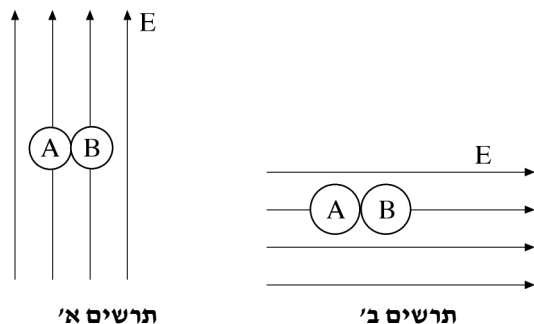


## אלקטרוסטטיקה – בעיות ותרגילים לדוגמה

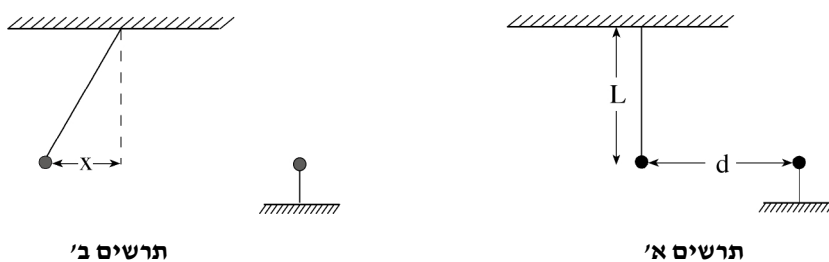
חוק קולון והשדה האלקטרוסטטי, פוטנציאל, קיבול וקבלים



1. נתונים שני כדורים לא טעונים A ו-B העשויים מחומר מוליך, הזחים בגודלם ונוגעים זה בזה. מפעילים על הכדורים שדה חשמלי אחיד, שכיוונו מעלה, כמתואר בתרשים א'.

- א. קבע לכל אחד מהכדורים אם הוא נטען, ואם כן - מהו הסימן של המטען. נמק את קביעותיך.
- ב. מפעילים על הכדורים שדה חשמלי אחיד, שכיוונו ימינה, כמתואר בתרשים ב'. קבע לכל אחד מהכדורים אם הוא נטען, ואם כן - מהו הסימן של המטען.
- ג. מפרידים בין הכדורים זה מזה בתוך השדה החשמלי, מוציאים את כדור A מהשדה החשמלי ותולים אותו על חוט מבודד מחוץ לשדה. מקרבים את כדור B לכדור A וכדור A סוטה ומתייצב כך שמרכזי הכדורים A ו-B הם באותו גובה, והמרחק ביניהם הוא 2cm. במצב זה נוצרת זווית של  $5^0$  בין החוט לאנך. מסת הכדור A היא 5gr. מהו הערך של המטען החשמלי על פני כל אחד משני הכדורים A ו-B?

2. תלמיד הכין מערכת למדידת מטענים חשמליים. הוא לקח שני כדורים מוליכים קטנים זהים. את האחד הוא תלה בקצה חוט שאורכו L ואת השני הצמיד לקצה של מוט. הוא התקין את המערכת כך ששני הכדורים היו באותו גובה ובמרחק d זה מזה (ראה תרשים א'). החוט והמוט עשויים מחומר מבודד.



התלמיד טען את שני הכדורים באותו מטען  $q$ , וכתוצאה מכך סטה הכדור התלוי בשיעור  $x$  (ראה תרשים ב').

התלמיד שינה את  $d$  כמה פעמים, ובכל פעם מדד את  $x$ . להלן תוצאות מדידותיו:

$d$ (m)	$x$ (m)	$r = d + x$	$1/r^2$
0.62	0.02		
0.47	0.03		
0.35	0.05		
0.24	0.08		
0.14	0.12		

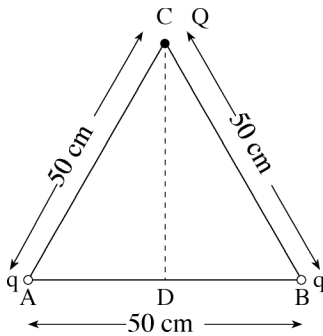
א. העתק את הטבלה למחברתך והשלם אותה. סרטט גרף של  $x$  כפונקציה של  $1/r^2$ .

ב. הראה כי כאשר  $L \gg x$  (כך ששיעור עליית הכדור זניח), גודל כוח הדחייה החשמלי  $F$  הפועל בין

שני הכדורים מקיים:  $F \approx mg \frac{x}{L}$ , כאשר  $m$  היא מסת הכדור התלוי.

ג. בהסתמך על חוק קולון ועל סעיף ב', הסבר את צורת הגרף שקיבלת.

ד. חשב את המטען  $q$  בהסתמך על הגרף שסרטטת, אם נתון כי  $L = 1\text{m}$ ;  $m = 10\text{gr}$ .



3. שני כדורים קטנים, שמטען כל אחד מהם הוא  $q = +10^{-6}\text{C}$ ,

קבועים בנקודות A ו B במרחק של 50cm זה מזה. בנקודה C, הנמצאת במרחק של 50cm מכל אחד מהמטענים האלה, נמצא

כדור מוליך שמסתו 31gr, והוא טעון במטען של  $Q = -5 \cdot 10^{-6}\text{C}$  (ראה תרשים).

משחררים את הכדור הנמצא בנקודה C. בהנחה שהכוחות

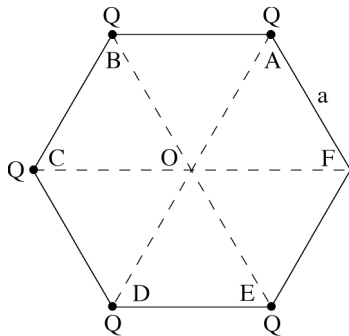
היחידים הפועלים במערכת זו הם הכוחות החשמליים הפועלים בין הכדורים:

א. חשב את גודלה ואת כיוונה של תאוצת הכדור ברגע בו שוחרר.

ב. תאר את תנועתו של הכדור. התייחס בתשובתך לנקודות הבאות: כיוון המהירות והתאוצה בכל

שלב; האם הכדור מגדיל או מקטין את מהירותו; היכן (אם בכלל) המהירות גדולה ביותר, קטנה ביותר, מחליפה כיוון.

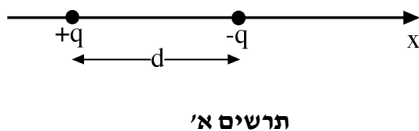
- ג. חשב את הפוטנציאל בנקודה C ונקודה D (נקודת האמצע בין A ל B) בהשפעת המטענים הקבועים בנקודות A ו B.
- ד. מה גודל מהירותו של הכדור הנע כשהוא עובר בנקודה D ?



4. בכל אחד מחמשת הקדקודים A, B, C, D, E של משושה משוכלל, שאורך צלעו a, נמצא מטען נקודתי חיובי Q. בקדקוד F אין מטען (ראה תרשים).  
 בטא את תשובותיך לשאלות באמצעות נתוני השאלה.  
 א. מהו השדה החשמלי השקול (גודל וכיוון) במרכז הסימטריה O של המשושה? הסבר.  
 ב. מעבירים מטען נוסף Q ממקום רחוק מאוד ("אין-סוף") אל הנקודה O. מהי העבודה שנעשתה נגד כוחות השדה החשמלי?  
 ג. מעבירים את המטען הנוסף Q מהמרכז O לקדקוד השישי F. (בכל אחד מקדקודי המשושה נמצא עתה מטען Q).

- (1) מהו השדה החשמלי בנקודה O? נמק.  
 (2) האם דרושה עבודה כדי להביא מטען q מאינסוף אל מרכז המשושה? נמק.  
 ד. בכל אחד משלושת הקדקודים A, C, E מחליפים את המטען Q במטען שלילי -Q. (בכל אחד משלושת הקדקודים האחרים נמצא מטען Q, ונקודה O אין מטען). האם פעולה זו תגרום לשינוי בפוטנציאל החשמלי במרכז המשושה? הסבר.

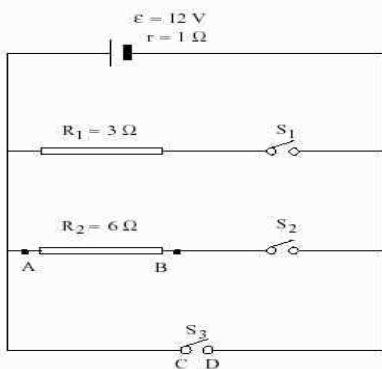
5. שני מטענים +q ו -q נמצאים על ציר ה-x, והמרחק ביניהם הוא d (ראה תרשים א').



- א. האם קיימת נקודה לאורך ציר ה-x:  
 (1) שבה השדה החשמלי מתאפס? נמק.  
 (2) שבה הפוטנציאל החשמלי מתאפס? נמק.  
 בתשובותיך התייחס לציר ה-x כולו - לקטע שבין שני המטענים ולתחום שמחוץ לקטע זה.  
 ב. מהי העבודה שיש לעשות, כדי להגדיל את המרחק בין שני המטענים ל-2d? (בטא את תשובתך באמצעות נתוני השאלה).

מעגלי זרם ישר

6. בתרשים שלפניך מוצג מעגל חשמלי, הכולל מקור מתח שהכא"מ שלו  $\varepsilon=12V$  והתנגדותו הפנימית  $r=1\Omega$ ; שני נגדים שהתנגדותיהם  $R_1=3\Omega$  ו-  $R_2=6\Omega$  שלושה מתגים  $S_1, S_2$  ו-  $S_3$  ותילים שהתנגדותם זניחה.



- א. מהו מתח ההדקים כאשר שלושת המתגים פתוחים?  
 ב. סוגרים את המתגים  $S_1$  ו-  $S_2$  ומשאירים את מתג  $S_3$  פתוח. מצא את:

- (1) מתח ההדקים של מקור המתח.  
 (2) המתח בין הנקודות A ו- B המסומנות בתרשים. נמק את קביעתך.

(3) המתח בין הנקודות C ו- D המסומנות בתרשים

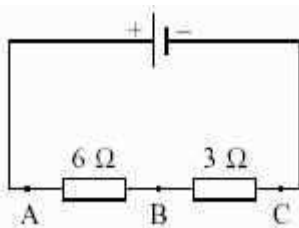
ג. פותחים את המתג  $S_2$  ( $S_1$  נשאר סגור)

(1) האם מתח ההדקים משתנה? אם לא – נמק מדוע. אם כן – הסבר האם הוא גדל או קטן.

(2) מהו המתח על המתג  $S_2$ ?

7. לרשותו של תלמיד היו מקור מתח שהכא"מ שלו  $12V$

והתנגדותו הפנימית  $1\Omega$ ; שני נגדים שהתנגדותיהם  $3\Omega$  ו-  $6\Omega$  ותילים אידאליים (שהתנגדותיהם ניתנות להזנחה). התלמיד חיבר בטור את שני הנגדים אל מקור המתח כמותואר בתרשים א'.



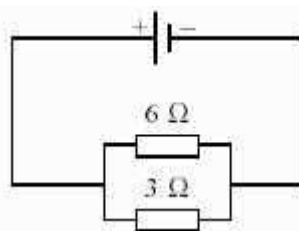
תרשים א'

א. חשב את המתח בין קצות הנגד שהתנגדותו  $3\Omega$ .

ב. נתון כי הפוטנציאל של ההדק השלילי של מקור המתח הוא אפס. חשב את הפוטנציאל בנקודה A ובנקודה B.

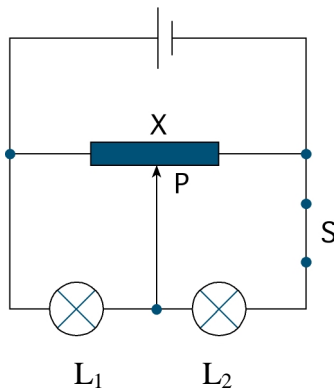
ג. האם הזרם העובר בנקודה B גדול מהזרם העובר בנקודה C, קטן ממנו או שווה לו? נמק.

ד. חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל החיצוני.



תרשים ב'

ה. התלמיד חיבר במקביל את שני הנגדים אל מקור המתח כמתואר בתרשים ב'. האם מתח ההדקים במצב זה גדול ממתח ההדקים במעגל המתואר בתרשים א', קטן ממנו או שווה לו? נמק.



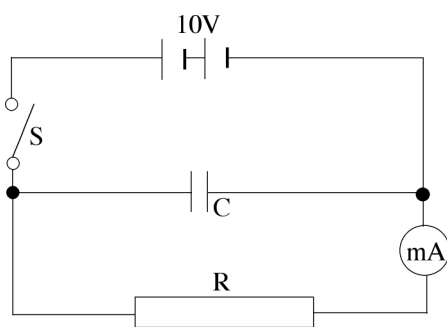
8. התרשים שלפניך מתאר מעגל חשמלי, הכולל סוללה שהכא"מ שלה 12V והתנגדות הפנימית ניתנת להזנחה; נגד משתנה X, שהתנגדותו הכוללת  $100\Omega$ ; נורות  $L_1$  ו- $L_2$ , שעל כל אחת מהן רשום הסימון 6V 18W; ומפסק S. המגע הנייד P של הנגד המשתנה X מחלק את התנגדות הנגד המשתנה לשתי התנגדויות שוות.

א. מהי משמעות הסימן 6V 18W הרשום על הנורות?

ב. חשב את ההתנגדות של כל נורה כאשר היא מופעלת באורה המלא (בהתאם לרשום עליה).

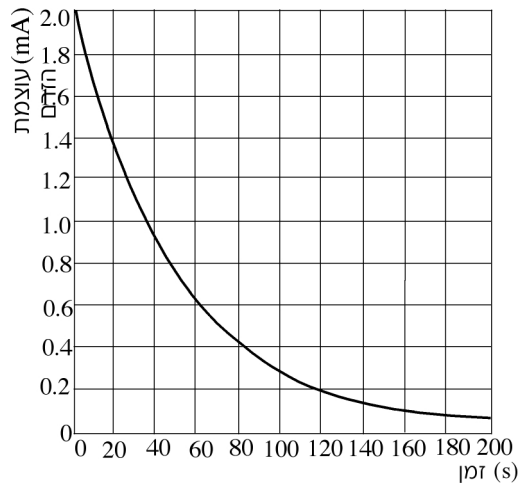
ג. האם הנורה  $L_1$  מאירה באורה המלא במצב המתואר בתרשים? הסבר.

ד. מה תהיה ההשפעה של פתיחת המפסק S על עצמת האור שתיפלט מנורה  $L_1$ ? הסבר. (תוכל להניח שהתנגדות הנורות נשארת קבועה.)



תרשים א'

9. כדי לחקור פריקה של קבל דרך נגד, בנה תלמיד את המעגל החשמלי המתואר בתרשים א', הכולל מקור מתח שהכא"מ שלו 10V והתנגדות הפנימית ניתנת להזנחה. בתחילה היה המפסק S סגור עד טעינתו המלאה של הקבל, ולאחר מכן, ברגע  $t = 0$ , פתח התלמיד את המפסק.



תרשים ב

תרשים ב מראה את קריאת המיליאמפרמטר (שהתנגדותו זניחה) בעת הפריקה כפונקציה של הזמן.

א. השתמש בתרשים ב כדי לחשב את הגדלים הבאים (בסדר הנוח לך):

(1) המטען ההתחלתי שבו היה הקבל טעון ברגע  $t = 0$ .

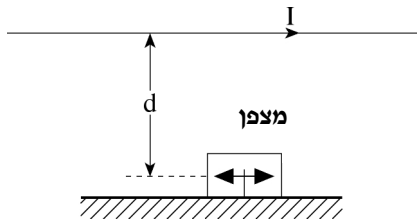
(2) קיבול הקבל C.

(3) התנגדות הנגד R.

ב. האם תשובתך בסעיף א(1) מבטאת את כמות המטען על לוח אחד של הקבל או את סכום ערכיהם המוחלטים של המטענים על שני לוחותיו? הסבר.

ג. אילו הפריקה הייתה נעשית דרך נגד בעל התנגדות גדולה מ-R, האם התלמיד היה מקבל עקום שונה? אם לא - הסבר מדוע; אם כן - העתק למחברתך את העקום המקורי והוסף באותה מערכת-צירים סרטוט מקורב של העקום שהיה מתקבל עם נגד בעל התנגדות גדולה מ-R.

### השדה המגנטי



10. מצפן מונח על שולחן אופקי. בגובה d מעל מחט המצפן נמצא תיל ישר וארוך מאוד, המקביל למחט המצפן (ראה תרשים). כאשר מזרימים דרך התיל זרם קבוע  $I = 3A$ , סוטה מחט המצפן בזווית  $\theta$ . משנים את הגובה d ומודדים את הזווית  $\theta$ .

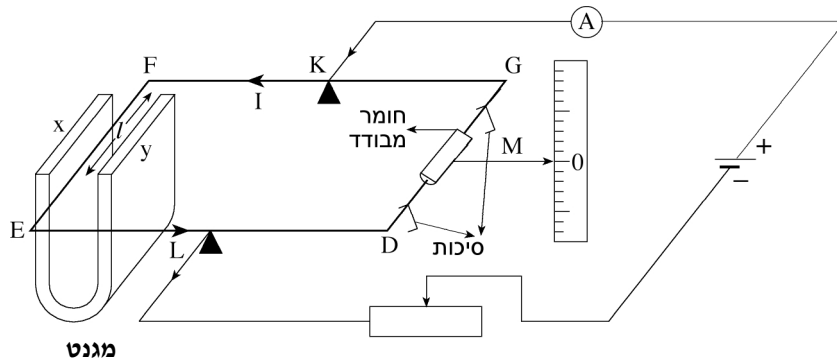
לפניך טבלת תוצאות הניסוי:

d (מטר)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
$\theta$ (מעלות)	51	40	32	27	23

א. סרטט גרף של  $\tan\theta$  כפונקציה של d.

ב. על פי הגרף שסרטטת, חשב את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ.

ג. מחזירים את התיל העליון למרחק  $d = 0.04 \text{ m}$ . מותחים במקביל אליו, ובמרחק של  $0.04 \text{ m}$  מתחת למצפן, תיל שני ארוך מאוד. בכל אחד מהתילים זורם זרם של  $3 \text{ A}$  באותו כיוון. מה תהיה, במקרה זה, הסטייה של מחט המצפן? נמק.



11. התרשים מתאר מערכת מאזני זרם. מסגרת DEFG העשויה מתיל מוליך, נתמכת בשתי נקודות K ו L, כך שהיא חופשייה לנוע סביב הציר KL. המסגרת

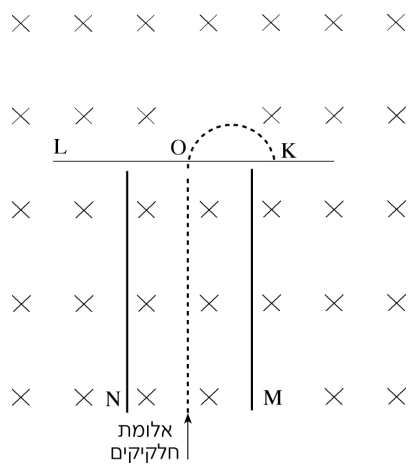
פתוחה בקטע שבו נמצא חומר מבודד, שבמרכזו מחוג M.

קטע מסגרת, שאורכו  $l = 2 \text{ cm}$ , 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  $0.02 \text{ גרם}$ .

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 באמפר	0.50	0.95	1.50	2.05	2.50

- מהו כיוון השדה המגנטי (סמן  $x \rightarrow y$  או  $y \rightarrow x$ )? הסבר.
- סרטט גרף המתאר את הכוח המגנטי F בניוטונים כפונקציה של עוצמת הזרם I שזורם במסגרת.
- חשב את שיפוע הגרף שסרטטת.
  - ציין את היחידות של השיפוע.
  - חשב את עוצמת השדה המגנטי.



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

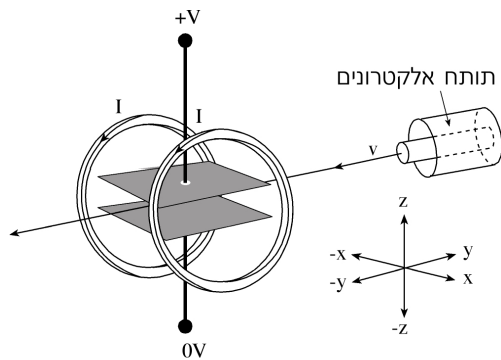
א. האם מטען החלקיקים הוא חיובי או שלילי? נמק.

ב. מהו כיוון השדה החשמלי? נמק.

ג. בטא את המרחק  $OK$  באמצעות  $q$ ,  $m$ ,  $B$  ו- $E$ .

ד. רוצים שהחלקיקים יפגעו בחיץ בנקודה קרובה יותר לחריץ  $O$  (כלומר, רוצים להקטין את  $OK$ ).

ניתן לשנות אך ורק את עצמות השדות  $E$  ו- $B$  (ולא, למשל, את מהירות החלקיקים). מה יש לעשות לשם כך? הסבר.

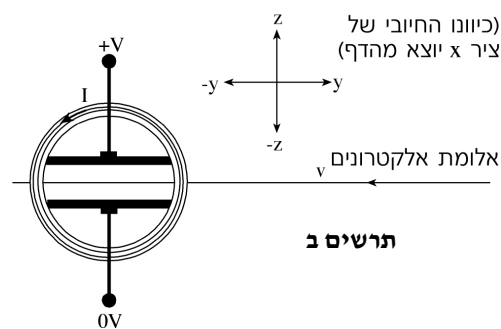


תרשים א

13. מתקן שעשוי משפופרת זכוכית המרוקנת מאוויר, כולל: "תוחת אלקטרונים" הפולט אלומה מקבילה של אלקטרונים שגודל מהירותם  $v$ , שני לוחות אופקיים של קבל שביניהם שורר שדה חשמלי שעצמתו  $E$ , ושני סלילים זהים המאונכים ללוחות.

בכל אחד מהסלילים זורם זרם  $I$ , היוצר ביניהם שדה מגנטי אחיד שעצמתו  $B$ .

בתרשימים א ו-ב מתוארים החלקים העיקריים של השפופרת, ומסומנים כיווני הזרמים בסלילים. הלוח העליון של הקבל מחובר



תרשים ב



לפוטנציאל חיובי, והלוח התחתון מחובר לפוטנציאל אפס.

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.

ב. העצמות של השדות  $\vec{E}$  ו- $\vec{B}$  נקבעו כך שאלומת האלקטרונים נעה בקו ישר. בטא את מהירות האלקטרונים  $v$  באמצעות  $E$  ו- $B$ .

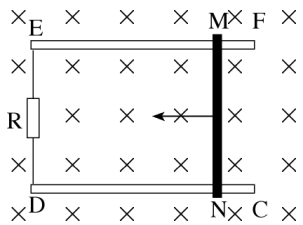
ג. (1) מבטלים את השדה החשמלי בין לוחות הקבל (השדה המגנטי נשאר כמו שמתואר בסעיף ב). אלומת האלקטרונים נעה במצב זה בקשת של מעגל שרדיוסו  $R$ .

בטא את היחס  $e/m$  של האלקטרון באמצעות  $E$ ,  $B$  ו- $R$ .

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

### השראה אלקטרומגנטית

14. לאורך של המסילות המתכתיות  $FE$  ו- $CD$  המחוברות ביניהן בקצה באמצעות הנגד  $R$  שהתנגדותו  $2\Omega$ , נע ללא חיכוך מוט מתכתי  $MN$  שאורכו  $10\text{cm}$  והתנגדותו  $0.5\Omega$ . המוט נע שמאלה במהירות  $3\text{m/s}$ . המערכת הני"ל נתונה בתוך שדה מגנטי אחיד שעוצמתו  $0.4\text{T}$  וכיוונו מאונך למישור הדף (ראה תרשים). התנגדותן של המסילות  $FE$  ו- $CD$  זניחה.

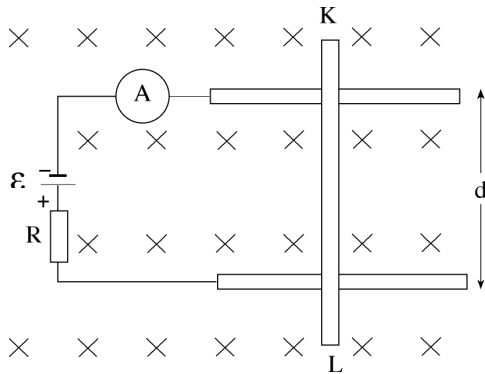


א. חשב את עצמת הזרם בנגד  $R$ .

ב. קבע את כיוון הזרם במוט  $MN$ .

ג. חשב את הכוח (גודל וכיוון) המופעל על המוט  $MN$  (ע"י השדה המגנטי).

ד. כיצד היו משתנות התוצאות בסעיפים א', ב' ו- ג' אילו כיוון השדה המגנטי היה מימין לשמאל במישור הדף? נמק.



15. שני מוטות מוליכים מקבילים ואופקיים,

שהמרחק ביניהם  $d$ , נמצאים בשדה מגנטי אחיד  $B$ , המאונך למישור הנוצר על-ידי שני המוטות וכיוונו "לתוך הדף". המוטות מחוברים למקור מתח  $\varepsilon$ , לנגד  $R$  ולמד-זרם  $A$ .

על גבי שני המוטות, ובמאונך להם, מניחים מוט מוליך שלישי  $KL$  (ראה תרשים). ההתנגדויות

החשמליות של מקור המתח, של מד-הזרם ושל שלושת המוטות זניחות, וכן זניח החיכוך בין המוט  $KL$  לבין המוטות המקבילים. על המוט  $KL$  מפעילים כוח חיצוני אופקי  $F$ , כדי להחזיקו במנוחה.

א. (1) מצא את כיוון הזרם  $I$  במוט  $KL$  ובטא את עצמתו באמצעות נתוני השאלה.

(2) מצא את כיוונו של הכוח החיצוני  $F$  ובטא את גודלו באמצעות נתוני השאלה.

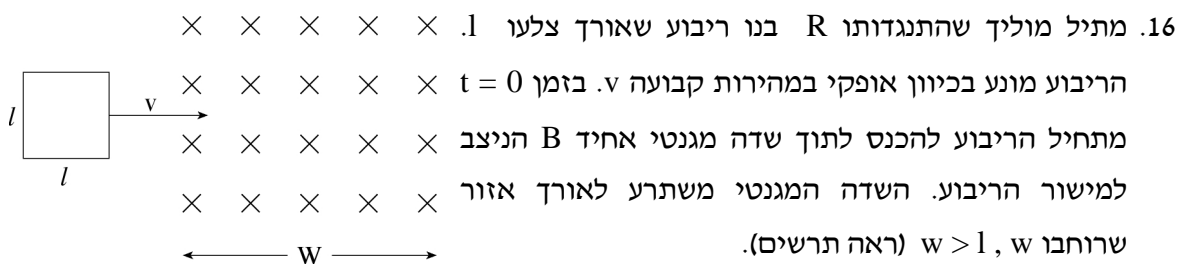
ב. מפסיקים את פעולת הכוח החיצוני  $F$ .

(1) האם המוט  $KL$  ינוע שמאלה, ימינה או יישאר במקומו? הסבר.

(2) האם עצמת הזרם  $I$  תגדל, תקטן או לא תשתנה? הסבר.

ג. עתה מסיעים את המוט  $KL$  ימינה במהירות קבועה  $v$ . האם עצמת הזרם דרך המוט תהיה

גדולה או קטנה מזו שזרמה דרכו כאשר הוחזק במנוחה על-ידי הכוח  $F$ ? הסבר.



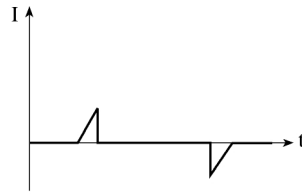
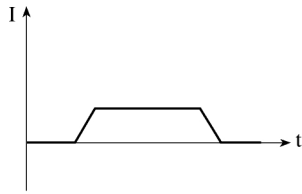
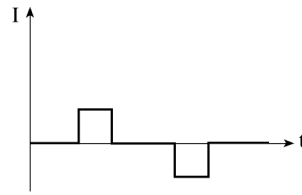
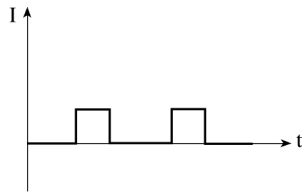
א. איזה מבין הגרפים הבאים מבטא את הזרם שיזרום בריבוע?

ב. נתון כי:

$$B = 2\text{T}; R = 5\Omega; v = 0.25\text{ m/s}$$

$$w = 0.75\text{ m}; l = 0.5\text{ m}$$

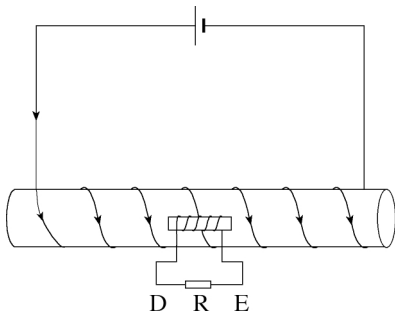
סרטט גרפים מדויקים המתארים את התלות בזמן של:



(1) השטף המגנטי  $\Phi_B$  דרך הריבוע.

(2) עצמת הזרם  $I$  בתיל. (בחר זרם נגד כיוון הסיבוב של מחוגי השעון כזרם חיובי.)

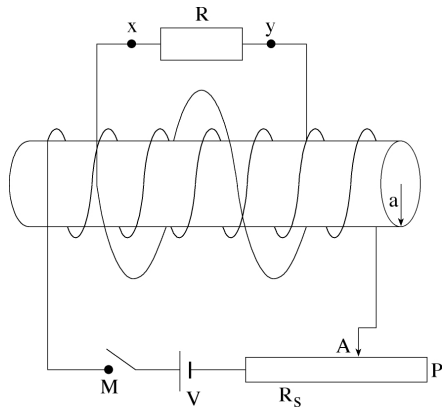
(3) הכוח שיש להפעיל על התיל כדי שינוע במהירות הקבועה. (כוח הפועל ימינה ייחשב כחיובי.)



17. סילונית ארוכה, שבה 6000 ליפופים לכל מטר, מחוברת למקור מתח המזרים בה זרם  $I$ . עצמתו של זרם זה משתנה עם הזמן  $t$  לפי הפונקציה  $I = 3t$  (  $t$  נמדד בשניות;  $I$  נמדד באמפרים). במרכז הסילונית מצוי סליל דק, שרדיוסו 2cm, ובו 25 ליפופים. ציר הסליל מתלכד עם ציר הסילונית. הסליל מחובר לנגד  $R$ , שהתנגדותו  $5\Omega$ . (התנגדות הסליל ניתנת להזנחה.)

א. מהי עצמת הזרם המושרה בנגד ברגע  $t = 2\text{s}$ ?

ב. מהו כיוונו של הזרם בנגד  $R$  (מ-  $D$  ל-  $E$  או מ-  $E$  ל-  $D$ )? נמק!



18. נתונה סילוניית בעלת  $N_1$  כריכות שאורכה  $L$ . הסילוניית מחוברת למעגל חשמלי המכיל: מקור מתח  $V$ , נגד משתנה  $R_S$ , מפסק  $M$ . סביב הסילוניית נמצא סליל משני שמספר כריכותיו  $N_2$  וקצותיו מחוברים לנגד  $R$  (ראה תרשים).

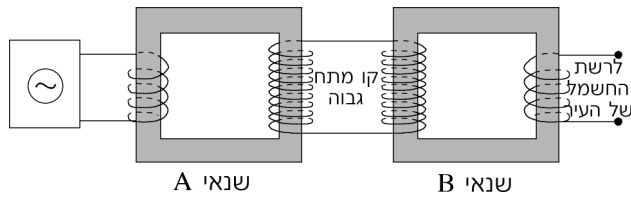
א. ציין את כיוון הזרם שעובר דרך הנגד  $R$  (סמן  $x \rightarrow y$  או  $x \leftarrow y$ ):

(1) תוך כדי סגירת המפסק  $M$ . הסבר.

(2) כאשר המפסק  $M$  סגור, תוך כדי הזזת המגע הזחיה  $A$  לכיוון הנקודה  $P$ . הסבר.

ב. מחליפים את מקור המתח הישר במקור מתח חלופין. האם עובר זרם דרך הנגד  $R$  כשהמפסק  $M$  סגור? הסבר.

(הערה: שאלה כזו לא תופיע כשאלה מלאה (כי היקף הנושא אינו מצדיק שאלה מלאה), אולם סעיפים ממנה יכולים להופיע בשאלות אחרות.)



19. גנרטור בתחנת כוח מייצר מתח חלופין, שערכו האפקטיבי הוא  $20,000V$ . הגנרטור מחובר לשנאי  $A$ , שמתח היציאה שלו מסופק לקו מתח גבוה.

בקרב עיר מסוימת קו המתח הגבוה מחובר לשנאי  $B$ , שמתח היציאה שלו מתאים לרשת החשמל של העיר (ראה תרשים).

א. הסבר מהו עקרון פעולתו של גנרטור לזרם חלופין.

ב. מהי משמעות המשפט "הערך האפקטיבי של מתח החלופין הוא  $20,000V$ "?

ג. כיצד נוצר הזרם בסליל משני של שנאי?

ד. הסבר מדוע משתמשים בשנאי להעברת אנרגיה חשמלית למרחקים גדולים.