

פוטנציאל חשמלי, קיבול וקבלים: פירוט, דגשים, הערות דידקטיות

מבוא

המושגים "כוח משמר", "אנרגיה פוטנציאלית" ו"משפט עבודה-אנרגיה" ידועים לתלמידים מלימודי המכניקה. ניתן היה להניח שהדיון בכוח משמר נוסף (הכוח האלקטרוסטטי) יוכל לשמש חזרה פורייה, עם הרחבה והעמקה, על נושא מוכר. למעשה, מחקרים בהוראת הפיזיקה מראים שאנרגיה פוטנציאלית חשמלית, הקשר שלה לנקודת ייחוס והפרש פוטנציאלים – כל אלה הם מושגים מופשטים וקשים להבנה.

אנו ממליצים בפרק זה להרבות ולגוון באמצעים דידקטיים כדי לקרב את המושגים הקשים לעולמם של התלמידים.

2.1 פוטנציאל והפרש פוטנציאלים (8 שעות)

א. התלמידים מתקשים בהבנתו וביישומו של המעבר מכוח משמר ואנרגיה פוטנציאלית לשדה משמר ופוטנציאל.

ב. חייבים להדגיש שכשם שאין משמעות לאנרגיה פוטנציאלית בנקודה בשדה האלקטרוסטטי ללא הגדרת רמת ייחוס, גם אין משמעות לפוטנציאל חשמלי בנקודה בשדה האלקטרוסטטי ללא רמת ייחוס. בדרך כלל, נוח ומקובל לקבוע את ה"אין-סוף" כרמת הייחוס שבה הפוטנציאל החשמלי מתאפס. חשוב ביותר שתלמידים יבינו כי שינוי במקומה של רמת הייחוס, משנה את ערכו של הפוטנציאל החשמלי בכל נקודה בשדה אלקטרוסטטי, אך לא את ערכו של הפרש הפוטנציאלים בין כל שתי נקודות בשדה.

ג. הפרש הפוטנציאלים $V_{A,B} = V_B - V_A$ בין שתי נקודות A ו-B בשדה אלקטרוסטטי מוגדר כמינוס העבודה ליחידת מטען שעובד השדה האלקטרוסטטי בהעבירו מטען חיובי מהנקודה A

$$\text{לנקודה B. בכתוב מתמטי: } V_{A,B} = V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

מקובל להשתמש גם בהגדרה האקוויולנטית: הפרש הפוטנציאלים $V_B - V_A$ בין שתי נקודות A ו-B בשדה אלקטרוסטטי הוא העבודה ליחידת מטען שכוח חיצוני עובד נגד השדה, כאשר הוא מעביר מטען חיובי מנקודה A לנקודה B ללא שינוי בגודל המהירות.

ד. חשוב לציין שהמטען המועבר מ-A ל-B צריך להיות קטן עד כדי כך שלא ישנה את השדה האלקטרוסטטי שבו הוא נע.

ה. כדאי להדגיש שהפוטנציאל החשמלי הוא גודל סקלרי, בניגוד לשדה החשמלי שהוא גודל וקטורי. הפוטנציאל בנקודה A הנמצאת במרחקים $r_1, r_2, \dots, r_n$ מ- n מטענים נקודתיים $q_1, q_2, \dots, q_n$,

$$V_A = k \sum_i \frac{q_i}{r_i} \quad \text{הוא הסכום האלגברי של הפוטנציאלים הנוצרים על-ידי כל מטען בנפרד:}$$

- ו. מומלץ לתרגל עם התלמידים מצבים שבהם נחוץ לחשב גם פוטנציאל וגם שדה באותה נקודה, למשל - חישוב השדה והפוטנציאל במרכז ריבוע שבקדקודיו מטענים זהים. כדאי להביא דוגמאות למצבים שבהם השדה מתאפס והפוטנציאל לא מתאפס, ולהפך.
- ז. המסרים המרכזיים בנושא משטחים שווי-פוטנציאל ובנושא הקשר שבין הפרש הפוטנציאלים והשדה החשמלי הם אלה:

1. משטחים שווי-פוטנציאל הם משטחים שבהם הפוטנציאל שווה בכל הנקודות: $V = \text{Const}$. בהקשר למשטחים שווי-פוטנציאל, כדאי להזכיר קווי גובה במפה טופוגרפית.
2. בהעברת מטען על פני משטח שווה-פוטנציאל מנקודה אחת לשנייה, לא נעשית עבודה.
3. מוליך טעון בשיווי-משקל אלקטרוסטטי הוא גוף שווה-פוטנציאל.
4. קווי השדה מאונכים למשטחים שווי-פוטנציאל.
5. חשוב מאוד לדון בקשר שבין הפרש הפוטנציאל ושדה חשמלי. כדאי להצביע על כך שבשדה חשמלי אחיד מתקיים: $\Delta V = -E \Delta x$.
- ח. במסגרת הפוטנציאל של מוליך טעון, אין צורך לדון אלא במקרה של כדור מוליך או של קליפה כדורית.
- ט. כאן המקום להסביר באופן איכותי כי "הארקה" היא פריקת מטענו החשמלי של גוף טעון על-ידי חיבורו לכדור הארץ, עד שהגוף מפסיק להיות טעון חשמלית.
- י. דיון במעבר מטען חשמלי בין שני גופים מוליכים בעלי קיבול או פוטנציאל שונה, יסייע לתלמידים להבנת הקשר שבין הפרשי פוטנציאלים והזרם החשמלי.
- יא. כשדנים בהאצת חלקיקים טעונים בשדות חשמליים, יש להזכיר את המאיץ האלקטרוסטטי "ואן דה גראף".
- יב. האוסילוסקופ הוא אחד היישומים החשובים ביותר של האצת אלקטרונים על-ידי "תותח אלקטרונים" והטייתם על-ידי שדות חשמליים אחידים בין לוחות קבל. פרט לכך שהאוסילוסקופ משמש מכשיר הדגמה מעולה בידי המורה, רצוי שמכשיר זה יופעל גם על-ידי התלמידים, שייווכחו לדעת שזהו מד-מתח רגיש ורב-שימושי.

יג. כבר בשלב זה של הלימוד, רצוי להצביע על מרכזיותה של יחידת האנרגיה אלקטרון-וולט בפיזיקה אטומית וגרעינית. חשוב שתלמידים ידעו שאנרגיות הקשר של אלקטרונים לאטומים הם בסדר גודל של אלקטרון-וולטים אחדים. כדאי לציין שאנרגיות הקשר של החלקיקים בגרעיני האטומים (פרוטונים וניוטונים) הם בסדר גודל של MeV.

2.2 קיבול וקבלים (6 שעות)

- א. אף שדיון ראשון בקיבול חשמלי ובקבלים מתקיים כאן בפרקי האלקטרוסטטיקה, חשיבותם העיקרית של אלה מתגלה דווקא בפרקים מאוחרים יותר העוסקים בזרם חשמלי - זרם ישר וזרם חלופין.
- ב. יש לפתח את הנוסחאות לקיבול של קבל-לוחות בלבד.
- ג. אין צורך בהתייחסות לקבל הבנוי משתי קליפות כדוריות מוליכות.
- ד. יש להדגיש שהקיבול של קבל אינו תלוי במטען שלו ובמתח בין מרכיביו. הוא תלוי אך ורק בגאומטריה של רכיבי הקבל ובחומר המפריד בין המוליכים הטעונים, הנקרא דיאלקטרן או חומר דיאלקטרי.
- ה. בנושא קבל-לוחות, יש ללוות את הדיון התאורטי בניסויים מתאימים המדגימים את תלות הקיבול בפרמטרים השונים.
- ו. בנושא חומרים דיאלקטריים יש להסתפק בהסברים איכותיים, המסתמכים על היבטים מיקרוסקופיים של מבנה החומר. ניסוי עם קבל-לוחות יעזור לתלמידים בהבנת המושג "קבוע דיאלקטרי יחסי" וכמו כן בהבנת תפקידו של הדיאלקטרן.
- ז. להפרדת מטענים בין שני מוליכים המהווים קבל, דרושה עבודה (נגד כוח המשיכה הפועל בין המטענים המופרדים), ולכן נאגרת בקבל אנרגיה חשמלית (אלקטרוסטטית).
- ח. תלמידים נוטים לראות את מטענו של הקבל כשווה לאפס. יש להדגיש כי מדובר בערך המוחלט של המטען באחד הלוחות.
- ט. בנושא האנרגיה האגורה בקבל טעון, יש לפתח את הנוסחה וגם רצוי לבצע ניסוי מתאים.
- י. על חיבור קבלים בטור ובמקביל יש להתעכב בקצרה בלבד. התלמידים אינם מתבקשים לנתח מעגלים המכילים יותר משני קבלים בחיבור טורי או מקבילי.
- יא. בפרק זה יש לדון בתהליכי הטעינה והפריקה של קבל באופן איכותי בלבד. התיאור המתמטי והחישובים הכמותיים יידונו אחרי היכרות כמותית עם המושג "זרם חשמלי".