

שאלות "קצת אחרות" - פיתוח מיומנויות של התמודדות עם טקסט מדעי

חנה ברגר, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות
ירון להבי, המכללה האקדמית לחינוך ע"ש דוד ילין והמחלקה להוראת המדעים,
מכון ויצמן למדע, רחובות



אחת ממטרות הוראת הפיזיקה היא לפתח את יכולת התלמידים להתמודד עם טקסטים מדעיים המתאימים לרמתם ולהשתמש לשם כך בידע ובמיומנויות שרכשו במהלך לימודי הפיזיקה שלהם. אך מהו מאמר מדעי המתאים לרמת התלמידים? ברור שקשה למצוא מאמרים כאלו בעיתונות המדעית המקצועית. לשמחתנו, מצאנו כי אין צורך להרחיק לכת: קיים בסביבתנו מקור יוצא מהכלל למאמרים שיכולים להוות בסיס לשאלות הבחנות מיומנויות של קריאת טקסטים - חוברות "תהודה".

העיתון "תהודה" מפרסם מאמרים שנכתבו על ידי מורים עבור מורים. הוא מכיל חומר גלם מצוין הכתוב בשפה נגישה לתלמידים (רק לעתים רחוקות נדרשת התאמה מסוימת, כזו שאינה הופכת את המאמר על פייו) ומבוסס על ידע בתחומי פיזיקה שמוכרים להם ושאותם הם לומדים בבית הספר.

אחד הכותבים הפוריים מאוד ב"תהודה" היה צבי גלר ז"ל. מצאנו לא פחות מ-20 מאמרים שפרסם בגיליונות "תהודה", חלקם ככותב יחיד וחלקם בשיתוף פעולה עם כותבים נוספים. מתוך מאמרים אלה פורסמו רבים במדור "מה חדש במעבדה", ובהם הציג צבי ניסויים שפותחו במחלקה יחד עם הרציונל שעמד מאחורי הפיתוח ודרכי השימוש בהם בכיתות הלימוד. כזה הוא גם המאמר "אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים" שפורסם בכרך 18, חוברת מס' 2.

במאמר הנוכחי ננסה להדגים כיצד השתמשנו במאמר כדי לחבר שתי שאלות "קצת אחרות" משני סוגים שונים (השמות לסוגי השאלות הם הגדרה שלנו): שאלת מאמר מדעי המקדמת את יכולת ההתמודדות של התלמידים עם מאמר מדעי המציג לפני הקוראים נושא הנמצא מעבר לתכנית הלימודים; ושאלת חקר המקדמת מיומנויות חקר. מטרתנו כאן היא להראות כיצד אותו מאמר שימש לחיבור שאלות מסוגים שונים ובדרך זו אולי להאיר קצת גם את הייחוד בכתיבתו של צבי גלר המנוח.

תמצית המאמר: "אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים"

עוד לפני הצגת הרציונל הפדגוגי של העיסוק באפקט Hall, שיתואר בהמשך, בחר צבי להקדים ולחלוק כבוד למורה המנוח חיים ברוק. וכך כתב צבי "חיים היה אדם נפלא, מחנך דגול ומורה לפיזיקה מעולה, שאהב לגוון ולהעשיר את שיעוריו בהדגמות יפות ובניסויים מרתקים.... נושא קרוב ללבו של חיים, שאותו ניסה לשלב בתכנית הלימודים של בית הספר התיכון, היה אפקט Hall ויישומיו. כבר בשנת תשל"ה כתב חיים מאמר ארוך על הנושא (גיליונות כרך 4, מספר 1, אייר תשל"ה, April 1975), שבו הוא מתעכב בעיקר על תיאור והסבר של האפקט במאמר [הנוכחי] הטיפול באפקט Hall מצומצם יחסית, והדגש מושם על תיאור מפורט יותר של האפשרויות להשתמש בו למדידת שדות מגנטיים. אנו מקווים שהמאמר יעורר ויחזק את עניין המורים בנושא הפיזיקלי החשוב, יעשיר את מלאי הכלים העומדים לרשותם כדי לבצע מדידות וניסויים ויעלה את זכרו של חברנו חיים ברוק, החסר לנו כל כך".

את הרציונל הפדגוגי הציג צבי במבוא למאמר וציין כי לחקירת שדות מגנטיים במסגרת שיעורי הפיזיקה ניתן להשתמש במצפנים, במאזני זרם או ב"סליל בוחן" (המתואר בספרו של חיים ברוק "ניסויים מתקדמים בפיזיקה" לכיתות י"א, י"ב). כל אחת מהשיטות מציפה קשיים אחרים, כמתואר כאן.

□ המדידות באמצעות מצפן מבוססות על השוואת השדה המגנטי הנמדד עם הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי, ובשל כך יש להן 3 מגבלות: א. לא ניתן להשתמש במצפן למדידה מדויקת של שדות מגנטיים בעלי עצמה גבוהה בהרבה מזו של השדה המגנטי הארצי; ב. המצפן מאפשר למדוד שדות (או רכיבי שדות) מגנטיים אופקיים בלבד, וכדי לבצע את המדידות חייבים לדאוג שווקטור השדה המגנטי ייצור זווית ידועה עם הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי; ג. כדי לרשום את התוצאות ביחידות המקובלות (טסלה, גאוס), חייבים לדעת או למדוד את עצמת הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי במקום שבו נערכת המדידה.

□ השימוש במאזני זרם נעשה אחרי שמלמדים את הפרק על כוחות אלקטרומגנטיים הפועלים על תילים נושאי זרם המצויים בשדות מגנטיים. ניתן להשתמש בהם למדידת שדות מגנטיים אחידים ואופקיים בלבד.

□ בשיטת "סליל הבוחן" - שפעולתו מבוססת על מדידת הכא"מ המושרה שנוצר בסליל עקב שינוי השטף המגנטי דרכו - רצוי להשתמש אחרי שלומדים את הפרקים על השראה אלקטרומגנטית ועל זרם חילופין, כלומר, בשלב מאוחר של תכנית הלימודים. כדי להתגבר על קשיים אלה ולבצע מדידות פשוטות ומדויקות של שדות מגנטיים כבר בשלבים מוקדמים יחסית של תכנית הלימודים, הציע צבי להשתמש במכשיר מדידה שפעולתו מבוססת על אפקט Hall.

הפרק על אפקט Hall מתחיל בהיבט היסטורי: התופעה שנקראת על שמו של Hall התגלתה כאשר אדווין הול ביצע (1879) סדרת ניסויים שאמורים היו לבדוק טענה שהועלתה מספר שנים קודם לכן על ידי מקסוול. לפי טענתו, השפעת השדה המגנטי על תיל נושא זרם אינה תוצאה של השפעה על הזרם עצמו, אלא השפעת השדה על החומר שבתוכו מתקיים הזרם (ראו גם ז. קרקובה, תורת האלקטרון של לורנץ, "תהודה" 2-17). בניסוייו מצא הול כי מקסוול טעה.

בהמשך מתוארת התופעה המכונה "אפקט Hall". ניתן הסבר לתופעה בעזרת חוקים ועקרונות רלוונטיים, ומפותח קשר כמותי בין "מתח Hall" (גלאי השדה המגנטי) לבין הגורמים שמשפיעים עליו (קשר שעל פיו ניתן לכייל את הגלאי). כאן מתעכב צבי ומסביר מדוע בהתבסס על התלות של "מתח Hall", בצפיפות הנפח של נושאי המטענים הנייחים שבה, מותקן בגלאי Hall מוליך למחצה ולא מוליך מתכת.

שאלת המאמר המדעי מתייחסת לחלק זה של המאמר.

בחלק הבא של המאמר מתאר צבי בקצרה שימושים שנעשו בגלאי Hall למדידת שדות מגנטיים שונים הנוצרים בסביבת תילים נושאי זרם בקונפיגורציות שונות, למשל, במרכז ובקצוות של סילונית או בקצות סילונית שבתוכה מוטות גליליים שעשויים ממתכות שונות ועוד. בהמשך הוא מוסיף ומתאר במפורט ניסוי למדידת השדה המגנטי של כריכה מעגלית נושאת זרם (סליל הלמהולץ) לאורך ציר הסימטריה של הכריכה ומציג את תוצאות הניסוי.

צבי מציין את חשיבות הניסוי באומרו שהוא מהווה הרחבה לאחד הניסויים המרכזיים באלקטרומגנטיות שמבצעים בבית הספר התיכון "גלוונמטר טנגנטי". אם בניסוי של "הגלוונמטר הטנגנטי" מודדים באמצעות מצפן את השדה המגנטי רק במרכז של כריכה נושאת-זרם, הרי שבניסוי המתואר במאמר נעזרים בגלאי הול למטרות אלה: א. לבדוק את העוצמות והכיוונים של וקטורי השדה המגנטי בנקודות שונות בתוך שטח הכריכה ומחוצה לו; ב. למדוד את השדה המגנטי בנקודות לאורך ציר הסימטריה שעובר דרך מרכז העיגול המוגבל על ידי הכריכה, ובמאונך לו. לבסוף מסביר צבי כיצד, על פי תוצאות הניסוי, ניתן לקבל שדה מגנטי אחיד לאורך ציר הסימטריה המשותף של שני סלילי הלמהולץ המוצבים זה מעל זה, ומתאר ניסוי המראה כי שדה כזה מתקבל כאשר המרחק בין הסלילים שווה לרדיוס שלהם.

שאלת החקר מתייחסת לניסוי זה.

שאלות "קצת אחרות" המתייחסות למאמר

יש לזכור שקהל היעד של עיתון "תהודה" הוא מורים לפיזיקה. לכן שתי השאלות שתתוארנה בהמשך מכוונות בראש וראשונה

להנגיש לתלמידים את המאמר ולתת להם כלים להבין אותו. עם זאת בהתאם לאופי קטעי המאמר שאליהם מתייחסות השאלות, יש לכל שאלה מטרות משלה, ומוצעים לתלמידים כלים שונים למימוש המטרה, כפי שיפורט בהמשך.

שאלת המאמר המדעי

שאלת המאמר המדעי מציגה תחילה את חציו הראשון של הפרק על 'אפקט הול' במאמר של צבי גלר (עמ' 14 והפסקה הראשונה בעמ' 15), ובהמשך מופיעים 9 סעיפי השאלה.

מטרות השאלה והדרכים למימושן

בחיבור סעיפי השאלה אפיינו ארבע מטרות מרכזיות. כדי לממש כל אחת מהמטרות, וכדי לבדוק אם היא הושגה, נדרשים התלמידים להראות כי הם יכולים לבצע מספר דברים (מטרות אופרטיביות).

● מטרה: קידום את יכולתם של התלמידים להשתמש בידע קיים בשעת קריאת מאמר ובמיוחד בעת ההתמודדות עם נושא חדש.

מטרות אופרטיביות

□ פיתוח היכולת להסביר משמעות של מושגים המופיעים במאמר (למשל, להסביר את משמעות המונח "מהירות הסחיפה" בסעיף 3).

□ פיתוח היכולת ליישם חוקים שנלמדו בעבר במצבים לא מוכרים (למשל, ליישם את החוק הראשון של ניוטון על מטענים חופשיים שנעים במוליך בסעיף 2).

□ פיתוח היכולת להציג מידע בייצוגים שונים, (מילולי, כמותי) (למשל, לתאר את אופי התנועה של החלקיקים נושאי המטען במצב עמיד בסעיף 1; לפתח נוסחה המקשרת בין מתח הול, עצמת השדה המגנטי ומהירות הסחיפה בסעיף 3).

□ פיתוח היכולת לדלות מידע מנתונים המופיעים בייצוגים שונים (מילולי, תרשים, גרף) (למשל, למצוא את צפיפות האלקטרונים נושאי הזרם בסעיף 7).

□ פיתוח היכולת להשוות יחידות מידה (למשל, להראות שהיחידות של הביטוי שפותח עבור הזרם אכן מייצגות זרם חשמלי, סעיף 5). מטרה: לקדם את יכולת הטיעון של התלמידים.

מטרות אופרטיביות

□ פיתוח היכולת להציג טיעון במילים של התלמידים (למשל, להסביר את אופי התנועה של המטענים החופשיים בשאלה 1).

□ פיתוח היכולת להסביר טיעון (למשל, להסביר את הטיעון שאפקט הול מאפשר לבדוק מה טיב המטענים שנעים לאורך המוליך בסעיף 4).

□ פיתוח היכולת להשוות בין טיעונים סותרים ולהכריע ביניהם על סמך הניסוי (למשל, להסביר מדוע מקסוול טעה על סמך תוצאות של מדידת מתח הול בסעיף 9).

● מטרה: קידום של הבנת המתודה המדעית.

מטרות אופרטיביות

□ פיתוח היכולת לזהות תסריטים אפשריים (למשל, לבדוק השפעה של סימן אפשרי של נושאי המטען על מתח הול הנמדד בסעיף 4).

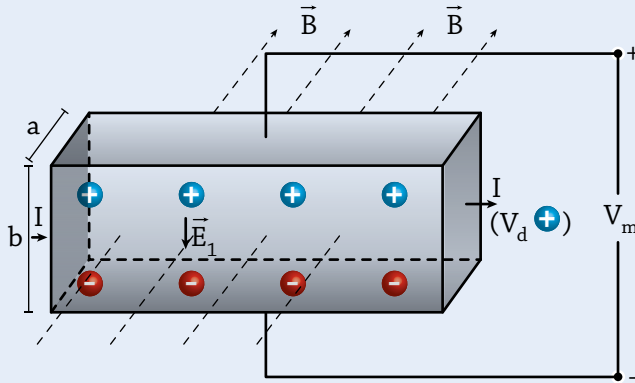
□ פיתוח היכולת לזהות ולהבין ניסוי מכריע בין תסריטים (למשל, להבין שבדיקת הקוטביות של מתח הול מכריעה בשאלה אם מקסוול צדק או טעה, סעיפים 8 ו-9).

- מטרה: לקדם את יכולותיהם של התלמידים לארגן את הידע שלהם.

מטרות אופרטיביות

- פיתוח היכולת לקשר בין נושאים שונים (למשל, תנועת מטען בשדות מגנטיים וחשמליים בקונטקסט של מעגלי זרם ישר, סעיפים 1-3).
- פיתוח היכולת לקשר בין גדלים פיזיקליים שונים (למשל, לקשר בין מתח הול לבין צפיפות נושאי הזרם בסעיף 6).
- פיתוח היכולת לראות את התמונה המלאה (למשל, לענות על השאלה שהניעה את הול לבצע את סדרת ניסוייו בסעיף 9).

השאלה



לפני למעלה ממאה שנה, ב-1879, ביצע הפיזיקאי האמריקני אדווין הול (Edwin H. Hall) סדרת ניסויים כדי לבדוק טענה שהועלתה על-ידי מקסוול (Maxwell). מקסוול, שבתקופתו עדיין לא היה ידוע דבר קיומם של חלקיקים נושאי מטען חשמלי, טען שהכוח על מוליך נושא זרם המצוי בשדה מגנטי המאונך למוליך, אינו פועל על נושאי המטען הנעים בתוכו אלא על המוליך עצמו. בניסוי גילה הול את התופעה הנקראת על שמו, ובכך גם הראה שלא צדק מקסוול בטענתו.

כשתיבה מוליכה שבה זרם חשמלי I נמצאת בשדה מגנטי \vec{B} המאונך לתיבה, פועלים כוחות אלקטרומגנטיים ("כוחות לורנץ") על נושאי המטען הנעים במהירות סחיפה v_d בתוכה וגורמים להפרדה ולהצטברות של מטענים הפוכי סימן על פאותיה הנגדיות (ראו תרשים) המרוחקות זו מזו מרחק b (רוחב התיבה הוא b). כתוצאה מכך נוצר שדה חשמלי \vec{E}_1 רוחבי בין פאות אלה, ושדה זה מפעיל על המטענים הנעים כוחות חשמליים המנוגדים לכוחות האלקטרומגנטיים. במצב העמיד הכוח החשמלי והכוח המגנטי שווים בגודלם והפוכים בכיוונם, לכן שקול הכוחות האלה מתאפס. הודות לקיום השדה החשמלי בין הפיאות הנגדיות של התיבה, קיים ביניהן מתח חשמלי רוחבי V_H . קיומו של המתח הרוחבי V_H הוא האפקט שגילה הול, על כן הוא נקרא על שמו "אפקט Hall". למתח הרוחבי קוראים "מתח Hall".

בתרשים מתוארת הפרדת מטענים הנוצרת בתיבה מוליכה שהחלקיקים נושאי המטען היוצרים בה את הזרם החשמלי, הם כולם או רובם בעלי מטען חיובי. אם רוב החלקיקים הנעים הם חלקיקים בעלי מטען שלילי, כפי שקורה במרבית המוליכים, תהיה להפרדת המטענים בין שתי הפאות הנגדיות קוטביות הפוכה. בדיקה אם המתח V_H בין שתי הפאות הנגדיות של התיבה הוא חיובי או שלילי מאפשרת אפוא לקבוע אם רוב נושאי המטען המהווים את הזרם החשמלי בתיבה הם חיוביים או שליליים. בעזרת אפקט הול אפשר למדוד את צפיפות נושאי המטען בחומר שבו זרם הזרם.

(מתוך מאמרו של צבי גלר "אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים" תהודה 18.2)

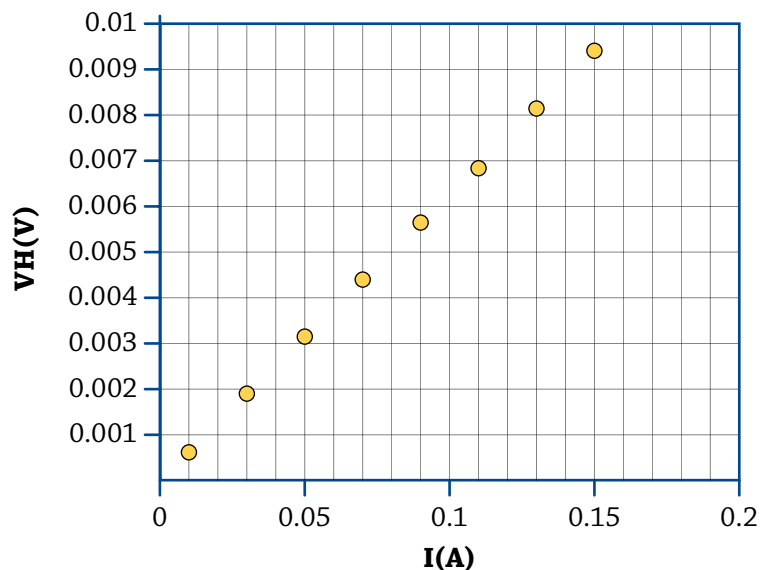
ענו על הסעיפים הבאים:

1. האם במצב העמיד, כפי שמתואר במאמר, ימשיכו המטענים החופשיים לנוע? אם כן, מה יהיה אופי תנועתם? הסבירו את תשובתכם.
2. רשמו את משוואת הכוחות הפועלים על מטען חופשי המצוי בתיבה במצב העמיד כפי שמוסבר בגוף המאמר.
3. הסבירו את המשמעות של המונח "מהירות הסחיפה של נושאי המטען החשמלי". פתחו נוסחה המקשרת בין שלושת המשתנים האלה: מתח Hall, השדה המגנטי ומהירות הסחיפה.

4. בעל המאמר טוען כי אפקט הול מאפשר לבדוק מהו טיב מטענם של החלקיקים הנעים ויוצרים את הזרם החשמלי. הסבירו את טענתו ונמקו.

5. כידוע, אם הזרם החשמלי I בתיבה המוליכה הנתונה בתרשים מורכב מסוג אחד של חלקיקים טעונים, מתקיים: $I = nqAv_d$, כאשר n הוא מספר נושאי המטען ביחידת נפח של התיבה, q הוא המטען של כל נושא מטען, ו- A הוא שטח החתך של התיבה. הראו שהיחידות בצדו הימני של הביטוי הן יחידות של זרם.

6. הראו כי מתקיים הקשר $V_H = \frac{IB}{nqa}$.



7. בניסוי למדידת צפיפות האלקטרונים נושאי הזרם בחומר מסוים השתמשו בתיבה מוליכה דקה שעוביה $a = 1\text{mm}$ ובשדה מגנטי שעצמתו 0.001 טסלה. התוצאות מוצגות בגרף הבא:

מצאו מתוך הגרף את צפיפות האלקטרונים נושאי הזרם. נמקו.

8. תלמיד טען כי אם משאירים את חיבור המתח הגורם להיווצרות הזרם בניסוי המתואר במאמר, אזי בין שנושאי המטען הם חיוביים ובין שהם שליליים - לא ישתנה כיוון הזרם. האם הוא צודק? נמקו.

9. היעזרו בתשובתכם לסעיף 8 והסבירו מהי טענתו של מקסוול וכיצד מראה האפקט של הול כי הוא טעה.

שאלת החקר סילי הלמהולץ

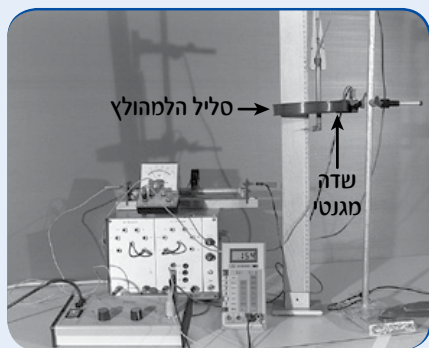
מטרות שאלת החקר

בשאלת החקר נדרשו התלמידים להראות כי הם יכולים לבצע את הפעולות האלה:

- להבין את מבנה הניסוי ואת תפקידם של המכשירים המשמשים בו.
- לזהות את שאלת החקר ואת המשתנים שנבדקים בניסוי
- לקשר את המשתנים הנבדקים למושגים שלמדו.
- לנתח את תוצאות הניסוי על פי הייצוגים שנבחרו כדי לתאר אותן.
- לקשר בין ערכי תצפית לבין ניבוי תאורטי.
- להציע הצעה לשיפור או לשינוי הניסוי.
- להציע יישום המבוסס על המערכת הניסיונית.

בשאלה זו הצגנו בקצרה את תיאור הניסוי (עמודים 19-20 במאמר) ושילבנו חלק מתוצאותיו בסעיפי השאלה המובאים בהמשך. כמו כן הראינו כיצד מדגימות השאלות את יישום המטרות שהוצגו לעיל.

השאלה



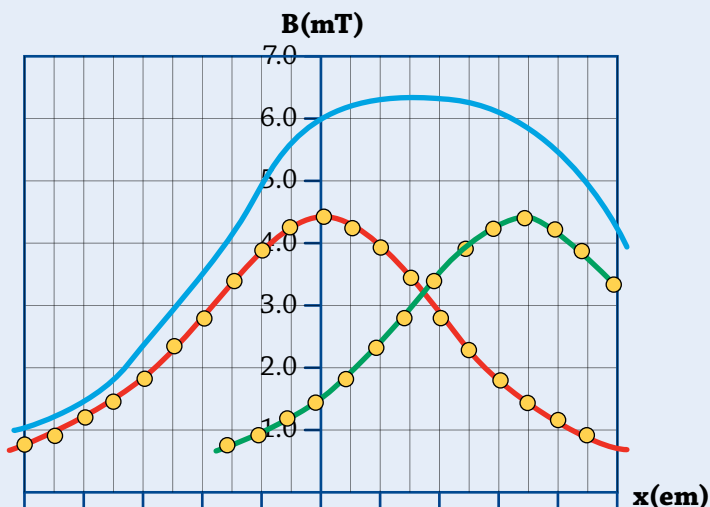
מעוניינים לחקור את השדה המגנטי בין שני סלילים זהים סמוכים (מערכת כזו נקראת "סלילי הלמהולץ"). נתון כי רדיוס כל סליל $r = 6.8 \text{ cm}$ ומספר הכריכות בו הוא $N = 320$.

בתרשים נראה רק סליל אחד, אך בניסוי עצמו משתמשים בסליל נוסף הנמצא מעל לסליל הראשון כך שמישורי הסלילים מקבילים וציר הסימטריה שלהם משותף. בדיוק מעל מרכז הסליל הוצבה זרוע שניתן להזיזה והנושאת את מד השדה המגנטי.

הסלילים חוברו לספק מתח של 24 וולט דרך ראוסטט ואמפרמטר, והזרם בהם זרם חשמלי קבוע של 1.5A. השדה המגנטי בנקודות שונות על ציר הסימטריה

(המשותף) של הסלילים, נמדד באמצעות מד השדה המגנטי. אחרי שתוצאות המדידה נרשמו בטבלה, שורטט גרף המתאר את תלות עצמת השדה המגנטי B בנקודה על ציר הסימטריה של הסלילים, במרחק x של הנקודה ממישור הסליל התחתון. בגרף א' מוצגות תוצאות הניסוי כשרק בסליל א' זרם, זרם, גרף ב' מייצג את תוצאות הניסוי כאשר רק בסליל ב' זרם וגרף ג' את התוצאות כאשר בשני הסלילים זרם אותו הזרם. הקו המלא הוא הקו התאורטי, והנקודות הן נקודות מדודות.

(מתוך מאמרו של צבי גלר "אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים" תהודה 18.2)



ענו על הסעיפים הבאים:

1. זהו את המכשירים המופיעים בתצלום וציינו לפי האות המסמנת כל אחד מהם, את תפקידו בניסוי.

שם המכשיר	האות המתאימה	תפקידו בניסוי
ספק		
סרגל מדידה		
מד זרם/מתח אנלוגי		
מד זרם/מתח דיגיטאלי		
נגד משתנה		

2. הסבירו כיצד אפשר למדוד שדה מגנטי וכתבו מהן יחידותיו לפי שיטת MKS. מהו ערכה של יחידה אחת של השדה המגנטי ביחידות הבסיס מטר, ק"ג, שנייה, קולון? הסבירו את שיקוליכם.

3. מהם המשתנים הנבדקים בניסוי? מהו המשתנה התלוי, ומהו המשתנה הבלתי תלוי? מהי שאלת המחקר?

4. השאלות הבאות מתייחסות לגרפים:

א. מה מייצג כל אחד מהצירים? מהן היחידות בכל ציר? היכן, לפי התרשים, נבחרה להיות ראשית הצירים? מה מייצגות נקודות המקסימום של הגרפים? מהו המרחק האנכי בין שני הסלילים? נמקו את תשובותיכם.

ב. מהי המשמעות של הערכים השליליים בציר ה-x? אילו שתי עובדות אפשר ללמוד על השדה המגנטי מהסימטריה של גרף א'?

ג. הראו בעזרת דוגמאות מתוך הגרפים כי גרף ג' הוא סופרפוזיציה של הערכים המיוצגים בשני הגרפים האחרים.

ד. לפי גרף ג', עבור איזה תחום של ערכי x השדה מגנטי הוא בקירוב אחיד? היכן מצוי תחום זה בניסוי? כיצד אפשר להסביר את היווצרותו של השדה האחיד?

מתוך ניתוח תאורטי נובע שמתקיים הקשר הבא בין המשתנים בניסוי:

$$B = \frac{\mu_0 N r^2 I}{2(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

כאשר r הוא רדיוס הסליל, N הוא מספר הליפופים ו-I הוא הזרם.

הראו שהיחידות משני האגפים של הביטוי זהות. הסבירו כיצד ניתן להסיק מתוך ביטוי זה שהערך המקסימלי עבור השדה המגנטי מתקבל במרכז הסליל. האם התצפית במקרה זה מתלכדת עם הניבוי התאורטי? הסבירו במילים את נימוקיכם.

ה. בניסוי המתואר למעלה אין בעצם תפקיד לנגד המשתנה. הציעו בעזרת אותה המערכת ניסוי אחר שבו לנגד המשתנה יש תפקיד. מה תהיה מטרת ניסוי זה? מה יהיה המשתנה התלוי, ומה המשתנה הבלתי תלוי בניסוי?

ו. על סמך התוצאות המתוארות לעיל, מתי כדאי להשתמש בשני סלילי הלמהולץ?

סיכום

במאמר הנוכחי ניסינו להדגים כיצד השתמשנו במאמר "אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים", שנכתב על ידי צבי גלר המנוח ופורסם ב"תהודה", כדי לחבר שתי שאלות "קצת אחרות": שאלת מאמר מדעי המקדמת את יכולת ההתמודדות של התלמידים עם מאמר מדעי המציג לפני הקוראים נושא הנמצא מעבר לתכנית הלימודים ושאלת חקר המקדמת מיומנויות חקר.

ראינו בשאלות אלה אמצעי לפיתוח היכולת של התלמידים להתמודד עם טקסטים מדעיים המתאימים לרמתם ולהשתמש לשם כך בידע ובמיומנויות שרכשו במהלך לימודי הפיזיקה שלהם. מעבר לכתיבה הבהירה ולוחחב היריעה ההיסטורית והמדעית, הבחירה שלנו במאמר של צבי "אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים" הונחתה על ידי העקרונות הבאים: א. דרך המאמר יוכלו התלמידים להכיר תופעה שלא הכירו במסגרת לימודיהם הרגילים (אלקטרומגנטיות במקרה זה). מדובר בתופעה שאפשר להסביר על סמך החוקים שהתלמידים למדו, ללא "תוספות". ב. המאמר מקשר בין ניסוי, הסבר תאורטי ויישום (במכשיר למדידת עצמת שדה מגנטי). ג. תוצאות הניסויים המוצגים במאמר מאפשרות לתלמידים להרחיב את קשת ההסתכלות שלהם על נושאים שהם לומדים בתכנית הרגילה (השדה המגנטי בהשפעת כריכה נושאת זרם במקרה זה) ולהבין טוב יותר את המשמעות של חוקים ועקרונות פיזיקליים (חוק ביו סאוור וסופרפוזיציה של שדות מגנטיים).

אנחנו סבורים שעקרונות אלו בבחירת המאמר הם כלליים, והם יכולים לשמש גם מורים אחרים בבחירת המאמרים שאותם ירצו להציג לפני תלמידיהם.

מצד אחד, רשימת המטרות שהוצגה במאמר ארוכה, ומצד אחר, אין היא שלמה, ואולי יש בכך כדי להרתיע מורים רבים מעיסוק בשאלות מסוג זה. לנו נראה כי קודם כל יש לשאול: האם המטרות המוצגות כאן הן בעלות חשיבות עבורנו בהוראת הפיזיקה והאם אנחנו מצליחים לקדם את תלמידינו במידה מספקת לשם השגת מטרות אלו.

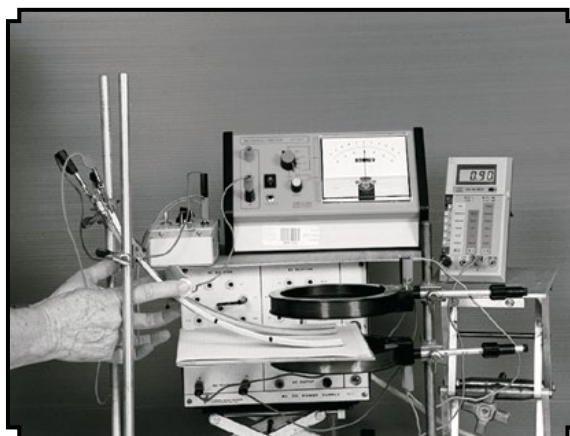
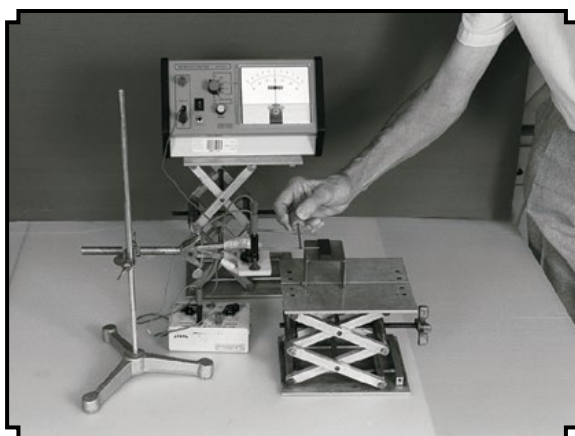
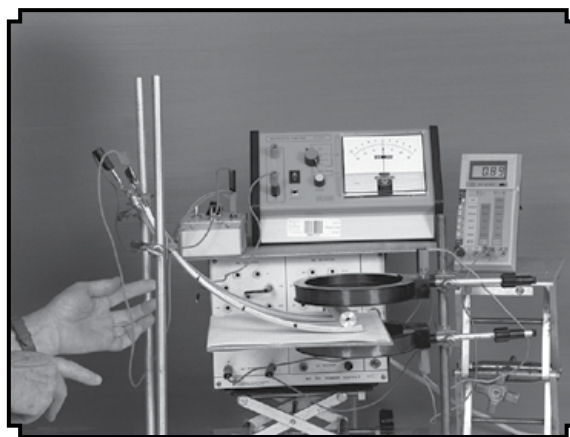
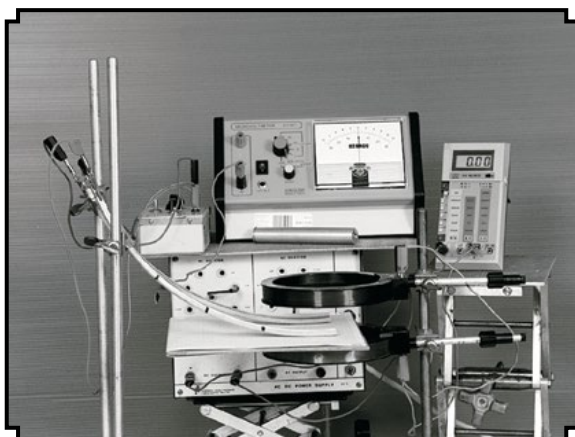
בכל מקרה אפשר להשתמש בשאלות אלו או דומות להן גם בחלקים. אנו ממליצים למורים לעבוד על השאלות בכיתה, להשתמש בהן כמקור להעשרת פעילות במעבדה ובכלל, ולאתגר בעזרתן תלמידים מתקדמים.

השימוש במאמרים מ"תהודה" יכול לסייע בהפצת מאמרים אלו גם בקרב התלמידים. מאמר טוב מאפשר מגוון רחב של שאלות ועושר של אפשרויות הפעלה בכיתה, ואין ספק שמבחינות אלו המאמר שבחרנו מהווה דוגמה טובה. לכל שאלה ניתן להוסיף עוד שאלות משנה כמו היבטים יישומיים (למשל, לבקש מן התלמידים תיאור עקרוני של אופן פעולת מד שדה מגנטי המבוסס על אפקט הול, או לברר אם ניתן לקבל אפקט הול עבור מוליך אלקטרוליטי שבו שני סוגי המטען נמצאים בתנועה). אם השאלות המבוססות על מאמרים ייכנסו לתכנית הלימודים ואולי גם לבחינת הברורות, יוכלו המורים למצוא ב"תהודה" בסיס טוב להסתמך עליו בחיבור שאלות.

אנחנו מזמינים את ציבור המורים להעיר את הערותיהם, לחבר שאלות המבוססות על מאמרים המפורסמים בעיתוני מורים לפיזיקה ולהציג לפני כולנו.

מקורות

1. האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך <http://cms.education.gov.il/>
2. ברוקר חיים, ניסויים מתקדמים בפיזיקה לכיתות י"א-י"ב, תשמ"ה, חקירת שדות מגנטיים בעזרת סליל בוחן, עמ' 7-15.
3. גלר צבי, אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים. "תהודה" (2) 18, עמ' 13-21.
4. קרקובר זאב, תורת האלקטרון של לורנס, "תהודה" (2) 17, עמ' 11-15.



"הפרדת מטענים במוליך הנע בשדה מגנטי"
הערך החינוכי של ניסוי פיזיקאלי" - צ. גלר, תהודה 20-1