

הכוח המגנטי הפועל על תיל נושא זרם

א. מטרת הניסוי

- 1) חקירת הכוח המגנטי הפועל על תיל ישר נושא זרם הנמצא בשדה מגנטי אחיד, מבחינת תלות כוח זה בעוצמת הזרם בתיל, באורך התיל וגם בזווית שבין התיל לשדה המגנטי.
- 2) מדידת עוצמת השדה המגנטי שבין קוטבי מגנט בצורת U.

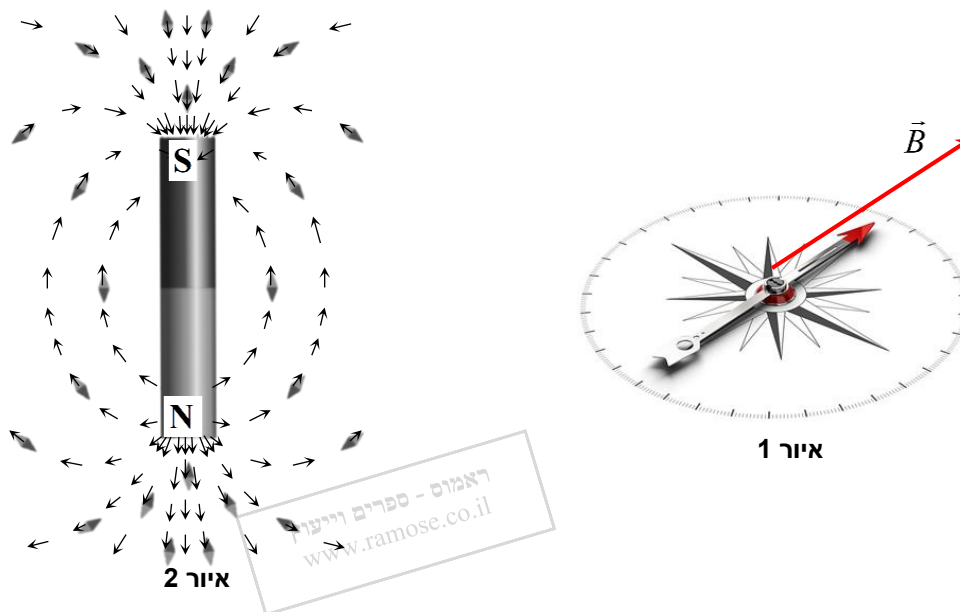
ב. רקע תיאורטי

כיוון השדה המגנטי

השדה המגנטי הוא גודל וקטורי. מסמנים את השדה המגנטי באות B , ומכיוון שהוא גודל וקטורי רושמים \vec{B} , כלומר לשדה המגנטי יש גודל וכיוון.

כיוון השדה המגנטי בנקודה מסוימת הוא הכיוון אליו פונה הקוטב הצפוני במחט של מצפן כאשר מניחים מצפן בנקודה זו.

כלומר, כדי לקבוע את כיוונו של השדה המגנטי השקול בנקודה מסוימת, יש לשים בנקודה זו מצפן שהמחט המגנטית שבו קטנה ובעלת חופש תנועה מרחבי. הכיוון בו מתייצבת המחט המגנטית וכלפיו מורה החלק המסומן ב- N של המחט המגנטית הוא הכיוון של השדה המגנטי השקול בנקודה זו (איור 1).



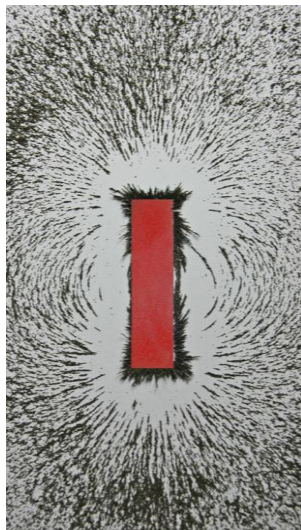
בהסתמך על הגדרה זו אפשר לבצע מיפוי לכיווני השדה המגנטי בסביבת מגנט כלשהו. באיור 2 מוצג מיפוי לכיווני השדה המגנטי מסביב למגנט בצורת מוט. שימו לב שוקטורי השדה המגנטי יוצאים מהקוטב המגנטי הצפוני של המגנט (N) ומכוונים אל הקוטב המגנטי הדרומי שלו (S).

קווי השדה המגנטי

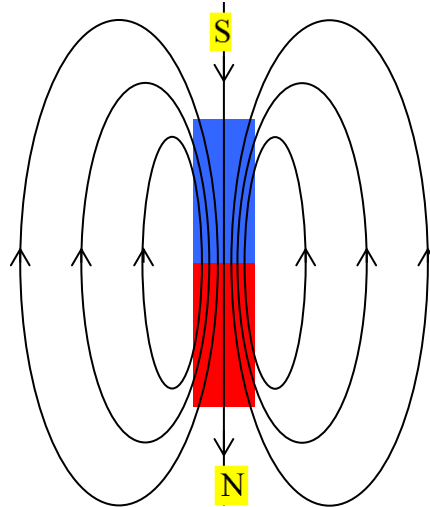
לתיאור השדה המגנטי משתמשים ב"קווי השדה המגנטי". המחשה זו עוזרת לנו בתיאור השדה המגנטי כפי שקווי השדה החשמלי עוזרים לנו בתיאור השדה החשמלי.

קווי השדה המגנטי הם קווים סגורים הנמתחים סביב למקור השדה המגנטי. קווים אלה משיקים תמיד לוקטורי השדה המגנטי בנקודות שבהן הם עוברים. לפי זה, כיוון השדה המגנטי בכל נקודה הוא בכיוון המשיק לקו השדה שעובר בנקודה זו.

מכאן, שאם נזיז מצפן לאורך קו שדה, תפנה מחט המצפן בכל הנקודות שעל הקו, בכיוון המשיק לקו בנקודות אלה. באיור 3 ו-4 מתוארים קווי השדה סביב למגנט מוט.



איור 4



איור 3

מתקיים שקווי השדה המגנטי הם תמיד קווים סגורים והמכוונים מהקוטב המגנטי הצפוני אל הקוטב המגנטי הדרומי.

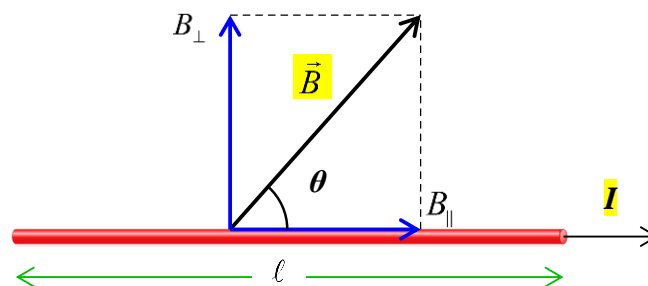
עוצמת השדה המגנטי

כאשר מניחים תיל ישר שאורכו ℓ , הנושא זרם I בשדה מגנטי אחיד \vec{B} , כפי שמתואר באיור 5, יפעל על התיל כוח מגנטי \vec{F}_m . הניסויים שנערכו על מנת לחקור את הכוח המגנטי במקרה כזה הראו כי הכוח המגנטי המופעל על התיל נמצא ביחס ישר לאורך התיל ℓ , לעוצמת הזרם I ולרכיב השדה המגנטי הניצב לזרם B_{\perp} . כלומר מתקיים:

$$(1) \quad F_m \propto IB_{\perp}\ell$$

מכיוון ש- $B_{\perp} = B \sin \theta$ כאשר θ היא הזווית בין השדה לזרם (ראה איור 5), נקבל:

$$(2) \quad F_m \propto I\ell B \sin \theta$$



איור 5

אם השדה המגנטי ניצב לזרם, כלומר $\theta = 90^\circ$, נקבל:

$$(3) \quad F_m \propto I\ell B$$

את גודל השדה המגנטי הוגדר כגודל שהופך את היחס האחרון לשוויון, כלומר גודלו של B הוגדר כגודל המקיים את הקשר:

$$(4) \quad F_m = IB\ell$$

מכאן

$$(5) \quad B = \frac{F_m}{I\ell}$$

לפי הגדרה זו נקבל:

כדי למדוד את עוצמת השדה המגנטי בסביבה מסוימת, או מרחב נתון מסוים, מניחים תיל ישר שאורכו ℓ בתחום זה כך שהוא ניצב לקווי השדה. מעבירים בו זרם I ומודדים את הכוח המגנטי,

$$F_m, \text{ המופעל עליו. עוצמת השדה תהיה: } B = \frac{F_m}{I\ell}$$

מהקשר האחרון מקבלים שיחידת השדה המגנטי היא $N/(m \cdot A)$. יחידה זו נקראת **טסלה** (Tesla) והיא מסומנת באות T.

הכוח המגנטי הפועל על תיל נושא זרם

על פי הדיון הקודם, הכוח המגנטי הפועל על תיל ישר שאורכו ℓ והנמצא בשדה מגנטי אחיד B , כך שהזווית בינו לבין השדה המגנטי היא θ , נתון על ידי:

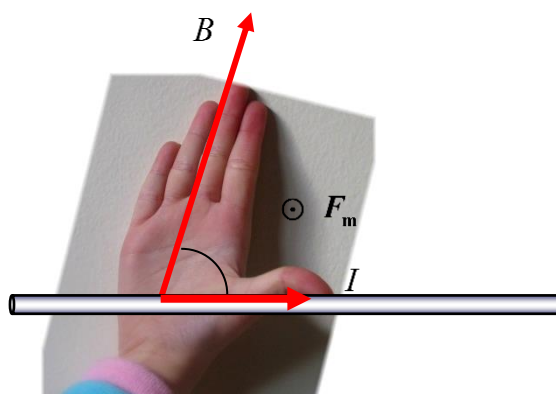
$$(6) \quad F_m = IB\ell \sin \theta$$

כוח זה מתאפס כאשר השדה המגנטי מקביל לתיל ומקבל ערך מקסימלי כאשר השדה המגנטי ניצב לתיל.

כיוון הכוח המגנטי הפועל על תיל נושא זרם

הניסויים מראים שכיוון הכוח המגנטי \vec{F}_m המופעל על התיל הוא תמיד ניצב למישור המכיל את הזרם I (התיל) ואת וקטור השדה המגנטי \vec{B} . לפי זה, באיור 5 כיוון הכוח המגנטי ניצב למישור הדרך. השאלה היא האם כיוון הניצב הוא החוצה ממישור הדרך או פנימה? כדי לענות על שאלה זו ניעזר בכלל שהפיזיקאים פיתחו על סמך הניסויים ואשר בעזרתו קובעים את כיוונו של הניצב. כלל זה נקרא "כלל יד ימין".

כלל יד ימין: ניישר את כף יד ימין במקביל למישור המכיל את כיוון הזרם ואת וקטור השדה המגנטי, כשהאגודל מכוון לכיוון הזרם ואילו שאר האצבעות מכוונות לכיוון השדה המגנטי, כפי שמתואר באיור 6. כיוון הכוח המגנטי יהיה ניצב למישור כף היד. (או לכופף את האצבעות ב- 90° מעלות, והן מראות את כיוון הכוח).



איור 6

ג. מכשור וציוד

(1) מגנט בצורת האות U המקובע על בסיס המאפשר לשנות את כיוון בסיס המגנט ומאפשר למדוד זווית.



איור 7

(2) מאוזניים רגישים לשינוי במשקל.



איור 8

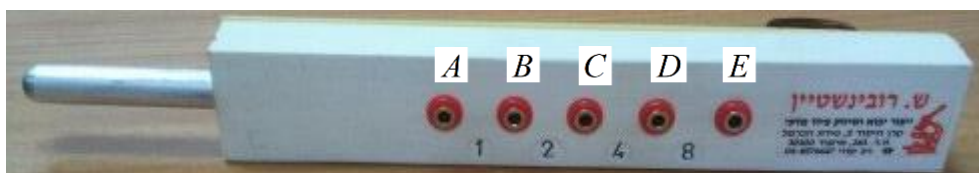
(3) אמפרמטר.

(4) מעמד.

(5) תיל בצורת האות U כפי שמתואר באיור (9). תיל זה מורכב מאוסף חוטי נחושת המבודדים זה מזה, והם מחוברים אל יציאות במתקן מיוחד כפי שמתואר באיור 10. מתקן זה מאפשר חיבור חוטי הנחושת בצורת שניתן לבחור את מספר החוטים המחוברים לספק (שעובר דרכם זרם).



איור 9



איור 10

כאשר מחברים את הספק לדוגמה בין הכניסות A ו-B יזרום זרם בחוט נחושת אחד.
 כאשר מחברים את הספק בין הכניסות B ו-C יזרום זרם בשני חוטי נחושת.
 כאשר מחברים את הספק בין הכניסות A ו-D יזרום זרם ב-7 חוטי נחושת.
 כאשר מחברים את הספק בין הכניסות B ו-D יזרום זרם ב-6 חוטי נחושת.

ד. הניסוי (בניית המערכת וביצוע המדידות)

חלק ראשון: תלות הכוח המגנטי בזרם

- (1) מדוד את אורך התיל (האורך l' באיור 9).
- (2) שים את המגנט ביחד עם הבסיס שלו על המאזניים.
- (3) קשור את המתקן שכולל את חוטי הנחושת למעמד וכוון את המעמד והמתקן כך שתילי הנחושת נמצאים בדיוק בין קוטבי המגנט, וכך שמישור התילים ניצב לכיוון השדה המגנטי.
- (4) חבר שני תילים לכניסות A ו-C של המתקן של תילי הנחושת (ראה איור 10) וחבר המתקן בטור לאמפרמטר, נגד משתנה וספק המתח, כפי שמתואר באיור 11. במצב זה מכיוון שמחברים 3 תילים, האורך הכולל שלהם הוא $l = 3l'$.
- (5) הנח את הגררה של הנגד המשתנה בקצה של הנגד המשתנה כך שיש להתנגדות שלו ערך מקסימלי.
- (6) הפעל את ספק המתח. בדוק אם כתוצאה מכך קריאת המאזניים גדלה או קטנה. עדיף לבצע את המדידות כך שקריאת המאזניים תגדל עם הזרם. כלומר הכוח המגנטי על המגנט פועל כלפי מטה ועל תילי הנחושת פועל כלפי מעלה. אם קריאת המאזניים קטנה בעקבות סגירת המעגל, יש להפוך את כיוון הזרם במעגל.
- (7) הקטן בהדרגה את התנגדות הנגד המשתנה, ומדוד את קריאת המאזניים כפונקציה של הזרם. מדוד מקסימום קריאות עד שהתנגדות הנגד המשתנה מתאפסת.
- (8) סכם את המדידות בטבלה הכוללת שתי עמודות: קריאת המאזניים (W) כפונקציה של הזרם (I) במעגל. קריאת המאזניים צריכה להיות ביחידת ניוטון והזרם באמפרים.



איור 11

חלק שני: תלות הכוח המגנטי בזווית שבין הזרם לשדה המגנטי

- (1) במערכת הקודמת (בחלק הראשון של הניסוי) כוון את הזרם בתילים לערך קבוע (5 אמפר לדוגמה).
- (2) מדוד את קריאת המאזניים כפונקציה של הזווית שבין התיל (הזרם) לבין השדה המגנטי, החל מ- 0° ועד 90° (הזווית אפס היא במצב שבו הזרם וקווי השדה המגנטי מקבילים).
- (3) הכן טבלה שכוללת שתי עמודות: הראשונה הזווית (θ) והשנייה קריאת המאזניים (W) וקבץ

בה את המדידות, קריאת המאזניים (בניוטונים) כפונקציה של הזרם באמפרים.

חלק שלישי: תלות הכוח המגנטי באורך התיל

- (1) כוון מחדש את המערכת כך שהזווית בין השדה המגנטי לתיל היא 90° , והזרם במעגל הוא 5 אמפר.
- (2) שנה את מספר חוטי הנחושת הנכללים במעגל מספר פעמים (על ידי חיבור מתקן התיל באפשרויות החיבור המוצגות באיור 10), ובכל פעם מדוד את קריאת המאזניים.
- (3) הכן טבלה שכוללת שתי עמודות: הראשונה האורך הכולל של התיל (ℓ) והשנייה קריאת המאזניים (W) (בניוטונים) וקבץ בה את המדידות. האורך הכולל של התיל שווה לאורך התיל הבודד (ℓ' באיור 10) כפול מספר חוטי הנחושת שנכללים במעגל.

ה. עיבוד וניתוח המדידות

החלק הראשון: תלות הכוח המגנטי בזרם

- (1) שרטט גרף המתאר את קריאת המאזניים (W) כפונקציה של הזרם (I) במעגל. (שים לב, יש לבטא את קריאת המאזניים ביחידות כוח – ניוטונים).
- (2) חשב את שיפוע הגרף וחשב באמצעותו את עוצמת השדה המגנטי שבין קוטבי המגנט.
- (3) מצא את נקודת חיתוך הגרף עם הציר האנכי וחשב באמצעות נקודה זו את משקל המגנט.

החלק השני: תלות הכוח המגנטי בזווית

- (1) שרטט גרף המתאר את קריאת המאזניים (W) כפונקציה של $\sin \theta$.
- (2) חשב את שיפוע הגרף וחשב באמצעותו את עוצמת השדה המגנטי שבין קוטבי המגנט.
- (3) מצא את נקודת חיתוך הגרף עם הציר האנכי וחשב באמצעות נקודה זו את משקל המגנט.

החלק השלישי: תלות הכוח המגנטי באורך התיל

- (1) שרטט גרף המתאר את קריאת המאזניים (W) כפונקציה של אורך התיל ℓ .
- (2) חשב את שיפוע הגרף וחשב באמצעותו את עוצמת השדה המגנטי שבין קוטבי המגנט.
- (3) מצא את נקודת חיתוך הגרף עם הציר האנכי וחשב את באמצעות נקודה זו את משקל המגנט.

ו. שאלות הכנה

- (1) הסבר כיצד נקבע כיוון השדה המגנטי בנקודה מסוימת.
- (2) הגדר קווי השדה המגנטי.
- (3) הסבר כיצד ניתן לזהות את סוג הקטבים של מגנט כלשהו.
- (4) הגדר את יחידת השדה המגנטי – הטסלה.
- (5) פתח ביטוי מתמטי המתאר את קריאת המאזניים (W) במערכת המתוארת באיור 11, כפונקציה של הזרם במעגל (I). בטא את תשובתך באמצעות הפרמטרים: W_0 משקל המגנט, ℓ אורך התיל, B עוצמת השדה המגנטי בין קוטבי המגנט ו- θ הזווית שבין השדה המגנטי לזרם. שים לב שכיוון הכוח המגנטי הפועל על המגנט בניסוי זה הוא כלפי מטה.
- (6) שרטט גרף המתאר באופן איכותי את קריאת הזרם W כפונקציה של הזרם במעגל (I).
- (7) קבע מה מבטא שיפוע הגרף ששרטטת ונקודות חיתוכו עם הצירים.
- (8) הסבר מדוע לא מביאים בחשבון בנייתוח התוצאות בניסוי זה את הכוחות המגנטיים הפועלים על החלקים הצדדיים של התיל באיור 9.