

פיזיקה חשמל הוראות

א. משך הבחינה: שעותיים.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה:

בשאלון זה שש שאלות, ומהן יש לענות על שלוש שאלות בלבד.

לכל שאלה – $33\frac{1}{3}$ נקודות; $100 = 33\frac{1}{3} \times 3$ 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 שבחרתם ואת הסעיף.

(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 מתאים של ספרות משמעותיות וכן יחידות המידה.

(3) את הגרפים יש לסרטט בגודל של חצי עמוד לפחות. יש להשתמש בסרגל לסרטוט קווים ישרים.

(4) כאשר 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 .

(5) בחישובים יש להשתמש בערך 10 m/s^2 לגודל של g – תאוצת הנפילה החופשית (בסמוך לפני כדור הארץ).

(6) יש לכתוב את התשובות בעט. מותר להשתמש בעיפרון לסרטוטים וגרפים בלבד.

(7) במקרה של טעות, אפשר להסתפק בהעברת קו חוצה כפול על המילים או המשפטים השגויים.

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

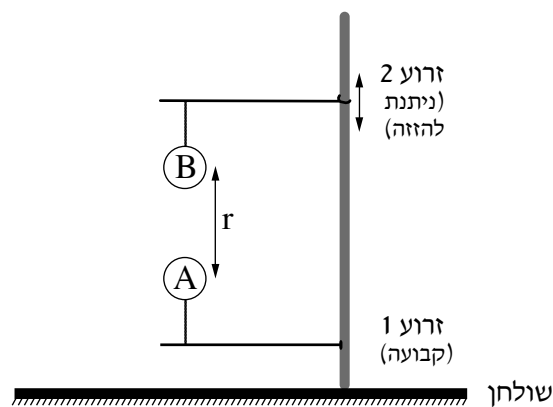
ענו על שלוש מן השאלות 1-6.

(לכל שאלה – $33\frac{1}{3}$ נקודות; מספר הנקודות לכל סעיף רשום בסופו.)

1. תלמידים קיבלו משימה לביצוע – מעבדה בסימולציה ממוחשבת העוסקת באלקטרוסטטיקה.

בסימולציה שני כדורים קטנים A ו-B. כדור A טעון במטען q וכדור B טעון במטען זהה בגודל ומנוגד בסימן, $-q$. המערכת בסימולציה נמצאת בריק.

המערכת בסימולציה מכילה מעמד מעבדתי (סטטיב) המוצב על שולחן. למעמד מחוברות שתי זרועות: זרוע 1 מקובעת במקומה ואליה קשור בחוט מבודד כדור A, וזרוע 2 הניתנת להזזה מעלה ומטה, וממנה תלוי בחוט מבודד כדור B. מרכזי הכדורים נמצאים על קו אנכי (ראו תרשים).



הסימולציה מציגה מדידות של:

– T_B , מתיחות החוט שאליו הכדור B קשור.

– r , המרחק בין מרכזי הכדורים A ו-B.

מסתו של כל כדור היא m. הניחו שבסימולציה כמות המטען q על כל כדור קבועה והתפלגותו אחידה. תנאי הכבידה בסימולציה זהים לאלה שעל פני כדור הארץ.

א. (1) סרטטו את תרשים הכוחות שפועלים על כדור B. ליד כל כוח רשמו את שמו וציינו מי מפעיל אותו.

(2) פתחו ביטוי של מתיחות החוט, T_B , כפונקציה של המרחק r.

השתמשו בפרמטרים m, q ובקבועים פיזיקליים, אם יש צורך.

(7 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא)

התלמידים שינו כמה פעמים בסימולציה את המרחק r בין מרכזי הכדורים ורשמו בהתאמה את המתוחות T_B שהסימולציה מציגה.

תוצאות המדידות מופיעות בטבלה שלפניכם:

r (m)	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
T_B (N)	0.41	0.33	0.28	0.25	0.21

התלמידים סרטטו גרף של המתוחות T_B כפונקצייה של משתנה חדש שנבחר כך שהגרף יהיה ליניארי.

ב. קבעו מהו המשתנה החדש, ומה הן יחידות המידה שלו. העתיקו למחברתכם את השורה של T_B מן הטבלה, הוסיפו

מתחתיה שורה חדשה, ורשמו בה את הערכים והיחידות של המשתנה החדש. (4 נקודות)

ג. (1) סרטטו במחברתכם דיאגרמת פיזור (נקודות במערכת הצירים) של המתוחות T_B כפונקצייה של המשתנה החדש.

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

(9 נקודות)

ד. היעזרו בגרף וחשבו את גודל המטען $|q|$ ואת המסה m של כל אחד מן הכדורים. (8 נקודות)

סימולציה זו מתוכננת כך שהמתוחות המרבית שכל חוט יכול לשאת בלי להיקרע היא $T_{\max}$.

התלמידים קירבו באיטיות את כדור B לעבר כדור A עד אשר לפחות אחד מן החוטים נקרע.

ה. קבעו מה קרה: החוט הקשור לכדור A נקרע ראשון, החוט הקשור לכדור B נקרע ראשון או שני החוטים נקרעו

באותו הזמן. נמקו את קביעתכם. ($5\frac{1}{3}$ נקודות)

2.

תלמידים ביצעו ניסויים במעגל חשמלי. הרכיבים שעמדו לרשותם הם אלה :

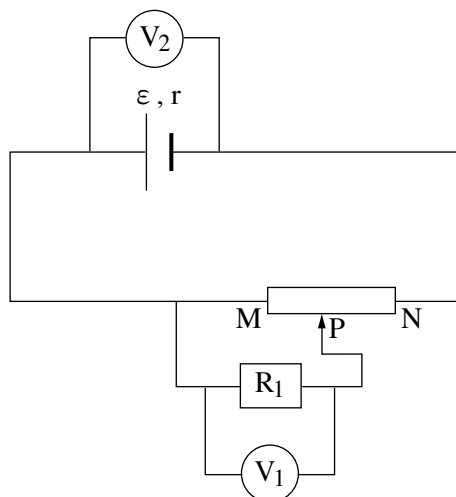
- מקור מתח בעל כ"מ $\varepsilon = 20V$ והתנגדות פנימית $r = 2\Omega$.
 - נגד שהתנגדותו R_1 .
 - שני מדי מתח אידיאליים.
 - תילים מוליכים בעלי התנגדות זניחה.
 - נגד משתנה MN עם מגע נייד P.
- התלמידים חיברו את הנגד R_1 למקור המתח. הם מדדו את מתח ההדקים של מקור המתח באמצעות אחד ממדי המתח. הוריית מד המתח הייתה $16V$.

א. (1) סרטטו תרשים של המעגל שהרכיבו התלמידים.

(2) חשבו את ההתנגדות R_1 .

(7 נקודות)

בניסוי נוסף, הרכיבו התלמידים את המעגל המתואר בתרשים 1.



תרשים 1

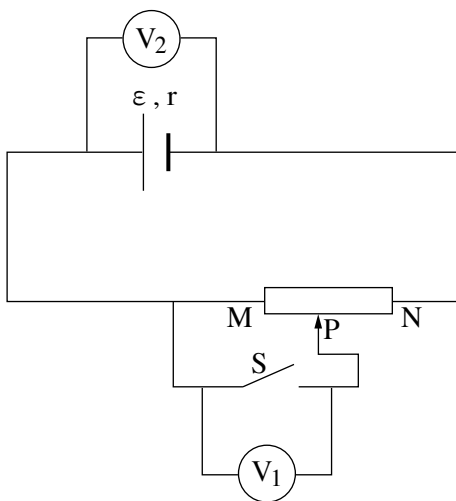
ב. התלמידים הציבו את המגע הנייד P בדיוק באמצע הנגד המשתנה MN והתבוננו בהוריות מדי המתח V_1 ו- V_2 .קבעו אם V_1 גדול מ- $\frac{V_2}{2}$, קטן ממנו, או שווה לו. נמקו את קביעתכם. (7 נקודות)

התלמידים הציבו את המגע הנייד P בנקודה חדשה.

עבור נקודה זו הוריית מד המתח V_1 הייתה $12V$ והוריית מד המתח V_2 הייתה $15V$.ג. חשבו את התנגדות הקטע MP בנגד המשתנה, R_{MP} . (9 נקודות)ד. חשבו את ההתנגדות של הנגד המשתנה כולו, R_{MN} . (5 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא)

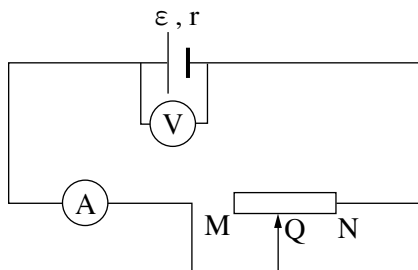
התלמידים החליטו לחבר למעגל המתואר בתרשים 1 מפסק S במקום הנגד R_1 .
 המעגל החדש שבנו מתואר בתרשים 2.
 התלמידים הזיזו באיטיות את המגע הנייד P לעבר הנקודה N , כך שהמגע הנייד נותר מחובר לנגד המשתנה לכל אורך התהליך, והתבוננו בהוריות מדי המתח V_1 ו- V_2 .



תרשים 2

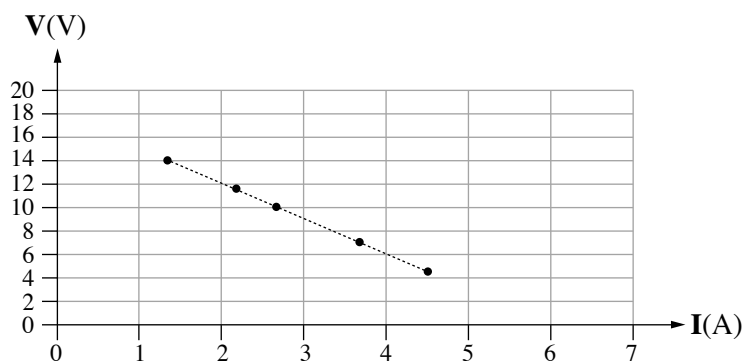
- ה. עבור כל אחד ממדי המתח V_1 ו- V_2 , קבעו אם הערך שהוא יורה יקטן בעת ביצוע פעולה זו, יגדל או לא ישתנה בכל אחד משני המצבים (1)–(2) שלפניכם. נמקו את קביעותיכם.
- (1) המפסק S פתוח.
 - (2) המפסק S סגור.
- ($5\frac{1}{3}$ נקודות)

3. תלמידות הרכיבו את המעגל החשמלי המתואר בתרשים 1 מן הרכיבים האלה: מקור מתח שהכא"מ שלו ε והתנגדותו הפנימית r , נגד משתנה R_{MN} שנקודת המגע הנייד שלו היא Q , תילים מוליכים שהתנגדותם זניחה ומכשירי מדידה אידיאליים: מד מתח V ומד זרם A .



תרשים 1

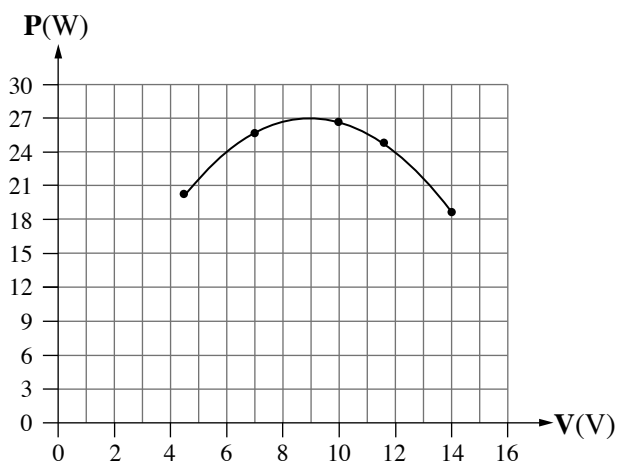
התלמידות שינו את מיקום המגע הנייד Q של הנגד המשתנה R_{MN} . בכל פעם רשמו את הורית מד המתח V ואת הוריית מד הזרם A . התלמידות סרטטו גרף של מתח ההדקים V כפונקצייה של הזרם I (ראו תרשים 2).



תרשים 2

א. היעזרו בגרף שבתרשים 2 ומצאו את הכא"מ של מקור המתח ε , ואת התנגדותו הפנימית r . (7 נקודות)

התלמידות חישובו את ההספק המנוצל בכל אחת מן המדידות וסרטטו גרף של ההספק המנוצל P כתלות במתח ההדקים V (ראו תרשים 3).



תרשים 3

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא)

ב. הראו שהביטוי הכללי של ההספק המנוצל P כפונקצייה של מתח ההדקים V הוא:

$$P = -\frac{V^2}{r} + \frac{\varepsilon V}{r} \quad (8 \text{ נקודות})$$

התלמידות רצו להשתמש בנגד R_{MN} במעגל זה כגוף חימום שבאמצעותו אפשר לחמם מים. הן מיקמו את המגע הנייד Q של הנגד המשתנה R_{MN} כך שהמים יתחממו בזמן הקצר ביותר. ג. חשבו את ההתנגדות R_{QN} במצב זה. פרטו את חישוביכם. (6 נקודות)

ד. לפניכם שני היגדים. עבור כל היגד קבעו אם הוא נכון או לא נכון, ונמקו את קביעותיכם.

(1) מעמידים את המגע הנייד Q כך שהמים יתחממו בזמן הקצר ביותר.

במצב זה נצילות מקור המתח היא מקסימלית.

(2) אפשר למדוד הספק ביחידות $\frac{eV}{s}$ (אלקטרון-וולט לשנייה).

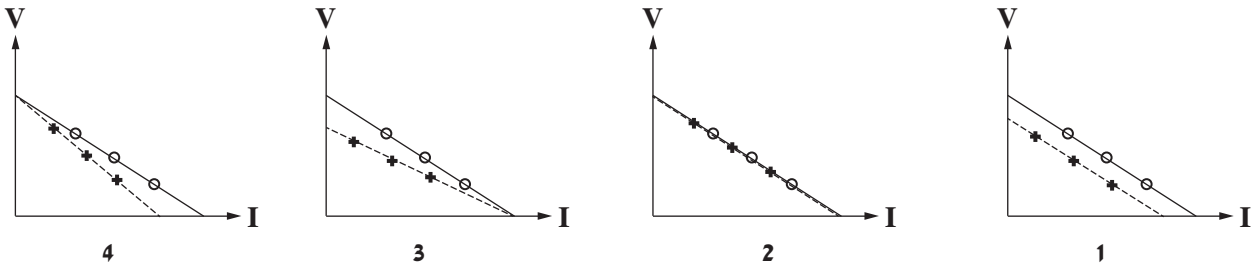
(7 נקודות)

התלמידות ביצעו את הניסוי פעם נוספת עם מד זרם שהתנגדותו לא זניחה. נקודות המגע של המגע הנייד Q בנגד המשתנה היו זהות בשני הניסויים.

בתרשים שלפניכם ארבעה גרפי פיזור 1-4 המתארים את המדידות של שני הניסויים, באופן הזה:

– המדידות של הניסוי הראשון (מד זרם אידיאלי) מסומנות ב- "○" וקו המגמה הוא קו רציף.

– המדידות של הניסוי השני (מד זרם שהתנגדותו לא זניחה) מסומנות ב- "+" וקו המגמה הוא קו מקווקו.



ה. קבעו איזה גרף מתאר בצורה הטובה ביותר את תוצאות המדידות. נמקו את קביעתכם. (5 $\frac{1}{3}$ נקודות)

4.

מתכננים מכשיר דמוי גליונומטר טנגנטי לשימוש במעבדה בבית הספר.

מצפן מונח במרכז לוח אופקי. שתי מערכות של כריכות מעגליות (שהמצפן נמצא במרכזן המשותף) מאונכות ללוח.

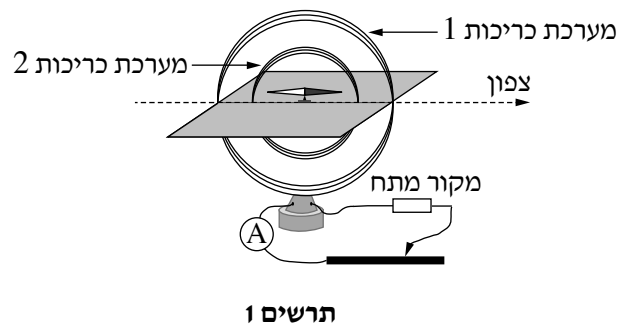
שתי המערכות מקבילות זו לזו ומישוריהן בכיוון צפון-דרום (ראו תרשים 1).

נתוני מערכות הכריכות במכשיר זה:

מערכת כריכות 1 – רדיוס $R_1 = 0.15\text{m}$, מספר הכריכות $N_1 = 10$, הזרם i_1 ניתן לשינוי בגודלו ובמגמתו.

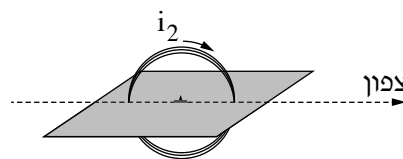
המעגל החשמלי השולט על הזרם במערכת כריכות 1 מוצג בתרשים 1.

מערכת כריכות 2 – רדיוס $R_2 = 0.10\text{m}$, מספר הכריכות $N_2 = 10$. במערכת זו עובר זרם קבוע בגודלו ובמגמתו i_2 .



תרשים 1

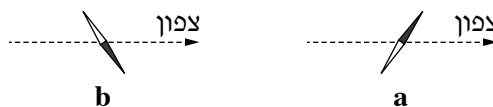
הכיוון החיובי עבור שני הזרמים נקבע ככיוון מגמת הזרם i_2 . כיוון הזרם i_2 במערכת כריכות 2 מסומן בתרשים 2.



תרשים 2

א. (1) במקרה ראשון, במערכת כריכות 1 לא זורם זרם, ובמערכת כריכות 2 זורם זרם i_2 שכיוונו מתואר בתרשים 2.

קבעו איזה מן האיורים (a או b) מתאר במבט על את כיוון סטיית המצפן המוצב במרכז הכריכות.

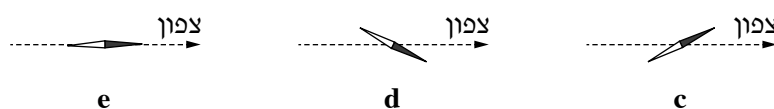


(2) במקרה שני, נוסף על הזרם העובר במערכת כריכות 2, עובר במערכת כריכות 1 זרם $i_1 = -i_2$ (זרם שעוצמתו

שווה בגודלה ל- i_2 במגמה הפוכה).

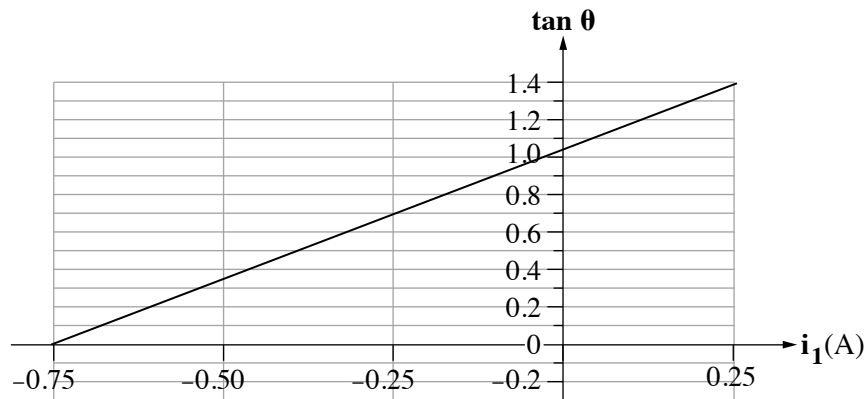
קבעו איזה מן האיורים (c, d, e) מתאר במבט על את כיוון סטיית המצפן במקרה זה. נמקו את קביעתכם.

(6 נקודות)



(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא)

תלמידים ערכו ניסוי במכשיר המתואר בתרשים 1. הם שינו כמה פעמים את הזרם i_1 (הזורם במערכת כריכות 1) ומדדו בכל פעם את זווית סטיית המצפן מן הצפון, θ .
 התלמידים סרטטו גרף של $\tan \theta$ כתלות בזרם i_1 . קו המגמה של גרף זה מתואר בתרשים 3.



תרשים 3

ב. (1) הראו כי עבור נקודת החיתוך של קו המגמה עם הציר האופקי מתקיים הקשר: $\frac{|i_1|}{i_2} = \frac{R_1}{R_2}$.

(2) חשבו את גודל הזרם i_2 .

(6 נקודות)

ג. היעזרו בגרף שבתרשים 3 וחשבו את גודל הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, $B_{E \parallel}$, באזור ביצוע הניסוי.

(8 נקודות)

במכשיר שבתרשים 1, מסובבים את מערכת כריכות 2 ב- 90° כך שהשדה המגנטי הנוצר על ידי הזרם הוא בכיוון צפון.

מערכת כריכות 1 נותרה ללא שינוי, כך ששתי המערכות מאונכות זו לזו.

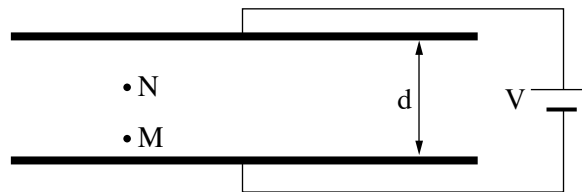
ד. סרטטו את תרשים השדות המגנטיים הפועלים על מחט המצפן במצב זה, וסמנו בתרשים את זווית סטיית מחט המצפן

מן הצפון. $(5\frac{1}{3}$ נקודות)

ה. משנים את הזרם i_1 כך שטנגנס זווית סטיית המחט שווה ל-1.4. חשבו את גודל הזרם i_1 במצב זה. (8 נקודות)

קיבול

5. קבל לוחות שקיבולו C_1 מורכב משני לוחות מוליכים אופקיים דקים זהים, שהמרחק ביניהם $d = 15\text{mm}$. בין הלוחות שורר ריק ($\epsilon_r = 1$). בניסוי ראשון, הקבל מחובר למקור מתח V . במצב זה המטען על הלוח התחתון הוא $Q = -1.3\text{nC}$. במרחב בין הלוחות נמצאות שתי נקודות M ו- N , כמתואר בתרשים 1. המרחק האנכי בין הנקודות הוא 6mm . נתון כי הערך המוחלט של הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות הוא 88V .



תרשים 1

- א. (1) חשבו את הקיבול C_1 .
 (2) חשבו את השטח של כל אחד מן הלוחות.
 (6 נקודות)
- חלקיק טעון נמצא בסמוך ללוח התחתון. מקנים לחלקיק מהירות אנכית v_0 , והוא נע לעבר הלוח העליון. נתון: מטען החלקיק $q = +3.2 \cdot 10^{-19}\text{C}$, מסת החלקיק $m = 6.64 \cdot 10^{-27}\text{kg}$.
- ב. חשבו מהי המהירות v_0 המינימלית שבעבורה יגיע החלקיק ללוח העליון. (6 נקודות)
- ג. קבעו אם המהירות המינימלית שחישבתם בסעיף ב תגדל, תקטן או לא תשתנה בכל אחד משני המקרים (1)-(2) שלפניכם. נמקו את קביעותיכם.
- (1) מקרבים את הלוחות הקבל זה לזה כשהקבל מחובר למקור המתח.
- (2) מנתקים את הקבל ממקור המתח ולאחר מכן מקרבים את הלוחות הקבל זה לזה.
- (8 נקודות)

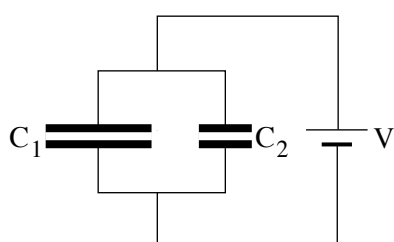
(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא)

בניסוי שני חיברו לקבל הנתון קבל נוסף C_2 , שהמרחק בין לוחותיו גם הוא d , אך שטח הלוחות שלו קטן פי 2 משטח לוחות הקבל C_1 . גם בין לוחות הקבל C_2 שורר ריק.

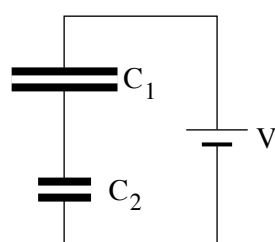
– בפעם הראשונה חיברו את הקבלים בטור (ראו תרשים 2 א).

– בפעם השנייה חיברו את הקבלים במקביל (ראו תרשים 2 ב).

בכל פעם הקבלים חוברו למקור המתח V שבניסוי הראשון, כשהם אינם טעונים.



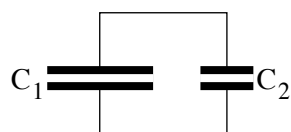
תרשים 2 ב



תרשים 2 א

ד. מצאו את גודל המטען על הקבל C_1 בכל אחד מאופני החיבור. (8 נקודות)

במערכת הקבלים המחוברים זה לזה במקביל (תרשים 2 ב), מנתקים את מקור המתח (ראו תרשים 3).

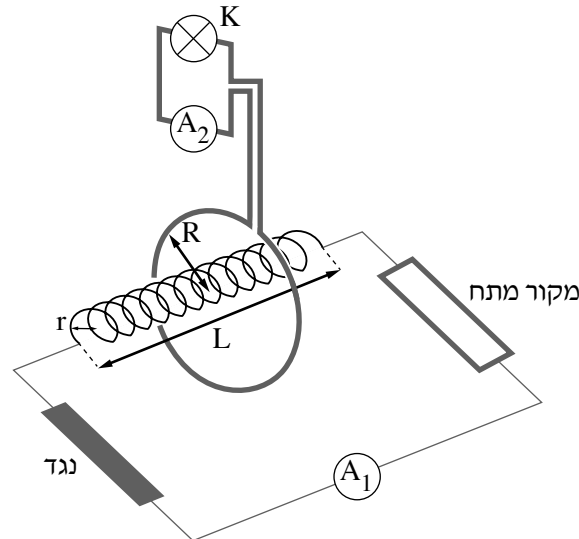


תרשים 3

ה. קבעו אם גודל המטען Q על הקבל C_1 גדל, קטן או לא השתנה. הסבירו את קביעתכם. ($5\frac{1}{3}$ נקודות)

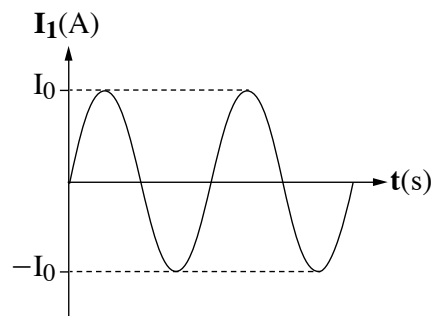
השראה

6. תלמידי פיזיקה הרכיבו מעגל חשמלי ובו מקור מתח, סילוניית ארוכה, נגד, מד זרם אידיאלי A_1 ותילים אידיאליים. רדיוס הסילוניית הוא r , אורכה L ומספר הליפופים בה הוא N . התלמידים הציבו טבעת מוליכה שרדיוסה R סביב הסילוניית ($R > r$). הטבעת ממוקמת באמצע הסילוניית, כך שציר הסילוניית מאונך למישור הטבעת ועובר דרך מרכזה (ראו תרשים 1). ההתנגדות של הטבעת המוליכה זניחה. התלמידים חיברו לטבעת המוליכה מד זרם אידיאלי A_2 ונורה K בעלת התנגדות קבועה.



תרשים 1

- בתרשים 2 שלפניכם מתוארת באופן איכותי עוצמת הזרם I_1 בסילוניית כתלות בזמן. הכיוון החיובי של הזרם מוגדר עם כיוון מחוגי השעון.

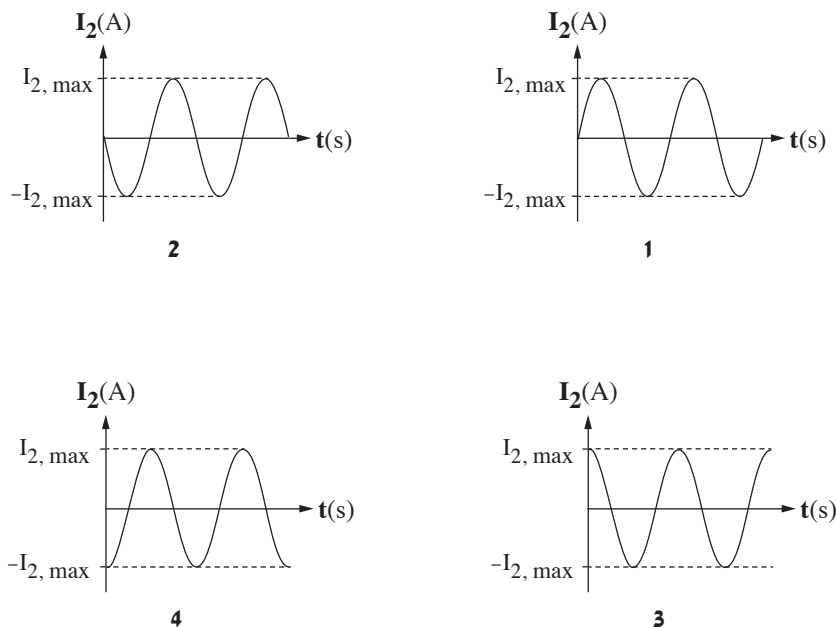


תרשים 2

- הוא הביטוי האלגברי המתאר את עוצמת הזרם I_1 כתלות בזמן. $I_1(t) = I_0 \sin(\omega t)$
 א. לפניכם טענה: "הנורה אינה דולקת, מאחר שהטבעת המוליכה אינה נמצאת בשדה המגנטי הנוצר בסילוניית". קבעו אם הטענה נכונה או שגויה. נמקו את קביעתכם. (5 נקודות)

(שימו לב: המשך השאלה בעמוד הבא)

- ב. לפניכם ארבעה גרפים 1-4 המתארים עוצמת זרם כפונקצייה של זמן. קבעו איזה מן הגרפים מתאר בצורה הטובה ביותר את עוצמת הזרם I_2 בטבעת המוליכה כפונקצייה של הזמן. נמקו את קביעתכם בעזרת חוק פארדיי-לנץ. (6 נקודות)



- ג. הראו שהביטוי המתאר את $\varepsilon_{2, \max}$, הכא"מ המושרה המרבי (המקסימלי) בטבעת המוליכה, הוא –

$$\varepsilon_{2, \max} = \frac{\mu_0 N I_0 \pi r^2 \omega}{L} \quad (9 \text{ נקודות})$$

נתון: $I_0 = 2.42 \text{ A}$, $\omega = 314 \text{ s}^{-1}$.

רדיוס הסילונית הוא $r = 10 \text{ cm}$, וצפיפות הליפופים בה היא $\frac{N}{L} = 4000 \text{ m}^{-1}$.

רדיוס הטבעת הוא $R = 12 \text{ cm}$.

ערך המתח הרשום על הנורה K הוא 3 V .

התלמידים רוצים שהמתח המרבי $\varepsilon_{2, \max}$ על הנורה יתאים לערך הרשום עליה. הם מצאו כי באמצעות הציוד שברשותם המתח $\varepsilon_{2, \max}$ קטן מדי.

התלמידים הציעו שתי הצעות שונות כיצד להגדיל את המתח המרבי כך שיתאים לערך הרשום על הנורה.

- ד. ההצעה הראשונה הייתה להגדיל את מספר הכריכות בטבעת המוליכה, N , בלי לבצע שינויים נוספים.

מצאו את מספר הכריכות N הדרוש כדי להשיג את המטרה. (8 נקודות)

- ה. ההצעה השנייה הייתה להחליף את הסילונית בסילונית ארוכה אחרת בעלת אותה צפיפות ליפופים $\frac{N}{L}$ אך עם

רדיוס r גדול יותר מרדיוס הטבעת R (הטבעת תימצא כולה בתוך הסילונית), בלי לבצע שינויים נוספים.

התלמידים טענו שעבור רדיוס סילונית גדול מספיק, המתח על הנורה יתאים לערך הרשום עליה.

הסבירו מדוע טענה זו אינה נכונה. ($\frac{1}{3}$ נקודות)

בהצלחה!