

גלונומטר טנגנטי

א. מטרת הניסוי

- (1) למדוד את רכיב השדה המגנטי המקביל לפני כדור הארץ ($B_{E||}$).
- (2) להתנסות במצפן והבנת עיקרון פעולתו.

ב. רקע תיאורטי

השדה המגנטי של כדור הארץ

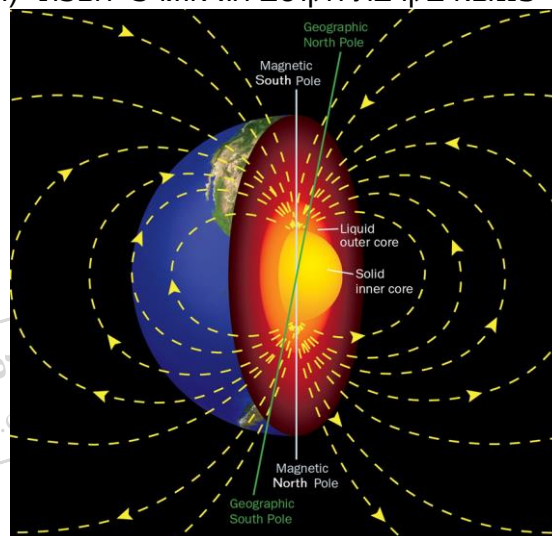
הטמפרטורה הגבוהה שבליבת הכוכבים המגיעה אל מעל 15 מיליון מעלות, וזו שעל פניהם המגיעה לאלפי מעלות, גורמת לאטומים בכוכב להיות במצב יינון מלא. כתוצאה מתנועת היונים, בגלל סיבוב הכוכב סביב עצמו מצד אחד, ובגלל התנועה האקראית הנוצרת מההסעה של החומר בכוכבים מצד שני, נוצרים בכוכבים שדות מגנטיים חזקים מאוד.

גם בפלנטות, בגלל הטמפרטורה הגבוהה בליבת הפלנטה, האטומים נמצאים במצב יינון חלקי או מלא. תנועת יונים אלה, הנוצרת עקב סיבוב הפלנטות סביב לעצמן, גורמת להופעת שדות מגנטיים מסביב להן. הימצאות הברזל בליבת חלק מהפלנטות, כמו בכדור הארץ, גורמת להעצמת השדה המגנטי של פלנטות אלה.

התנועה הדומיננטית של היונים בליבת פלנטה או כוכב נוצרת עקב סיבוב הכוכב סביב לעצמו (סביב לציר שעובר דרך הקטבים הגיאוגרפיים). תנועה זו היא שקובעת את התכונות המגנטיות של הפלנטות והכוכבים. דבר זה גורם לכך שהקטבים המגנטיים נמצאים בקטבים הגיאוגרפיים או בקרבתם, כפי שמתואר באיור 1.

השדה המגנטי של הפלנטות והכוכבים נמדד ביחידת הגאוס המסומנת ב-G ($1G = 10^{-4} T$). השדות המגנטיים של הפלנטות נעים בין 1G עד ל-10G. בכוכבים עוצמת השדות המגנטיים מגיעה לאלפי גאוס.

מסביב לכדור הארץ, קווי השדה המגנטי הם קווים סגורים (כמו כל קו שדה מגנטי), הבוקעים מהקוטב המגנטי הצפוני (שנמצא בקרבת הקוטב הגיאוגרפי הדרומי), ושבים וחודרים אל כדה"א דרך הקוטב המגנטי הדרומי שנמצא בקרבת הקוטב הגיאוגרפי הצפוני (ראה איור 1).



איור 1

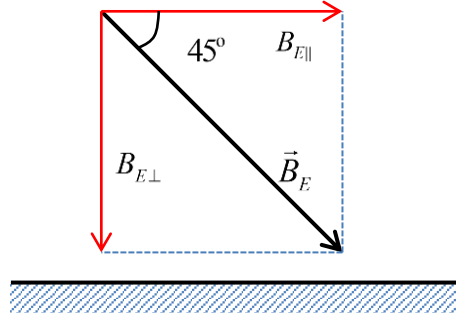
גודלו וכיוונו של השדה המגנטי של כדור הארץ שונה מאזור אחד לאחר על פני כדור הארץ. בישראל, כיוון השדה המגנטי של כדור הארץ מהווה זווית של כ- 45° עם פני כדור הארץ, כפי שמתואר באיור 2. לכן לשדה מגנטי זה יש שני רכיבים ביחס לפני הקרקע, הראשון מקביל ומסומן ב- $B_{E||}$, והשני

ניצב ומסמנים אותו ב- $B_{E\perp}$. האות E היא מהמילה הלועזית (Earth). הערכים של רכיבי השדה המגנטי בארצנו הם:

(1) $B_{E\parallel} = 2.9 \times 10^{-5} \text{ T}$

(2) $B_{E\perp} = 3 \times 10^{-5} \text{ T}$

כאשר מניחים מצפן על משטח אופקי הוא יכול להסתובב במישור המקביל לפני הקרקע בלבד, וזה בגלל שכיוון ציר הסיבוב של המצפן ניצב לפני הקרקע. לכן, המצפן מגיב, במקרה זה, רק לרכיב השדה המגנטי המקביל של כדור הארץ, $B_{E\parallel}$.

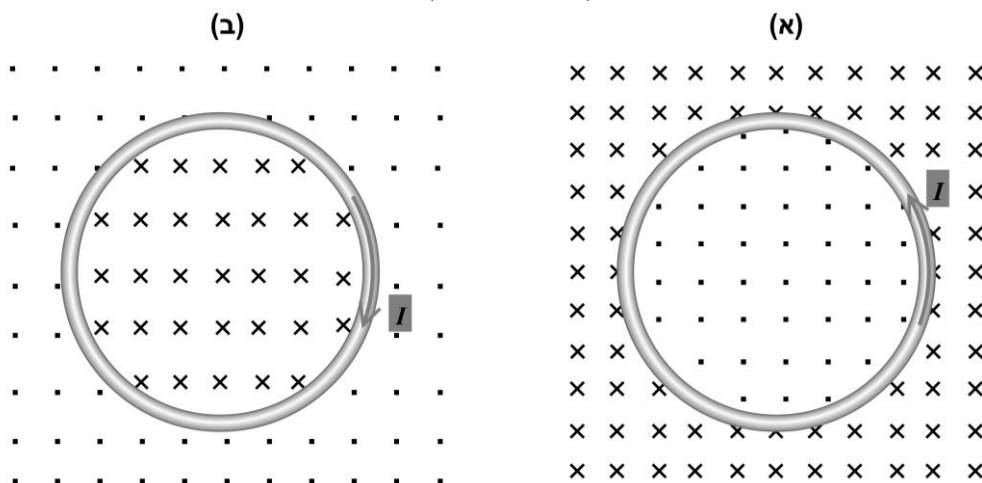


איור 2

השדה המגנטי במרכז טבעת מעגלית

כאשר מעבירים זרם חשמלי בטבעת מוליכה, נוצר שדה מגנטי בכל הנקודות שמסביב לה. במישור הטבעת, קווי השדה המגנטי ניצבים למישור הטבעת, ובמבט מלמעלה על הטבעת תתקבל התמונה הבאה:

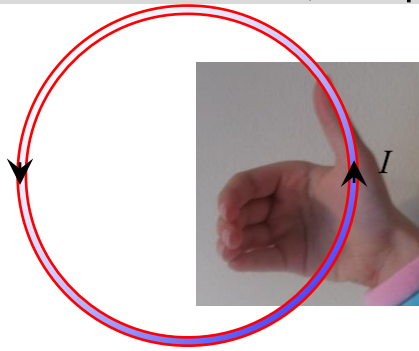
1. אם הזרם זורם נגד כיוון מחוגי השעון כפי שמתואר באיור 3א, השדה המגנטי במישור הטבעת, בחלקה הפנימי, ניצב למישור הטבעת וכיוונו כלפי חוץ. מחוץ לטבעת, השדה המגנטי גם כן ניצב למישור הטבעת אבל הפעם כיוונו פנימה (ראה תרשים).
2. אם כיוון הזרם בכיוון מחוגי השעון כפי שמתואר באיור 3ב, השדה המגנטי במישור הטבעת, בחלקה הפנימי, ניצב למישור הטבעת וכיוונו כלפי פנים. מחוץ לטבעת, השדה המגנטי גם כן ניצב למישור הטבעת וכיוונו החוצה (ראה תרשים).



איור 3

בשני המקרים השדה המגנטי במישור הטבעת ניצב למישור הטבעת. אפשר לקבוע את הכיוון שאליו השדה המגנטי מכוון בכל חלק, לפי כלל פשוט הנקרא **כלל יד ימין השני**, והוא:

מניחים את כף יד ימין בנקודה בה מעוניינים לקבוע את כיוון השדה, ומכוונים את האגודל בכיוון הזרם, כמתואר באיור 4. שאר אצבעות כף היד מורות לכיוון השדה המגנטי.



איור 4

במקרה המתואר באיור 4, כיוון השדה המגנטי במישור הטבעת בחלק הפנימי שלה הוא בכיוון ניצב למישור הדף, כלפי חוץ. כדי לדעת מהו כיוון השדה מחוץ לטבעת, נמשיך לעטוף את התיל עד שאצבעות כף יגיעו מחוץ לטבעת. במקרה המתואר באיור 4, כיוון האצבעות יהיה פנימה, כלומר כיוון השדה המגנטי מחוץ לטבעת נכנס בניצב למישור הדף.

גודלו של השדה המגנטי במרכז הטבעת נתון על ידי המשוואה:

$$(3) \quad B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

כאשר I הוא הזרם הזורם בטבעת, R הוא רדיוס הטבעת ו- μ_0 הוא קבוע מגנטי הנקרא פרמאביליות מגנטית של הריק (חלחלות מגנטית) וגודלו:

$$(4) \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

אם הטבעת מורכבת מחוט דק המלוכף N פעמים באותו כיוון, נקבל מה שנקרא "סליל מעגלי דק". גודל השדה המגנטי של סליל מעגלי דק שווה ל- N פעמים השדה של טבעת מעגלית:

$$(5) \quad B_I = \frac{\mu_0 NI}{2R}$$

המצפן

המצפן מורכב ממחט מגנטית דקה וקלה הקבועה על ציר העובר במרכז המחט, כך שלמחט המגנטית יש חופש סיבוב מסביב לציר הזה (ראה איור 3). כאשר מניחים את המצפן על משטח אופקי, המחט מסתובבת והקוטב המגנטי הצפוני של המחט המגנטית פונה לכיוון הקוטב הגיאוגרפי הצפוני מכיוון שזהו הקוטב המגנטי הדרומי של כדור הארץ.

מכאן, שהמצפן הוא מגנט לכל דבר, אך הוא נבנה בצורת מחט דקה כדי שיהיה קל ויוכל להסתובב בהשפעת הכוח המגנטי החלש המופעל עליו על ידי מגנטיות כדור הארץ.



איור 3: המצפן

ג. מכשור וציד

- (1) מצפן.
- (2) מסגרת מעגלית עשויה מאלומיניום המקובעת על בסיס כך שהמישור של המסגרת ניצב לפני הקרקע. במרכז טבעת זו מקובע לוח עץ אופקי (מקביל לפני הקרקע). לוח זה מאפשר להניח מצפן במרכז הטבעת (ראה איור 4).



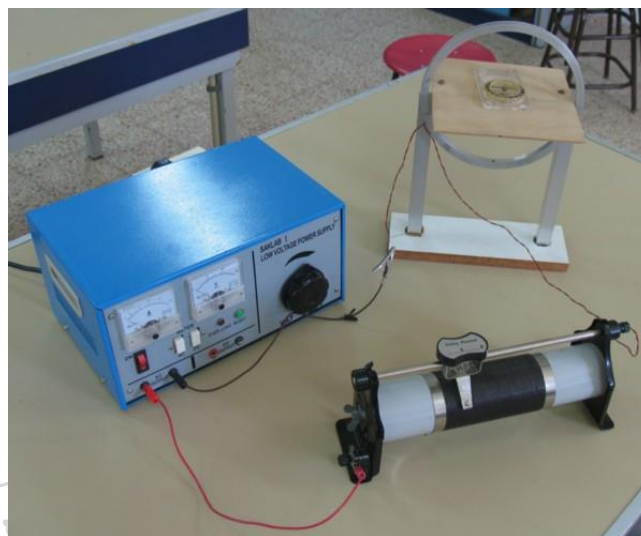
איור 4

- (3) תיל מוליך ארוך ומבודד בחומר פלסטי.
- (4) חוטי חשמל.
- (5) ספק מתח ישר.
- (6) נגד משתנה.
- (7) אמפרמטר.

ד. הניסוי (בניית המערכת וביצוע המדידות)

החלק הראשון

- (1) הנח את המסגרת המעגלית במרכז השולחן, ודאג לכך שהמישור שלה נוצב לפני השולחן.
- (2) לפף את החוט הארוך סביב המסגרת המעגלית מספר ליפופים (שנים או שלוש). וחבר את קצוות החוט בטור לנגד משתנה, לאמפרמטר ולספק מתח כפי שמתואר באיור 5. כוון את הספק למתח 6V (לא להפעיל אותו בשלב זה).
- (3) שים את הגררה של הנגד המשתנה בקצה הרחוק שלה כך שהתנגדות הנגד המשתנה תהיה מקסימלית.



איור 5

- (4) הנח מצפן על לוח העץ במרכז הטבעת, וכוון את הטבעת כך שהמישור שלה מכוון בכיוון אליו

מורה המצפן, כלומר מישור הטבעת מאונך לפני הקרקע בכיוון צפון – דרום.
 (5) ניתן לבצע את פעולת כיוון מישור הטבעת לכיוון הצפון דרום באופן יותר מדויק בדרך הבאה:
 סגור את המעגל. כתוצאה מכך מחט המצפן תסטה לכיוון מסוים. נניח ב- 20° . כעת הפוך את
 כיוון הזרם. אם מישור הטבעת פונה במדויק לצפון, מחט המצפן אמורה לסטות לכיוון השני ב-
 20° גם כן. אם לא תסטה באופן סימטרי, יש לכוון מחדש את כיוון מישור הטבעת ולחזור על
 אותה פעולה מספר פעמים עד שמתקבל שסטיית מחט המצפן היא סימטרית כאשר הופכים את
 כיוון הזרם.

(6) הפעל את ספק המתח, ומדוד את זווית הסטייה של מחט המצפן ביחס לצפון (α) כפונקציה
 של הזרם (I). את מדידת הזווית כפונקציה של הזרם יש לבצע באופן הבא:

יש להגדיל את הזרם בהדרגה (על ידי הקטנת התנגדות הנגד המשתנה), וכתוצאה מכך תגדל
 הזווית. כשהזווית תגדל ב- 5° , רושמים את גודל הזווית ואת הזרם. את המדידה מבצעים באופן
 זה כי מדידת הזווית במצפן אינה מדויקת. יותר מדויק למדוד זוויות בהפרשים של 5° מעלות.
 לעומת זאת, ניתן למדוד את הזרם בדיוק גדול מאוד באמפרמטר.

(7) קבץ את התוצאות בטבלה הבאה:

$I(A)$						
α - מעלות						

החלק השני

(1) באותה מערכת ניסוי הקודמת, לפי סביב הטבעת המעגלית ליפוף אחד בלבד, וכוון את מישור
 הטבעת לכיוון צפון כמו קודם.

(2) הפעל את ספק המתח, וכוון את עוצמת הזרם כך שתקבל זווית של 10° . רושם את הזרם, את
 מספר הליפופים, N (אחד) ואת הזווית (שהיא 10°).

(3) הגדל את מספר הליפופים מספר פעמים, בכל פעם הוסף ליפוף אחד, ומדוד את הזווית
 המתקבלת (שים לב שעוצמת הזרם קבועה לאורך כל המדידות בחלק זה של הניסוי).

(4) קבץ את המדידות בטבלה הבאה:

N						
α - מעלות						

ה. עיבוד וניתוח המדידות

החלק הראשון:

(1) הכן על סמך המדידות שבחלק זה טבלה חדשה המתארת את $\tan \alpha$ כפונקציה של הזרם, I .

(2) שרטט על סמך הטבלה שהכנת, גרף המתאר את $\tan \alpha$ כפונקציה של הזרם I .

(3) חשב את שיפוע הגרף ששרטטת וחשב באמצעותו את רכיב השדה $B_{E||}$.

החלק השני:

(1) הכן על סמך המדידות שבחלק זה טבלה חדשה המתארת את $\tan \alpha$ כפונקציה מספר הליפופים
 N .

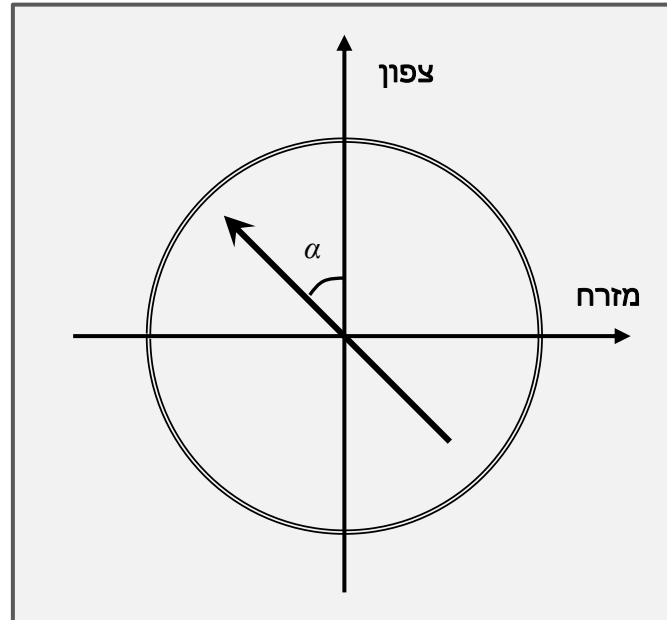
(2) שרטט על סמך הטבלה שהכנת, גרף המתאר את $\tan \alpha$ כפונקציה של מספר הליפופים N .

(3) חשב את שיפוע הגרף ששרטטת וחשב באמצעותו את רכיב השדה $B_{E||}$.

ו. שאלות הכנה

(1) הסבר מהו מקור המגנטיות של כדור הארץ.

- (2) הסבר מדוע מחט המצפן פונה לכיוון הצפון.
 (3) בתרשים שלפניך מתואר במבט מלמעלה המשטח עליו מונח המצפן במרכז הטבעת המעגלית. הציר האנכי שבתרשים מכוון בכיוון צפון, והאופקי בכיוון מזרח מערב. כתוצאה מהשדה המגנטי שנוצר במרכז הטבעת כתוצאה מהזרם שבטבעת, נוצרת זווית α בין מחט המצפן לכיוון הצפון.



- א. העתק את התרשים למחברתך והוסף לתרשים חיצים המתארים את וקטורי השדות המגנטיים המשפיעים על מחט המצפן במישור האופקי.
 ב. הראה שהזווית α שבתרשים הנ"ל נתונה על ידי הביטוי הבא:

$$(6) \quad \tan \alpha = \left(\frac{\mu_0 N}{2RB_{E\parallel}} \right) I$$

כאשר R הוא רדיוס הטבעת, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$, N מספר הליפופים ו- I הוא הזרם בטבעת.

- ג. הסבר מדוע יש לדאוג לכך בניסוי זה שמישור הטבעת המעגלית יהיה ניצב לפני הקרקע ובכיוון צפון.

- (4) האם ניתן לבצע ניסוי זה בזרם חילופין? הסבר את תשובתך.
 (5) מדוע בניסוי זה לא מביאים בחשבון את רכיב השדה המגנטי של כדור הארץ הניצב לפני הקרקע, $B_{E\perp}$?