

# אלקטרומגנטיות

## הקדמה

### על מטרות הוראת האלקטרומגנטיות ועל קשיים בהשגתן

האלקטרומגנטיות היא בדרך כלל הפרק השני בתכנית הלימודים ל-3 יח"ל בפיזיקה. לאחריה בתכנית יבוא הפרק קרינה וחומר. מטרות הוראת הפרק היא הכרת כוח יסודי נוסף בטבע – הכוח החשמלי, המהווה בסיס לרוב תכונות החומרים בטבע, וכן הסברת החוקים הקשורים לתופעות החשמליות והמגנטיות. נושאים פיזיקליים אחדים (כמו טבעם של הגלים האלקטרומגנטיים ומבנה האטום), הכלולים בפרקי הקרינה והחומר, מבוססים על מושגים וחוקים מן האלקטרומגנטיות כך שהנושא מהווה קשר בין הפרק מכניקה והפרק קרינה וחומר ומשמש בסיס ללימוד הפרק קרינה וחומר.

יותר מאשר במכניקה, מושגי היסוד של האלקטרומגנטיות (כמו שדה או פוטנציאל ואפילו מטען חשמלי) מופשטים בחלקם ואינם אינטואיטיביים לתלמידים. כיוון שאינם ניתנים להמחשה בקלות, הוראת נושא זה כרוכה בהתגברות על קשיים נוספים לאלה שנתקלנו בהם בעת הוראת המכניקה. אמנם התלמידים אינם מגיעים מחטיבת הביניים עם תפיסות מוטעות רבות באלקטרומגנטיות, אך לעומת זאת הם מתקשים לפתח הבנה של המושגים הפיזיקליים החדשים, או לראות את הקשרים בין החומר הנלמד לעקרונות הפיזיקליים שהוצגו במהלך הוראת המכניקה.

מחקרים לבדיקת רמת הידע וההבנה של תלמידים בנושאי אלקטרומגנטיות מראים שבתום הלימוד, לרבים מהם אין תמונה קוהרנטית ונכונה של הנושא. גם נמצא שחירוה של תמונה קוהרנטית מוביל בהכרח לקשיים בהבנה של המושגים ושל היסודות הפיזיקליים של האלקטרומגנטיות. אמנם, ייתכן שתלמידים יכולת טכנית מסוימת בפתרון בעיות מספריות, אך לרוב הם חסרים הבנה מניחה את הדעת של היסודות הפיזיקליים שעליהם מבוסס הפתרון. יתרה מזאת, התרגול שלהם מתבסס בעיקר על נוסחאות ושינון כאלגוריתמים ועל גישה שהיא טכנית בעיקרה. אפילו במקרה של מעגלי זרם ישר נמצא שתלמידים רבים מתקשים בהבנה איכותית של מעגלים פשוטים.

## עקרונות דידקטיים ודרכי הוראה

כדי 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, יסייעו ללומדים ליצור מבני ידע עשירים סביב המושגים המופשטים. לשם כך יש לנצל את הכלים הטכניים והחשיבתיים ואת הניסיון שנרכש במהלך הוראת המכניקה וללמד באופן ספירלי עקרונות דומים, כגון חוקי שימור או ניתוח מערכות בעלות מספר רכיבים. לדוגמה; ניתן להשוות את חוק שימור המטען לחוק שימור המסה ולהראות את הדמיון בין משוואת הכוח בחוק קולון לבין משוואת הכוח בגרביטציה. את הוראת נושא האנרגיה החשמלית מומלץ לבסס על הנושא המוכר - האנרגיה המכנית. את המושג החדש, "פוטנציאל", כדאי להמחיש בעזרת אנלוגיה מכנית של הגובה.

כדי להגביר הנעה ועניין, חשוב לקשר כל נושא נלמד לחיי היום-יום. מומלץ אפוא שמורים המלמדים במסלול הטכנולוגי יקשרו את הנלמד למערכות טכנולוגיות שהתלמידים מכירים. כדאי לציין שלמרות שסדר ההוראה המוצג בתכנית זו פותח בהוראת האלקטרוסטטיקה ולאחריה מעגלי זרם ישר, אפשר להורות בסדר אחר: מהזרם הישר, הקל יותר להמחשה, אל האלקטרוסטטיקה. יתרון נוסף של הגישה האחרונה הוא בהפנמת מושגים הקשורים לעולמם של התלמידים, במיוחד אלה הלומדים במסלול הטכנולוגי למשל: מתח, זרם, התנגדות ואנרגיה חשמלית – לפני מושגים מופשטים יותר כמו שדה ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית.

### פתרון בעיות

בהקדמה למכניקה נמנו המלצות על מה להקפיד במהלך פתרון הבעיות כדי לשפר את הישגי התלמידים באמצעות תרגול. כללים אלה תקפים גם כאן, במיוחד עבור מורים המלמדים אלקטרומגנטיות לפני המכניקה (למשל, לתלמידי המסלולים הטכנולוגיים). שוב נדגיש כי בהוראת נושא זה חשוב לעסוק, לצד התרגילים הכמותיים, גם בתרגילים פרמטריים, שבהם התלמידים מתבקשים לחקור את התלות של גודל פיזיקלי בפרמטרים שונים. הכנסת תרגילים פרמטריים תיעשה בהדרגה, בהתאם לרמת הבשלות של התלמידים. גם כאן, כמו במכניקה, מומלץ להמעיט בתרגילים כמותיים מורכבים שאינם משפרים את ההבנה, ולהרבות בתרגילים איכותיים הדורשים הבנה, מיומנויות חשיבה ויכולת התבטאות מילולית.

## ניסויים ופעילויות מחשב

בהערות הדידקטיות של התכנית מופיעים קישורים לפעילויות ממוחשבות. בגרסה הדיגיטלית ניתן ללחוץ על "המילים החמות" של שמות הפעילויות כדי להגיע אל אתרי האחסון שלהן. שמות הפעילויות הממוחשבות וכתובותיהן נכונים לזמן כתיבת התכנית ועשויים להשתנות עם הזמן. עדכונים נוספים אפשר למצוא באתר המרכז הארצי של מורי הפיזיקה. הסברים נוספים מפורטים במבוא הכללי לתכנית הלימודים.

## חלוקה לפרקים

מס' הפרק	שם הפרק	מס' שעות מומלצות
1	אלקטרוסטטיקה	10
2	מעגלי זרם ישר	27
3	השדה המגנטי	24
4	השראה אלקטרומגנטית	16
	סה"כ	77

## טבלת הפרקים ופירוטם

שעות	פעילויות מומלצות וניסויי חובה	נוסחאות	פירוט	נושא
10			1. אלקטרוסטטיקה	
2	הדגמת תופעות אלקטרוסטטיות בעזרת אלקטרוסקופ. הדגמת צלב מלטזי.		תופעות חשמליות, מטענים חשמליים. מוליכים ומבודדים.	1.1 תופעות חשמליות
4	הדמיות של חוק קולון.	$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$	יחידת המטען, המטען החשמלי היסודי. חוק קולון.	1.2 חוק קולון
3	הדגמת קווי שדה בעזרת מתח גבוה וגרייט סולת הצפים בשמן. הדגמת שדה בין לוחות קבל בעזרת פיסות נייר.	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	השדה החשמלי. שדה חשמלי אחיד בין לוחות מקבילים. קבל לוחות (איכותי). המושגים: "קיבול" ו"קבל" (איכותי).	1.3 השדה החשמלי
1			אנרגיה פוטנציאלית חשמלית (אנלוגיה למכניקה). מתח (איכותי).	1.4 אנרגיה פוטנציאלית חשמלית

שעות	פעילויות מומלצות וניסויי חובה	נוסחאות	פירוט	נושא
27			2. מעגלי זרם ישר	
9	2	$i = \frac{dq}{dt}$	2.1.1 המעגל החשמלי: מתח, זרם והתנגדות.	2.1 המעגל החשמלי – מושגי יסוד
	5	$i = \frac{V}{R}$	2.1.2 חוק אוהם. מדידת מתח, זרם והתנגדות. חיבור מכשירי מדידה.	
	2	$R = \rho \frac{\ell}{A}$	2.1.3 מוליכים ומבדדים. תלות ההתנגדות בחומר (התנגדות סגולית), באורך ובחתיך הרוחב. תלות בטמפרטורה – איכותי.	
15	4	$R_T = R_1 + R_2 + \dots$ $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$	2.2.1 חיבור נגדים בטור ובמקביל, חוק הצומת. השימוש בנגד משתנה (ראוסטט, פוטנציומטר).	2.2 מעגלי זרם ישר
	9	$V = \varepsilon - ir$	2.2.2 כא"מ, מתח הדקים והתנגדות פנימית.	
	1		2.2.3 חיבור מקורות מתח זהים בטור ובמקביל (איכותי).	
	1		2.2.4 מכשירי מדידה אידיאליים ולא אידיאליים (איכותי).	
3		$P = \frac{dW}{dt}$ $P = V \cdot i$	אנרגיה והספק במעגל חשמלי.	2.3 אנרגיה והספק

שעות	פעילויות מומלצות וניסויי חובה	נוסחאות	פירוט	נושא
24	3. השדה המגנטי			
11	1	מיפוי שדות מגנטיים באמצעות מצפן.	3.1.1 ההבדל בין שדה מגנטי לחשמלי. השדה המגנטי של כדור הארץ. יחידת השדה המגנטי – טסלה.	3.1 שדה מגנטי ומקורותיו
	10	ניסוי חובה: השדה המגנטי של סליל דק (למשל: גליונומטר טנגנטי). השדה המגנטי בתוך סילונית.	3.1.2 שדה מגנטי בקרבת מוליכים נושאי זרם: • תיל ישר וארוך. • במרכז כריכה מעגלית. • סילונית (איכותי בלבד).	
13	6	$F = qvB \sin \alpha$ מדידת היחס e/m.	3.2.1 כוח הפועל על מטען הנע בשדה מגנטי. תנועת חלקיק בשדה מגנטי אחיד.	3.2 כוחות מגנטיים
	5	מאזני זרם.	3.2.2 כוח על תיל נושא זרם הנמצא בשדה מגנטי.	
	2		3.2.3 יישומים של הכוח המגנטי.	
16	4. השראה אלקטרומגנטית			
7	2	הדגמת יצירת כא"מ מושרה.	4.1.1 כא"מ מושרה. זרם מושרה.	4.1 כא"מ זרם מושרה
	5		4.1.2 תנועת מוליך בשדה מגנטי קבוע.	
5	2		4.2.1 שטף מגנטי.	4.2 השראה
	3	הדגמות בעזרת מנוע חשמלי מתפרק.	4.2.2 חוק פארדיי וחוק לנץ (איכותי).	אלקטרומגנטית
		$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$		
4	2		4.3.1 גנרטור AC (איכותי), זרם חלופין.	4.3 זרם חלופין ושימושו
	2	$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}$	4.3.2 שנאי, העברת אנרגיה חשמלית למרחקים.	

\* הנוסחה איננה נכללת בחומר החובה