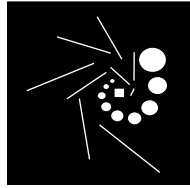


הקיפו את מספרי השאלות שפתרתם

6 5 4 3 2 1



החמד"ע

26.05.2022

מתכונת בפיזיקה

חשמל ומגנטיות

הוראות לנבחן

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים ומכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחת.

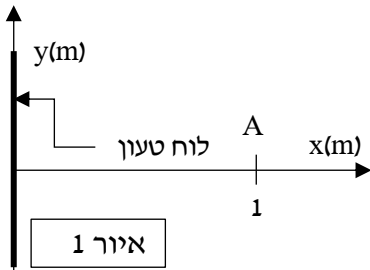
- א. משך הבחינה: שעתיים ורבע.
- ב. מבנה השאלון ומפתח הערכה:

בשאלון זה שש שאלות, ומהן עליכם לענות על שלוש שאלות בלבד.
לכל שאלה $33 \frac{1}{3}$ נקודות; $3 \times 33 \frac{1}{3} = 100$ נקודות.
- ג. חומר עזר מותר בשימוש: (1) מחשבון
(2) נספח נוסחאות ונתונים בפיזיקה המצורף לשאלון.
- ד. הוראות מיוחדות:
 - (1) ענו על מספר שאלות כפי שנתבקשת. תשובות לשאלות נוספות לא ייבדקו. (התשובות ייבדקו לפי סדר הופעתן במחברות הבחינה).
 - (2) בפתרון שאלות שנדרש בהן חישוב, רשמו את הנוסחאות שאתם משתמש בהן. כאשר אתם משתמש בסימן שאינו מופיע בדפי הנוסחאות, כתבו במילים את פירוש הסימן. לפני שאתם מבצעים פעולות חישוב, הציבו את הערכים המתאימים בנוסחאות. רשמו את התוצאה שקבלתם ביחידות המתאימות. אי-רישום הנוסחה או אי-ביצוע ההצבה או אי רישום היחידות עלולים להפחית נקודות מן הציין.
 - (3) כאשר אתם נדרשים להביע גודל באמצעות נתוני השאלה, רשמו ביטוי מתמטי הכולל את נתוני השאלה או חלקם; במידת הצורך אפשר להשתמש גם בקבועים בסיסיים, כגון תאוצת הנפילה החופשית g או המטען היסודי e.
 - (4) בחישוביך השתמשו בערך של 10 מ' לשנייה² עבור תאוצת הנפילה החופשית.
 - (5) כתבו את תשובותיכם בעט. כתיבה בעיפרון או מחיקה בטיפקס לא יאפשרו ערעור. מותר להשתמש בעיפרון לסרטוטים בלבד.

כתבו במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונכם לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה). רשמו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. רישום טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

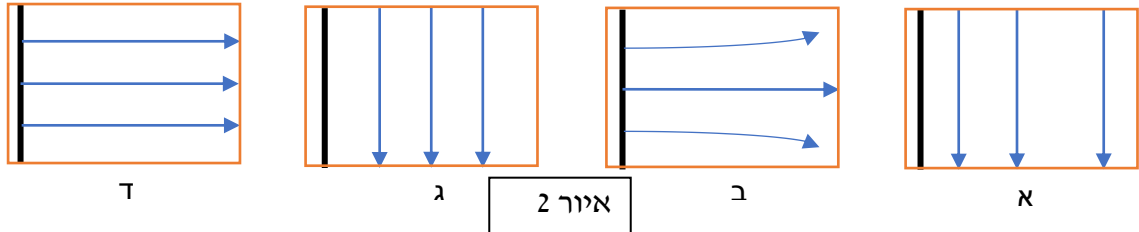
בהצלחה!

שאלה 1



במישור yz (בניצב לציר x) מציבים לוח אינסופי טעון בצפיפות מטען חיובית אחידה של $\sigma = 6.37 \cdot 10^{-7} \frac{C}{m^2}$. הנקודה x=0 נמצאת על הלוח. הנקודה A נמצאת ב- $x_A=1m$. ראו איור 1.

איור 2 מציג ארבע אפשרויות לסרטוט של קווי שדה מצדו הימני של חלק קטן מן הלוח הטעון.



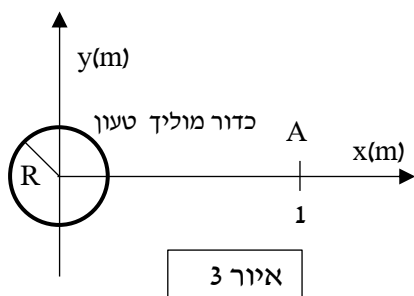
א. (1) קבעו מהו הסרטוט הנכון ביותר מבין הארבעה והעתיקו אותו למחברתכם. הוסיפו לאיור שהעתקתם גם שלשה קווים שווי פוטנציאל, עם הפרשי פוטנציאל קבועים ביניהם.

(2) הסבירו את: 1. כיווני קווי השדה והמרווחים בין קווי השדה. 2. צורת הקווים שווי הפוטנציאל והמרווחים ביניהם. (8 נק.)

ב. סרטטו גרף כמותי של הפוטנציאל $V(x)$, הנוצר על ידי הלוח, מ- $x=0$ עד $x=x_A$. קבעו את $V=0$ ב- $x=0$. ציינו את ערך הפוטנציאל בנקודה A. הסבירו את צורת הגרף. (5 נק.)

מציבים מטען שלילי שגודלו $q = 1 nC$ ($nC=10^{-9}C$) בנקודה A.

ג. חשבו את גודלו וכיוונו של הכוח אותו מפעיל הלוח הטעון על החלקיק? פרטו. (3 נק.)



מסירים את הלוח הטעון ומציבים במקומו כדור מוליך טעון שרדיוסו $R=10 \text{ cm}$, ומרכזו בראשית הצירים (ראו איור 3). כאשר מציבים כעת את המטען הנקודתי מסעיף ב' בנקודה A, הכדור מפעיל עליו כוח זהה בגודלו ובכיוונו לזה שהפעיל הלוח. ד. חשבו את מטען הכדור (גודל וסימן)? (5 נק.)

מקבעים את הכדור במקומו ועוזבים את המטען הנקודתי ממנוחה בנקודה A. מסת המטען הנקודתי היא $m=2 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$.

ה. חשבו באיזו מהירות יפגע המטען בפני הכדור. (6 נק.)

מחזירים את המטען הנקודתי לנקודה A ומקבעים אותו ואת הכדור הטעון במקומם. ממרחק גדול מאוד ("אינסופי") מביאים מטען נקודתי נוסף אל נקודה P הנמצאת על ציר x בקרבת המטענים הקיימים, מודדים את כמות העבודה הדרושה לכך, ומסלקים את המטען החדש. חוזרים על הפעולה מספר פעמים, עם מטענים חיוביים ושליילים שונים. מסתבר שהעבודה הדרושה בכל המקרים היא אפס.

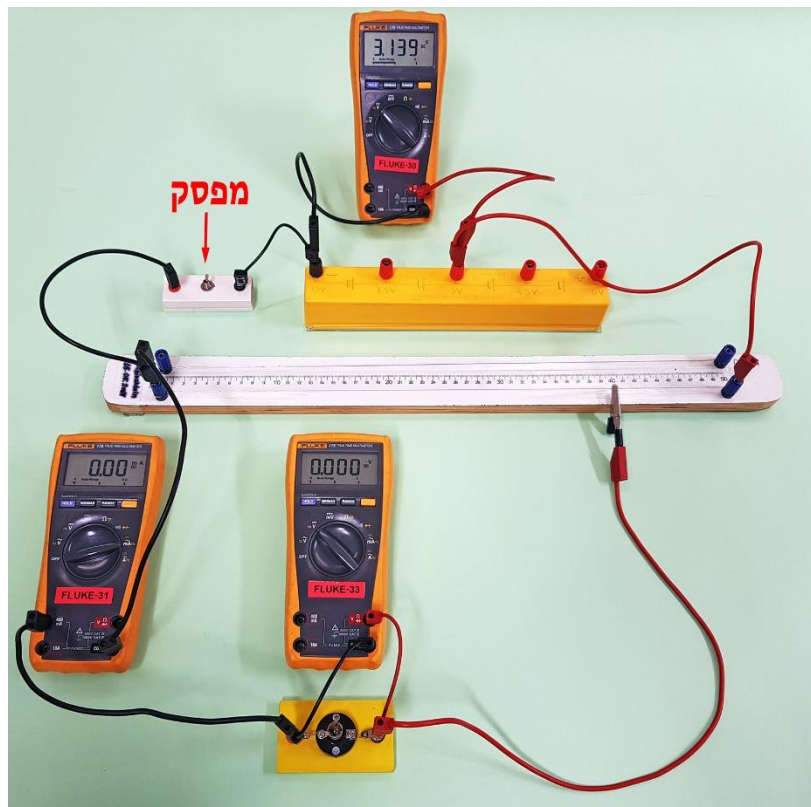
a. רונית טענה כי הנקודה P חייבת להימצא באמצע הקו המחבר בין מרכז הכדור לבין הנקודה A.

b. נטע טענה כי הנקודה P נמצאת בין מרכז הכדור לבין הנקודה A, אולם היא קרובה יותר לנקודה A מאשר למרכז הכדור.

ו. קבעו מי משתי התלמידות צדקה ומדוע טענתה נכונה. (3/61 נק.)

שאלה 2

במסגרת פעילות במעבדה שתי תלמידות חמד"ע חקרו מעגלים חשמליים. באחת הפעמים, הן הרכיבו מעגל חשמלי מסוללה, מפסק, תיל מוליך שאורכו $l = 50\text{cm}$ והתנגדותו הכוללת ידועה $R = 15\ \Omega$, נורה שהתנגדותה לא ידועה ותילי חיבור שהתנגדותם זניחה. התלמידות חברו במעגל מכשירי מדידה: חלקם מדי מתח אידאליים, וחלקם מדי זרם שידוע שהתנגדותם $R_A = 2.1\ \Omega$. במצב המתואר באיור 1 המפסק פתוח.

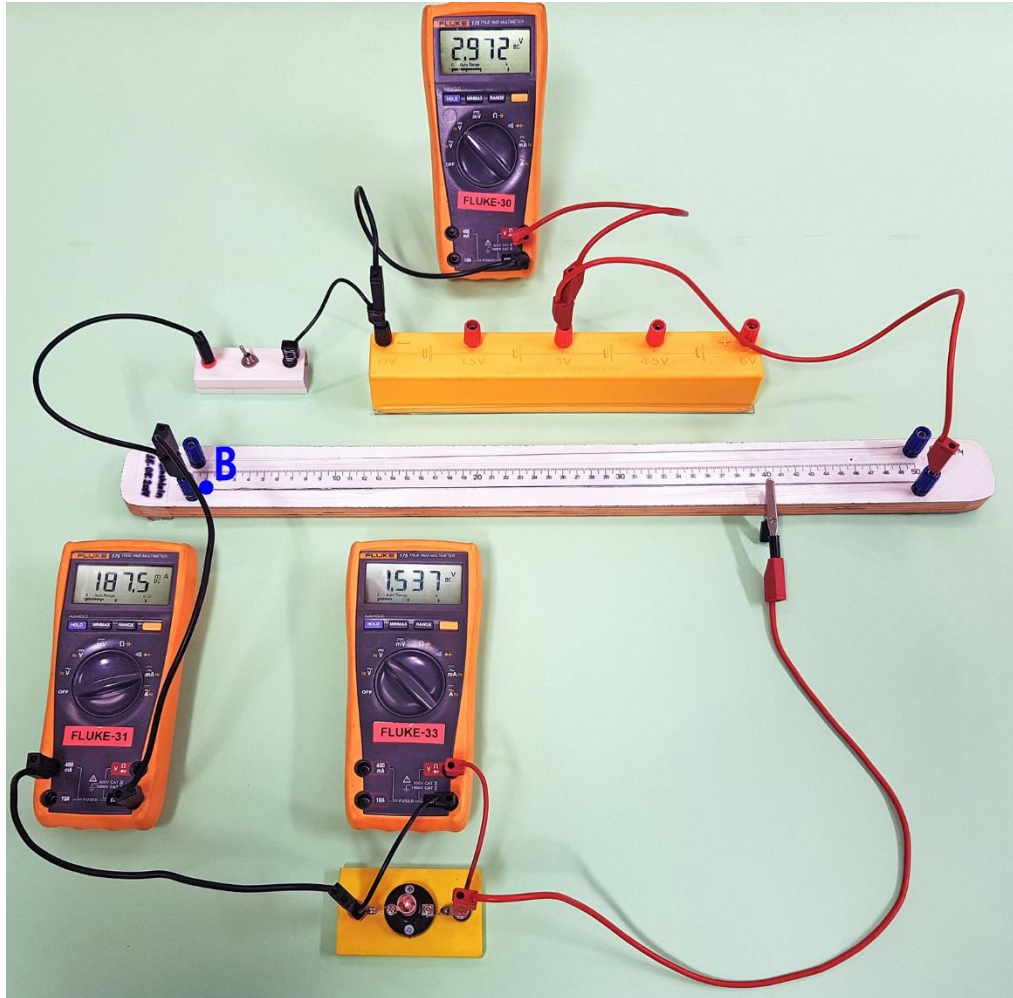


איור 1

א. סרטטו את המעגל החשמלי המתאים לאיור 1, כולל מכשירי המדידה מסומנים באות המתאימה. הסבירו את קריאות מכשירי המדידה. (5 נק.)

התלמידות סגרו את מתג המפסק במעגל והנורה האירה. ראו איור 2. במצב הנתון באיור מגע הגררה מחובר לתיל המוליך במרחק של 40cm מהנקודה B המסומנת באיור.

שימו לב! המשך השאלה בעמוד הבא.



איור 2

נתון כי הזרם נמדד בסקלה של mA.

(הערה: בחישוביכם יש להציג את התוצאות המספריות בהתאם לדיוק המכשירים.)

אחת התלמידות הסבירה לחברתה שהמתח בין נקודה B לנקודת המגע של הגררה לא זהה למתח על הנורה.

ב. הסבירו מדוע טענה זאת וחשבו את המתח בין נקודות אלה. (5 נק.)

ג. (1) חשבו את הזרם העובר בקטע התיל שאורכו 40cm בין נקודה B למגע הגררה. פרטו שיקולים.

(2) חשבו את הזרם העובר בסוללה. פרטו שיקולים. (12 נק.)

התלמידות הזיזו את הגררה עד הנקודה B.

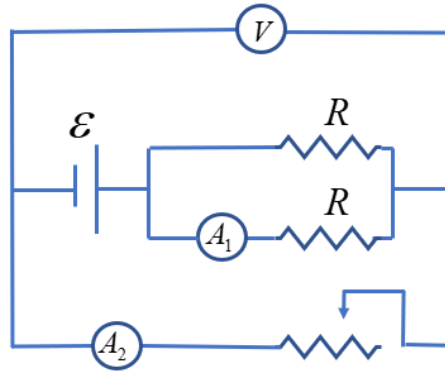
ד. קבעו האם נצילות הסוללה גדלה, קטנה או לא השתנתה ביחס למצב באיור 2. נמקו. (6 נק.)

התלמידות קבלו מהמעבדה מד אור המודד את הספק האור של הנורה. הן מדדו הספק אור $P = 0.113 \text{ W}$ כאשר הגררה במצב המתואר באיור 2.

ה. חשבו את נצילות האור של הנורה במצב זה. פרטו שיקולים. (51/3 נק.)

שאלה 3

הילה רצתה לחקור את האופן שבו זורם זרם דרך נגדים המחוברים במקביל. לשם כך, היא בנתה את המעגל החשמלי הבא:



במעגל מקור מתח אידיאלי עם כ"מ ϵ , שני נגדים בעלי התנגדות זהה R כל אחד, ונגד משתנה שפרטיו אינם ידועים. בנוסף קיימים שלושה מכשירי מדידה אידיאליים: וולטמטר V , ושני אמפרמטרים A_1 ו- A_2 , המודדים זרמים I_1 ו- I_2 בהתאמה.

א. באמצעות הפרמטרים R ו- ϵ , בטאו את:

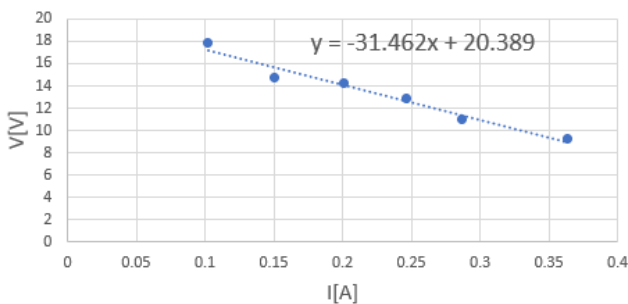
(1) המתח הנמדד V כתלות בזרם הנמדד I_1 .

(2) המתח הנמדד V כתלות בזרם הנמדד I_2 .

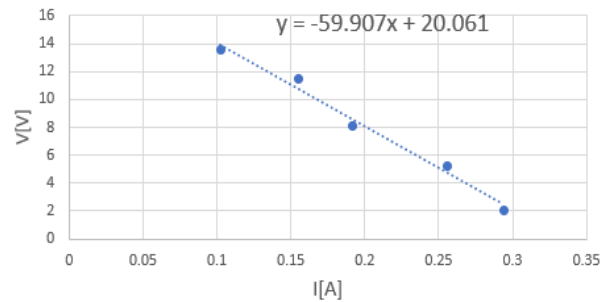
(10 נק.)

הילה ביצעה מספר מדידות על ידי שינוי התנגדות הנגד המשתנה ושרטטה שני גרפים: גרף אחד $V(I_1)$ והגרף השני $V(I_2)$.

מתח כתלות בזרם - גרף 1



מתח כתלות בזרם - גרף 2



שימו לב! המשך השאלה בעמוד הבא.

ב.

- (1) קבעו עבור כל גרף מאיזה אמפרמטר נקראו תוצאות המדידה שלו. נמקו.
- (2) בחרו את תוצאות אחד הניסויים, והעריכו באמצעותן את התנגדות הנגדים שהתנגדותם R .
- (3) מהי המשמעות הפיזיקלית של נקודות החיתוך עם הציר האנכי בשני הגרפים? האם ערכן המספרי זהה?
הסבירו. (10 1/3 נק.)

גדעון, אחיה הקטן של הילה, החליט לחבל בניסוי שביצעה, והחליף בין הוולטמטר לאמפרמטר A_2 .

ג.

- (1) הסבירו מה נדרש מאמפרמטר ו-וולטמטר על מנת שייחשבו כמכשירי מדידה אידיאליים.
- (2) הסבירו מדוע קריאת המכשירים במצב זה אינה משתנה כאשר מזיזים את הגררה.
- (3) חשבו את קריאת האמפרמטר A_2 במצב זה. (13 נק.)

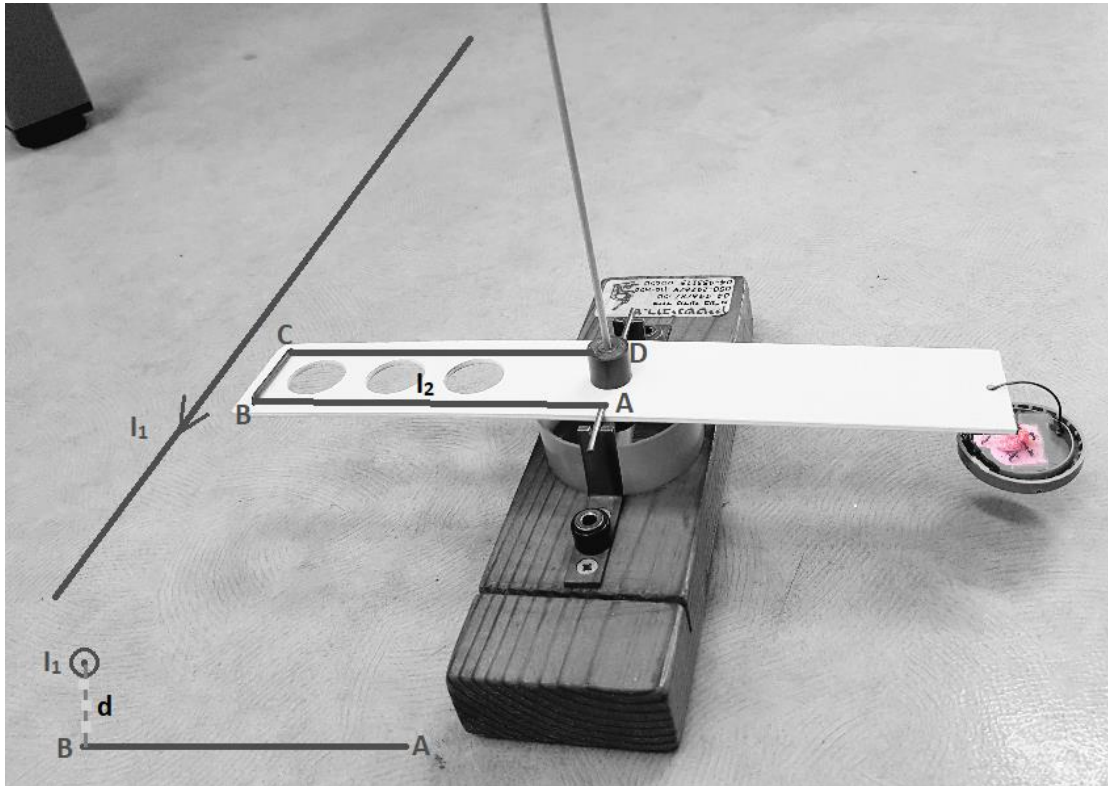
שאלה 4

נתון כי ציקלוטרון המאיץ פרוטונים הוא בעל רדיוס $R=120$ cm ועוצמת שדה מגנטי אחיד $B=2.5$ T בכיוון מטה ביחס למישור המעבדה. מתח ההאצה בין חלקי הציקלוטרון הוא $V=20$ kV. האנרגיה ההתחלתית של הפרוטונים ניתנת להזנחה.

- א. תארו את תנועת הפרוטונים בתוך הציקלוטרון. התייחסו לצורת המסלול ולאופי התנועה (תנועה קצובה, האצה וכד') הן בשדה החשמלי והן בשדה המגנטי. נמקו תשובתכם. (5 נק.)
- ב. מה מקור האנרגיה של הפרוטונים המואצים בציקלוטרון? הסבירו תשובתכם. (31/3 נק.)
- ג. בהנחה שהפרוטונים נפלטים מקצה הציקלוטרון, חשבו את האנרגיה הקינטית המרבית של הפרוטונים הנפלטים? (6 נק.)
- ד. חשבו כל כמה זמן מתח ההאצה הופך סימן. (6 נק.)
- ה. חשבו כמה זמן עבר מתחילת תנועתם של הפרוטונים ועד פליטתם החוצה מן הציקלוטרון. (הערה: הזניחו את זמן ההאצה בשדה החשמלי) (8 נק.)
- ו. בו בזמן נעים בתוך הציקלוטרון גם חלקיקי אלפא (גרעיני הליום המורכבים מ-2 נויטרונים ו-2 פרוטונים). חשבו את היחס בין מספר ההקפות של חלקיקי האלפא לזה של הפרוטונים עד יציאתם. (5 נק.)

שאלה 5

חוקר נמלים ביקש למדוד את משקלה של נמלה מסוג קטן. הניחו שלכל הנמלים משקל זהה והשתמש במאזני זרם המתוארים בשרטוט:



המאזניים מורכבים מפס פלסטיק בעל ציר בכיוון AD. לקצה הימני מחובר משטח עגול עליו מעמיסים את הנמלים. לחצי השמאלי מוצמד מוליך ABCD דרכו מועבר זרם ישיר שעוצמתו $I_2=5A$ באמצעות מקור מתח קבוע (המקור לא נראה בצילום). כיוון הזרם לא נתון. אורך המוליך בקטע BC הוא $\ell = 3cm$.

מוליך אינסופי המקביל לקטע BC נמצא בגובה $d=5cm$ בדיוק מעל BC. במוליך זורם זרם I_1 בכיוון המסומן ("יוצא מהדף"). במצב בו לא זורם זרם במוליך האינסופי ועל המשטח מימין לא מונח דבר, פס הפלסטיק מאוזן.

החוקר הניח קוביית סוכר על המשטח שמימין ואיפשר לנמלים לטפס עליו. מדי פעם הוא רשם את מספר הנמלים שנמצאו על משטח השקילה – n, ושינה את גודל הזרם I_1 כך שפס הפלסטיק נשאר במצב מאוזן. להלן תוצאות הניסוי:

7	6	5	4	3	2	1	n
280	270	250	235	210	200	185	$I_1(A)$

א. חשב מה היה השדה המגנטי (גודל וכיוון) שמקורו I_1 , לאורך קטע המוליך BC, כאשר על המאזניים נמצאו 5 נמלים. נמקו. (5 נק.)

ב. מהו כיוון הזרם I_2 במצב בו יש סוכר ונמלים על המשטח ופס הפלסטיק מאוזן? הסבירו. (5 נק.)

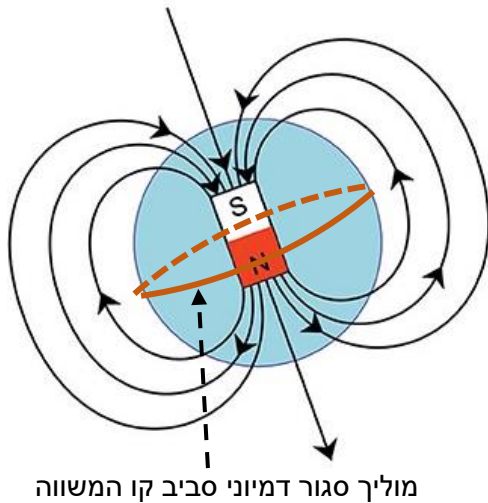
ג. מדוע ניתן להתעלם מהשפעת הזרם בקטעי המוליך AB ו CD? הסבירו. (41/3 נק.)

ד. הוכיחו כי הקשר בין I_1 ל n נתון על ידי הפונקציה הבאה: $I_1 = \frac{2\pi Mgd}{\mu_0 I_2 \ell} + \frac{2\pi mgd}{\mu_0 I_2 \ell} \cdot n$. כאשר M היא

מסת קוביית הסוכר, m היא מסת נמלה אחת ו-g היא תאוצת הנפילה החופשית ($10 m/s^2$) (7 נק.)

ה. סרטטו גרף של I_1 כפונקציה של n ומצאו באמצעותו את מסת הנמלה, m ואת מסת קוביית הסוכר, M. (12 נק.)

שאלה 6



"לכל מגנט יש שני צדדים, אחד מוגדר 'צפוני' ואחד 'דרומי'. גם לכדור הארץ יש שדה מגנטי והוא מתנהג קצת כמו מגנט ענקי. הסיבוב של כדור הארץ סביב צירו יוצר שדה מגנטי שמורגש בכדור הארץ כולו, גם בשכבה החיצונית ביותר שעליה אנו חיים וגובה מעלינו באטמוספירה" (*).
בשרטוט רואים את המגנט וקווי השדה המגנטי סביבו.

א. אם מציבים מצפן קצת מעל קו המשווה, קבעו לאיזה מהקטבים הגיאוגרפים של כדור הארץ, הצפוני או הדרומי הוא יצביע? נמקו. (5 נק.)

"השדה המגנטי של כדור הארץ אינו נשאר קבוע בכיוונו. אחת לכמה מאות אלפי שנים וקטור השדה המגנטי מתהפך ב-180 מעלות כך שהצפון המגנטי ימצא בכיוון שקודם היה הדרום המגנטי ולהפך" (*).

- מניחים מודל בו השדה המגנטי בתוך כדור הארץ הוא אחיד וגודלו $B_E = 4.5 \cdot 10^{-4} T$ והוא ניצב למישור קו המשווה.
- רדיוס כדור הארץ על פי הכתוב בדף הנוסחאות: $R = 6.38 \cdot 10^6 m$.

ב. נניח כי לוקח $\Delta t = 1000 \text{ years}$ (שנים) לשדה המגנטי של כדור הארץ לבצע היפוך. (הערה: בסעיפים הבאים כתבו את התוצאות המספריות עם 3 ספרות ערך).

(1) חשבו את גודל השטף ההתחלתי Φ_B של השדה המגנטי (שהוגדר במודל הנ"ל) דרך מוליך עשוי נחושת סגור דמיוני הכרוך סביב קו המשווה.

(2) הוכיחו שגודל הכא"מ המושרה הממוצע ε המתפתח כתוצאה מההיפוך של B_E הינו: $\varepsilon = \frac{2\Phi_B}{\Delta t}$.

(3) חשבו את הזרם המושרה הממוצע המתפתח במוליך הנחושת הסגור. נתון: ההתנגדות הסגולית של נחושת $\rho = 1.72 \cdot 10^{-8} \Omega m$, שטח החתך של המוליך $S = 3 \text{ mm}^2$.

(20 נק.)

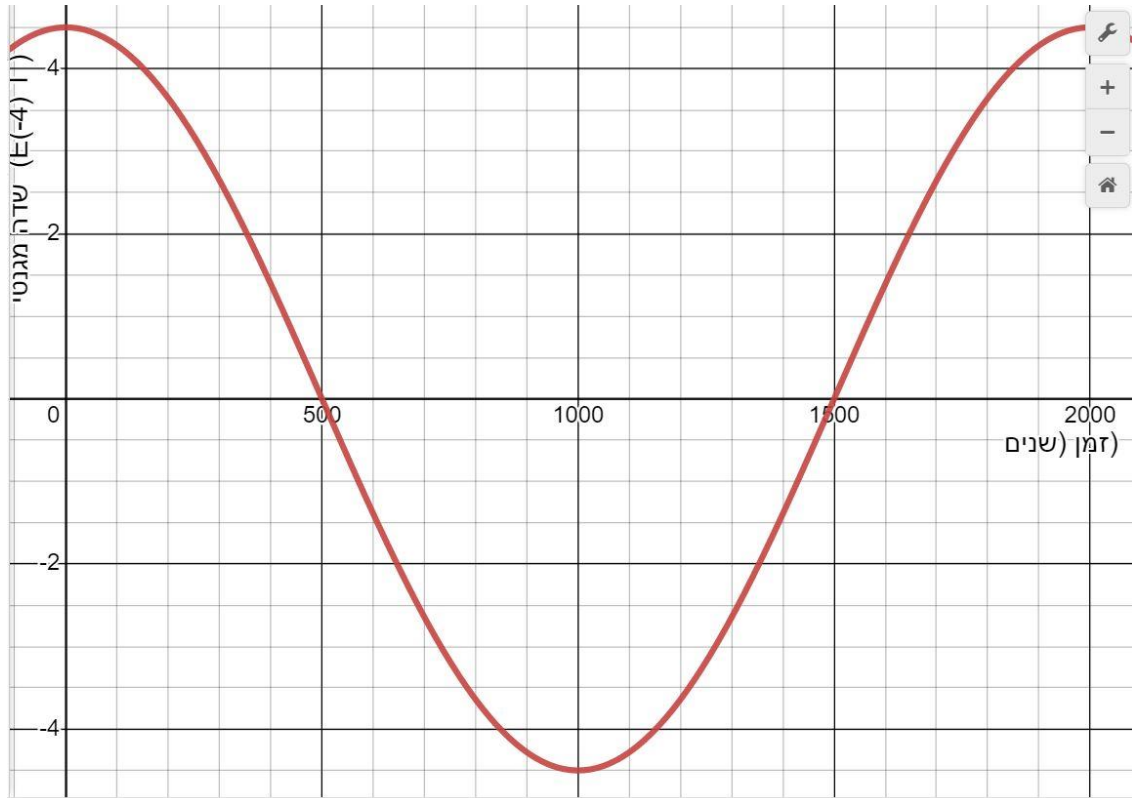
(* (אתר מכון דוידסון, מכון ויצמן)

שימו לב! המשך השאלה בעמוד הבא.

ג. עתה מניחים כי השדה המגנטי של כדור הארץ משתנה על פי הפונקציה הרציפה:

$$B_E = 4.5 \cdot 10^{-4} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$

הגרף של הפונקציה עבור $0 < t < 2000$ (שנים) נתון:



האם במהלך היפוך השדה המגנטי, המתרחש בין $t=0$ ל- $t=1000$ (שנים), הזרם המושרה בטבעת המוליכה מחליף כיוון? הסבירו. (81/3 נק.)