

השדה המגנטי: פירוט, דגשים, הערות דידקטיות

מבוא

רוב המושגים הנלמדים באלקטרומגנטיות הם מופשטים ורחוקים מחיי היום-יום של התלמידים. די בעובדה זו לגרום להם קשיי הבנה. יתרה מזאת; לתלמידים רבים תפיסה מרחבית לקויה, והיות והבנת המושגים הקשורים במגנטיות מצריכה גם ראייה מרחבית, הם מתקשים מאוד בהבנת המושגים ובראיית הקשרים ביניהם. הדגמות, ניסויים והדמיות יסייעו כאן.

קיימות שתי גישות מרכזיות להגדרת כיוון השדה המגנטי, ושתיהן קובעות את סדר הוראת המושגים בפרק זה:

גישה א': כיוון השדה המגנטי ככיוון שלאורכו מסתדרת מחט מגנטית. לפי גישה זו, סדר הוראת הנושאים יכול להיות כדלהלן:

- **שדות מגנטיים** של מגנטים וזרמים (ללא התייחסות לתכונות המגנטיות של חומרים).
- השפעת השדה המגנטי על זרם, הגדרת עצמת השדה המגנטי.
- הקשר בין השדה המגנטי ומקורותיו, דוגמאות: בקרבת תיל ארוך מאוד, במרכז כריכה מעגלית, בסילונית.
- כוח בין זרמים מקבילים: הגדרת האמפר.
- כוח הפועל על מטען הנע בשדה מגנטי.
- יישומים של הכוח המגנטי, דוגמאות: אפקט הול, ספקטרוגרף המסות, ציקלוטרון ובורר מהירויות.

גישה ב': כיוון השדה המגנטי נגזר מהכוח שהשדה המגנטי מפעיל על מטען נע: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$. זוהי הגדרה אופרטיבית, הדומה להגדרת כיוון השדה החשמלי ככיוון הכוח הפועל על מטען חיובי.

לפי גישה זו, ניתן להתחיל בשני הנושאים האחרונים בגישה א' (סעיפים 4.5 ו-4.6), ולהמשיך בקשר שבין השדה המגנטי למקורותיו.

ההערות והפירוט שבהמשך ערוכים לפי הגישה הראשונה, אולם כל מורה יכול לאמץ את הגישה הרצויה לו.

4.1 שדות מגנטיים של מגנטים וזרמים (2 שעות)

- א. התלמידים יתוודעו לאופי הווקטורי של השדה המגנטי. חשוב להדגיש כי שדות מגנטיים מקיימים את עקרון הסופרפוזיציה וכלל החיבור שלהם הוא וקטורי. כיוון השדה המגנטי בנקודה זהה לכיוון מחט מגנטית באותה הנקודה.
- ב. ניתן לתאר שדה מגנטי באמצעות קווי שדה.
- ג. יש להדגיש שקווי השדה המגנטי הם תמיד קווים סגורים, בעוד שקווי השדה האלקטרוסטטי מתחילים במטען חיובי או באי-סוף ומסתיימים במטען שלילי או באי-סוף.
- ד. בשלב זה כדאי להציג ניסויים המנצלים את אופיו הווקטורי של השדה המגנטי הארצי להדגמת אופיו הווקטורי של השדה המגנטי.

4.2 השפעת השדה המגנטי על זרם, עוצמת השדה המגנטי (3 שעות)

- א. רצוי לבצע ניסויים שונים (למשל, מאזני זרם) שידגימו את הכוח שהשדה המגנטי מפעיל על מטענים נעים, דהיינו על זרם חשמלי. בניסויים אלו ניתן לחקור את תלות הכוח בפרמטרים השונים: עוצמת השדה, עוצמת הזרם והזווית שבין כיוון השדה וכיוון הזרם.
- ב. יש להראות שכיוון הכוח המגנטי מאונך לכיוון השדה המגנטי ולכיוון תנועת המטענים.

4.3 הקשר בין השדה המגנטי ומקורותיו (5 שעות)

- א. רצוי להתייחס לזרם החשמלי כאל אחד ממקורות השדה המגנטי.
- ב. הניסוי עם הגליונומטר הטנגנטי מדגים גם את העובדה שהשדה המגנטי הוא וקטור.
- ג. יש להדגיש כי הקוטב הצפוני של כדור הארץ הוא למעשה קוטב מגנטי דרומי (S).
- ד. כדאי להדגים מצפן אנכי, להסביר את המושג "רכינה" ולציין מניין היא נובעת.
- ה. כדאי להזכיר כי יש סטייה קטנה (כ- 2 מעלות) בין ציר הסיבוב של כדור הארץ ובין הקו המחבר בין הקטבים.
- ו. אין צורך להשתמש בחוק אמפר ובחוק ביו-סָנֹר בצורתם הכללית לחישוב השדה במרכז סילונית ובמרכז כריכה מעגלית. אימות נוסחאות אלו ייעשה באמצעות ניסוי.

4.4 כוח בין זרמים מקבילים והגדרת האמפר (2 שעות)

- האמפר מצטרף ליחידות המדידה הבסיסיות ב-SI המוכרות מהמכניקה. האמפר, היחידה של עוצמת הזרם החשמלי, מוגדר בעזרת הכוח הפועל בין שני תילים מקבילים נושאי זרם.

4.5 כוח הפועל על מטען הנע בשדה מגנטי (4 שעות)

א. בדיון הראשוני בכוח המגנטי, עוסקים בשדה מגנטי קבוע בזמן. בהקשר זה יש להדגיש כי מאחר שהכוח המגנטי מאונך תמיד לכיוון תנועת המטען הנע בשדה המגנטי, עבודתו על המטען היא אפס. שדה מגנטי, קבוע בזמן, אינו משנה את האנרגיה הקינטית של המטען. משמעות מסקנה זו היא שלא ניתן להשתמש בשדה מגנטי בלבד לשינוי גודל מהירות המטענים. על אף שקיים שדה מגנטי המשתנה עם הזמן, המלווה שדה חשמלי המסוגל להאיץ מטענים, לא מומלץ להזכירו בשלב זה. הדיון בנושא יהיה בשלב מאוחר יותר.

ב. הסיבה לכך שחלקיק טעון הנכנס לשדה בניצב לכיוון השדה, נע בתנועה מעגלית - אינה רק הכוח הפועל עליו המכוון במאונך למהירות, אלא העובדה שגודל הכוח הוא קבוע, אם השדה אחיד.

ג. אפשר להציג את הכוח המגנטי $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ כמכפלה וקטורית.

ד. כדאי להשוות בין הכוח על מטען הנע בשדה מגנטי: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ ובין הכוח בשדה האלקטרוסטטי $\vec{F} = q\vec{E}$. חשוב שהמורה יהיה מודע לאנלוגיה מוטעית העלולה להיווצר בין שני כוחות ושדות אלה - החשמלי והמגנטי, ועליו להדגיש את הדומה והשונה ביניהם.

כוח מגנטי	כוח חשמלי
- פועל על מטען נע.	- פועל גם על מטען נע וגם על מטען נח.
- כיוונו על מטען חיובי הוא מאונך למישור שנוצר על-ידי וקטור השדה המגנטי ווקטור המהירות של המטען.	- כיוונו על מטען חיובי הוא ככיוון השדה החשמלי.
- אינו עושה עבודה.	- עושה עבודה.

ה. קיימת נטייה להדגיש במיוחד תנועה במסלול מעגלי בשדה מגנטי, וזאת על חשבון דיון בתנועה במסלולים אחרים ודיון בתנאים הדרושים לקיומה של תנועה זו. נטייה זו עלולה ליצור אצל התלמידים את הרושם כאילו תנועה במסלול מעגלי היא התנועה הבלעדית האפשרית בשדה מגנטי. כדאי לנתח איכותית תנועות במסלולים אחרים ולהצביע על שני רכיבי המהירות - המאונך לשדה המגנטי והמכוון לאורך קו השדה. בהקשר זה אפשר להזכיר את חגורות ון-אלן.

4.6 יישומים של הכוח המגנטי (3 שעות)

כיישום פשוט של הכוח המגנטי, ניתן להזכיר כאן מכשירים פשוטים, כמו ממסרים אלקטרומגנטיים, רשמי-זמן ומנופים אלקטרומגנטיים. כיישומים מתקדמים של הכוח המגנטי, ניתן לדון בספקטרוגרף המסות, בציקלוטרון ובמאיצי חלקיקים מעגליים.