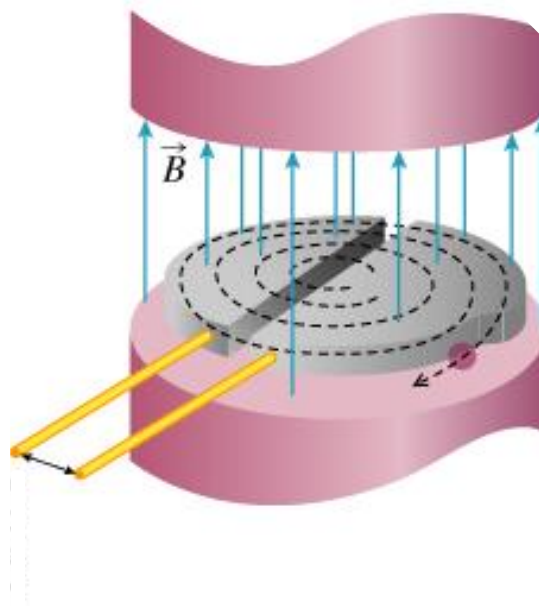
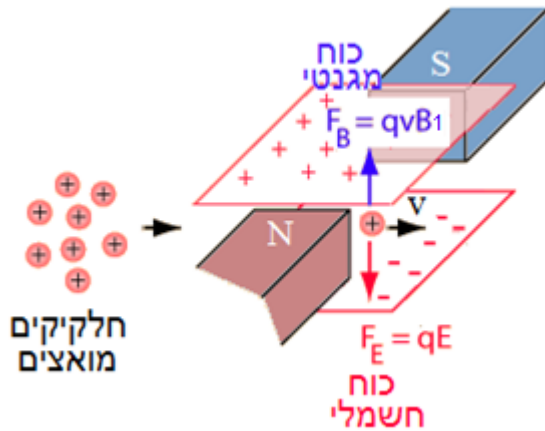


מגנטיות

יישומים של כוח לורנץ +
כוח על תיל נושא זרם

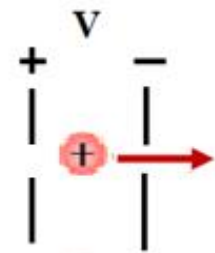




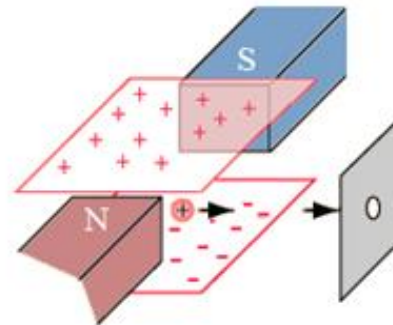
❖ בבור מהירויות, הכוחות המגנטיים והחשמליים הפועלים על המטענים שווים ומאפשרים "סינון" של אלו הנעים בקו ישר ובמהירות $v=E/B$

❖ ספקטרוגרף מסות, מאפשר את מדידת מסתם של איזוטופים של אותו יסוד, על ידי הפרדתם. הוא מורכב משלושה חלקים: מאיץ קווי, בורר מהירויות ומפריד יונים. את הפרש המסות של איזוטופים שונים ניתן לחשב על ידי מדידת הפרש המרחקים בין נקודות הפגיעה של היונים, השווה

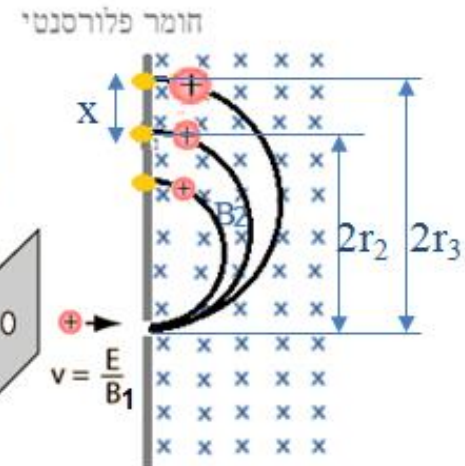
להפרש בין הקטרים של רדיוסי הסיבוב שלהם, כאשר:

$$r = \frac{m \cdot E}{q \cdot B_1 \cdot B_2}$$


מאיץ קווי

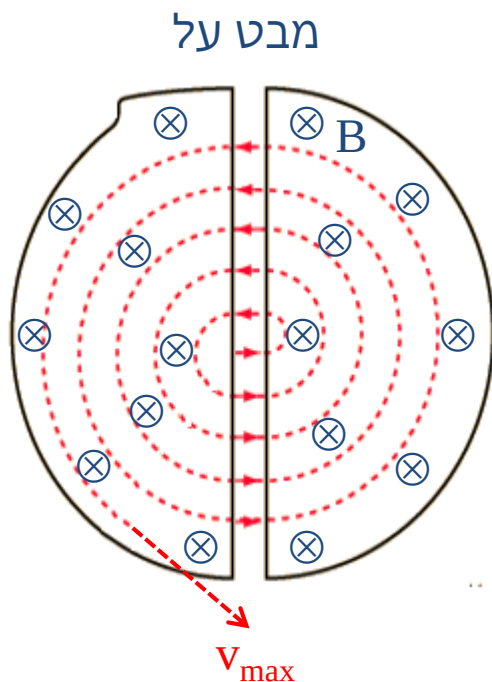


בורר מהירויות



מפריד יונים

◀ בציקלוטרון, החלקיקים נעים בתנועה שמסלולה חצאי מעגלים ברדיוסים וגדלים, עד שהם מגיעים לפתח, שדרכו הם יוצאים מהשפעת השדה ונעים בקו ישר ובמהירות ובאנרגיה קינטית גבוהות מאוד.



$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \sqrt{2 \cdot \frac{q}{m} \cdot V}$$

$$f = \frac{q \cdot B}{2 \cdot \pi \cdot m}$$

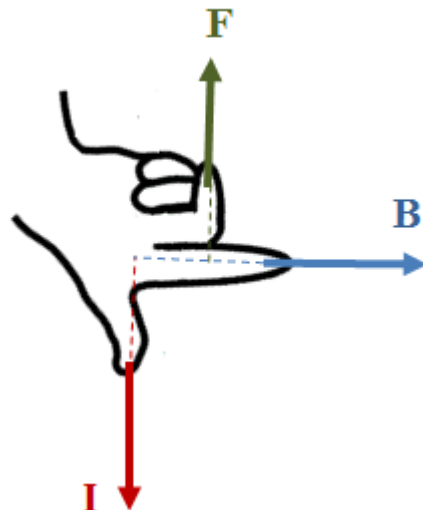
❖ על תיל נושא זרם הנמצא בשדה מגנטי פועל כוח שהוא השקול של כוחות לורנץ, הפועלים על האלקטרונים, שתנועתם מהווה את הזרם החשמלי.

❖ גודלו של הכוח השקול:

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

❖ 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.

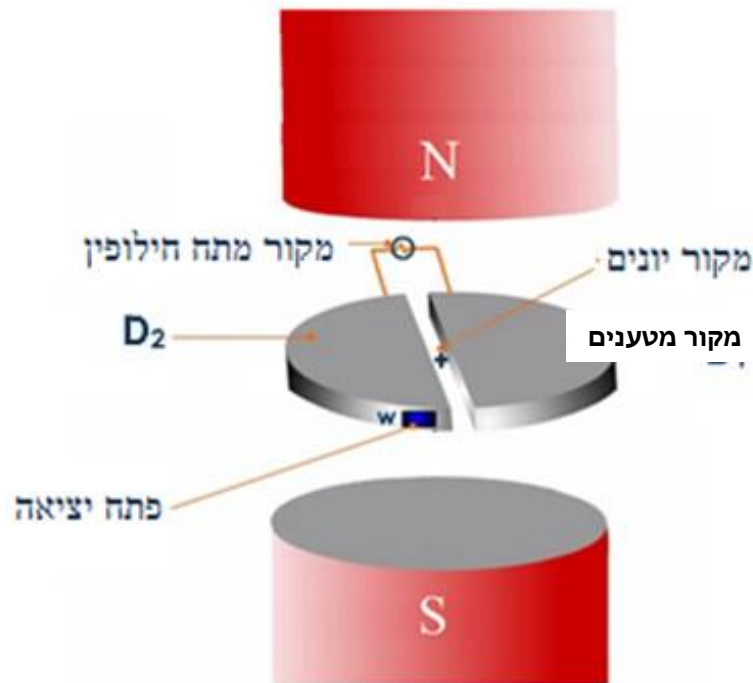


❖ לצורך מדידת עוצמת השדה המגנטי B משתמשים ב"מאזני זרם" בעזרתם מודדים את הכוח הפועל על תיל נושא זרם, וממנו מסיקים לגבי עוצמת השדה המגנטי.

ציקלטרון מאיץ דיאטרונים, שהם גרעינים של מימן כבד שמטענם הוא $+e$ ומסתם $3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

א- מה התדירות הנדרשת עבור השדה החשמלי, אם עוצמת השדה המגנטי היא $B=1.5 \text{ T}$?

ב- אם בסוף ההאצה צובר הדיאטרון אנרגיה קינטית של 15 MeV , ואם המתח במרווח בין שני ה"D" הוא 50 Kv , כמה פעמים מואץ הדיאטרון עד ליציאה?



ציקלוטרון מאיץ דיאטרונים, שהם גרעינים של מימן כבד שמטענם הוא $+e$ ומסתם $3.3 \times 10^{-27} \text{kg}$.

א- מה התדירות הנדרשת של השדה החשמלי אם עוצמת השדה המגנטי היא: $B=1.5 \text{T}$?

◀ תדירות ההחלפה של השדה החשמלי צריכה להיות תואמת לתדירות הסיבוב של החלקיק, הנע בתוך המאיץ.

◀ למדנו כי בתנועה המעגלית של חלקיק בשדה מגנטי מתקיים:

$$\sum F_R = ma_R$$

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

◀ לכן, נוכל למצוא את התדירות באופן הבא:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \left(\frac{mv}{qB} \right)}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

$$f = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 1.5}{2\pi \cdot 3.3 \cdot 10^{-27}} = 11.57 \text{MHz}$$

ב- אם בסוף ההאצה צובר הדיאטרון אנרגיה קינטית של 15MeV , ואם המתח במרווח בין ה-D שני הוא 50Kv , כמה פעמים מואץ הדיאטרון עד ליציאה?

◀ בכל פעם שהדיאטרון חוצה את המרווח בין שני חלקי המאיץ הוא צובר אנרגיה השווה ל-

$$E = qV = eV = 50\text{KeV} = 5 \cdot 10^4 eV$$

◀ לכן, עליו לחצות את המרווח n פעמים, כך שיתקיים:

$$E = 15\text{MeV} = 15 \cdot 10^6 eV$$

$$15 \cdot 10^6 = n \cdot 5 \cdot 10^4$$

$$n = \frac{15 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^4} = 300$$

הציקלוטרון של השאלה הקודמת מכוון כעת להאצה של פרוטונים, שלהם מסה השווה כמעט בדיוק למחצית המסה של הדיאטרון.

- א-** איזה שינוי יש לבצע במאיץ, אם לא ניתן לשנות את התדירות של השדה החשמלי שבין שני ה- "D"?
- ב-** איזה שינוי יש לבצע במאיץ, אם לא ניתן לשנות את עוצמת השדה המגנטי הפועל בניצב ל- "D"?

הציקלוטרון של השאלה הקודמת מכוון כעת להאצה של פרוטונים, שלהם מסה השווה כמעט בדיוק למחצית המסה של הדיאטרון.

א- איזה שינוי יש לבצע במאיץ אם לא ניתן לשנות את התדירות של השדה החשמלי שבין שני ה- "D"?
 ◀ בשאלה הקודמת ראינו כי התדירות של השדה החשמלי היא:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

◀ מסת הפרוטון היא כמחצית מהמסה של הדיאטרון, ולכן על מנת לשמור על ערך התדירות יש להקטין גם את השדה המגנטי פי 2:

$$f = \frac{q\left(\frac{B}{2}\right)}{2\pi\left(\frac{m}{2}\right)} = \frac{qB}{2\pi m}$$

ב- איזה שינוי יש לבצע במאיץ אם לא ניתן לשנות את עוצמת השדה המגנטי הפועל בניצב ל- "D"?
 ◀ בשאלה הקודמת ראינו כי התדירות של השדה החשמלי היא:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

כלומר: ◀

$$B = \frac{2\pi m f}{q}$$

◀ הואיל והמסה של החלקיק הנוכחי קטנה פי 2, על מנת לשמור על עוצמת השדה המגנטי יש להגדיל את התדירות פי 2.

$$B = \frac{2\pi \left(\frac{m}{2}\right) (2f)}{q} = \frac{2\pi m f}{q}$$

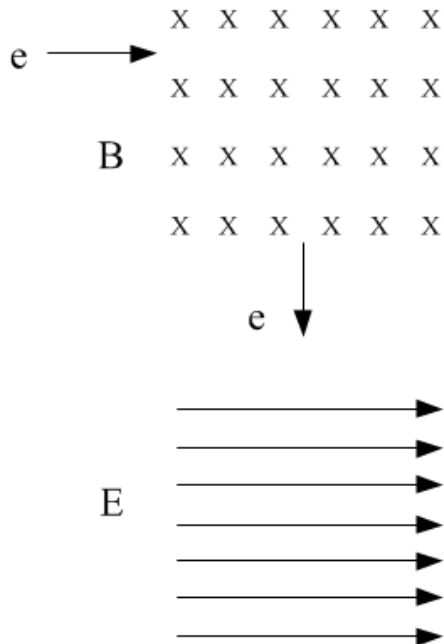
אלקטרון שמהירותו 10^7 [מ/ש] נכנס לשדה מגנטי כמתואר בתרשים. האלקטרון יוצא מתחומי השדה במרחק של $10\sqrt{2}$ [ס"מ] מנקודת הכניסה (מרחק נקודת הכניסה מהפינה השמאלית התחתונה של השדה המגנטי שווה למרחק נקודת היציאה של האלקטרון מפינה זו).

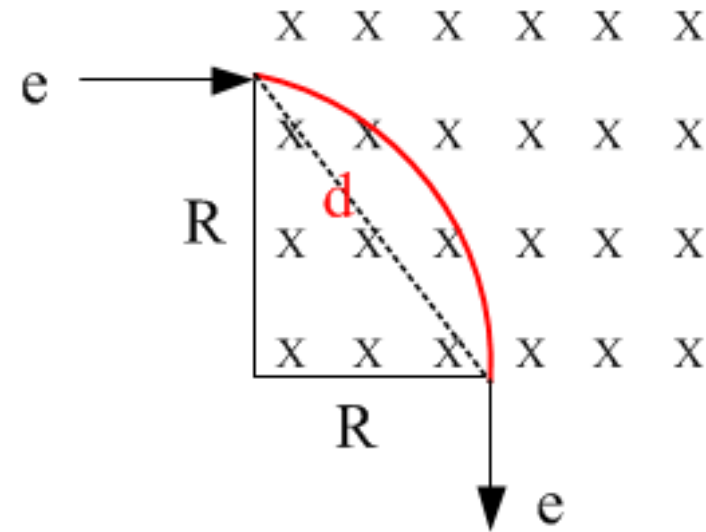
א- מה עוצמת השדה המגנטי אליו נכנס האלקטרון?

ב- כמה זמן שהה האלקטרון בתוך השדה המגנטי?

לאחר יציאתו ממשיך האלקטרון בתנועתו בניצב לשדה חשמלי אחיד E בעוצמה של 10^4 ניוטון/קולון (ראו תרשים).

ג- כיצד אפשר לגרום לאלקטרון להמשיך לנוע בקו ישר לאחר כניסתו לשדה החשמלי? הציגו פתרון מספרי לבעיה.





אלקטרון שמהירותו 10^7 [מ/ש] נכנס לשדה מגנטי כמתואר בתרשים. האלקטרון יוצא מתחומי השדה במרחק של $10\sqrt{2}$ [ס"מ] מנקודת הכניסה (מרחק נקודת הכניסה מהפינה השמאלית התחתונה של השדה המגנטי שווה למרחק נקודת היציאה של האלקטרון מפינה זו).

א- מה עוצמת השדה המגנטי אליו נכנס האלקטרון?

◀ על האלקטרון פועל כוח מגנטי הגורם לו לנוע בתנועה מעגלית (ראו תרשים).

◀ על פי נתוני השאלה אפשר להסיק כי האלקטרון נע בתוך השדה המגנטי במסלול שצורתו רבע מעגל ורדיוסו R .

◀ נסמן ב- d את המרחק בין נקודות הכניסה והיציאה של האלקטרון מהשדה החשמלי, ונחשב את הרדיוס:

$$R^2 + R^2 = d^2 = 200$$

$$R^2 = 100$$

$$R = 10\text{cm}$$

◀ על פי רדיוס התנועה נחשב את עוצמת השדה המגנטי:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$B = \frac{9.1 \times 10^{-31} \cdot 10^7}{1.6 \times 10^{-19} \cdot 0.1} = 568.75 \times 10^{-6} \text{ T}$$

ב- מה זמן שהייתו בתוך השדה המגנטי?

◀ מהירותו של האלקטרון קבועה בתוך השדה, ואורך מסלולו הוא רבע מעגל שרדיוסו 10 ס"מ.

◀ לכן:

$$t = \frac{x}{v} = \frac{0.25 \cdot 2\pi R}{v}$$

$$t = \frac{0.25 \cdot 2\pi \cdot 0.1}{10^7} = 1.57 \times 10^{-8} \text{ m / s}$$

ג- כיצד אפשר לגרום לאלקטרון להמשיך לנוע בקו ישר לאחר כניסתו לשדה החשמלי? הציגו פתרון מספרי לבעיה.

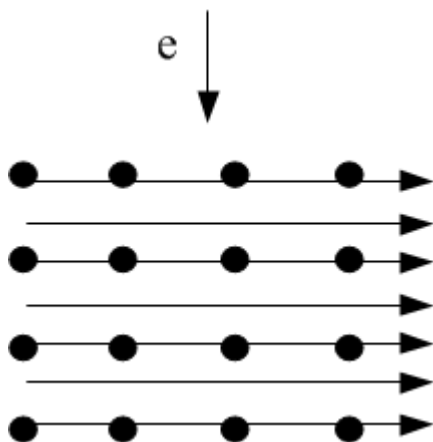
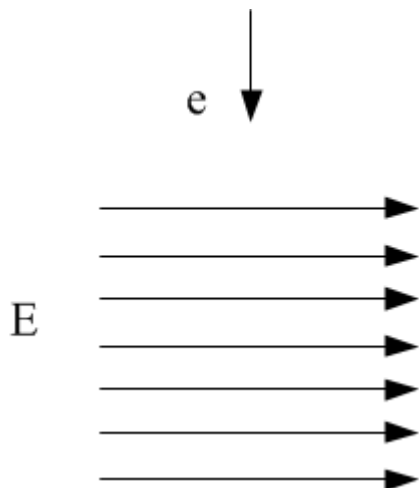
אלקטרון נכנס בניצב לשדה החשמלי, ולכן יפעל עליו כוח בכיוון שמאל.

על מנת שימשיך בקו ישר צריך באזור זה שדה מגנטי שיפעיל על האלקטרון כוח בכיוון ימין. לשם כך, כיוון השדה המגנטי באזור זה צריך להיות בכיוון החוצה מהדף (ראו תרשים תחתון). ההשפעה המשולבת של שני השדות תגרום לאלקטרון לנוע בקו ישר (זכרו כי לאלקטרון מטען שלילי).

נחשב את עוצמת השדה המגנטי הנדרש:

$$qE = qvB$$

$$B = \frac{E}{v} = \frac{10^4}{10^7} = 10^{-3} T$$



באזור קו המשווה השדה המגנטי של כדור הארץ הוא כמעט אופקי, ערכו הוא $B=0.5G$ ($1G=10^{-4}T$) וכיוונו הוא מדרום לצפון.

חשבו את הכוח המגנטי (גודל וכיוון), הפועל על תיל בעל אורך של 20 מטר הנושא זרם של 30 אמפר, בשני המצבים הבאים:

א- התיל מונח בכיוון מזרח-מערב.

ב- התיל מונח בכיוון צפון-דרום.

באזור קו המשווה השדה המגנטי של כדור הארץ הוא כמעט אופקי, ערכו הוא $B=0.5G$ ($1G=10^{-4}T$) וכיוונו הוא מדרום לצפון.

חשבו את הכוח המגנטי (גודל וכיוון), הפועל על תיל בעל אורך של 20 מטר הנושא זרם של 30 אמפר, בשני המצבים הבאים:

א- התיל מונח בכיוון מזרח מערב.

◀ במקרה זה התיל מונח בכיוון ניצב לשדה המגנטי, ולכן (נהפוך את יחידות הגאוס לטסלה):

$$F = Ibl \sin \theta$$

$$F = 30 \cdot (0.5 \times 10^{-4}) \cdot 20 \sin 90 = 0.03N$$

ב- התיל מונח בכיוון צפון דרום.

◀ במקרה זה התיל הוא מקביל לכיוון השדה המגנטי ולכן הזווית ביניהם היא 0 מעלות.

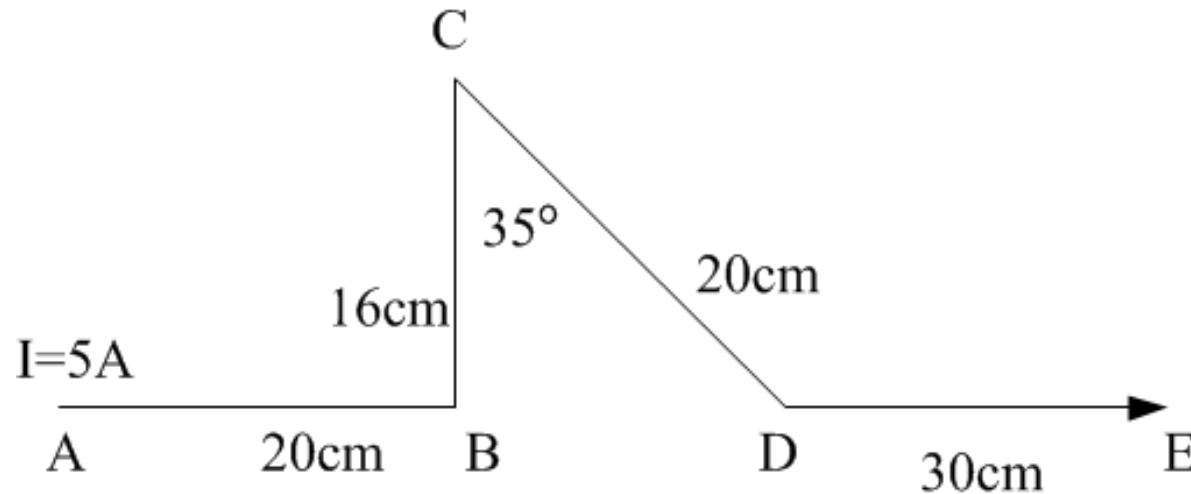
$$F = Ibl \sin \theta$$

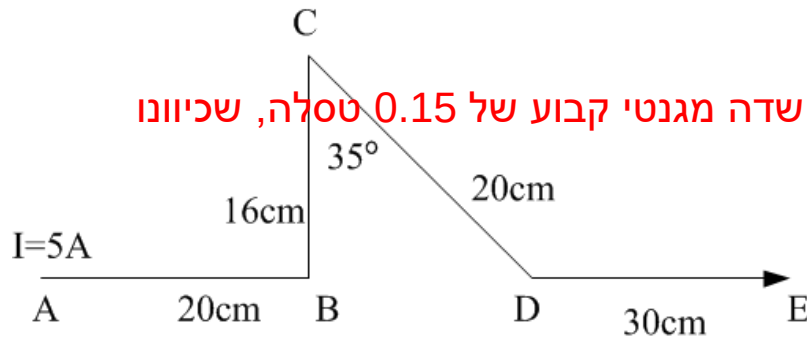
$$F = 30 \cdot (0.5 \times 10^{-4}) \cdot 20 \sin 0 = 0$$

התיל שבתרשים מצוי במישור הדף. כמו כן פועל במישור הדף שדה מגנטי קבוע של 0.15 טסלה, שכיוונו משמאל לימין.

א- מהו הכוח השקול הפועל על התיל?

ב- מוסיפים שדה מגנטי בעל עוצמה זהה לראשון, אך כיוונו מלמטה למעלה (גם הוא במישור הדף). מהו כעת הכוח השקול הפועל על התיל?





התיל שבתרשים מצוי במישור הדף. כמו כן פועל במישור הדף שדה מגנטי קבוע של 0.15 טסלה, שכיוונו משמאל לימין.

א- מהו הכוח השקול הפועל על התיל?

נחשב את הכוח הפועל על כל אחד מחלקי התיל.

הזרם בקטעים AB ו- DE הוא במקביל לשדה המגנטי, לכן:

$$F = Ibl \sin \theta$$

$$F = 0$$

הזרם בקטע BD מצוי בזווית של 90 מעלות לשדה המגנטי, ולכן:

כיוון הכוח הוא "לתוך הדף"

$$F = Ibl \sin 90^\circ$$

$$F = 5 \cdot 0.15 \cdot 0.16 \cdot 1 = 0.12N$$

הזרם בקטע CD מצוי בזווית של 55 מעלות ביחס לשדה, ולכן:

כיוון הכוח הוא "מחוץ לדף".

$$F = Ibl \sin 55^\circ$$

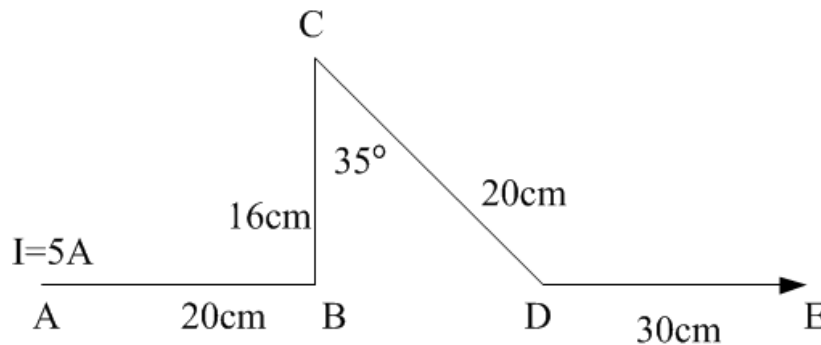
$$F = 5 \cdot 0.15 \cdot 0.2 \cdot \sin 55^\circ = 0.123N$$

הכוח השקול הפועל על התיל הוא (הכוחות מנוגדים):

וכיוונו "החוצה מהדף"

$$\Sigma F = 0.123 - 0.12 = 0.003N$$

ב- מוסיפים שדה מגנטי בעל עוצמה זהה לראשון, אך כיוונו מלמטה למעלה (גם הוא במישור הדף).
מהו כעת הכוח השקול הפועל על התיל?



◀ נחשב את התרומה של השדה השני לכוחות הפועלים על התיל.

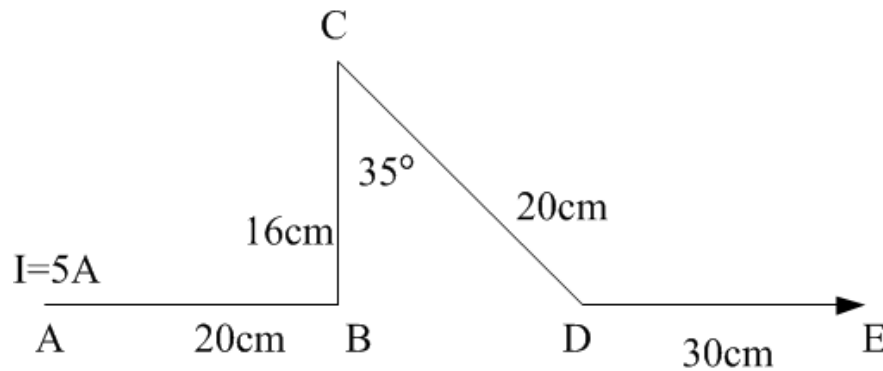
◀ קטעים AB ו- DE הם בניצב לשדה המגנטי, לכן (הכוחות הם באותו הכיוון):

◀ כיוון שני הכוחות הוא "מחוץ לדף"

$$F = Ibl \sin 90^\circ$$

$$F = 5 \cdot 0.15 \cdot 0.2 \cdot 1 + 5 \cdot 0.15 \cdot 0.3 \cdot 1 = 0.375 N$$

◀ הזרם בקטע BC מקביל לשדה המגנטי ולכן הכוח הפועל עליו הוא 0.



▶ הזרם בקטע CD מצוי בזווית של 145 מעלות ביחס לכיוון השדה, ולכן:

▶ כיוון הכוח הוא "מחוץ לדף"

$$F = Ibl \sin 145^\circ$$

$$F = 5 \cdot 0.15 \cdot 0.2 \cdot \sin 145^\circ = 0.086N$$

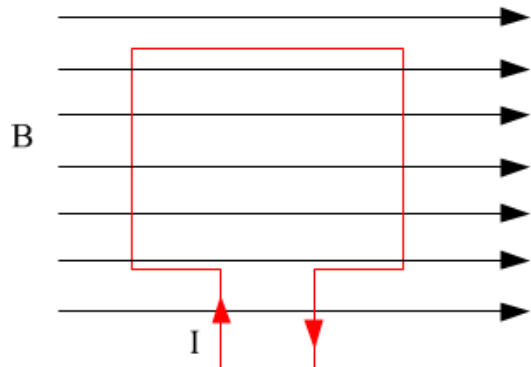
$$\Sigma F = 0.375 + 0.086 = 0.461N$$

▶ שקול הכוחות הפועל על התיל כתוצאה מהשדה המגנטי השני הוא:

▶ כיוונו "מחוץ לדף".

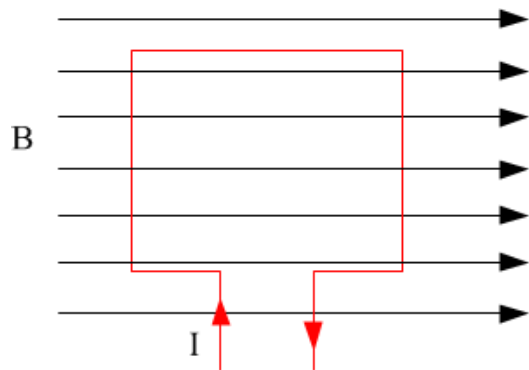
▶ הכוח השקול הפועל על התיל כתוצאה משני השדות המגנטיים הוא (שניהם באותו הכיוון):

$$\Sigma F = 0.461 + 0.003 = 0.464N$$



לולאה ריבועית שאורך צלעה a והנושאת זרם I , מצויה בתוך שדה מגנטי B (ראו תרשים).

- א- קבעו את כיווני הכוח הפועלים על כל אחד מצלעות הלולאה.
- ב- בטאו את הכוח השקול הפועל על הלולאה בעזרת a , I ו- B .
- ג- האם הלולאה תנוע? אם כן תארו במילים את התנועה. אם לא – נמקו.

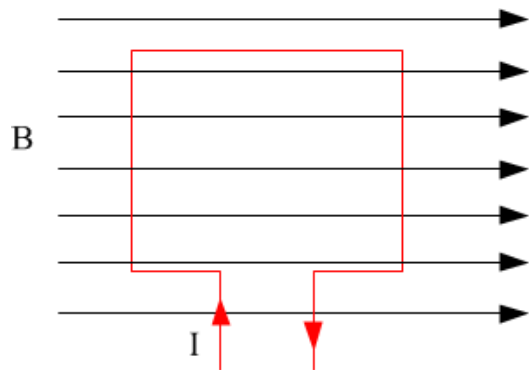


לולאה ריבועית שאורך צלעה a והנושאת זרם I , מצויה בתוך שדה מגנטי B (ראו תרשים).

א- שרטטו את כיווני הכוח הפועלים על כל אחד מצלעות הלולאה.

▶ הזרם בצלע העליונה ובשני חלקי הצלע התחתונה של הלולאה מקביל לשדה המגנטי (פעם בזווית של 0 מעלות ופעם בזווית של 180 מעלות). לכן, על שתי הצלעות הללו לא פועל כוח.

▶ הזרם בצלע הימנית ובצלע השמאלית ניצב לכיוון השדה המגנטי. לכן, על פי כלל היד הימנית, הכוח על הצלע השמאלית הוא "לתוך הדף", ועל הצלע הימנית הוא "החוצה מהדף".

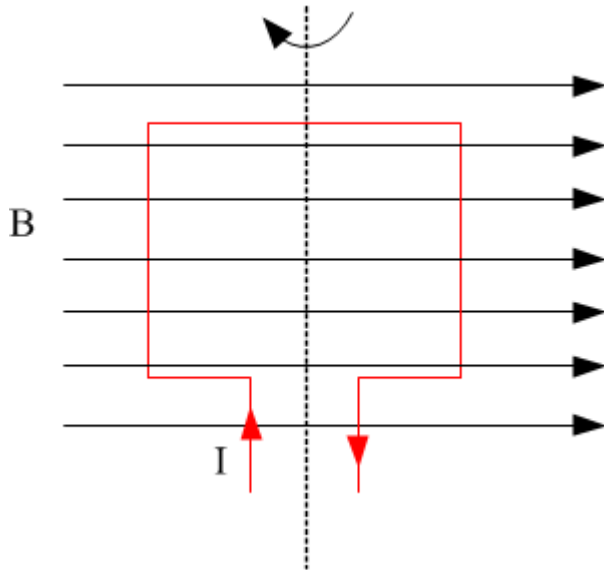


ב- מצאו ביטוי לכוח השקול הפועל על הלולאה.

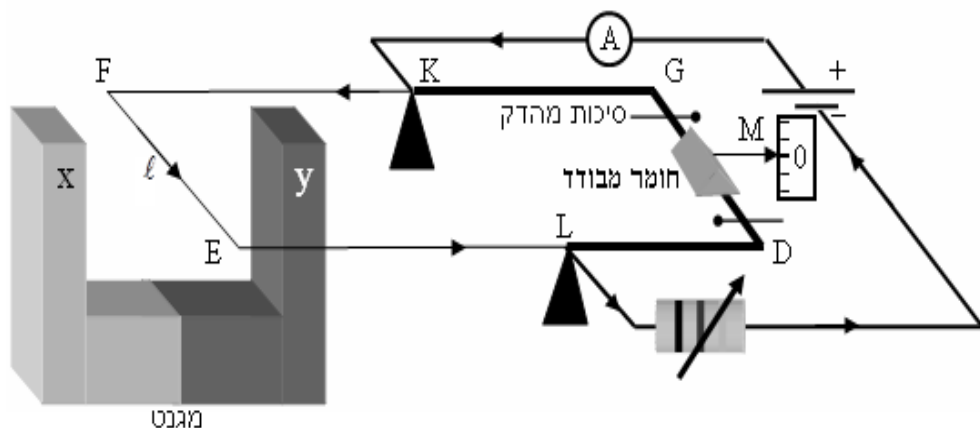
כאמור, הכוחות היחידים הפועלים הם על הצלע הימנית והצלע השמאלית של הלולאה. בשני המקרים כיווני הזרמים ניצבים לכיוון השדה, אך כיווני הכוחות מנוגדים:

$$\Sigma F = F_{left} - F_{right} = Ibl \sin 90 - Ibl \sin 90 = 0$$

ג- האם הלולאה תנוע? אם כן תארו במילים את התנועה.
אם לא – נמקו.



- ▶ אמנם סכום הכוחות על הלולאה הוא 0, אך הכוחות אינם מצויים על קו פעולה אחד, ולכן הלולאה כן תנוע.
- ▶ הכוחות הפועלים על הלולאה מהווים "צמד כוחות" ותוצאת פעולתם היא סיבוב של הלולאה סביב ציר המצוי במישור הדף (ראו תרשים). הצלע הימנית תנוע "מחוץ לדף" והשמאלית – "לתוך הדף".
- ▶ כאשר הלולאה תתייצב בכיוון הניצב לדף הכוחות שיפעלו על צלעותיה יאפסו זה את זה וסיבובה ייעצר (במצב זה הכוחות עדיין ישתוו בגודלם ויהיו מנוגדים בכיוונם, אך הפעם הם יימצאו על קו פעולה אחד).



התרשים שלפניך מתאר מערכת מאזני זרם. מסגרת DEFG העשויה מתיל מוליך, נתמכת בשתי נקודות K ו-L, כך שהיא חופשיה לנוע סביב הציר KL. המסגרת פתוחה בקטע שבו נמצא חומר מבודד. קטע מסגרת, שאורכו $L=2$ ס"מ, נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד שבין קטבי מגנט.

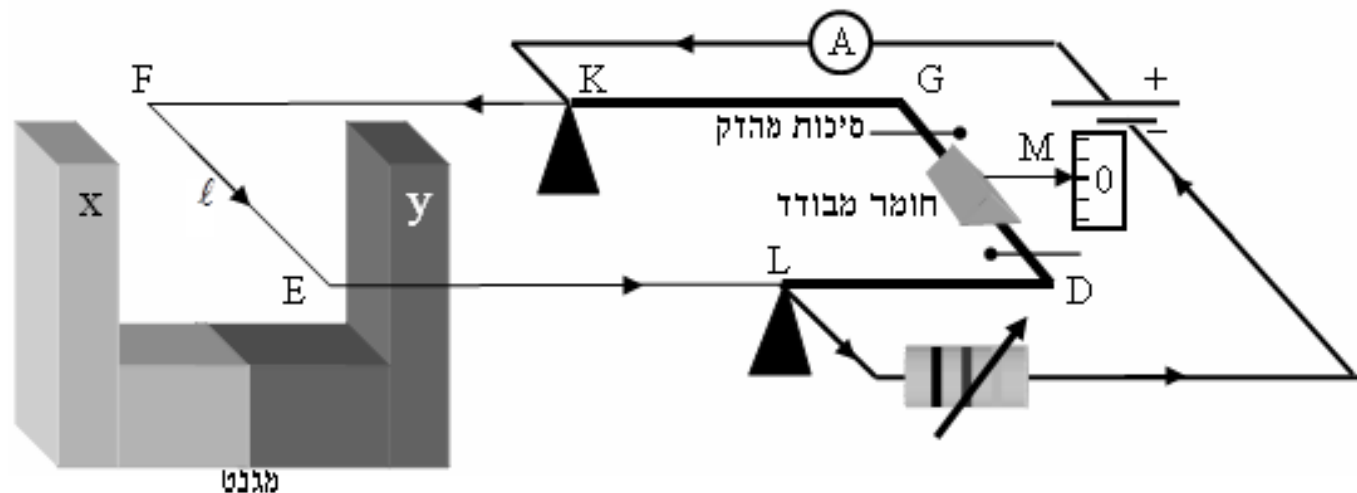
כאשר לא עובר זרם במסגרת, היא נמצאת במצב אופקי, והמחוג M מצביע על אפס. כשמחברים את מקור המתח, פועל על המסגרת כוח מגנטי F, שאותו מאזנים באמצעות סיכות מהדק. המסה של סיכה אחת היא 0.02 גרם. בטבלה שלפניך רשום מספר הסיכות (N), המאזנות את הכוח המגנטי עבור זרמים שונים (I).

N מספר הסיכות	1	2	3	4	5
I עוצמת הזרם	0.50	0.95	1.50	2.05	2.50
באמפרים	0	0	0	0	0

- מהו כיוון השדה המגנטי? הסבר.
- סרטט גרף, המתאר את הכוח המגנטי F בניוטונים כפונקציה של עוצמת הזרם I שזורם במסגרת.
- (1) חשב את שיפוע הגרף ששרטטת.
(2) ציין את היחידות של השיפוע.
(3) חשב את עוצמת השדה המגנטי.

א- מהו כיוון השדה המגנטי? הסבר.

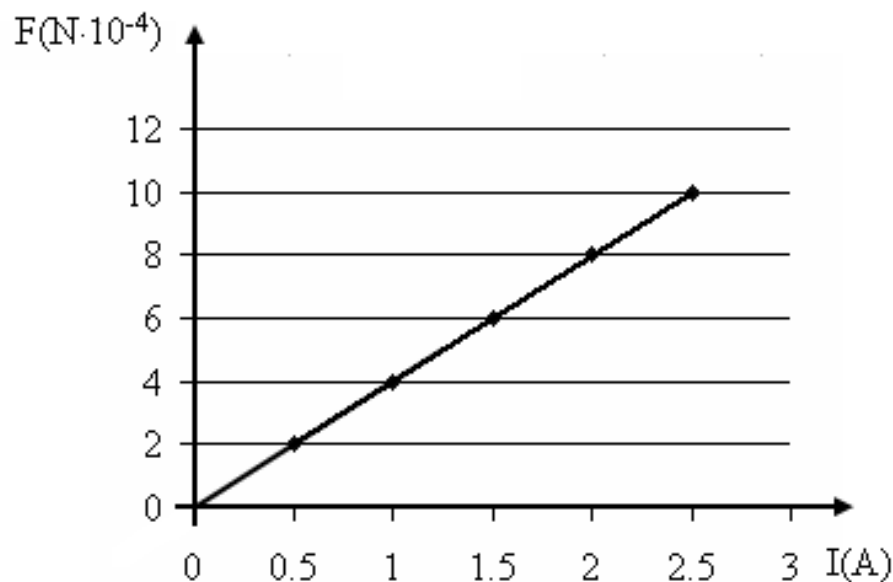
- ▶ הכוח המגנטי צריך לאזן את כוח הכובד שפועל על הסיכות, מכאן שכיוונו כלפי מטה.
- ▶ כיוון הזרם בתיל הנמצא בתוך השדה הוא מ-F ל-E, לכן, על פי כלל יד ימין השדה המגנטי צריך להיות מכיוון y לכיוון x .



ב- סרטט גרף, המתאר את הכוח המגנטי F בניוטונים כפונקציה של עוצמת הזרם I שזורם במסגרת. משקל כל סיכה : ◀

N מספר הסיכות	1	2	3	4	5
I עוצמת הזרם	0.50	0.95	1.50	2.05	2.50
באמפרים	0	0	0	0	0

$$mg = \frac{0.02}{1000} \cdot 10 = 2 \cdot 10^{-4} N$$



ג- (1) חשב את שיפוע הגרף ששרטטת.

(2) ציין את היחידות של השיפוע.

(3) חשב את עוצמת השדה המגנטי.

◀ (1) השיפוע :

$$\frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{8 \cdot 10^{-4} - 0}{2 - 0} = 4 \cdot 10^{-4} \frac{N}{A}$$

◀ (2) יחידת השיפוע: N/A או Tm

◀ (3) כוח על תיל נושא זרם בשדה מגנטי:

$$F_B = I \cdot B \cdot l$$

$$\frac{\Delta F}{\Delta I} = B \cdot l \Rightarrow B = \frac{\frac{\Delta F}{\Delta I}}{l} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-2}} = 0.02 T$$