

המצפנים הרוקדים!

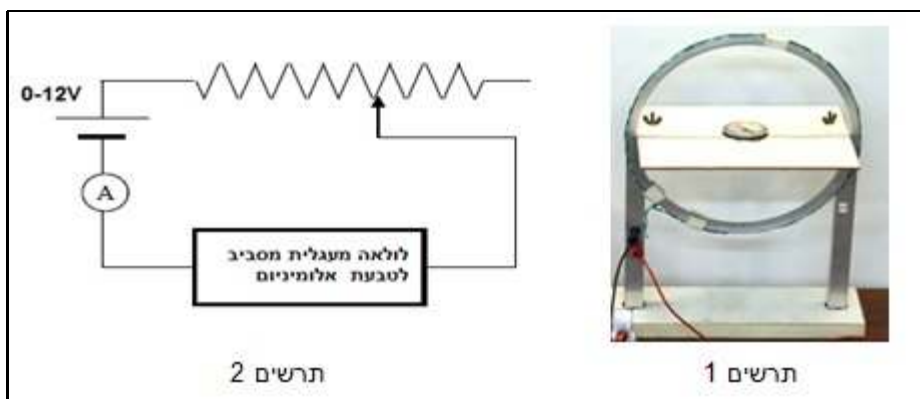
הזמנה לחקר

לרשותכם הציוד הבא:

ספק מתח ישר (0-12 וולט), 4 מצפנים קטנים, מולטי-מטר דיגיטלי (אמפרמטר), נגד משתנה (התנגדות הכוללת היא כ- 20Ω), תיל מוליך ישר שאורכו לפחות 2 מטרים, מסגרת (טבעת) אלומיניום מעגלית עם שתי רגליות ובסיס עץ מתאים, לוח עץ ריבועי, ברגים ואומי פרפר, חוטי חיבור ותנינים, סרגל באורך 30 ס"מ (מפלסטיק או מעץ, לא מתכתי), נייר דבק שקוף.

1. ביצוע תצפית

- הציבו את רגליות האלומיניום בחורים העשויים לכך בבסיס העץ. חברו, באמצעות ברגים ואומי פרפר, את לוח העץ הריבועי אל התמיכות הקטנות במרכז של טבעת האלומיניום. כרכו לולאה מעגלית מהתיל הארוך, על גבי טבעת האלומיניום במסילה העשויה לכך (תרשים 1).
- בנו מעגל חשמלי בו מחוברים הרכיבים החשמליים הבאים בטור למקור המתח: נגד משתנה, אמפרמטר, והלולאה המעגלית (תרשים 2)



- הקפידו על כך שטבעת האלומיניום עם הלולאה המעגלית סביבה תמצא הרחק ככל האפשר מרכיבי המעגל ומעצמים עשויים מברזל.
- הציבו במרכז לוח העץ הריבועי (מרכז הלולאה המעגלית) מצפן. וכוונו את המערכת (בסיס העץ וטבעת האלומיניום המוחזקת עליו) כך שמישור טבעת האלומיניום יהיה בכיוון צפון-דרום (מגנטי).
- הניחו כרצונכם, את שאר המצפנים במצב אופקי במקומות שונים על לוח העץ הריבועי וצפו במחט של כל מצפן.

- הפעילו את ספק המתח וכוונו אותו למתח של 6V. הזיזו את המגע הנייד של הנגד המשתנה עד שקריאת האמפרמטר תהייה 3A. צפו במחטי המצפנים לאחר שיתייצבו.
- סובבו את המערכת ב- 90° וצפו במחטי המצפנים, סובבו את המערכת ב- 90° נוספים וצפו במחטי המצפנים..
- החזירו את המערכת כך שמישור טבעת האלומיניום יהיה בכיוון צפון-דרום (מגנטי), הוסיפו לולאה מסביב לטבעת האלומיניום, וצפו במחטי המצפנים.
- תארו את התופעות בהן צפיתם, בשני אופנים שונים לפחות (מילולי, תרשים, גרף, טבלה וכדומה).

2. שאילת שאלות

נסחו לפחות 5 שאלות רלוונטיות ומגוונות שמתעוררות בעקבות התצפית שביצעתם.

שאלות אחרות שהוצעו ע"י שאר הקבוצות: הוסיפו שאלה אחת מכל קבוצה

עבודה נעימה!

3. א. שאלת החקר

בניסוי זה עליכם לחקור את השאלה הבאה:

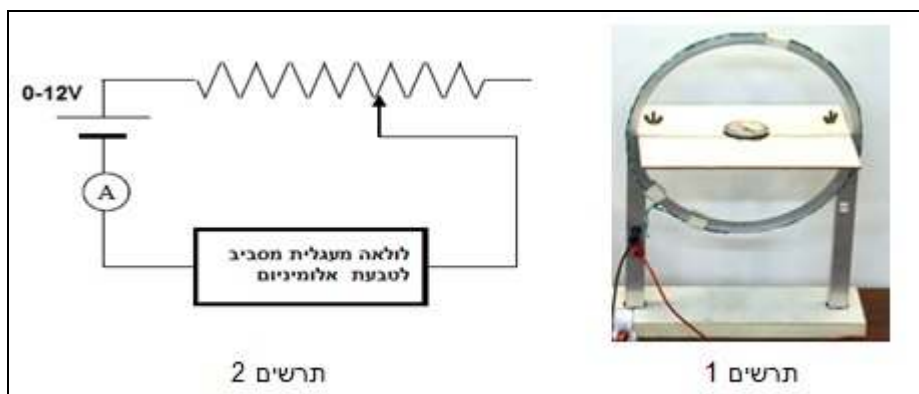
כיצד תשתנה סטיית מחט המצפן (הזווית α) הנמצא במרכזה של לולאה מעגלית כפונקציה של הזרם החשמלי I הזורם בלולאה, אם כיוון השדה המגנטי B_1 שנוצר ע"י הלולאה המעגלית מאונך לכיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי B_E .

ב. העלאת השערה

נסחו בצורה בהירה השערה לגבי שאלת החקר. נמקו השערתכם תוך שימוש במושגים ובעקרונות בפיזיקה.

4. ביצוע הניסוי

- הציבו את רגליות האלומיניום בחורים העשויים לכך בבסיס העץ. חברו, באמצעות ברגים ואומי פרפר, את לוח העץ הריבועי אל התמיכות הקטנות במרכזה של טבעת האלומיניום. כרכו לולאה מעגלית מהתיל הארוך, על גבי טבעת האלומיניום במסילה העשויה לכך (תרשים 1).
- בנו מעגל חשמלי בו מחוברים הרכיבים החשמליים הבאים בטור למקור המתח: נגד משתנה, אמפרמטר, והלולאה המעגלית (תרשים 2).



קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורי הפיזיקה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת ובכלל זה שימוש מסחרי; פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה); העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או כל חלק ממנו.

- הקפידו על כך שטבעת האלומיניום עם הלולאה המעגלית סביבה תמצא הרחק ככל האפשר מרכיבי המעגל ומעצמים עשויים מברזל.
- הציבו במרכז לוח העץ הריבועי (מרכז הלולאה המעגלית) מצפן. וכוונו את המערכת (בסיס העץ וטבעת האלומיניום המוחזקת עליו) כך שמישור טבעת האלומיניום יהיה בכיוון צפון-דרום (מגנטי).
- הפעילו את ספק המתח על $6V$. כווננו, בעזרת הנגד המשתנה (ע"י הזזת המגע הנייד), את עוצמת הזרם עד אשר סטיית מחט המצפן תהיה כ 10° . הפכו את כיוון הזרם בלולאה ובדקו אם סטיית מחט המצפן במגמה הפוכה שווה בגודלה לסטיית הפני השינוי בכיוון הזרם. אם הסטיות אינן שוות, שנו את כיוון המסגרת בהתאם, עד שהסטיות בשתי המגמות תהיינה שוות בגודלן. במצב זה קבעו את בסיס העץ לשולחן, בעזרת נייר דבק.
- שנו, באמצעות הזזת המגע הנייד, את עוצמת הזרם במעגל מ- $1A$ ל- $5A$ בקפיצות של $0.5A$ ומדדו את סטייתה של מחט המצפן (הזווית α). שימו לב, במהלך הניסוי יהיה עליכם להעלות את המתח ל- $12V$.
- מדדו את רדיוס הלולאה המעגלית: _____ .
- העריכו את השגיאות במדידות שאתם מבצעים.
- מהו המשתנה התלוי בניסוי? מהו המשתנה הבלתי תלוי? ומהם הגורמים הקבועים?
- תארו במילים מה קורה לזווית שמראה מחט המצפן, כאשר משנים את עוצמת הזרם החשמלי העובר דרך הלולאה המעגלית.

5. עיבוד הממצאים והסקת מסקנות

- הציגו את תוצאות המדידה לפחות בשני אופנים שונים (ע"י טבלה, גרף, תרשים, נוסחה וכדומה). האם מן התוצאות שקיבלתם, אתם יכולים להסיק מסקנות על הקשר בין זווית הסטייה של מחט המצפן לבין עוצמת הזרם בלולאה?
- הכינו תרשים איכותי המציג את כיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, כיוון השדה המגנטי הנוצר על ידי הזרם בלולאה, השדה המגנטי השקול וזווית הסטייה.
- על פי התרשים, מהי הפונקציה הטריגונומטרית הקושרת בין זווית הסטייה של מחט המצפן לבין השדה המגנטי שנוצר על-ידי הזרם בסוללה? שרטטו גרף מתאים ומצאו בעזרת משוואת הקירוב של הגרף שקיבלתם, את הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי.
- הסיקו מסקנות המתייחסות לקשר שבין תוצאות הניסוי ובין שאלת החקר שבחרתם. האם השערתכם הייתה נכונה? אם לא, מהי לדעתכם הסיבה לחוסר ההתאמה?
- ציינו את הקשר שבין המסקנות שהסקתם ובין עקרונות ומושגים בפיזיקה.
- קבעו האם הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי שמצאתם בניסוי זהה בערכו לזה שידוע בספרות.
- מהי השגיאה היחסית בין הערך הנמדד לבין הערך המצופה של הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי.

6. מה יקרה אם...

- אם במהלך הניסוי הייתם מתבקשים להשתמש בלולאה מעגלית בעלת רדיוס גדול יותר, האם וכיצד היה הדבר משפיע על הגרף שסרטטתם ועל הערכים שמצאתם עבור הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי? נמקו קביעתכם.
- אם במהלך הניסוי הייתם מתבקשים להשתמש בשתי לולאות מעגליות צמודות ובעלות רדיוסים זהים, כך שזורם בכל אחד מהן זרם חשמלי בעוצמה שווה וכיווני הזרמים זהים. האם וכיצד היה הדבר משפיע על הגרף שסרטטתם ועל הערכים שמצאתם עבור הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי? נמקו קביעתכם.

שיתוף החקר

7. דיווח ודין

עליכם להציג את עבודתכם לפני תלמידי הכיתה בעזרת מצגת, או פוסטר, או דגם וכדו'. התייחסו בהצגתכם גם לקשיים איתם נאלצתם להתמודד במהלך הפעילות. משך זמן ההצגה לא יעלה על 5 דקות. על כל חברי הקבוצה לקחת חלק בהצגה.

מה למדנו? (לביצוע לאחר ההצגות בכיתה)

- הכינו דיווח בכתב, הכולל את הרקע המדעי המתאים, את כל שלבי הפעילות ואת המידע אותו אספתם במהלך ההצגות החקר.
- ציינו שני דברים אותם למדתם בתחום התוכן ושני דברים אותם למדתם בתחום החקר. התייחסו גם למידע אותו אספתם במהלך ההצגות של חבריכם.

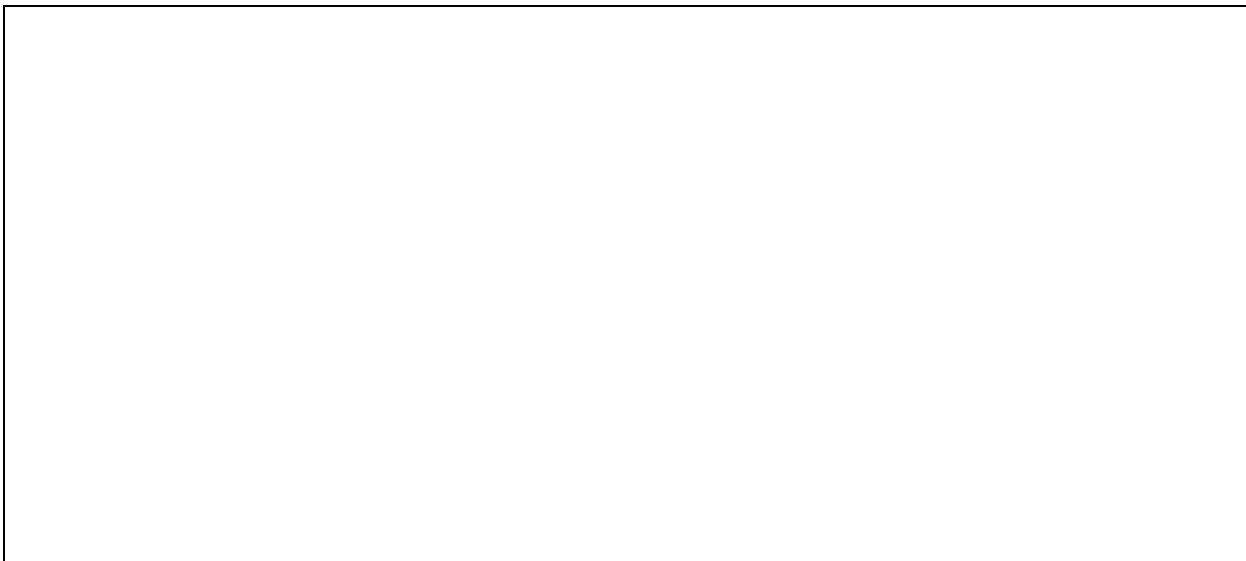
עבודה נעימה!

8. א. שאלת החקר

בניסוי זה עליכם לחקור את השאלה הבאה:
 כיצד תשתנה סטיית מחט המצפן (הזווית α) הנמצא במרכזה של לולאה מעגלית כפונקציה של מספר הליפופים, n , מהם עשויה הלולאה. כאשר כיוון השדה המגנטי B_1 שנוצר ע"י הלולאה המעגלית מאונך לכיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי B_E .

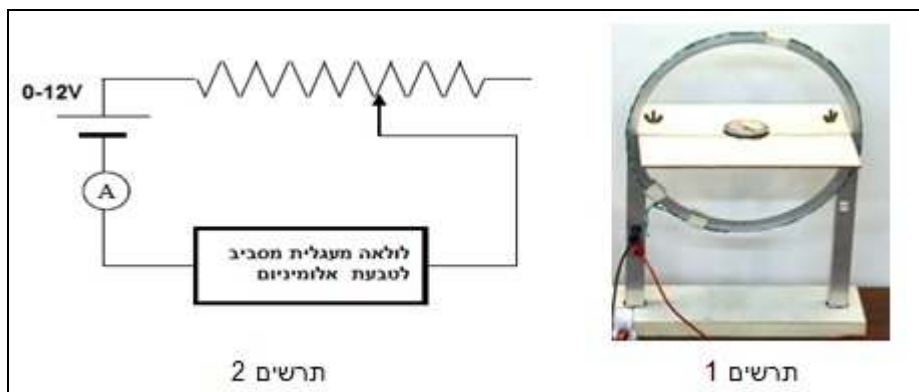
ג. העלאת השערה

נסחו בצורה בהירה השערה לגבי שאלת החקר. נמקו השערתכם תוך שימוש במושגים ובעקרונות בפיזיקה.



9. ביצוע הניסוי

- הציבו את רגליות האלומיניום בחורים העשויים לכך בבסיס העץ. חברו, באמצעות ברגים ואומי פרפר, את לוח העץ הריבועי את התמיכות הקטנות במרכזה של טבעת האלומיניום. כרכו לולאה מעגלית מהתיל הארוך, על גבי טבעת האלומיניום במסילה העשויה לכך (תרשים 1).
- בנו מעגל חשמלי בו מחוברים הרכיבים החשמליים הבאים בטור למקור המתח: נגד משתנה, אמפרמטר, והלולאה המעגלית (תרשים 2).



- הקפידו על כך שטבעת האלומיניום עם הלולאה המעגלית סביבה תמצא הרחק ככל האפשר מרכיבי המעגל ומעצמים עשויים מברזל.
- הציבו במרכז לוח העץ הריבועי (מרכז הלולאה המעגלית) מצפן. וכוונו את המערכת (בסיס העץ וטבעת האלומיניום המוחזקת עליו) כך שמישור טבעת האלומיניום יהיה בכיוון צפון-דרום (מגנטי).
- הפעילו את ספק המתח על 6V. כווננו, בעזרת הנגד המשתנה (ע"י הזזת המגע הנייד), את עוצמת הזרם עד אשר סטיית מחט המצפן תהיה כ 10° . הפכו את כיוון הזרם בלולאה ובדקו אם סטיית מחט המצפן במגמה הפוכה שווה בגודלה לסטיית הפני השני בכיוון הזרם. אם הסטיות אינן שוות, שנו את כיוון המסגרת בהתאם, עד שהסטיות בשתי המגמות תהיינה שוות. כעת קבעו את בסיס העץ לשולחן, בעזרת נייר דבק.
- שנו, באמצעות הזזת המגע הנייד, את עוצמת הזרם במעגל ל- 1A. במהלך הניסוי יהיה עליכם להשאיר את עוצמת הזרם קבועה. ומדדו את סטיית של מחט המצפן (הזווית α).
- שנו את מספר הליפופים, n , מהם עשויה הלולאה מ- $n=1$ ל- $n=5$. ובכל פעם מדדו את סטיית של מחט המצפן (הזווית α). הקפידו על כך שהליפופים יהיו באותה מגמה.
- עליכם לבצע לפחות 5 מדידות.
- מדדו את רדיוס הלולאה המעגלית: _____.
- ציינו מהי השגיאה במדידות.
- מהו המשתנה התלוי בניסוי? מהו המשתנה הבלתי תלוי? ומהם הגורמים הקבועים?
- תארו במילים מה קורה לזווית שמראה מחט המצפן, כאשר משנים את מספר הליפופים, n , סביב טבעת האלומיניום.

10. עיבוד הממצאים והסקת מסקנות

- הציגו את תוצאות המדידה לפחות בשני אופנים שונים (ע"י טבלה, גרף, תרשים, נוסחה וכדומה).
- שרטטו גרף $\tan \alpha$ כפונקציה של מספר הליפופים, n . ומצאו בעזרת משוואת העקומה בגרף שקיבלתם, את הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי.
- הסיקו מסקנות המתייחסות לקשר שבין תוצאות הניסוי ובין שאלת החקר שבחרתם. האם השערתכם הייתה נכונה? אם לא, מהי לדעתכם הסיבה לחוסר ההתאמה?
- ציינו את הקשר שבין המסקנות שהסקתם ובין עקרונות ומושגים בפיזיקה.
- קבעו האם הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי שמצאתם בניסוי זהה בערכו לזה שידוע בספרות.
- מהי השגיאה היחסית בין הערך הנמדד לבין הערך המצופה של הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי.

11. מה יקרה אם...

- אם במהלך הניסוי הייתם מתבקשים להשתמש בלולאה מעגלית בעלת רדיוס קטן יותר, האם וכיצד היה הדבר משפיע על הגרף ששרטטתם ועל הערכים שמצאתם עבור הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי? נמקו קביעתכם.
- אם במהלך הניסוי הייתם מתבקשים להשתמש בשתי לולאות מעגליות מאונכות האחת לשנייה, ובעלות רדיוסים זהים ומרכז משותף, כך שזרם בכל אחד מהן זרם חשמלי בעוצמה שווה וכיווני הזרמים זהים. האם

וכיצד היה הדבר משפיע על הגרף ששרטטתם ועל הערכים שמצאתם עבור הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי? נמקו קביעתכם.

שיתוף החקר

12. דיווח ודיון

עליכם להציג את עבודתכם לפני תלמידי הכיתה בעזרת מצגת, או פוסטר, או דגם וכדו'. התייחסו בהצגתכם גם לקשיים איתם נאלצתם להתמודד במהלך הפעילות. משך זמן ההצגה לא יעלה על 5 דקות. על כל חברי הקבוצה לקחת חלק בהצגה.

מה למדנו? (לביצוע לאחר ההצגות בכיתה)

- הכינו דיווח בכתב, הכולל את הרקע המדעי המתאים, את כל שלבי הפעילות ואת המידע אותו אספתם במהלך ההצגות החקר.
- ציינו שני דברים אותם למדתם בתחום התוכן ושני דברים אותם למדתם בתחום החקר. התייחסו גם למידע אותו אספתם במהלך ההצגות של חבריכם.

עבודה נעימה!

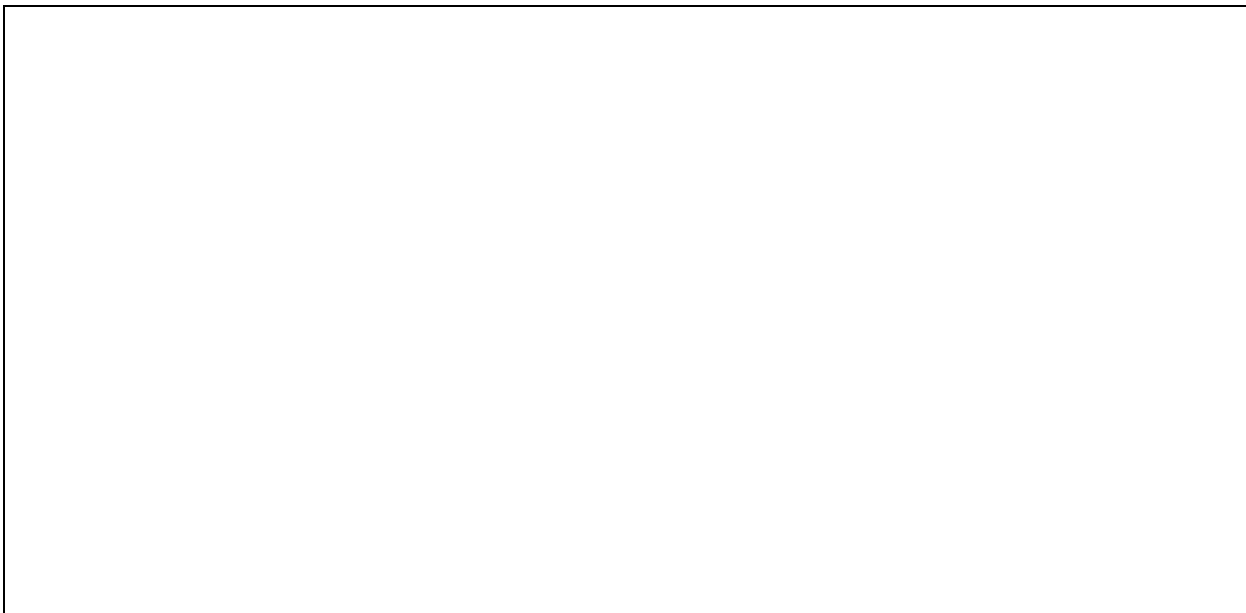
13. א. שאלת החקר

בניסוי זה עליכם לחקור את השאלה הבאה:

כיצד תשתנה סטיית מחט המצפן (הזווית α) הנמצא על מישור הניצב ללולאה מעגלית ועובר במרכזה, כפונקציה של המיקום האופקי, x , של המצפן ביחס למרכז הלולאה. כאשר כיוון השדה המגנטי B_1 שנוצר ע"י הלולאה המעגלית מאונך לכיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי B_E והזרם I קבוע.

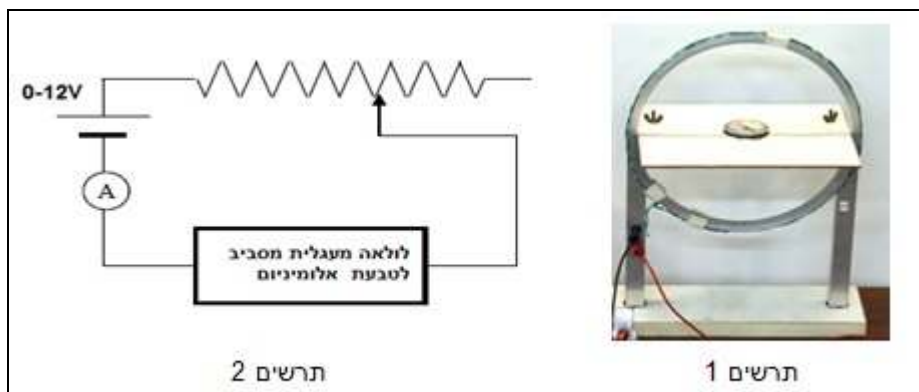
ד. העלאת השערה

נסחו בצורה בהירה השערה לגבי שאלת החקר. נמקו השערתכם תוך שימוש במושגים ובעקרונות בפיזיקה.

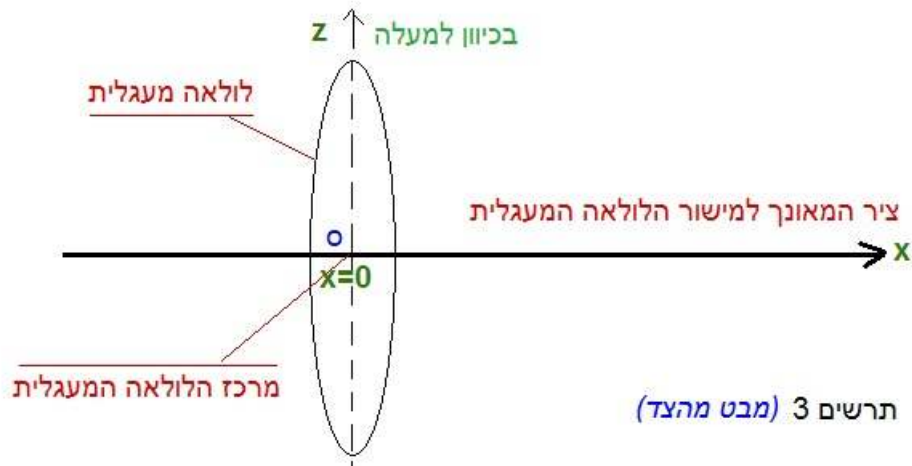


14. ביצוע הניסוי

- הציבו את רגליות האלומיניום בחורים העשויים לכך בבסיס העץ. חברו, באמצעות ברגים ואומי פרפר, את לוח העץ הריבועי את התמיכות הקטנות במרכזה של טבעת האלומיניום. כרכו לולאה מעגלית מהתיל הארוך, על גבי טבעת האלומיניום במסילה העשויה לכך (תרשים 1).
- בנו מעגל חשמלי בו מחוברים הרכיבים החשמליים הבאים בטור למקור המתח: נגד משתנה, אמפרמטר, והלולאה המעגלית (תרשים 2).



- הקפידו על כך שטבעת האלומיניום עם הלולאה המעגלית סביבה תמצא הרחק ככל האפשר מרכיבי המעגל ומעצמים עשויים מברזל.
- הציבו במרכז לוח העץ הריבועי (מרכז הלולאה המעגלית) מצפן. וכוונו את המערכת (בסיס העץ וטבעת האלומיניום המוחזקת עליו) כך שמישור טבעת האלומיניום יהיה בכיוון צפון-דרום (מגנטי).
- הפעילו את ספק המתח על 6V. כווננו, בעזרת הנגד המשתנה (ע"י הזזת המגע הנייד), את עוצמת הזרם עד אשר סטיית מחט המצפן תהיה כ 10° . הפכו את כיוון הזרם בלולאה ובדקו אם סטיית מחט המצפן במגמה הפוכה שווה בגודלה לסטיית הפני השינוי בכיוון הזרם. אם הסטיות אינן שוות, שנו את כיוון המסגרת בהתאם, עד שהסטיות בשתי המגמות תהיינה שוות. במצב זה קבעו את בסיס העץ לשולחן, בעזרת נייר דבק.
- כווננו את מתח הספק ל- 6V וקבעו, באמצעות הזזת המגע הנייד, את עוצמת הזרם במעגל ל- 3A ומדדו את סטייתה של מחט המצפן (הזווית α).
- הזיזו מספר פעמים את המצפן לאורך ציר-x הניצב למישור הלולאה (y-z) והעובר במרכז (תרשים 3), בכל פעם מדדו את המרחק x ממרכז הלולאה ואת סטיית מחט המצפן.



- עליכם לבצע לפחות 5 מדידות.
- מדדו את רדיוס הלולאה המעגלית: _____.
- ציינו מהי השגיאה במדידות.
- מהו המשתנה התלוי בניסוי? מהו המשתנה הבלתי תלוי? ומהם הגורמים הקבועים?
- תארו במילים מה קורה לזווית שמראה מחט המצפן, כאשר משנים את המרחק x ממרכז הלולאה.

15. עיבוד הממצאים והסקת מסקנות

- הציגו את תוצאות המדידה לפחות בשני אופנים שונים (ע"י טבלה, גרף, תרשים, נוסחה וכדומה).
- שרטטו גרף $\tan \alpha$ כפונקציה של המרחק x ממרכז הלולאה. ומצאו בעזרת משוואת העקומה בגרף שקיבלתם, את הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי.

- הסיקו מסקנות המתייחסות לקשר שבין תוצאות הניסוי ובין שאלת החקר שבחרתם. האם השערותכם הייתה נכונה? אם לא, מהי לדעתכם הסיבה לחוסר ההתאמה?
- ציינו את הקשר שבין המסקנות שהסקתם ובין עקרונות ומושגים בפיזיקה.
- קבעו האם הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי שמצאתם בניסוי זהה בערכו לזה שידוע בספרות.
- מהי השגיאה היחסית בין הערך הנמדד לבין הערך המצופה של הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי.

16. מה יקרה אם...

- אם במהלך הניסוי הייתם מתבקשים להשתמש בלולאה מעגלית בעלת רדיוס גדול יותר, האם וכיצד היה הדבר משפיע על הגרף שסרטטתם ועל הערכים שמצאתם עבור הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי? נמקו קביעתכם.
- אם במהלך הניסוי הייתם מתבקשים להשתמש בשתי לולאות מעגליות צמודות ובעלות רדיוסים זהים, כך שזורם בכל אחד מהן זרם חשמלי בעוצמה שווה וכיווני הזרמים זהים. האם וכיצד היה הדבר משפיע על הגרף שסרטטתם ועל הערכים שמצאתם עבור הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי? נמקו קביעתכם.

שיתוף החקר

17. דיווח ודין

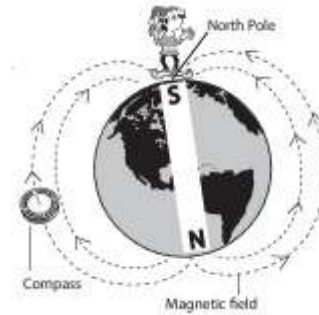
עליכם להציג את עבודתכם לפני תלמידי הכיתה בעזרת מצגת, או פוסטר, או דגם וכדו'. התייחסו בהצגתכם גם לקשיים איתם נאלצתם להתמודד במהלך הפעילות. משך זמן ההצגה לא יעלה על 5 דקות. על כל חברי הקבוצה לקחת חלק בהצגה.

מה למדנו? (לביצוע לאחר ההצגות בכיתה)

- הכינו דיווח בכתב, הכולל את הרקע המדעי המתאים, את כל שלבי הפעילות ואת המידע אותו אספתם במהלך ההצגות החקר.
- ציינו שני דברים אותם למדתם בתחום התוכן ושני דברים אותם למדתם בתחום החקר. התייחסו גם למידע אותו אספתם במהלך ההצגות של חבריכם.

עבודה נעימה!

המצפנים הרוקדים! מדריך למורה



הפעילות "המצפנים הרוקדים!" היא פעילות חקר מודרך המבוססת על הניסוי המסורתי גלונומטר טנגנטי¹.
הפעילות כוללת שלוש שאלות חקר:

1. כיצד תשתנה סטיית מחט המצפן (הזווית α) הנמצא במרכזה של לולאה מעגלית כפונקציה של הזרם החשמלי I הזורם בלולאה, אם כיוון השדה המגנטי B_I שנוצר ע"י הלולאה המעגלית מאונך לכיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי B_E .
2. כיצד תשתנה סטיית מחט המצפן (הזווית α) הנמצא במרכזה של לולאה מעגלית כפונקציה של מספר הליפופים, n , מהם עשויה הלולאה. כאשר כיוון השדה המגנטי B_I שנוצר ע"י הלולאה המעגלית מאונך לכיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי B_E .
3. כיצד תשתנה סטיית מחט המצפן (הזווית α) הנמצא על מישור הניצב ללולאה מעגלית ועובר במרכזה, כפונקציה של המיקום האופקי, x , של ביחס למרכז הלולאה. כאשר כיוון השדה המגנטי B_I שנוצר ע"י הלולאה המעגלית מאונך לכיוון הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי B_E והזרם I קבוע.

ניתן לבצע פעילות חקר זו מיד אחרי סיום סעיף 4.3 בסילבוס אלקטרומגנטיות (הקשר בין השדה המגנטי ומקורותיו- בקרבת תיל אורך מאוד, במרכז כריכה מעגלית, בסילוניות).

הפעילות כוללת את השלבים הבאים:

1. שלב ההזמנה לחקר (2 שיעורים): תצפית (התנסות בבניית מעגל חשמלי בו ניתן לשנות את עוצמת הזרם במעגל, עבודה עם מצפנים) ושאלת שאלות.
2. שלב מימוש החקר (2-3 שיעורים): הכיתה מקבלת 3 תדריכים עם 3 שאלות חקר. שלב זה כולל העלאת השערה, ביצוע הניסוי, עיבוד הממצאים והסקת המסקנות, ניבויים.
3. שלב השיתוף בחקר (1-2 שיעורים, תלוי בגודל הכיתה): הצגות התלמידים, דיון וסיכום על-ידי המורה.

לפני ההפעלה בכיתה, מומלץ לפתור את שאלות הבגרות הבאות:

1. שאלה מס. 5 באלקטרומגנטיות, בגרות תשס"ז (2007).
2. שאלה מס. 5 באלקטרומגנטיות, בגרות תשס"א (2001).
3. שאלה מס. 5 באלקטרומגנטיות, בגרות תשנ"ט (1999).
4. שאלה מס. 3 באלקטרומגנטיות, בגרות תשנ"ו (1996).

¹ הפעילות מבוססת על ניסוי 15 "גלונומטר טנגנטי, מדידת הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי". לקט ניסויים בפיסיקה, דוד זינגר.