



פיסיקה תיכונית – חשמל

חלק שני

מסמך זה הורד מהאתר <http://www.underwar.co.il>

אין להפיץ מסמך זה במדיה כלשהי, ללא אישור מפורש מאת המחבר.

מחבר המסמך איננו אחראי לכל נזק, ישיר או עקיף, שיגרם עקב השימוש במידע המופיע במסמך, וכן לנכונות התוכן של הנושאים המופיעים במסמך. עם זאת, המחבר עשה את מירב המאמצים כדי לספק את המידע המדויק והמלא ביותר.

כל הזכויות שמורות לניר אדר. אנא שלחו תיקונים והערות אל המחבר.

זרם חשמלי

זרם חשמלי הוא קצב מעבר מטען.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

$$[I] = A \quad (m.k.s)$$

כיוון הזרם הוגדר ככיוון מעבר המטענים החיוביים – מהפוטנציאל הגבוה לנמוך. (למרות שבפועל במוליכים נעים האלקטרונים).

ביטוי לזרם במוליך: $I = n \cdot A \cdot q \cdot v$.
 כאשר n הוא מספר המטענים החופשיים ליחידת נפח,
 A הוא שטח החתך של המוליך, q הוא המטען של כל מטען נע,
 ו- v זוהי מהירות התנועה הממוצעת של המטענים.

צפיפות זרם (ליחידת שטח):

$$J = \frac{I}{A} = n \cdot v$$

$$[J] = \frac{A}{m^2}$$

עבור קבוצות שונות של מוליכים, בין היתר מתכות, מתקיים חוק אוהם:

$$J = \sigma \cdot E$$

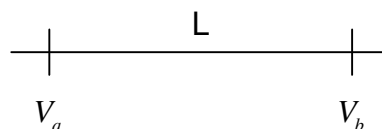
(צפיפות הזרם פרופורציונית לעוצמת השדה שמפעילים על המוליך).
 σ זוהי המוליכות הסגולית, תלויה בחומר ובטמפרטורה, ונתונה לנו בטבלאות.

חוק אוהם

$$V = R \cdot I$$

$$[R] = \Omega$$

במוליך באורך L בשדה קבוע E , מתקיים כי $V_{ab} = E \cdot L$



כא"מ – כוח אלקטרו-מניע

הכא"מ (ε) הוא המתח בין הדקי המקור כשלא זורם דרכם זרם.

$$[\varepsilon] = \text{volt}$$

האנרגיה שמקור כא"מ (ε) משקיע במעגל על מנת להעביר מטען Δq :

$$\Delta w = \varepsilon \cdot \Delta q$$

↓

$$\varepsilon = \frac{\Delta w}{\Delta q}$$

ההספק שהמקור משקיע במעגל: $P = \varepsilon \cdot I$.

$$P_R = RI^2 = \frac{V^2}{R} : \text{ההספק המתפתח בנגד במעגל (חוק ג'וואל):}$$

לסיכום

מקור כא"מ ε, r שדרכו עובר זרם I :

$$P = \varepsilon \cdot I : \text{ההספק המלא}$$

$$P_{\text{eff}} = \varepsilon \cdot I - I^2 r : \text{ההספק היעיל}$$

$$\frac{P_{\text{eff}}}{P} : \text{הנצילות היא}$$

חיבור נגדים

בטור:

הזרם דרך כל הנגדים שווה.

המתח הכולל = סכום המתחים על הקטעים השונים.

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

במקביל:

המתח על כל הנגדים שווה ושווה גם למתח על הנגד השקול.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

הזרם הכולל שווה לסכום הזרמים המשניים.

התנגדות פנימית

התנגדות מקור הכא"מ עצמו נקראת התנגדות פנימית.

המתח בין שתי נקודות כלליות במעגל

$$V_a - V_b = V_{ab} = \sum R \cdot I - \sum \varepsilon$$

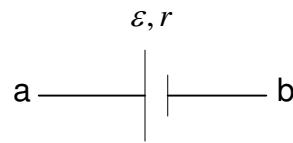
דרך פעולה:

בחר מסלול המוביל מ a ל b , כיוונו יוגדר כחיובי.

לכל RI : זרם בכיוון זה ילקח כחיובי, בכיוון ההפוך כשלילי.

לכל ε : ε בכיוון זה יוגדר כחיובי, ε הפוך לכיוון יוגדר כשלילי.

המינוס בנוסחה מופיע תמיד, לא משנה איזה כיוון בחרנו.

מתח ההדקים

כאשר זרם זרם במקור הכא"מ ובכוונו, המתח קטן מהכא"מ:

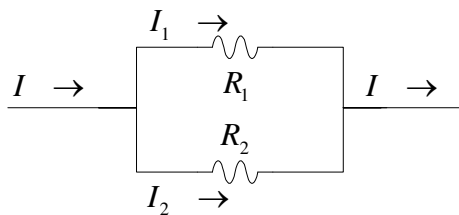
$$V_{ab} = \varepsilon - rI$$

כאשר זרם זרם במקור הכא"מ ונגד כיוונו:

$$V_{ab} = \varepsilon + rI$$

מציאת R שקול במערכת שלא ניתן לתארה כחיבורים בטור ובמקביל בלבד

- שימוש בשיקולי סימטרייה.
- הפרש הפוטנציאלים בין שתי נקודות שווה בכל המסלולים.

התפצלות הזרם בין שני נגדים המחוברים במקביל

יחס הזרמים הפוך ליחס ההתנגדויות: $R_1 I_1 = R_2 I_2$.

$$I = I_1 + I_2 \quad \text{מתקיים:}$$

מכאן:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

הזרם מתפצל בצורה כזו שבה ההספק המתפתח יהיה מינימלי.

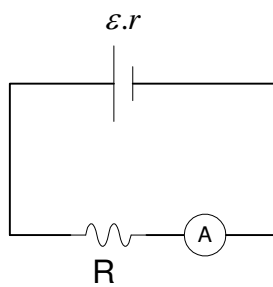
כללי קירכהוף

1. כלל הצומת – הסכום האלגברי של הצמתים בצומת שווה לאפס. (זרם נכנס – חיובי, זרם יוצא – שלילי).
2. כלל העניבה/הלולאה – בכל עניבה (כל מסלול סגור במעגל),

$$\sum \varepsilon = \sum (RI)$$

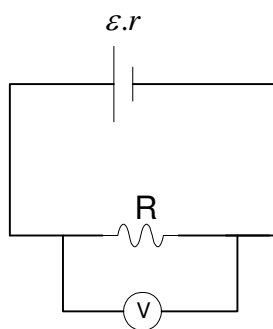
הנחיות שימוש:

- כלל הצומת – את כיווני הזרמים קובעים שרירותית, אם זרם יצא שלילי, כיוונו הפוך מזה שקבענו. ל n צמתים רושמים כללים עבור $n-1$ מהם.
- כלל העניבה – נחליט שכיוון השעון הוא החיובי:
 - כא"מ/זרם עם הכיוון שלנו ילקחו כחיוביים,
 - כא"מ/זרם נגד הכיוון שלנו ילקחו כשליליים.
 ניקח מספיק עניבות כדי להשלים את מספר המשוואות.

מכשירי מדידה והדרישות מהםאמפרמטר

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r + R_A}$$

$$R_A \ll R + r$$

וולטמטר

$$R_V \gg R + r$$

תלות ההתנגדות בטמפרטורה

כשמזרימים זרם בנגד הנגדם מתחמם. התנגדות הנגד תלויה בטמפרטורה:

$$R(t) = R_{t_0} [1 + \alpha(t - t_0)]$$

α - מקדם קבוע.

R_{t_0}, t_0 הם טמפרטורה נתונה, וההתנגדות באותה טמפרטורה הנתונה אף היא. נשים לב כל ההתנגדות גדלה עם הטמפרטורה.

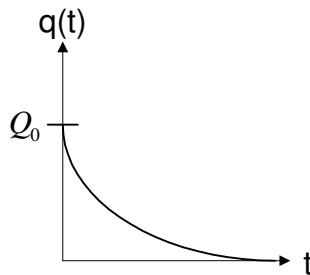
טענה

כאשר מחברים מקורות כא"מ זהים במקביל, הכא"מ השקול שווה לכא"מ של כל אחד מהם.

פריקת קבל

פריקת קבל C הטעון במטען Q_0 דרך נגד R, כתלות בזמן:
 $q(t) -$ המטען על הקבל:

$$q(t) = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$



נגדיר $\tau = R \cdot C$ קבוע הזמן של המעגל.
 קבוע הזמן הוא אמצעי נוח להשוואה בין מעגלים – מי מתפרק מהר/לאט יותר.
 ניתן לראות שגם הזרם יורד בצורה אקספוננציאלית כמו המטען, עם אותו קבוע זמן.

השדה המגנטי

שדה מגנטי פועל על מטענים הנמצאים בתנועה.
 אם הכוח שפועל על מטען בתנועה שונה מהכוח שפועל עליו במנוחה, יש שדה מגנטי ונמצא אותו על ידי הפרש הכוחות.

כוח לורנץ

הכוח הפועל על מטען q הנע במהירות \vec{V} בשדה מגנטי \vec{B} :

$$\vec{F} = Q\vec{V} \times \vec{B}$$

גודל הכוח המגנטי: $F = q \cdot V \cdot B \cdot \sin \alpha$
 הכיוון נקבע על ידי המכפלה הוקטורית וסימן המטען q:
 q חיובי – לפי כיוון המכפלה.
 q שלילי – הפוך לכיוון המכפלה.

תנועת חלקיק טעון בשדה מגנטי

כאשר חלקיק q, m נכנס לשדה מגנטי \vec{B} כך שמהירותו \vec{V} מאונכת לכיוון השדה,

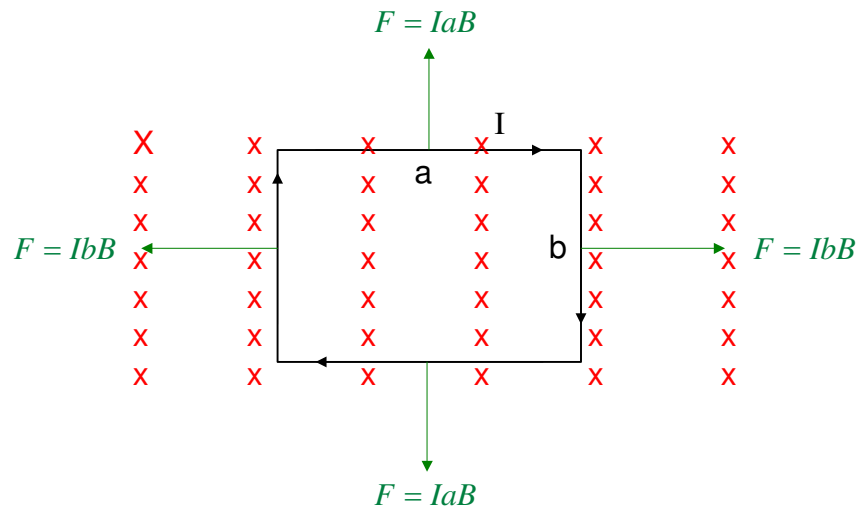
הוא מבצע תנועה מעגלית שרדיוסה: $R = \frac{mV}{qB}$

הכוח הפועל על מוליך נושא זרם

על מוליך באורך L הנושא זרם I בשדה מגנטי \vec{B} פועל הכוח $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$.

הכוח שמפעיל שדה מגנטי על כריכה מלבנית סגורה

כאשר השדה ניצב לכיוון הכריכה שקול הכוחות = 0 ושקול המומנטים שווה גם 0.



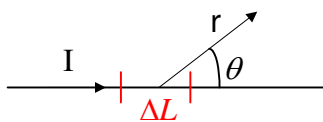
כאשר הכריכה במישור השדה שקול הכוחות שווה 0 וסכום המומנטים שונה מאפס. שקול המומנטים: $J = IAB$ כאשר $ab=A$ שטח הכריכה.

יצירת שדה מגנטי על ידי זרם חשמלי

כל מטען חשמלי נע יוצר שדה מגנטי, בפרט, זרמים (שהם תנועה של מטענים).

חוק ביו-סבר

אלמנט השדה המגנטי שיוצר אלמנט קטן של מוליך נושא זרם במרחק r ממנו:



$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \Delta L \cdot \sin \theta}{r^2}$$

$$\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \left[\frac{T \cdot m}{A} \right]$$

מחוק ביו סבר ניתן למצוא את השדה המגנטי בהתקנים שונים :

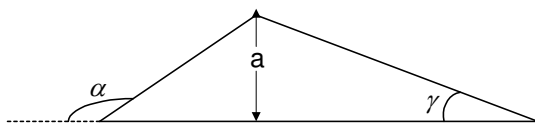
השדה במרכז כריכה מעגלית נושאת זרם ברדיוס a :

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{I}{a}$$

N כריכות צפופות (צפופות, לא סליל), ניתן להתייחס כאל כריכה אחת :

$$B = N \cdot \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{I}{a}$$

השדה הנוצר במרחק a מתיל סופי נושא זרם



$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{a} (\cos \gamma - \cos \alpha)$$

השדה הנוצר על ידי תיל אינסופי נושא זרם במרחק a ממנו :

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{a}$$

השדה המגנטי של תיל אינסופי (תיל) הנושא זרם בצורה אחידה

$$B(r) = \begin{cases} \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r} & r > R \\ \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{r}{R^2} I & r < R \end{cases}$$

R רדיוס התיל, r המרחק ממרכזו.

השדה המגנטי של סליל אינסופי דק מאוד

השדה המגנטי מחוץ לסליל הוא 0.
השדה בתוך הסליל :

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I$$

n הוא מספר הליפופים ליחידת אורך.

הערות

- השדה בקצה סילוניית (סליל) ארוכה : $\frac{1}{2} \mu_0 \cdot n \cdot I$
- בהינתן מספר הליפופים N לסילוניית באורך L : $B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I$

תילים

שני תילים מקבילים הנושאים זרם באותו כיוון נמשכים.
שני תילים מקבילים הנושאים זרם בכיוונים הפוכים נדחים.

הכוח ליחידת אורך: $\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{d}$

שטף מגנטי

אלמנט שטח קטן ששטחו ΔA , קיים בו שדה מגנטי \vec{B} והזווית בין כיוון השדה לכיוון האנך למשטח היא α , נגדיר שטף מגנטי דרך אלמנט השטח:
 $\Delta\phi = B \cdot \Delta A \cdot \cos\alpha$

חוק פרדיי

כאשר משתנה השטף דרך מעגל סגור, נוצר במעגל כא"מ מושרה: $\varepsilon = -\frac{d\theta}{dt}$.
המינוס במשפט זה מוסבר על ידי חוק לנץ.

חוק לנץ

הכא"מ המושרה הנוצר יהיה בכיוון כזה שהוא שואף להקטין את השינוי שחולל אותו.

הערות לחוק פרדיי

1. אם במקום ליפוף אחד ישנם N ליפופים, אזי $\varepsilon = -N \frac{d\theta}{dt}$.
2. השטף מוגדר כך: $\Delta\phi = B \cdot \Delta A \cdot \cos\alpha$, לכן מספר שינויים יכולים לגרום לכא"מ מושרה:
 - שינוי עוצמת השדה.
 - שינוי השטח.
 - שינוי הזווית α .
3. השינוי בשטף הוא שגורם ליצירת הכא"מ, כלומר אין תלות בעוצמת השטף עצמו.

מקרה פרטי

הסעת מוט על גבי כריכה בשדה \vec{B} :

$$|\varepsilon| = LvB \cdot \sin\alpha$$

כאשר L אורך המוט, v מהירות המוט, ו α היא הזווית בין v ל- B .