

אלקטרומוגנטיות

הקדמה לאלקטרומוגנטיות

על מטרת הוראת האלקטרומוגנטיות ועל קשיים בהשגתן

- א. אלקטרומוגנטיות היא אחד משלושת נושאי החובה בתכנית הלימודים. פרט למרכזיותה בפיזיקה הקלאסית ולתרומתה העצומה לכל תחומי הטכנולוגיה המודרנית, ראוי לציין את מעמדה המיוחד כחוליה מקשרת בין פרקי המכניקה הניוטונית לבין פרקי הנושא "קרינה וחומר" שיילמדו בהמשך. הפרק המסיים את לימודי המכניקה - "כבידה" - הציג בפני התלמידים את אחד הכוחות היסודיים בטבע והצביע, גם אם במרומז, על האפשרויות והיתרונות של שימוש במושג "השדה המשמר" לטיפול בכוח הכבידה, כמו גם בהוראת השדה החשמלי ב"אלקטרומוגנטיות" ובהוראת "אנרגיית הקשר" ב"קרינה וחומר".
- ב. בלימודי האלקטרומוגנטיות יכירו התלמידים כוח יסודי נוסף - הכוח החשמלי - האחראי למבנה החומר ולמרבית תכונותיו. חשוב להדגיש ששני כוחות יסודיים אלה - כבידה וכוח חשמלי - הם ארוכי טווח, ושהחוקים המבטאים את תלותם במרחק, דומים. (כלומר, עצמת כוח הכבידה בין חלקיקי מסה נקודתיים ועצמת הכוח החשמלי הפועל בין חלקיקים נקודתיים טעונים - נמצאים ביחס הפוך לריבוע המרחק בין החלקיקים).
- ג. סדר ההוראה המוצג בתכנית זו פותח בהוראת פרקי האלקטרוסטטיקה ולאחריהם הפרקים העוסקים במעגלי זרם ישר. קיימת אפשרות להוראה בסדר אחר: מנושאי הזרם הישר, הקלים יותר להבנה, אל האלקטרוסטטיקה הקשה יותר. יתרון נוסף של הגישה האחרונה הוא בהטמעת מושגים הקשורים לעולמם של התלמידים כמו: מתח, זרם, התנגדות ואנרגיה חשמלית, לפני מושגים מופשטים יותר כמו שדה ופוטנציאל.
- ד. נושאים פיזיקליים רבים הכלולים בפרקי הקרינה והחומר מבוססים על עובדות, על תאוריות ועל חוקים שנלמדים בפרקי האלקטרומוגנטיות. הדוגמאות רבות: בחקר האור מתבססים על משוואות מקסוול המצביעות על כך שהאור הוא גל אלקטרומוגנטי; העיסוק במבנה החומר, מתבסס על תכונותיו החשמליות. למעשה, הפעלת רוב השפופרות המדגימות אינטראקציה של אור עם חומר, מתבססת על חוקי האלקטרומוגנטיות.

על קשיים בהוראת האלקטרומגנטיות ועל דרכי הוראה מומלצות לטיפול

בקשיים האלה

למידה והוראה בנושאי חשמל, מגנטיות והשראה אלקטרומגנטית נחקרו באופן מעמיק גם בארץ וגם בעולם. להלן סקירה קצרה של הממצאים המרכזיים המתייחסת לקשיים של תלמידים ולדרכי טיפול שהוכחו כיעילות.

מושגים מופשטים

לימוד פרקי האלקטרומגנטיות כרוך בקליטה והפנמה של ידע פיזיקלי רב ומגוון, שחלקו אינו אינטואיטיבי ואינו שייך לעולם המושגים המוכר לתלמידים. המושגים "שדה", "שטף", "פוטנציאל", מושגים מרכזיים באלקטרומגנטיות, הם דוגמאות טובות לכך. על מנת לסייע לתלמידים בהבנת מושגים מופשטים, מומלץ להרבות בפעילויות מסוגים שונים שבהן שכיחים המושגים האלה. יש להרבות בניסויים פשוטים, אך בעלי משמעות פיזיקלית רבה. ניסויים, הדגמות, הדמיות או אפילו איורים מוצלחים, יצרו במוחו של התלמיד מבני ידע עשירים סביב המושגים המופשטים.

קשיים מתמטיים

לימודי האלקטרומגנטיות מצריכים שימוש ביכלים מתמטיים כבדים. חשוב לזכור שאינטגרל לאורך קו $(\int \vec{E} \cdot d\vec{r})$ ואינטגרל על פני משטח $(\int \vec{E} \cdot d\vec{A})$ נראים מאיימים וקשים יותר מאשר הם בפועל. למעשה, כל מה שנדרש הוא להבין את משמעותם של סמלים אלה (כלומר שמדובר בביצוע פעולת סכימה מתאימה). במקרים הנדונים בתכנית הלימודים, "פעולות האינטגרציה" הן טריוויאליות לחלוטין ואינן מצריכות מיומנות טכנית בחשבון האינטגרלי. כנגד זאת, הבנת משמעותם של הסמלים חשובה ביותר, למשל כדי להגדיר בעזרת האינטגרל הקווי מושגים כמו "שדה חשמלי משמר" $(\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0)$, או "כא"מ במעגל סגור" $(\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} = \varepsilon)$, או כדי להגדיר שטף מגנטי בעזרת האינטגרל על פני משטח $(\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A})$. הרישום האינטגרלי חשוב בעיקר כדי לבטא, כגולת הכותרת של לימודי האלקטרומגנטיות, את משוואות מקסוול בריק בצורתן האינטגרלית.

מעגלי זרם

מחקרים מראים כי אף שתלמידים רוכשים מיומנות טובה למדי בטיפול באלגוריתמים מסובכים, כגון שימוש בחוקי קירכהוף, הם אינם מסוגלים לנתח איכותית מעגלים חשמליים פשוטים.

לדוגמה :

- א. תלמידים מנתחים מעגלים חשמליים באופן 'לוקאלי'. הם אינם מביאים בחשבון ששינוי במקום מסוים במעגל החשמלי גורם לשינויים במערכת כולה.
- ב. מושג הזרם נתפש כמושג המרכזי והראשוני במעגלים חשמליים. לפיכך, אצל חלקם מושרשת התפיסה כי הפרש הפוטנציאלים הוא התוצאה של זרימת הזרם. אם לא זורם זרם דרך נגד מסוים, תלמידים יטענו שהפרש הפוטנציאלים בין קצותיו שווה לאפס. בקטגוריה זו, כלולה גם הדעה הרווחת שהסוללה היא מקור לזרם קבוע.

מבין ההמלצות הרבות להוראה טובה יותר של מושגים הקשורים למעגלי זרם, נציין את הבאות :

- א. בשונה מגישה רווחת שלפיה מושג הזרם מוצג כמושג ראשוני, מומלץ להציג את המתח (הפרש הפוטנציאלים) כמושג ראשוני שממנו נובע הזרם.
- ב. כדאי להמעיט בתרגילים כמותיים מורכבים שאינם משפרים את ההבנה ולהרבות בתרגילים איכותיים. השינויים המרכזיים בסילבוס החדש באלקטרוטכניקה, תואמים המלצה זו (כגון, חוקי קירכהוף רק ל-2 נקודות צומת).
- ג. כדאי לבקש מהתלמידים ניתוח של מערכות דינמיות, כגון השינויים החלים במעגל כאשר לנגד קיים מוסיפים נגד אחר במקביל.

זרמים חולפים (טרנזיאנטים) במעגלים חשמליים (סגירה ופתיחה של מעגל, טעינה ופריקה של קבל)

מחקרים מזהים חוליה חסרה בין האלקטרוסטטיקה לבין מעגלי זרם. תלמידים אינם מקשרים בין מושגים באלקטרוסטטיקה כמו "שדה" ו"פוטנציאל" לבין מושגים במעגלי זרם כמו "זרם", "מתח" ו"התנגדות". חסרונו של הקשר הזה אינו מאפשר הבנה של מנגנון הזרימה בזרם קבוע או הבנה של טרנזיאנטים במעגלים פתוחים. התלמידים בונים לעצמם הסברים חלופיים כמו: הזרם זורם בגלל ה'נטייה להשוות ריכוזים'.

במעבר בין הוראת האלקטרוסטטיקה להוראת הזרם (או בין הוראת הזרם לאלקטרוסטטיקה) מומלץ:

- א. לשים דגש על טרנזיאנטים במעגלים חשמליים. ניתן להדגים זאת על-ידי הכנסת קבלים גדולים, המאפשרים מעקב אחרי השינויים ללא צורך במכשירי מדידה ממוחשבים.
- ב. לנתח באופן איכותי את המנגנון המסביר את זרימת הזרם. אין כאן המלצה לעיסוק נרחב במודל של פיזור מטעני השפה. ניתן להסביר את המנגנון האחראי לזרימת הזרם במעגל פשוט, באופן

איכותי, כך שיתקבל על דעתם של התלמידים. מומלץ להראות ניסוי הממחיש את קיומו של השדה החשמלי האלקטרוסטטי מחוץ ובתוך המוליכים נושאי הזרם. בהקשר הזה, חשוב להשתמש במושגים "שדה", "פוטנציאל" ו"מטענים" הלקוחים מהאלקטרוסטטיקה.

תמונת עולם של האלקטרומגנטיות

מחקרים לבדיקת רמת הידע וההבנה בנושאי אלקטרומגנטיות מראים שלתלמידים רבים אין בתום הלימוד תמונה קוהרנטית ונכונה של החומר. למרות שיש להם יכולת טכנית מסוימת בפתרון בעיות מספריות, הם חסרים לעתים קרובות הבנה מניחה את הדעת של היסודות הפיזיקליים שעליהם מבוסס הפתרון. כמו כן, תלמידים מתקשים לראות את הקשרים בין העקרונות הפיזיקליים לבין הניסוי, ההדמיה, ההדגמה או הבעיה.

נמצא שחסרונה של תמונה קוהרנטית מוביל בהכרח גם לקשיים בהבנה של המושגים והיסודות הפיזיקליים של האלקטרומגנטיות.

מספר דוגמאות לקשיים ולתפיסות שגויות בהבנת המושג "שדה" ולהשלכות על מושגים אחרים:

א. השדה האלקטרוסטטי נתפס כישות סטטית. תלמידים רבים מתעלמים מהשינויים החלים בשדה האלקטרוסטטי בעת הכנסת מטען נוסף לשדה קיים.

ב. תלמידים נוטים בטעות להתייחס לפוטנציאל בנקודה כמו לשדה באותה נקודה: אם ערכו של השדה הוא אפס, גם ערך הפוטנציאל יהיה אפס באותה נקודה, ולהפך.

יש לעזור לתלמידים בבניית תמונת עולם פיזיקלית ובשיפור ההבנה, וזאת באמצעות פעילויות המכוונות ליצירת הקשרים החסרים או הלקויים. בכך יסייעו הדגמות רבות של ניסויים פשוטים בעלי משמעות פיזיקלית, המפתחים גם יכולת ניתוח וחשיבה איכותית; וכן, בסיומו של כל פרק, שיעורי חזרה מובנים, המשלבים תרגילי קישור בין הניסוי והתאוריה, בין הבעיה והעקרונות הפיזיקליים הדרושים לפתרון וכדומה.

חלוקה לפרקים ושעות מומלצות

| שעות מומלצות | שם הפרק | מס' הפרק |
|--------------|------------------------------|----------|
| 15 | חוק קולון והשדה האלקטרוסטטי | 1 |
| 14 | פוטנציאל חשמלי, קיבול וקבלים | 2 |
| 25 | מעגלי זרם ישר | 3 |
| 19 | השדה המגנטי | 4 |
| 17 | השראה אלקטרומגנטית | 5 |
| 90 | סה"כ | |