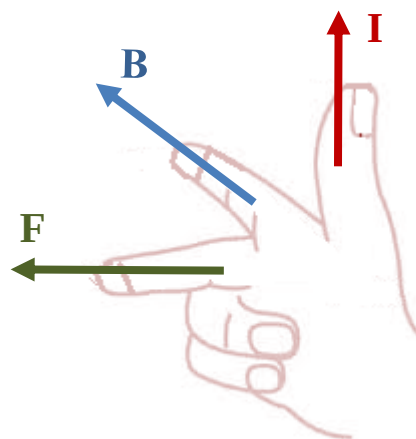


מגנטיות

כוח על תיל נושא זרם בשדה מגנטי



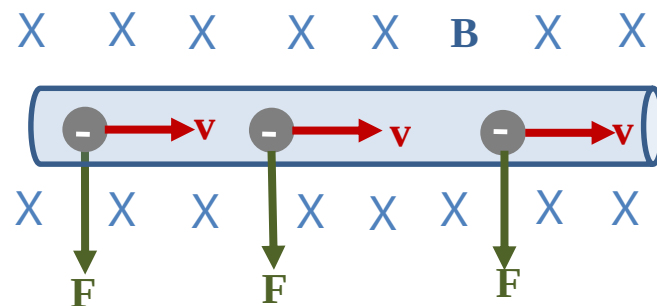
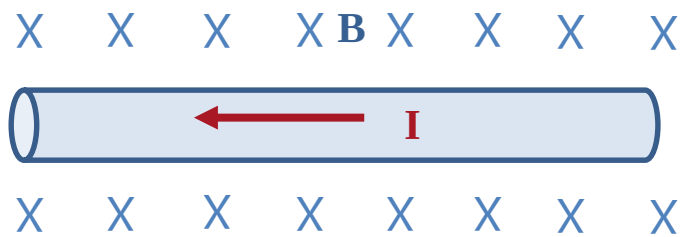
- ◀ גודל הכוח הפועל על תיל נושא זרם הנמצא בתוך שדה מגנטי.
- ◀ כיוון הכוח הפועל על תיל נושא זרם הנמצא בתוך שדה מגנטי (כלל היד הימנית).
- ◀ מאזני זרם: מדידת עוצמת השדה המגנטי.

השקול של כוחות לורנץ הפועלים על חלקיקים הטעונים

בשיעורים הקודמים הכרנו את השדה המגנטי הנוצר בקרבת מגנטים ובקרבת תילים נושאי זרם. כמו כן, הכרנו את הכוח הפועל על חלקיק טעון המצוי בתנועה (כוח לורנץ), ואת שימושיו של כוח זה. בשיעור זה נעסוק בכוח שמפעיל שדה מגנטי על תיל נושא זרם, כלומר על מטענים (אלקטרונים) בתנועה, ונעזר בו כדי לפתח נוסחאות לחישוב עוצמת השדה המגנטי הנוצר בקרבת תיל ישר ובקרבת סליל, כאשר זורם בהם זרם.

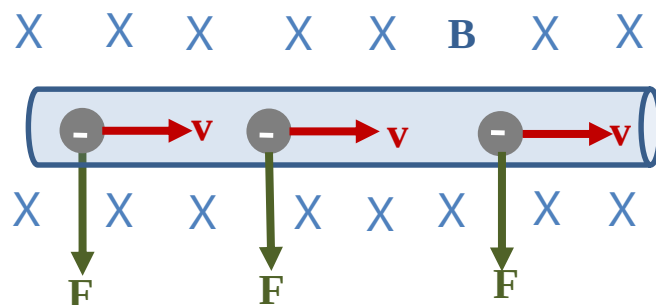
מהתרשים רואים כי על התיל נושא הזרם פועל כוח שהוא השקול של כוחות לורנץ, הפועלים על האלקטרונים, שתנועתם מהווה את הזרם החשמלי.

נזכיר שהכיוון המוסכם של הזרם הוא בכיוון ההפוך לתנועה המכוונת של האלקטרונים!
את כיוון הכוח קובעים על פי כלל היד הימנית (לפי כיוון הזרם).



גודל הכוח הפועל על תיל נושא זרם

כדי לחשב כוח שקול זה נתבונן בקטע תיל שאורכו L שבו נעים חלקיקים שמטענם q במהירות ממוצעת v .



$$F = n \cdot q \cdot v \cdot B$$

נניח שברגע נתון בקטע התיל הנ"ל n חלקיקים, מכאן שהכוח השקול הפועל עליהם גדול פי n מכוח לורנץ הפועל על חלקיק בודד, כלומר:

$$F = n \cdot q \cdot \frac{L}{\Delta t} \cdot B$$

הזמן Δt הנדרש לכל החלקיקים האלה לעבור דרך חתך של המוליך הוא $\Delta t = L/v$ כלומר, $v = L/\Delta t$. נציב בביטוי של כוח לורנץ:

$$I = \frac{n \cdot q}{\Delta t}$$

$n \cdot q$ היא כמות המטען העוברת דרך חתך של מוליך בפרק הזמן Δt .
לכן המנה $nq/\Delta t$, אינה אלא עצמת הזרם I בתיל, כלומר:

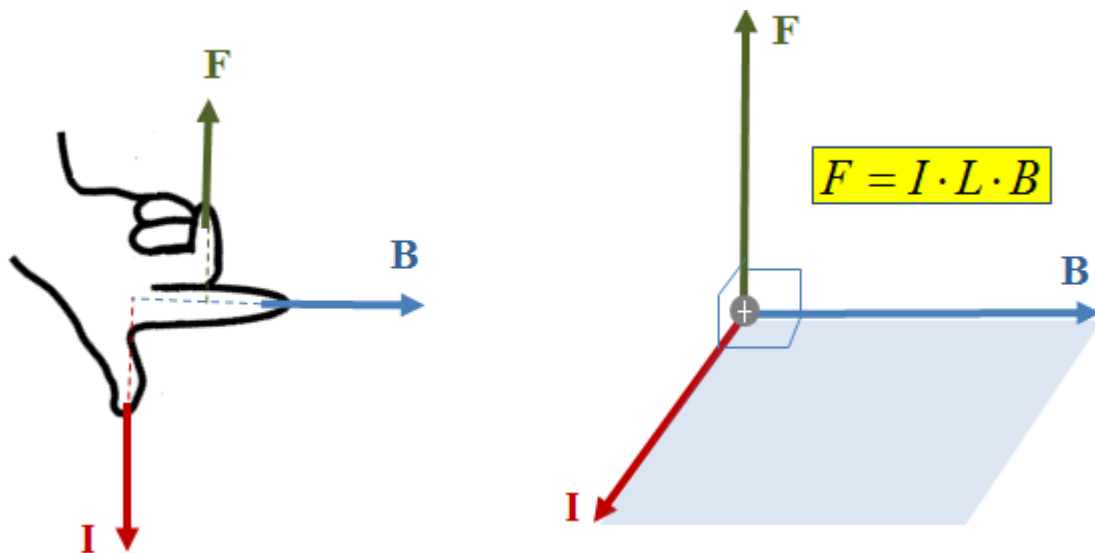
$$F = I \cdot L \cdot B$$

מכאן ש:

(במקרה שלנו החלקיק הוא אלקטרון ולכן $q=e$).

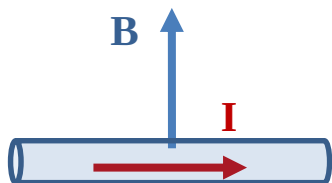
לצורך מציאת כיוון הכוח הפועל על תיל נושא זרם הנמצא בשדה מגנטי נשתמש גם הפעם ב- "כלל היד הימנית". כאשר הפעם כיוון הכוח נקבע באופן הבא:

אם נשים את אצבע יד ימין בכיוון השדה המגנטי, ואת האגודל בכיוון הזרם, תראה האמה את כיוון הכוח שמפעיל השדה המגנטי על התיל.

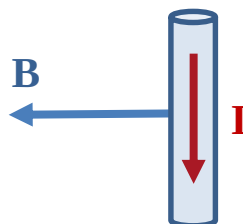


נתונים שישה מיקרים בהם תיל נושא זרם נמצא בשדה מגנטי אחיד, כיוון הזרם והשדה המגנטי נתונים. מהו כיוון הכוח המגנטי שפועל על התיל בכל אחד מהמקרים הבאים:

1



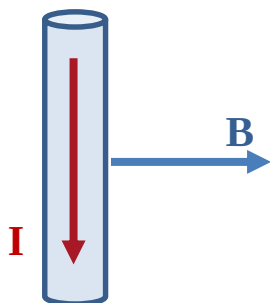
2



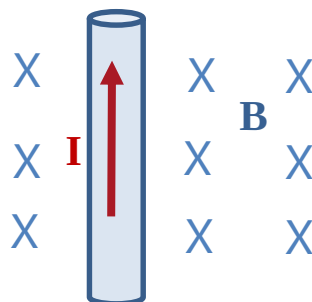
3



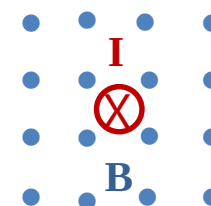
4



5

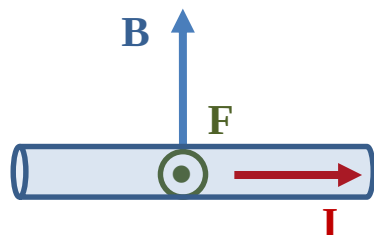


6

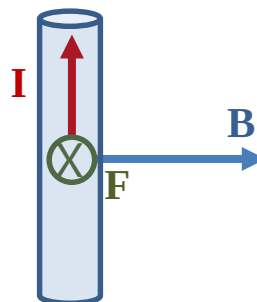


פתרון:

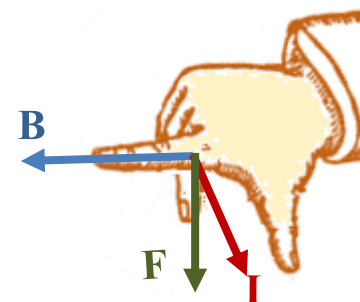
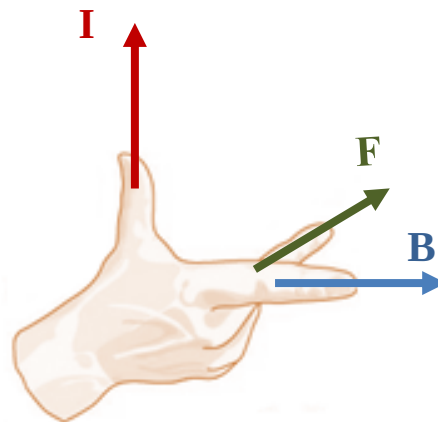
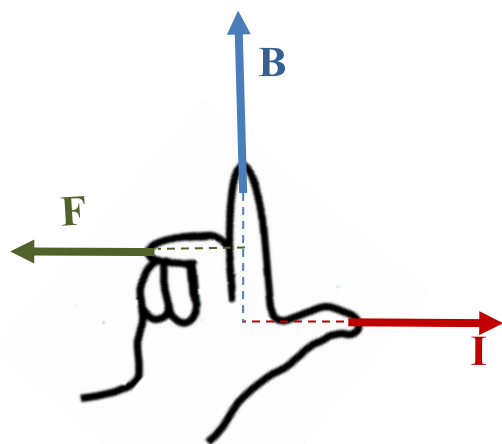
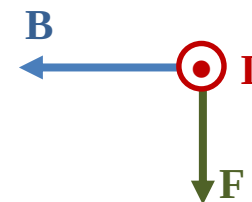
1



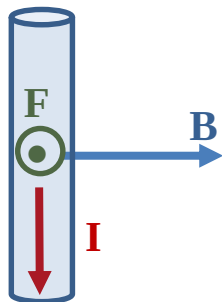
2



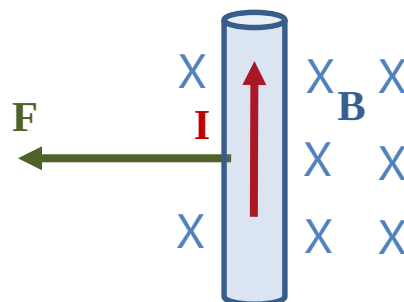
3



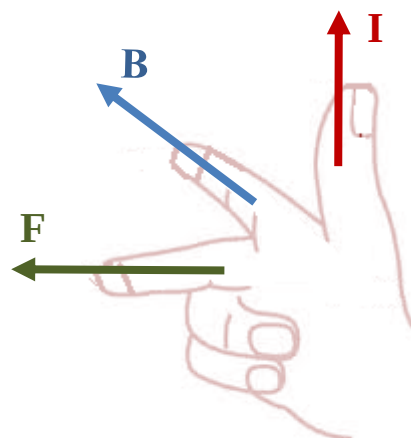
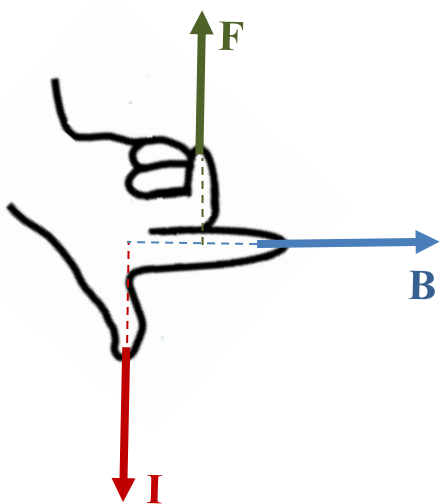
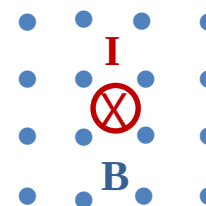
4



5



6



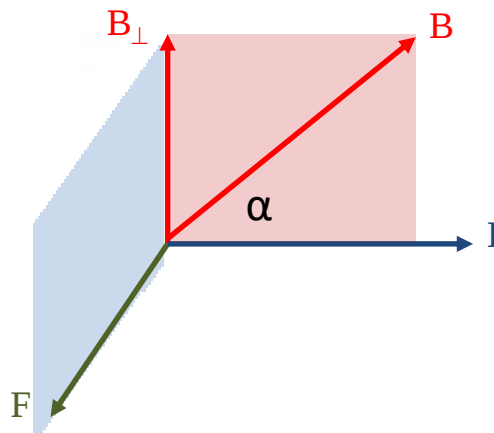
לא פועל כוח

תיל נושא זרם שכיוונו בזווית לקווי השדה המגנטי

מה קורה אם כיוון הזרם אינו בניצב לקווי השדה אלא בזווית אליהם? כיוון הזרם משפיע על גודלו של הכוח המגנטי באופן הבא:

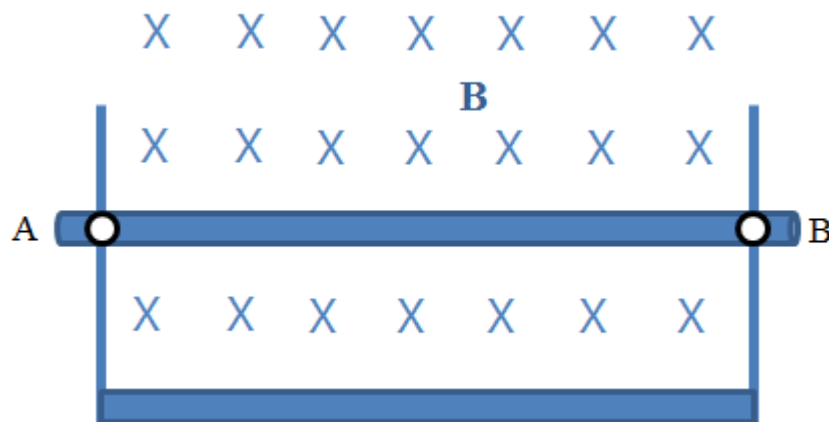
- I. על תיל נושא זרם שכיוונו מקביל לקווי השדה לא פועל כוח מגנטי .
 - II. על תיל נושא זרם שכיוונו ניצב לקווי השדה מתקבל הכוח המגנטי הגדול ביותר.
 - III. כאשר הזווית α שבין כיוון השדה המגנטי לבין כיוון הזרם שונה מ- 90° , הכוח המגנטי נקבע על ידי רכיב השדה $B_{\perp}$ הניצב לזרם, $B = ILB \sin \alpha$.
- ניתן לסכם את אוסף העובדות שקיבלנו בקשר הבא:

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \sin \alpha$$

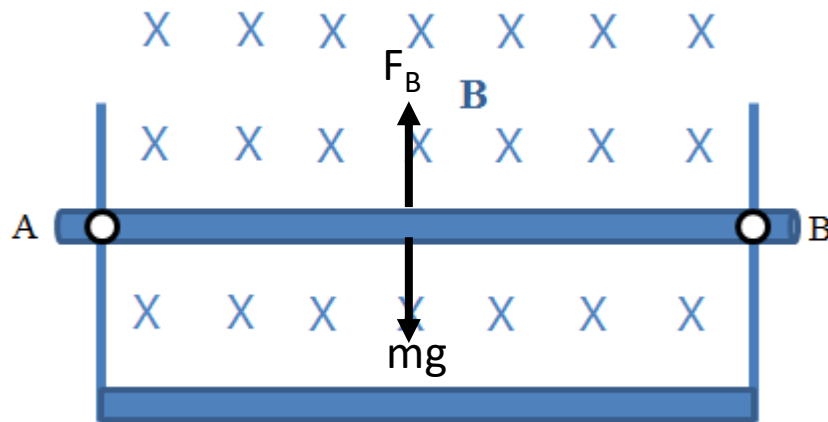


תרגיל 1 : כוח על תיל נושא זרם

בתרשים שלפניך מוצג תיל AB שאורכו $L=0.5[m]$ ומסתו $m=200[g]$. התיל AB חופשי לנוע מעלה-מטה ללא חיכוך. עוצמת השדה המגנטי $B=0.6[T]$.



- א. מהו הזרם (גודל וכיוון) שצריך לזרום בתיל כדי שהתיל יישאר במקום?
 - ב. מהו הזרם (גודל וכיוון) שצריך לזרום בתיל כדי שהתיל ינוע בתאוצה של $2m/s^2$?
1. כלפי מעלה?
 2. כלפי מטה?



א.

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_B - mg = 0$$

$$I \cdot L \cdot B = mg$$

$$I = \frac{mg}{L \cdot B} = \frac{0.2 \cdot 10}{0.5 \cdot 0.6} = 6.66 [A]$$

ב. 1.

$$\sum F_Y = ma$$

$$F_B - mg = ma$$

$$I \cdot L \cdot B - mg = ma$$

$$I = \frac{mg + ma}{L \cdot B} = \frac{0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 2}{0.5 \cdot 0.6} = 8 [A]$$

2.

$$\sum F_Y = ma$$

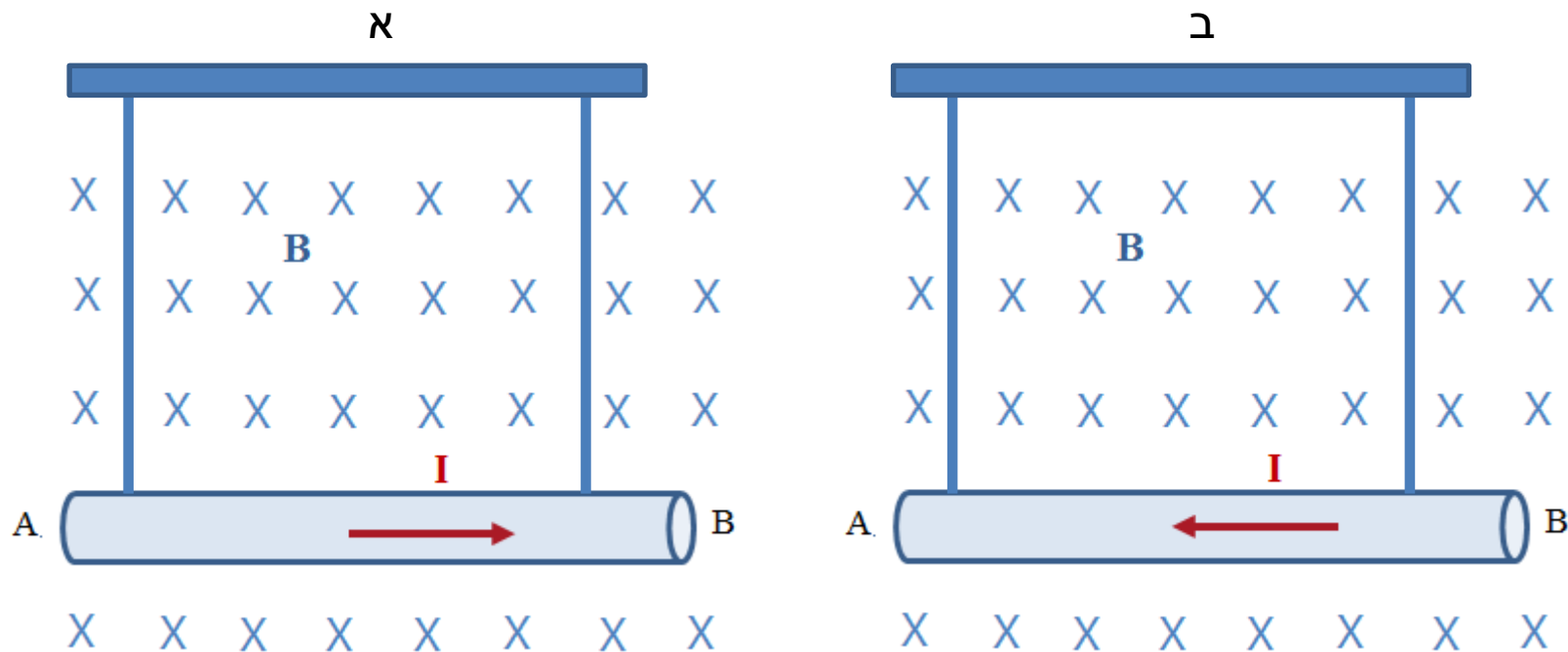
$$F_B - mg = ma$$

$$I \cdot L \cdot B - mg = ma$$

$$I = \frac{mg + ma}{L \cdot B} = \frac{0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot (-2)}{0.5 \cdot 0.6} = 5.33 [A]$$

תרגיל 2 : כוח על תיל נושא זרם

בתרשים שלפניך מוצג תיל AB שאורכו $L=1[m]$ ומסתו $m=200 [g]$. התיל תלוי בשני חוטים. בתיל זרם זרם של $0.1[A]$, ועוצמת השדה המגנטי היא $0.1[T]$.

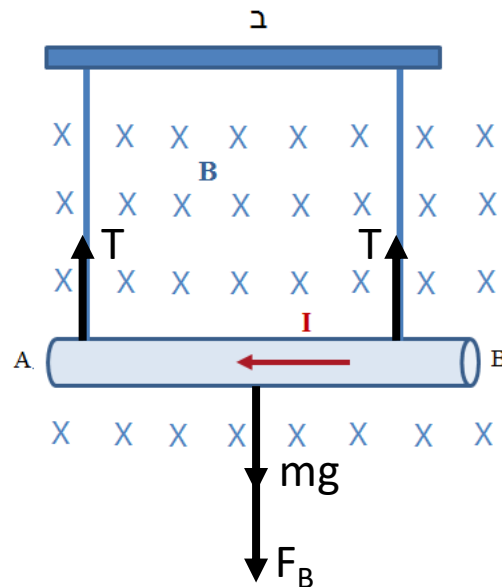
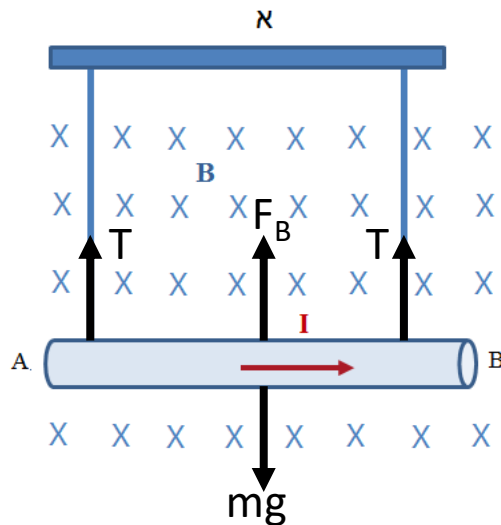


א. ערכו תרשים כוחות הפועלים על התיל.

ב. מהי המתיחות בכל אחד מהחוטים כאשר הזרם בתיל הוא מ-A ל-B ? (תרשים א)

ג. מהי המתיחות בכל אחד מהחוטים כאשר הזרם בתיל הוא מ-B ל-A ? (תרשים ב)

א.



ב.

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_B + 2T - mg = 0$$

$$I \cdot L \cdot B + 2T - mg = 0$$

$$T = \frac{mg - I \cdot L \cdot B}{2} = \frac{0.2 \cdot 10 - 0.1 \cdot 1 \cdot 0.1}{2} = 0.995 [N]$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$-F_B + 2T - mg = 0$$

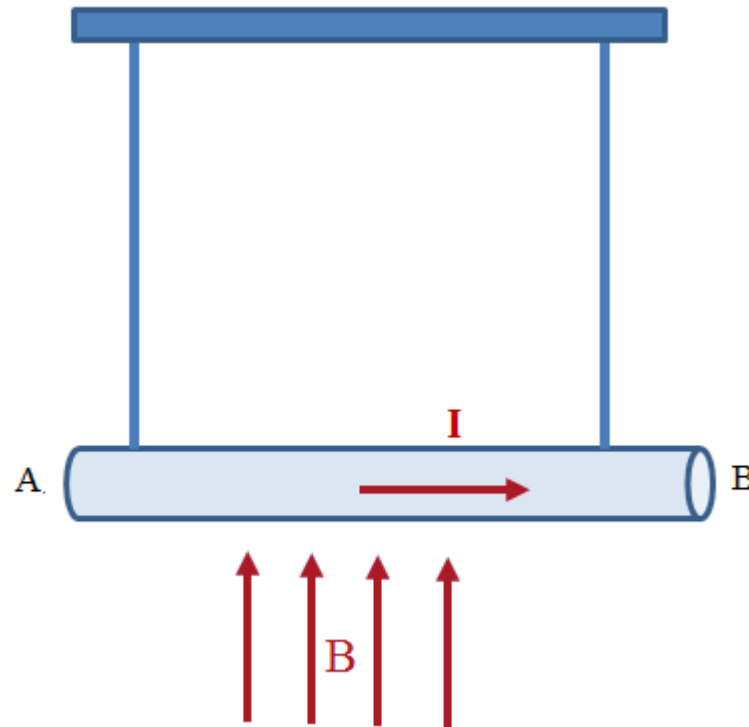
$$-I \cdot L \cdot B + 2T - mg = 0$$

$$T = \frac{mg + I \cdot L \cdot B}{2} = \frac{0.2 \cdot 10 + 0.1 \cdot 1 \cdot 0.1}{2} = 1.005 [N]$$

ג.

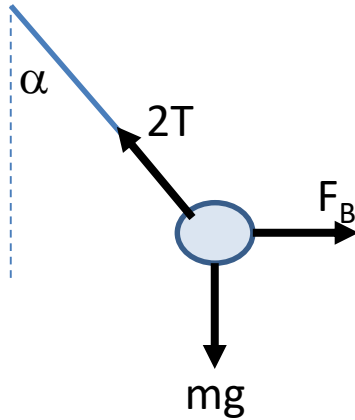
תרגיל 3 : כוח על תיל נושא זרם

בתרשים שלפניך מוצג תיל AB שאורכו $L=1[m]$ ומסתו $m=200 [g]$. התיל תלוי בשני חוטים.
בתיל זרם זרם של $0.1[A]$, ועוצמת השדה המגנטי היא $0.1[T]$.



- ערכו תרשים כוחות הפועלים על התיל.
- באיזו זווית ביחס לאנך יהיה התיל במצב שיווי משקל?
- מה תהיה המתיחות של כל אחד מהחוטים במצב שיווי משקל?

א.



ב.

$$\sum F_Y = 0$$

$$2T \cos \alpha - mg = 0$$

$$2T \cos \alpha = mg$$

$$\sum F_X = 0$$

$$F_B - 2T \sin \alpha = 0$$

$$2T \sin \alpha = F_B$$

$$\tan \alpha = \frac{F_B}{mg} = \frac{I \cdot L \cdot B}{mg} = \frac{0.1 \cdot 1 \cdot 0.1}{0.2 \cdot 10} = 0.005$$

$$\alpha = 0.286^\circ$$

ג.

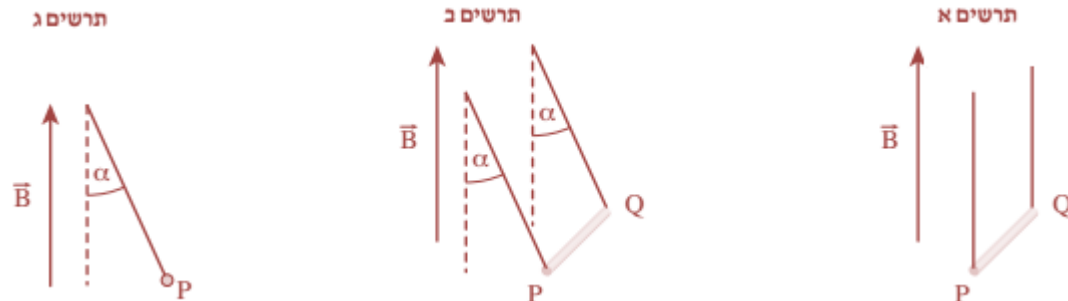
$$\sum F_Y = 0$$

$$2T \cos \alpha - mg = 0$$

$$T = \frac{mg}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{0.2 \cdot 10}{2 \cdot \cos 0.286^\circ} = 1.0 [N]$$

תרגיל 4 : כוח על תיל נושא זרם

במעבדה שורר שדה מגנטי אחיד, B , מאונך לקרקע וכיוונו כלפי מעלה. תלמיד רוצה למדוד את גודל השדה. לשם כך הוא משתמש במוט מוליך גילי PQ . התלמיד קושר את קצות המוט לשני חוטים זהים. החוטים קשורים בקצותיהם האחרים לשתי נקודות הנמצאות באותו גובה, כמתואר בתרשים א, כך שהמוט PQ תמיד מקביל לקרקע. כאשר התלמיד מעביר זרם חשמלי במוט PQ , המוט סוטה ממקומו. המוט מתייצב כך שנוצרת זווית α בין כל אחד משני החוטים לבין הכיוון האנכי, כמתואר בתרשים ב.



א. (1) בתרשים ג המוט משורטט כך שרואים את הקצה P שלו. העתק את תרשים ג למחברתך, וסרטט בו את כל הכוחות הפועלים על המוט PQ .

(2) מהו כיוון הזרם במוט - מ- P ל- Q או מ- Q ל- P ? נמק.

התלמיד משנה כמה פעמים את עוצמת הזרם במוט, ומודד בכל פעם את עוצמת הזרם, I , ואת זווית הסטייה α . תוצאות המדידות מוצגות בטבלה שלפניך:

$I(A)$	1	1.5	2	2.5	3	3.5
α	5.7	8.5	10	13.5	16.7	19.3

ב. בלי להסתמך על תוצאות המדידות, פתח ביטוי מתמטי המקשר בין זווית הסטייה α , לבין עוצמת הזרם, I .

ג. (1) התבסס על הביטוי שפיתחת בסעיף ב, וציין מה הם שני המשתנים שיש ביניהם יחס ישר. נמק.

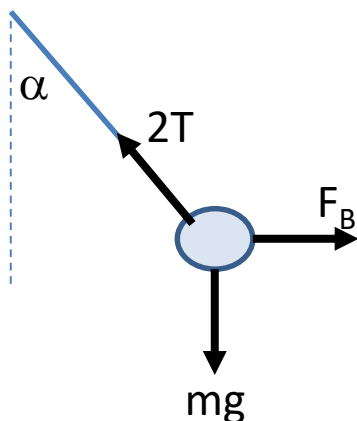
(2) ערוך טבלה ובה ערכים של שני המשתנים שצינת בתת-סעיף ג (1).

(3) סרטט גרף המתאר את הקשר בין שני המשתנים שצינת בתת-סעיף ג (1).

ד. נתון כי אורך המוט PQ הוא $L = 0.2[m]$, ומסתו היא: $m = 10 [g]$.

חשב בעזרת הגרף את עוצמת השדה המגנטי B .

פתרון תרגיל 4 : כוח על תיל נושא זרם



א. 1.

2. כיוון הזרם מ-P ל-Q, על פי כלל הימנית.

ב.

$$\sum F_Y = 0$$

$$2T \cos \alpha - mg = 0$$

$$2T \cos \alpha = mg$$

$$\sum F_X = 0$$

$$F_B - 2T \sin \alpha = 0$$

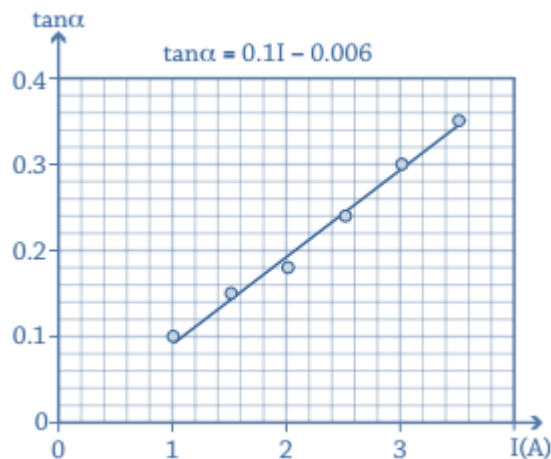
$$2T \sin \alpha = F_B$$

$$\tan \alpha = \frac{F_B}{mg} = \frac{L \cdot B}{mg} \cdot I$$

ג. 1. $\tan \alpha$ נמצא ביחס ישר לעוצמת הזרם I.

2+3.

3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	I(A)
0.35	0.30	0.24	0.18	0.15	0.10	$\tan \alpha$

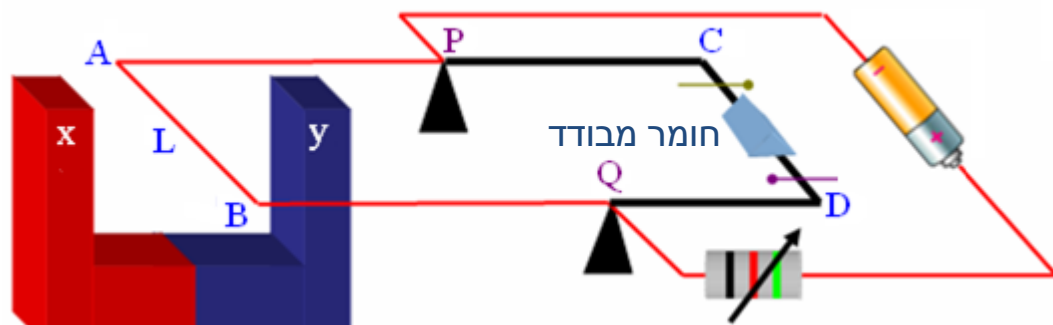


$$A = \frac{\Delta \tan \alpha}{\Delta I} = \frac{L \cdot B}{mg} \quad \Leftarrow A = \frac{\Delta \tan \alpha}{\Delta I} = \frac{0.31 - 0.11}{3.2 - 1.2} = 0.1 \quad \text{ד.}$$

$$0.11 = \frac{0.2 \cdot B}{0.01 \cdot 10}$$

$$B = 0.05 [T]$$

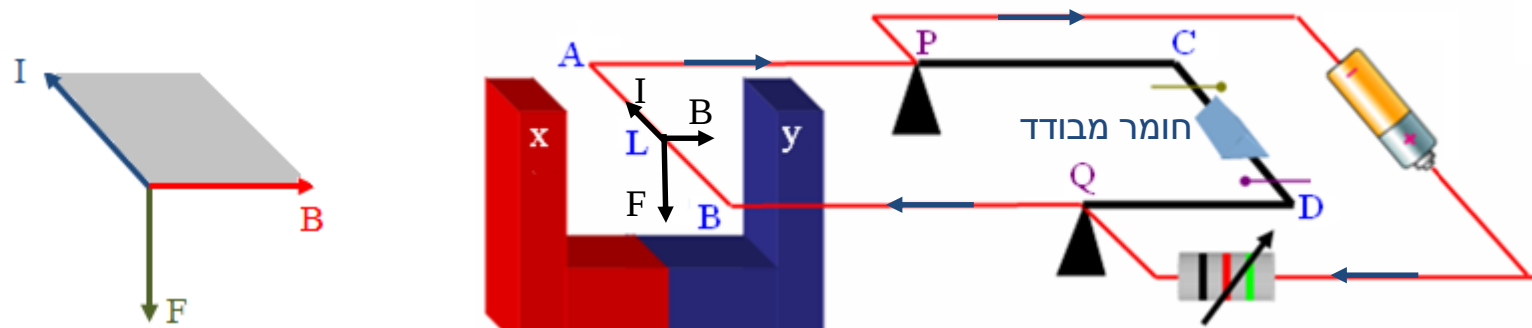
במקרים רבים נדרש לדעת את עוצמת השדה המגנטי בקרבת תיל ישר, מגנט או בקרבת סליל הנושא זרם בשדה מגנטי. לצורך זה נוח למדוד את הכוח הפועל על התיל נושא הזרם, וממנו להסיק לגבי השדה. להלן תיאור של אחד המתקנים הפשוטים, הנקרא "מאזני זרם", למדידת עוצמת השדה המגנטי B האחיד השורר בין קטביו של מגנט פרסה הנקרא "מאזני זרם".



מסגרת ABCD, העשויה מתיל מוליך, נתמכת בשתי נקודות P ו-Q, כך שהיא חופשיה לנוע סביב הציר PQ. המסגרת פתוחה בקטע שבו נימצא חומר מבודד (כך שהזרם יזרום רק בקטע המסומן באדום). קטע מסגרת AB שאורכו L נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד שכיוונו ימינה, כך שהוא ניצב לקווי השדה. כאשר לא זרם בזרם במסגרת, היא נמצא במצב אופקי (מאוזנת).

המשך מאזני זרם: מדידת עוצמת השדה המגנטי

כאשר מזרימים בתיל זרם, שכיוונו פנימה אל תוך המסך, בהתאם לכלל יד ימין יפעל על התיל כוח בכיוון מטה. את הכוח הזה מאזנים באמצעות סיכות מהדק אותם מחברים לצלע CD המקבילה לצלע הנמצאת בשדה.



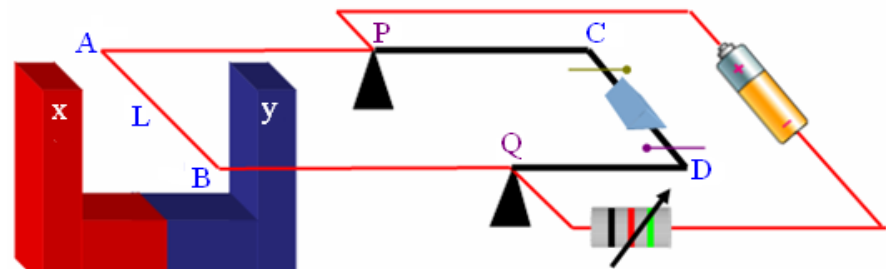
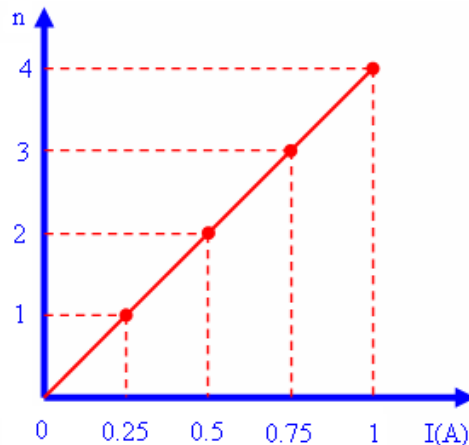
מודדים, באמצעות אמפרמטר, את עוצמת הזרם I בתיל, באמצעות סרגל מודדים את האורך L של קטע התיל הנמצא בשדה המגנטי, ובאמצעות המשקל של הסיכות המאזנות את המאזניים מוצאים את גודל הכוח המגנטי. את התוצאות מציבים בנוסחה:

$$B = \frac{F}{I \cdot L} = \frac{mg}{I \cdot L}$$

ומחשבים את עוצמת השדה.

מסגרת ABCD, העשויה מתיל מוליך, נתמכת בשתי נקודות P ו-Q, כך שהיא חופשיה לנוע סביב הציר PQ. המסגרת פתוחה בקטע שבו נימצא חומר מבודד. קטע מסגרת שאורכו $L = 3\text{[cm]}$ נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד שבין קוטבי מגנט. כאשר לא זורם זרם במסגרת, היא נמצאת במצב אופקי (מאוזנת). כשמחברים את מקור המתח, פועל על המסגרת כוח F , שאותו מאזנים באמצעות סיכות מהדק. המסה של סיכה אחת היא $m = 0.03\text{[g]}$.

הגרף שלפניך מתאר את מספר הסיכות (n) המאזנות את הכוח המגנטי כפונקציה של עוצמת הזרם I שזורם במסגרת.



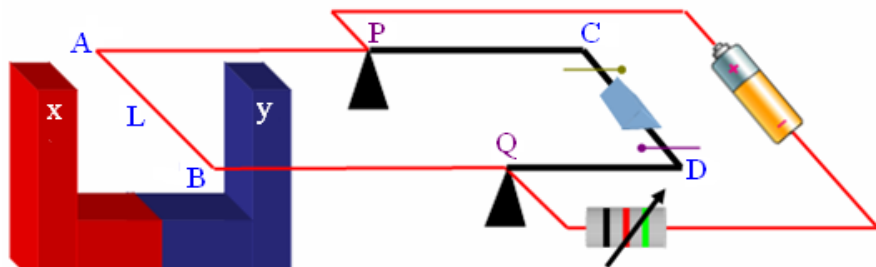
א. רשום ביטוי המתאר את הקשר בין מספר הסיכות לעוצמת הזרם במסגרת כשהיא מאוזנת.

ב. איזה גודל פיזיקלי מייצג שיפוע הגרף? ציין את היחידות של השיפוע.

ג. חשב את עוצמת השדה המגנטי וקבע את כיוונו.

ד. כמה סיכות נדרשות לאזן זרם של 1.5[A] ?

ה. בניסוי אחר חוזרים על המדידות, אלא שהפעם הופכים את כיוון הזרם במעגל (ע"י הפיכת כיוון הסוללה). מה נידרש לבצע בנוסף, בכדי שתוצאות הניסוי יהיו זהות לאלו שהתקבלו בגרף?



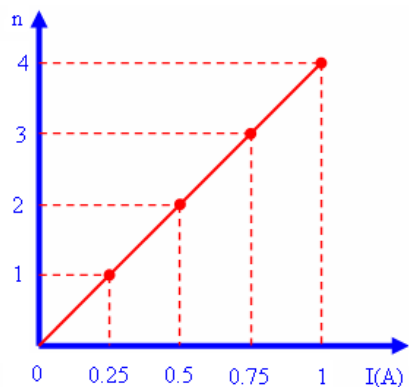
א. $\Sigma F_Y = 0$

$$F_B - n \cdot mg = 0$$

$$I \cdot L \cdot B = n \cdot mg$$

$$n = \frac{BL}{mg} \cdot I$$

ב. BL/mg , יחידות השיפוע: $1/A$ או $T \cdot m/N$



$$A = \frac{\Delta n}{\Delta I} = \frac{L \cdot B}{mg}$$

$$\Leftarrow A = \frac{\Delta n}{\Delta I} = \frac{4-1}{1-0.25} = 4$$

$$4 = \frac{0.03 \cdot B}{0.00003 \cdot 10}$$

$$B = 0.04 [T]$$

כיוון השדה המגנטי מ- Y ל- X על פי כלל היד הימנית.

ד.

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_B - n \cdot mg = 0$$

$$I \cdot L \cdot B = n \cdot mg$$

$$n = \frac{BL}{mg} \cdot I = \frac{0.04 \cdot 0.03}{0.00003 \cdot 10} \cdot 1.5 = 6$$

ה. להפוך את כיוון השדה המגנטי.

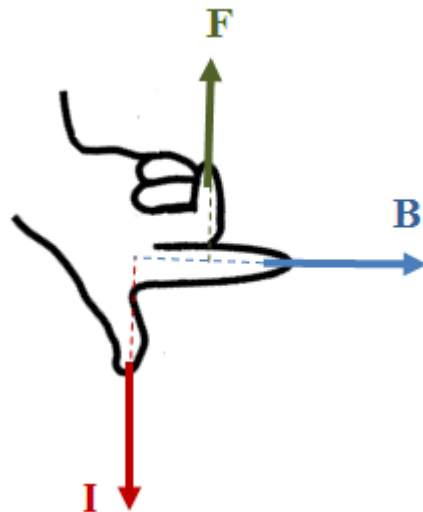
❖ על תיל נושא זרם הנמצא בשדה מגנטי פועל כוח שהוא השקול של כוחות לורנץ, הפועלים על האלקטרונים, שתנועתם מהווה את הזרם החשמלי.

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \sin \alpha$$

❖ גודלו של הכוח השקול:

❖ כיוונו של הכוח נקבע על פי כלל יד ימין:

אם נשים את אצבע יד ימין בכיוון השדה המגנטי, ואת האגודל בכיוון הזרם, תראה האמה את כיוון הכוח שמפעיל השדה המגנטי על התיל.



❖ לצורך מדידת עוצמת השדה המגנטי B משתמשים ב"מאזני זרם" בעזרתם מודדים את הכוח הפועל על תיל נושא זרם, וממנו מסיקים לגבי עוצמת השדה המגנטי.