

פירוט, דגשים, הערות דידקטיות

1. אלקטרוסטטיקה (10 שעות)

מבוא

לעיתים קרובות האלקטרוסטטיקה היא הנושא הראשון הנלמד בפרק האלקטרומגנטיות והיא משמשת בסיס לכל הפרקים הנלמדים בהמשך. הנושא מופשט יותר מהנושאים שהתלמידים פגשו לפני כן, ולכן חשוב מאוד להרבות בהדגמות והמחשבות ולהשתמש בכל האפשר במושגים שכבר מוכרים לתלמידים. יש להדגיש בפני התלמידים כי הכוח החשמלי הוא סוג נוסף של כוח יסודי ולהציג את חוק קולון כחוק טבע שמעמדו כשל חוק הכבידה של ניוטון. הנושאים העיקריים הנלמדים בהמשך הם כולם תוצאות של חוק קולון: השדה החשמלי, אנרגיה פוטנציאלית חשמלית ומתח. כמעט כל המצבים הנדונים בפרק זה הם סטטיים.

1.1 תופעות חשמליות (2 שעות)

א. מומלץ לפתוח את הנושא בהדגמת תופעות אלקטרוסטטיות. להתחיל במשיכת פיסות נייר וקלקר או בהטיית זרם מים בעזרת מוט טעון ולהמשיך בהדגמת טעינה והשראה אלקטרוסטטית באמצעות אלקטרוסקופ.

ב. יש להסביר את התופעות והמושגים הבאים:

- קיומם של שני סוגי מטען חשמלי (מומלץ להיעזר לשם כך במד-מטען דיגיטלי – קולונמטר).
- מטענים חשמליים שווי סימן דוחים זה את זה ומטענים שוני סימן מושכים זה את זה.
- חוק שימור המטען החשמלי: בתהליכים של טעינת גופים, לא נוצרים מטענים "יש מאין". בדרך כלל מדובר בהפרדת מטענים בלבד.
- ההבדל בין השראה אלקטרוסטטית לטעינה.
- הארקה, למשל בתהליך פריקת אלקטרוסקופ.
- קיומם של מוליכים ומבודדים.

ג. בכיתות חזקות ניתן להדגים תופעות מתקדמות כמו טעינה במטען הפוך על ידי השראה, שימוש במחולל וטעינת כדור או "לוחות קבל" והדגמת צורת "קווי השדה החשמלי" (בעזרת חוטים דקים המשמשים "שערות סומרות") ועוד.

1.2 חוק קולון (4 שעות)

א. יש להגדיר את יחידת המטען (קולון) ואת המטען החשמלי היסודי (מטען האלקטרון) ולהדגיש שכל מטען מהווה כפולה שלמה של יחידה זו. בכיתות טובות ניתן לתאר בקצרה את ניסוי מיליקן.

ב. יש להסביר כי חוק קולון הוא "חוק הכוח" הפועל בין מטענים נקודתיים, בדומה לחוק הכבידה של ניוטון הפועל בין מסות נקודתיות.

ג. מומלץ להציג את "קבוע האלקטרוסטטיקה" $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ שערכו 9×10^9 (בקרום טוב)

ביחידות SI ולהשתמש בו במקום ב- ϵ_0 .

ד. יש להציג את חוק קולון למקרים של שלושה מטענים שאינם על ישר אחד. אין צורך בתרגול רב של מקרים אלה.

הדמיות:

http://webphysics.davidson.edu/physletprob/ch9_problems/ch9_1_electrostatics/electrostatics9_1_1.html

<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/nforcefield.html>

1.3 השדה החשמלי (3 שעות)

א. המושג "שדה" הוא מושג מופשט, ורוב התלמידים מתקשים להבין. כדי להקל על התלמידים להבין מושג זה, רצוי להזכיר את קיומם של שדות בתחומים שונים של הפיזיקה. מומלץ להתחיל בדוגמאות כגון שדה הכבידה של גרם שמימי או שדה הקרינה של מקור אור נקודתי (למשל, נורה קטנה). במקרים אלה ניתן להדגים כיצד ההשפעה של המקורות נחלשת ככל שמתרחקים מהם. כך גם יתנהג השדה החשמלי הנוצר על ידי מטען נקודתי (או כדורי).

ב. יש לציין כי השדות האלקטרוסטטיים נוצרים על ידי מטענים הנמצאים **במנוחה**.

ג. יש להדגיש שהשדה החשמלי הוא **שדה וקטורי**, זאת אומרת שבכל נקודה במרחב יש לשדה החשמלי גודל (הנקרא עוצמת השדה) וכיוון.

ד. ניתן להראות ייצוגים שונים של השדה החשמלי:

(1) **תושים חצים**: לכל נקודה במרחב שיש בה שדה חשמלי, אפשר להתאים חץ שגודלו פרופורציוני לעוצמת השדה וכיוונו ככיוון השדה בנקודה. חשוב לציין שהמרחב "מלא נקודות", והתאמת חץ לכל נקודה היא משימה בלתי אפשרית. מסתפקים אפוא בציור של

חצים אחדים בלבד, המייצגים את כל השאר. כל חץ יצויר לפי קנה מידה אחד, מתכונתי לעצמת השדה בנקודת מוצאו.

(2) **תרשים קווי שדה**: קווי שדה הם קווים דמיוניים, שכיוונם בכל נקודה (כלומר כיוון המשיק להם באותה נקודה) הוא ככיוון השדה החשמלי בנקודה. קווים אלו הם קווים רציפים וחלקים, היוצאים ממטענים חיוביים (או מגיעים מאין-סוף) והמסתיימים במטענים שליליים (או ממשיכים לאין-סוף). קווי השדה אמנם מתארים את כיוונו של השדה, אך לא את עצמתו. ניתן להעריך את עצמת השדה לפי צפיפות קווי השדה.

ה. יש להסביר ששדה חשמלי יכול להיווצר על ידי מקור נקודתי, על ידי מספר מקורות (אין צורך בחישובי שדות בעזרת "עקרון הסופרפוזיציה") ועל ידי לוח טעון. יש לציין כי בין לוחות מקבילים (כמו קבל לוחות) השדה אחיד בקירוב בכל נקודה.

ו. גם אם אין מידע על מקורות השדה החשמלי, ניתן לקבוע את קיומו של השדה בנקודה כלשהי אם פועל כוח על מטען חשמלי הנמצא בנקודה. יש להסביר את הנוסחה $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ המקשרת בין

השדה, הכוח הפועל על מטען נקודתי הנמצא בשדה וגודל המטען.

ז. יש להסביר בצורה איכותית את מושג הקיבול, מהו "קבל" ומהם שימושיו.

ח. ניתן להראות שקיבול של קבל תלוי במבנה של הלוחות ובחומר הדיאלקטרי המפריד ביניהם. אין צורך לדון במבנה החומר הדיאלקטרי שבין הלוחות, אלא בתפקידו בלבד.

הדמיות:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/forcefield.html>

<http://www.cco.caltech.edu/~phys1/java/phys1/EField/EField.html>

1.4 אנרגיה פוטנציאלית חשמלית (1 שעה)

א. מומלץ להסביר את המושג "אנרגיה פוטנציאלית חשמלית" בעזרת אנלוגיה לאנרגיה פוטנציאלית כובדית: כשם שיש להשקיע עבודה כדי להרחיק מסה מפני כדור הארץ, יש להשקיע עבודה כדי להרחיק מטענים שוני סימן זה מזה (או לקרב זה לזה מטענים שווי סימן).

ב. מומלץ להסביר שהאנרגיה הפוטנציאלית ליחידת מטען היא הפוטנציאל, אם כי אין חובה להציג את המושג "פוטנציאל בנקודה" בשדה חשמלי.

ג. ניתן להשתמש בתהליך הטעינה של קבל הלוחות להסבר המושגים "אנרגיה פוטנציאלית" ו"מתח". תהליך זה יכול אף לשמש גשר בין נושא האלקטרוסטטיקה למעגלי הזרם באופן הבא:

- מסבירים שכדי להפריד את המטענים לטעינת לוחות קבל דרושה עבודה (עבודה כנגד כוח המשיכה הפועל בין המטענים המופרדים).
- העבודה שבוצעה גרמה לכך שבקבל נאגרת אנרגיה פוטנציאלית חשמלית.
- מסבירים שיש "מתח" בין לוחות הקבל כאשר יש הבדל בין האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של המטענים על לוח אחד ביחס למטענים שעל הלוח השני.
- ד. יש לציין שיחידת המתח (בשיטת SI) נקראת וולט.

2. מעגלי זרם ישר (27 שעות)

מבוא

אחרי נושא האלקטרוסטטיקה הדיון מתמקד במטענים בתנועה. המושג היסודי כאן הוא "הזרם החשמלי", ויש להבהיר היטב את משמעותו. מומלץ להתבסס על ניסיונם של התלמידים מחטיבת הביניים עם מעגלים חשמליים פשוטים. הנושאים העיקריים הנלמדים בפרק זה הם אלה: מוליכים ומבודדים, ההתנגדות החשמלית וחוק אוהם, חיבור נגדים, כא"מ, מתח הדקים והתנגדות פנימית, אנרגיה והספק, מכשירי מדידה וחיבורם במעגלים חשמליים. כל אלה הם נושאים בעלי היבטים טכנולוגיים הקשורים לחיי היום-יום, ויש לנצל עובדה זו כדי לקרב את הנושא לתלמידים.

2.1 המעגל החשמלי – מושגי יסוד (9 שעות)

2.1.1 המעגל החשמלי: מתח, זרם והתנגדות (2 שעות)

- א. מומלץ לפתוח את הנושא בהדגמת מעגל חשמלי הכולל מקור מתח, נורה, מד-מתח ומד-זרם. במעגל זה ניתן להראות את העלייה בזרם ככל שהמתח עולה, כשאור הנורה משמש להמחשת העצמה הגדלה של הזרם. לאחר מכן יש להחליף את הנורה בנגד בודד ולהראות שוב את השינוי בעצמת הזרם כתלות במתח.
- ב. יש לבצע ניסוי עם מעגל בסיסי (מקור יחיד ונגד בודד), שבו התלמידים ימדדו את עצמת הזרם כתלות במתח. את התוצאות יש לערוך בגרף מתאים.
- ג. יש להסביר את תנועת המטען החשמלי בנגד (הזרם) כתוצאה של הכוח שמפעיל עליו השדה החשמלי או כתוצאה של המתח על הנגד.

- ד. חשוב להדגיש כי עצמת הזרם ביציאה מהנגד שווה לעצמה בכניסה, כיוון שתלמידים נוטים לטעות בכך. מומלץ לתת דוגמאות של סוגים אחרים של זרם, כמו זרם מים או זרם של מכוניות.
- ה. יש להסביר שמסיבות היסטוריות, סימון כיוון הזרם הפוך לכיוון תנועת האלקטרונים (הוא מוגדר ככיוון שבו היו נעים מטענים חיוביים לו יכלו לנוע במעגל).
- ו. יש להדגיש כי המתח ורכיבי המעגל הם הקובעים את הזרם שיזרום ושכל שינוי ברכיבים מצריך חישוב מחדש של הזרם.
- ז. יש לציין שבנגד, אנרגיה חשמלית הופכת לחום.
- ח. חשוב להסביר כי מקור מתח אינו מייצר מטענים. מומלץ להוסיף שמקור מתח, כמו סוללה, הופך אנרגיה כימית לאנרגיה חשמלית.
- ט. יש להגדיר את עצמת הזרם החשמלי על ידי $I = \frac{dq}{dt}$ ואת יחידת הזרם – האמפר.
- י. בכיתות טובות ניתן להראות כי עצמת הזרם מתארת מבחינה מתמטית את שיפוע הגרף מטען-זמן (עצמת הזרם כנגזרת המטען בזמן), ואילו כמות המטען ניתנת על ידי ה"שטח" שמתחת לגרף זרם-זמן.

2.1.2 חוק אוהם. מדידת מתח, זרם והתנגדות. חיבור מכשירי מדידה (5 שעות)

- א. יש ללמד את חוק אוהם ולבצע ניסוי המדגים את החוק. מומלץ לסרטט גרף מתאים.
- ב. יש להגדיר את יחידת ההתנגדות – אוהם.
- ג. יש להדגים כיצד מחברים במעגל חשמלי מד-מתח, מד-זרם וכיצד מחשבים את ההתנגדות.
- ד. יש להדגיש ולהדגים כי בין שתי נקודות במעגל שההתנגדות ביניהן היא אפס, המתח הוא אפס.
- ה. כאן המקום להסביר את ההבדל בין נתק לקצר ואת תפקידו של הנתק.

הדמיה:

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/ohmslaw.htm>

2.1.3 מוליכים ומבדדים, תלות ההתנגדות בחומר, באורך ובחתך הרוחב של המוליך (2 שעות)

- א. יש להסביר מהן התכונות הקובעות את העובדה שהחומר הוא מוליך או מבודד. מומלץ להזכיר את קיומם של מוליכים למחצה (אין צורך להסביר מהו מוליך למחצה, אלא לתאר את העובדה שהחומר מוליך בתנאים מסוימים ומבודד בתנאים אחרים).
- ב. יש להדגיש את תלות ההתנגדות באורך הנגד, בשטח החתך שלו, בסוג החומר (התנגדות סגולית) ובטמפרטורה. מומלץ לבצע ניסוי הממחיש תכונות אלו.
- ג. בנגד משתנה (ראוסטט) יש להראות ששינוי אורכו מהווה יישום של שינוי התכונות הגאומטריות.
- ד. ניתן לנצל את ניסוי חוק אוהם בנורת להט (אופיין של נורה) להדגמת תלות ההתנגדות הסגולית בטמפרטורה ולהסבירו באופן איכותי.
- ה. כדאי להזכיר שחוק אוהם אינו חוק אוניברסלי, אלא תקף למוליכים בלבד, וגם אז לא בכל התנאים.

2.2 מעגלי זרם ישר (15 שעות)

2.2.1 חיבור נגדים בטור ובמקביל, חוק הצומת, השימוש בנגד משתנה (4 שעות)

- א. יש להדגים בניית מעגלים חשמליים שבהם הנגדים מחוברים בטור ובמקביל. בנייה זו חשובה, אך היא דורשת מספר רב של רכיבים ומכשירי מדידה, והמעגלים נראים לתלמידים מסובכים בהרבה מהסרטוט. כך ניתן להראות שבמעגל מקביל, המתח על פני כל ענף שווה, והזרם הכולל (דרך המקור) הוא סכום הזרמים שזורמים בענפים (חוק הצומת). במעגל טורי, ניתן להדגים שמתח המקור שווה לסכום המתחים על פני הנגדים, ואת העובדה שהזרם דרכם שווה.
- ב. מומלץ להסביר שחוק הצומת נובע מחוק שימור המטען.
- ג. בחיבור נגדים יש להסביר את משמעותו של המושג "התנגדות שקולה".
- ד. כדאי להביא דוגמאות לחיבורים שונים של נגדים לוויסות מתח או זרם במכשירי חשמל. כאן המקום לדון בהבדל שבין החיבור הראוסטטי לבין החיבור הפוטנציומטרי.

הדמיות:

http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/java/resist4/index.html

<http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/Circuit.htm>

2.2.2 כא"מ, מתח הדקים והתנגדות פנימית (9 שעות)

א. יש להתייחס למושג הכא"מ בהיבט האנרגטי: האנרגיה שהסוללה מעניקה ליחידת מטען המשלים סיבוב במעגל (אפשר לומר גם: כא"מ – כמות אנרגיה למטען).

ב. יש לבצע ניסוי שבו יימדד מתח ההדקים והזרם ובעזרתו יחשבו התלמידים את הכא"מ ואת ההתנגדות הפנימית.

ג. יש להסביר את הנוסחה $V = \varepsilon - ir$ ואת משמעותה. מומלץ להיעזר גם בנוסחה: $i = \frac{\varepsilon}{r+R}$

ובסרטוט גרף מתאים.

2.2.3 חיבור מקורות מתח זהים בטור ובמקביל (איכותי) (1 שעה)

כיוון שפעמים רבות התלמידים נתקלים בהתקנים חשמליים שיש בהם סוללות המחוברות בטור או במקביל, יש לדון באופן איכותי בחיבור מקורות בטור ובמקביל. הדיון יעמוד על ההבדלים במתח ובזרם המתקבלים על ידי צורת החיבור השונה של מקורות זהים ואידאליים (ללא התנגדות פנימית).

2.2.4 מכשירי מדידה אידיאליים ולא אידיאליים (איכותי) (1 שעה)

- א. יש לציין את הדרישות ממכשיר מדידה אידיאלי.
- ב. יש להסביר את אופן חיבור מכשירי המדידה במעגל והשפעתם על המעגל. במסגרת הדיון האיכותי, יש לעסוק בהשפעת מכשירי מדידה לא אידיאליים על הגדלים הנמדדים.
- ג. אין צורך בדיון כמותי בשינוי תחומי המדידה.

2.3 אנרגיה והספק (3 שעות)

- א. רצוי להציג את האנרגיה החשמלית כאחד מסוגי האנרגיה השונים ולנצל את הידע שהתלמידים רכשו בנושא בתחומים אחרים. מומלץ לבקש מהתלמידים להביא דוגמאות של תהליכי המרת אנרגיה (גלגולי אנרגיה) כאשר אחת משתי האנרגיות המעורבות היא חשמלית.
- ב. יש להדגיש את ההבדל בין אנרגיה לבין הספק: האנרגיה היא גודל המצטבר לאורך זמן, וההספק מבטא את קצב צריכת האנרגיה ביחידת זמן. אפשר לעשות אנלוגיה למושגים "העתק" ו"מהירות".

- ג. מומלץ לחזור ולהגדיר את יחידת ההספק ואת (W).
- ד. יש להסביר את שתי הדרכים לחישוב ההספק ואת שתי הנוסחאות: אנרגיה ליחידת זמן ומכפלת המתח בזרם. מומלץ להציג גם את הנוסחאות: $W = V \cdot i \cdot t$, $p = i^2 \cdot R$, $p = \frac{V^2}{R}$.
- ה. חשוב לציין שההספק הרשום על כל מכשיר חשמלי הוא הספקו בתנאי שהוא מחובר למתח הרשום עליו.
- ו. מומלץ להזכיר את יחידת ההספק "כוח-סוס", שאינה שייכת למערכת יחידות SI, אך עדיין נהוגה בשימושים טכניים.
- ז. יש להציג את היחידה המקובלת למדידת אנרגיה חשמלית במשק החשמל – הקילוואט-שעה (kWh) ולהסביר מדוע מקובל להשתמש בה. מומלץ גם להציג את היחידה קלוריה (קילו-קלוריה) ולהסביר היכן משתמשים בה.

3. השדה המגנטי (24 שעות)

מבוא

- בפרק זה הדיון מתמקד בהיבט נוסף של מטענים בתנועה - השדה המגנטי. מושג זה קשה למרבית התלמידים בגלל אופיו הווקטורי התלת-ממדי.
- ניתן להציג את המושג "שדה מגנטי" לפני או אחרי הצגת הכוח המגנטי. ההערות הדידקטיות שלהלן מתייחסות להוראה בסדר הבא:
1. שדות מגנטיים ויצירתם על ידי זרמים.
 2. הכוח הפועל על מטען הנע בשדה מגנטי.
 3. הכוח הפועל על תיל שזורם בו זרם ושנמצא בשדה מגנטי.
- סדר ההוראה אינו מחייב וניתן לשנותו. כך, למשל, ניתן ללמד גם בסדר הבא:
1. כוח הפועל על מטען הנע בשדה מגנטי.
 2. שדות מגנטיים ויצירתם על ידי זרמים.
 3. הכוח הפועל על תיל שזורם בו זרם ושנמצא בשדה מגנטי.
- בכל סדר של הצגת הנושאים חשוב להרבות בהמחשות של המושג "שדה מגנטי".

אין צורך ללמד את הצורה הכללית של חוק ביו-סוור עבור השדה המגנטי הנוצר מאלמנט קצר של תיל נושא זרם, ואפשר להסתפק בכמה מצבים מייצגים: שדה סביב תיל ישר וארוך, שדה במרכז כריכה מעגלית ובסילונית. משהודגמה יצירת שדה מגנטי על ידי זרמים, ניתן לעבור לנושא הכוח המגנטי הפועל על מטען בודד, וממנו לכוחות הפועלים על מטענים נעים, למשל כוח מגנטי הפועל על תיל שזורם בו זרם ושנמצא בשדה מגנטי.

3.1 שדה מגנטי ומקורותיו (11 שעות)

3.1.1 ההבדל בין שדה מגנטי לחשמלי. השדה המגנטי של כדור הארץ. יחידת השדה המגנטי – טסלה (1 שעה)

- א. מומלץ לפתוח את הנושא בהדגמת מגנטיות בעזרת תגובת מצפן למגנטים שונים, ולהגדיר את המושג "שדה מגנטי" ואת תיאורו בעזרת קווי השדה.
- ב. יש להסביר שבניגוד לקיום מטען חשמלי בודד, לא קיימים קטבים מגנטיים בודדים. יש להדגיש שקווי השדה המגנטי הם תמיד קווים סגורים, בעוד קווי השדה האלקטרוסטטי מתחילים במטען חיובי או באין-סוף ומסתיימים במטען שלילי או באין-סוף. מומלץ להראות זאת כאשר מדגימים שדה מגנטי.
- ג. כאשר דנים בשדה המגנטי של כדור הארץ, מומלץ להסביר שהקוטב המכונה צפוני של כדור הארץ הוא למעשה קוטב מגנטי דרומי (S). כדאי להדגים בעזרת מצפן אנכי את המושג "זווית הרכינה" ולהסביר מניין היא נובעת.
- ד. יש לציין שיחידת השדה המגנטי במערכת SI היא טסלה. אין צורך ללמד את היחידה גאוס.

3.1.2 שדה מגנטי בקרבת מוליכים נושאי זרם (10 שעות)

- א. מומלץ לפתוח את הנושא בהדגמת השדה המגנטי בעזרת מצפן סביב תיל ישר וארוך, סביב כריכה מעגלית ובסילונית, הנושאים זרם.
- ב. יש לדון בשדות הנוצרים על ידי מקורות שונים: תיל ישר וארוך, כריכה מעגלית וסילונית. יש ללמד את הנוסחה עבור השדה הנוצר על ידי תיל ישר וארוך ובמרכז כריכה מעגלית. כאמור, אין צורך ללמד את חוק אמפר וחוק ביו-סוור בצורתם הכללית או להשתמש בהם לחישוב השדה עבור תיל ומרכז כריכה. אפשר לאמת את הנוסחאות באמצעות ניסוי.
- ג. בתיל ישר וארוך יש להדגיש את הקשר בין כיוון הזרם וכיוון השדה הנוצר על ידו.

ד. מומלץ להדגים את שינוי כיוון השדה במרכז הכריכה ואת שינוי עצמתו כתלות בכיוון הזרם ובצמצמו. יש להסביר שהשדה קיים בכל המרחב סביב הכריכה ולא רק במרכזה.

ה. יש לבצע ניסוי של מדידת שדה מגנטי של סליל דק, למשל: "גלוונומטר טנגנטי". בניסוי זה ניתן לחשב את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, או להדגים את עצמת השדה המגנטי כתלות בזרם שבכריכה המעגלית. ניסוי זה מדגיש את אופיו הווקטורי של השדה המגנטי.

הדמיות:

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/mfbar.htm>

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/mfwire.htm>

3.2 כוחות מגנטיים (13 שעות)

3.2.1 כוח הפועל על מטען הנע בשדה מגנטי (6 שעות)

א. זו הפעם הראשונה שהתלמידים נתקלים בווקטורים שאינם נמצאים במישור אחד. רצוי להמחיש מצבים כאלה בעזרת הדגמה, ניסוי או הדמיה כדי לסייע לתלמידים המתקשים בתפיסה מרחבית זו.

ב. יש להסביר כיצד נקבע כיוון כוח לורנץ על ידי כיוון מהירות המטען וכיוון השדה המגנטי ולהדגיש כי כאשר המטען אינו בתנועה אין כוח מגנטי.

ג. יש להדגיש כי מאחר שהכוח המגנטי מאונך לכיוון תנועת המטען הנע בשדה המגנטי, עבודתו על המטען היא אפס. לכן המהירות אינה משתנה בגודלה אלא רק בכיוונה (השדה המגנטי אינו משנה את האנרגיה הקינטית של המטען).

ד. בכיתות חזקות אפשר לנתח איכותית תנועה בורגית ולהצביע על שני רכיבי המהירות - המאונך לשדה המגנטי והמכוון לאורך קו השדה. ניתן להדגים זאת בעזרת תנועת האלקטרונים בשפופרת (קתודית) של טלוויזיה או מחשב.

3.2.2 הכוח על תיל נושא זרם הנמצא בשדה מגנטי (5 שעות)

א. יש לקשור נושא זה לתנועת חלקיק טעון בשדה מגנטי. יש להראות שכיוון הכוח המגנטי מאונך לכיוון השדה המגנטי ולכיוון תנועת המטענים.

ב. רצוי לבצע ניסוי (למשל, מאזני זרם) שידגים את הכוח שהשדה המגנטי מפעיל על מטענים נעים, דהיינו על זרם חשמלי. בניסוי כזה מומלץ לחקור את תלות הכוח בפרמטרים השונים: עצמת השדה, עצמת הזרם והזווית שבין כיוון השדה וכיוון הזרם.

ג. בכיתות חזקות ניתן להביא, כדוגמה מסכמת, את הכוח הפועל בין שני תיילים נושאי זרם: התיל האחד יוצר שדה מגנטי שגורם מצדו לכוח מגנטי על התיל השני, ולהפך. לאחר הבאת הדוגמה והדיון בה יהיו לתלמידים אלה מושגים המאפשרים להגדיר באופן תקני את היחידה אמפר.

ד. ניתן להסתפק בהגדרת האמפר כפי שהיא מובאת בפרק מעגלי זרם ישר.

הדמיה:

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/lorentzforce.htm>

3.2.3 יישומים של הכוח המגנטי (2 שעות)

א. כיישום פשוט של הכוח המגנטי יש להסביר את פעולתם של מכשירי מדידה חשמליים אנלוגיים.

ב. מומלץ לדון ביישומים נוספים כמו ממסרים, רשמי זמן ומנופים אלקטרומגנטיים.

ג. כיישום מתקדם של הכוח המגנטי ניתן לדון בספקטרוגרף המסות.

הדמיה:

<http://www.physics4all.co.il/open.php?link=786>

4. השראה אלקטרומגנטית (16 שעות)

מבוא

ההשראה היא הנושא האחרון בפרק האלקטרומגנטיות. המטרה המרכזית בהוראת נושא זה היא הצגת חוק פארדיי, המסכם את כל דרכי היצירה של כא"מ מושרה וזרם מושרה. חשוב להבהיר כיצד חוק פארדיי בא לידי ביטוי בכל מצב. כמו במקרה של המגנטיות, גם כאן כדאי לבסס את הבנת הנושא על הדגמות של התופעה ולאחריהן דיון בכמה דוגמאות מייצגות. הפרק כולל את הוראת הכא"מ המושרה הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי וחישובים פשוטים באמצעות חוק פארדיי וחוק לנץ. כמו כן יש לדון בשימושים הטכנולוגיים של התופעה, כמו למשל גנרטור לזרם חלופין ושנאי.

4.1 כא"מ זרם מושרה (7 שעות)

4.1.1 כא"מ מושרה, זרם מושרה (2 שעות)

- א. מומלץ להתחיל בסדרת הדגמות שבהן סליל המחובר למיקרו-אמפרמטר נמצא בשדה מגנטי. שינוי בשדה המגנטי גורם לזרם בסליל.
- ב. כבר בשלב זה מומלץ להסביר באופן איכותי את המושגים "שטף מגנטי" ו"שינוי השטף המגנטי".

הדמיה:

<http://www.colorado.edu/physics/phet/simulations/faradayFlash/faradayMX.swf>

4.1.2 תנועת מוליך בשדה מגנטי קבוע (5 שעות)

- א. יש לדון ביצירת כא"מ מושרה במקרים הבאים :
1. מוליך הנע בשדה מגנטי (מומלץ להתבסס על כוח לורנץ כדי להסביר את תהליך הפרדת המטענים).
 2. תנועת מוט על גבי מסגרת מוליכה הנמצאת בשדה מגנטי.
 3. לולאה הנכנסת לשדה מגנטי (לאחר הצגת חוק פארדיי מומלץ לדון שוב בלולאה).
- ב. כדי לפשט את נוסחת כוח לורנץ, כל המצבים שיידונו בשלב זה יהיו כאשר כיוון המהירות, כיוון השדה וכיוון המוט ניצבים זה לזה.
- ג. ראוי להסב את תשומת לב התלמידים לכך שבתהליכים אלו נוצר תמיד כא"מ מושרה, אולם לא בהכרח זרם מושרה. כדי שיווצר זרם מושרה, המעגל צריך להיות סגור.
- ד. חשוב להראות כי העבודה החשמלית במעגל שווה לעבודת הכוח החיצוני הדרוש לשמירה על מהירות קבועה של המוט.

4.2 השראה אלקטרומגנטית (5 שעות)

4.2.1 שטף מגנטי (2 שעות)

- א. יש להגדיר את המושג "שטף מגנטי". מומלץ להיעזר באנלוגיה לזרם מים או לשטף אור.
- ב. שינוי השטף המגנטי דרך לולאה מוליכה יכול להיגרם על ידי כל אחד מהתהליכים הבאים :
1. שינוי השטח המוגבל על ידי הלולאה.

2. שינוי השדה המגנטי.
3. תנועה יחסית בין הלולאה ובין השדה המגנטי.
- ג. מומלץ להראות בעזרת המושג "שינוי השטף המגנטי" כי ניתן לנתח את הכא"מ במקרה של מוט הנע על פני מסגרת בשדה מגנטי.
- ד. בהסבר תהליך יצירת הכא"מ המושרה, תלמידים מתקשים בהבחנה בין שטף מגנטי ושינוי שטף מגנטי. יש לעמוד על כך.

4.2.2 חוק פראדיי וחוק לנץ (איכותי) (3 שעות)

- א. יש להראות כי על אף אופיים השונה מאוד של התהליכים היוצרים כא"מ מושרה, הכא"מ המושרה מוצא את ביטוי תמיד באותו חוק מסכם: הכא"מ המושרה שווה לקצב שינוי השטף המגנטי דרך המעגל, בלי להיות תלוי באופן שבו מושג שינוי השטף. אפשר להציג את הביטוי המתמטי של החוק: $\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$, אך הוא אינו כלול בחומר החובה של התכנית.
- ב. יש להסביר כי בעת השתנותו של השטף המגנטי דרך המעגל החשמלי, נוצר כא"מ מושרה במעגל. הכא"מ המושרה מזרים במעגל סגור זרם מושרה, המעכב את סיבת יצירתו (חוק לנץ). יש להראות כי עיקר השימוש בחוק לנץ הוא בקביעת כיוון הזרם המושרה.
- ג. יש להדגיש את התאמתו של חוק לנץ לעקרון שימור האנרגיה.
- ד. חשוב להבהיר כי ההספק המתפתח במעגל שבו זרם מושרה, הוא תוצאה של עבודה חיצונית.
- ה. מומלץ להדגים את היווצרות הכא"מ המושרה בעזרת מנוע חשמלי מתפרק.

4.3 זרם חלופין ושימושיו (4 שעות)

4.3.1 גנרטור AC (איכותי), זרם חלופין (2 שעות)

- א. יש להציג לפני התלמידים את המושג "זרם חלופין" ואת המנגנון היוצר אותו – גנרטור AC.
- ב. יש לעמוד על האופי המחזורי (סינוסואידלי) של זרם החלופין ועל המושגים "תדירות" ו"זמן מחזור".
- ג. בכיתות מתקדמות ניתן לדבר על ערכים אפקטיביים של מתח וזרם במעגל AC.

http://www.walter-fendt.de/ph14e/generator_e.htm

<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/induction/induction.swf>

4.3.2 שנאי, העברת אנרגיה חשמלית למרחקים (2 שעות)

א. יש ללמד את עקרון הפעולה של השנאי באופן איכותי.

ב. יש לתת נימוק איכותי בלבד לנוסחה $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_2}{N_1}$ (יחס השנאה), המסתמך על שימור אנרגיה

וכא"מ מושרה.

ג. יש ללמד על השנאי בעיקר בהקשר של העברת אנרגיה למרחקים.