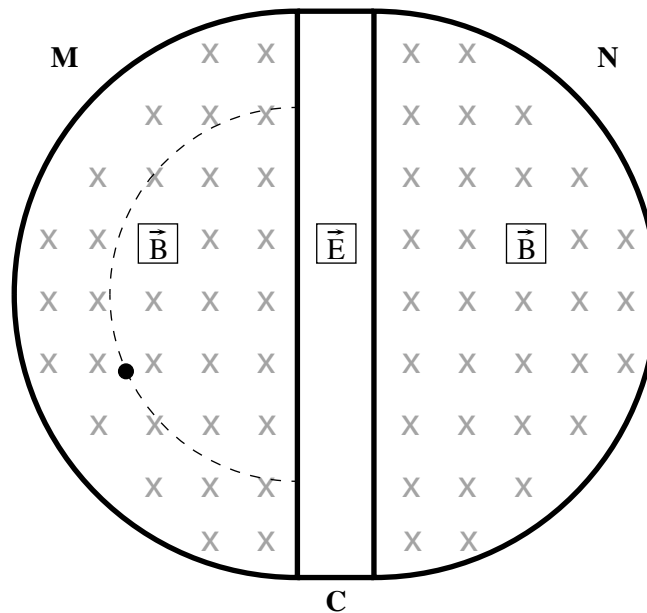
נצילות המעגל מוגדרת כך: היחס בין ההספק המנוצל על ידי המעגל כולו (נורות ונגד משתנה) לבין ההספק המושקע על ידי מקור המתח.

תלמיד טוען שההספק הכולל של הנורות במעגל 1 שווה להספק הכולל של הנורות במעגל 2, ולכן המעגל שבו ההספק של הנגד המשתנה גדול יותר, הוא המעגל שנצילותו גדולה יותר.

ה. קבעו אם הטענה נכונה או שגויה. נמקו את קביעתכם. (4 נקודות)

ו. קבעו באיזה משני המעגלים, מעגל 1 או מעגל 2, הנצילות גדולה יותר. 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.



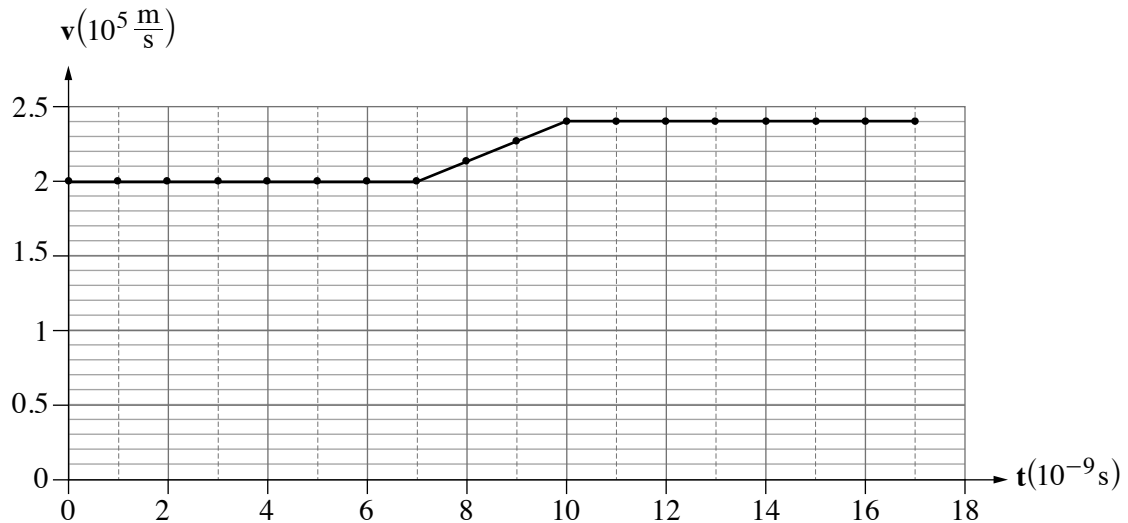
תרשים 1

- 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 $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg.

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

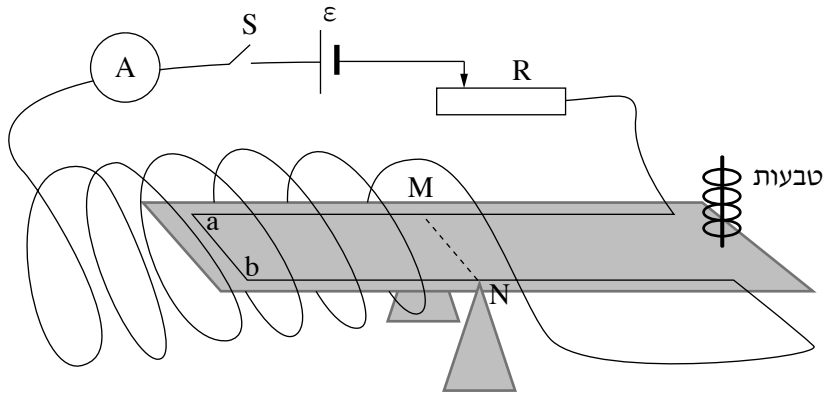
ד. חשבו באמצעות הגרף את הגודל של השדה החשמלי \vec{E} . (7 נקודות)

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

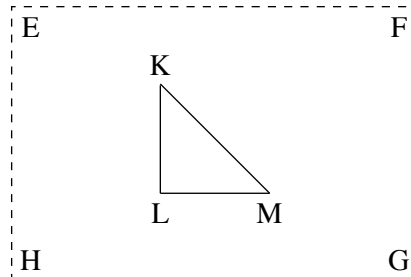
ה. על פי הערך של שיפוע הגרף, חשבו את המסה של טבעת, m_0 . (5 נקודות)

הופכים את הקוטביות של מקור המתח.

ו. האם במצב זה אפשר להשתמש במערכת כדי למדוד מסה של גופים קטנים? נמקו את קביעתכם. (5 $\frac{1}{3}$ נקודות)

השראה

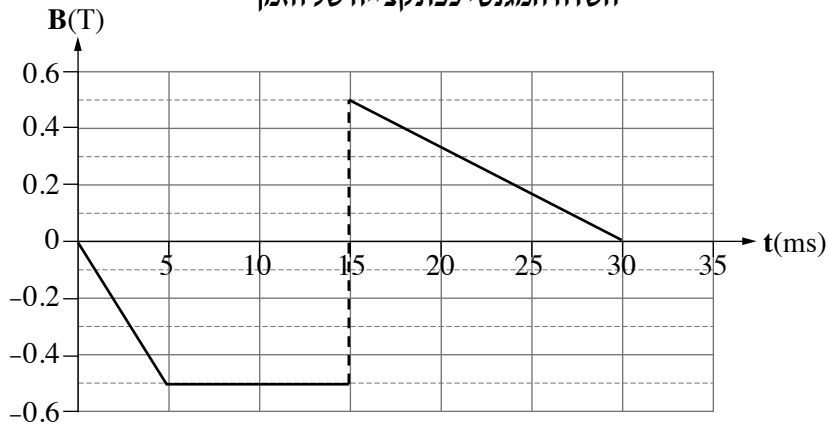
6. נתון תיל מוליך KLM שצורתו משולש ישר זווית ושווה שוקיים, כמתואר בתרשים 1. התיל נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד השורר באזור מלבני EFGH. עוצמתו של השדה המגנטי משתנה עם הזמן, וכיוונו מאונך למישור המשולש KLM. נתון: התנגדות התיל היא $R = 1.2\Omega$. שטח המשולש שנוצר על ידי התיל הוא $S_{KLM} = 100\text{cm}^2$.



תרשים 1

הגרף שבתרשים 2 מתאר את השדה המגנטי כפונקצייה של הזמן (שימו לב ליחידות המידה).

השדה המגנטי כפונקצייה של הזמן



תרשים 2

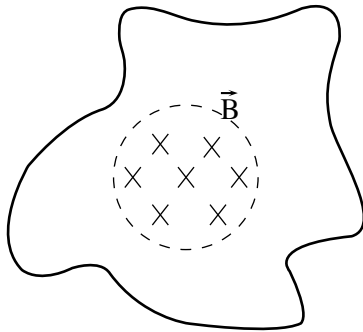
- נתון כי בפרק הזמן $0 < t < 5\text{ms}$, זורם בתיל זרם חשמלי מושרה שכיוונו מ- L ל- M.
- א. מהו הכיוון של השדה המגנטי המושרה בתוך המשולש בפרק זמן זה – לתוך מישור הדף או החוצה ממנו? (4 נקודות)
- ב. מהו הכיוון של השדה המגנטי האחיד בפרק זמן זה? נמקו את קביעתכם. (6 נקודות)
- ג. חשבו את הזרם המושרה בתיל, בכל אחד משלושת פרקי הזמן המוגדרים בתת-סעיפים (1)–(3) שלפניכם. הכיוון החיובי של הזרם מוגדר מ- L ל- M. (8 נקודות)
- (1) פרק הזמן $0 < t < 5\text{ms}$
- (2) פרק הזמן $5\text{ms} < t < 15\text{ms}$
- (3) פרק הזמן $15\text{ms} < t < 30\text{ms}$
- ד. חשבו את ההספק החשמלי בתיל ברגע $t = 20\text{ms}$. (6 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא.)

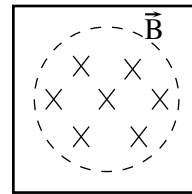
במקרה אחר, באותה מערכת, השדה המגנטי אחיד וקבוע בזמן, וכיוונו יוצא ממישור המשולש ומאונך לו. התיל נע ימינה במהירות קבועה, ויוצא מתוך האזור שבו פועל השדה המגנטי.

ה. התייחסו לפרק הזמן מרגע שבו התיל מתחיל לצאת מן השדה ועד ליציאת כולו מן השדה, וקבעו אם עוצמת הזרם המושרה בפרק זמן זה היא קבועה או משתנה. נמקו את קביעתכם. (5 נקודות)

במערכת אחרת נתון אזור מעגלי ובו שדה מגנטי אחיד המשתנה כפונקצייה של הזמן. פעם אחת מקיפים את השדה בתיל מוליך המוצב בצורת ריבוע (תרשים א) ופעם אחרת – בתיל מוליך המוצב בצורה ששטחה גדול יותר משטח הריבוע (תרשים ב).



תרשים ב



תרשים א

תרשים 3

1. לפניכם טענה: הכא"מ המושרה בתיל המתואר בתרשים ב3 גדול יותר מהכא"מ המושרה בתיל המתואר בתרשים א3, כי השטח התחום על ידו גדול יותר. קבעו אם הטענה נכונה או שגויה. נמקו את קביעתכם. (4 1/3 נקודות)

בהצלחה!