

אלקטרודינמיקה

הזרם החשמלי



Image courtesy of Stuart Miles at FreeDigitalPhotos.net

◀ זרם חשמלי הוא תנועה מכוונת של מטענים.

◀ עוצמת הזרם החשמלי מוגדרת עפ"י כמות המטען שעובר דרך שטח חתך רוחב המוליך ליחידת זמן.

$$I = \frac{q}{t}$$

◀ מקור מתח הוא מתקן, שמאפשר קיום מתח חשמלי לאורך זמן, לדוגמא – **תא חשמלי**.

◀ במוליך יש איבוד של אנרגיה חשמלית כאשר הזרם נע מהפוטנציאל הגבוה לנמוך. לעומת זאת, בתוך

התא יש המרה של אנרגיה כימית לחשמלית, המפצה על אובדן זה ומאפשרת לזרם להמשיך ולהתקיים.

◀ במצב בו הזרם לערך מסוים ונשאר קבוע, בגלל ההתנגדות, המהירות הממוצעת של האלקטרונים

בכיוון הזרם נשארת קבועה ונקראת מהירות הסחיפה (V_d).

◀ הקשר בין הזרם החשמלי למהירות הסחיפה נתון בביטוי:

$$I = n_e \cdot e \cdot \bar{v}_d \cdot A$$

◀ עוצמת הזרם לכל אורכו של המוליך חייבת להיות קבועה, כי במוליך אין הצטברות של מטען.

- א- זרם של 7.5 אמפר זורם בתיל במשך 45 שניות. כמה מטען עבר בתיל בפרק זמן זה?
- ב- כמה אלקטרונים לשנייה עוברים דרך חתך של מוליך הנושא זרם של 0.7 אמפר?
- ג- כמה אלקטרונים עברו בתיל על פי נתוני סעיף א'?

א- זרם של 7.5 אמפר זורם בתיל במשך 45 שניות. כמה מטען עבר בתיל בפרק זמן זה?

◀ על פי הגדרת הזרם:

$$I = \frac{q}{t}$$

◀ לכן, כמות המטען הכולל העוברת בתיל במשך 45 שניות היא:

$$q = It = 7.5 \cdot 45 = 337.5 [C]$$

ב- כמה אלקטרונים לשנייה עוברים דרך חתך של מוליך הנושא זרם של 0.7 אמפר?

◀ על פי הגדרת הזרם:

$$I = \frac{q}{t}$$

◀ לכן, כמות המטען הכולל העוברת בתיל במשך שניה היא:

$$q = It = 0.7 \cdot 1 = 0.7 [C]$$

◀ מטען האלקטרון הוא $e = 1.6 \cdot 10^{-19} [C]$, ולכן מספר האלקטרונים העוברים בשנייה הוא:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{0.7}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 4.375 \cdot 10^{18} \text{ electrons}$$

ג- כמה אלקטרונים עברו בתיל על פי נתוני סעיף א'?

◀ כמות המטען הכולל העוברת בתיל במשך 45 שניות היא [C] 337.5

◀ לכן, מספר האלקטרונים שיעברו בתיל במקרה זה הוא:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{337.5}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 2.1 \cdot 10^{21} \text{ electrons}$$

על פי מודל האטום של בוהר, האלקטרון באטום המימן נע סביב הגרעין במסלול מעגלי בעל רדיוס של $5.3 \cdot 10^{-11}$ מטר ובמהירות של $2.2 \cdot 10^6$ מטר לשנייה.

- א- מהי תדירות הסיבוב של האלקטרון?
- ב- מהו הזרם החשמלי הנוצר במסלול זה?

על פי מודל האטום של בוהר, האלקטרון באטום המימן נע סביב הגרעין במסלול מעגלי בעל רדיוס של $5.3 \cdot 10^{-11}$ מטר ובמהירות של $2.2 \cdot 10^6$ מטר לשנייה.

א- מהי תדירות הסיבוב של האלקטרון?

▶ תדירות הסיבוב היא מספר הסיבובים בכל שניה, והיא נתונה בביטוי: $f = \frac{v}{2\pi r}$

▶ במקרה של האלקטרון המקיף את הגרעין:

$$f = \frac{v}{2\pi r} = \frac{2.2 \times 10^6}{2\pi \cdot 5.3 \times 10^{-11}} = 6.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ב- מהו הזרם החשמלי הנוצר במסלול זה?

◀ על פי הגדרת הזרם:

$$I = \frac{q}{t}$$

◀ לכן עלינו לחשב כמה מטען זורם סביב הגרעין במשך שניה אחת. מטען האלקטרון הוא: $1.6 \cdot 10^{-16} \text{C}$ והוא מקיף את הגרעין $6.6 \cdot 10^{15}$ פעמים בשנייה.

◀ לכן, המטען המקיף את הגרעין במשך שנייה אחת הוא למעשה:

$$q = 6.6 \cdot 10^{15} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 0.001 [C]$$

◀ והזרם:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{0.001}{1} = 0.001 [A] = 1 [mA]$$

בתיל נחושת אופייני יש כ- $2 \cdot 10^{21}$ אלקטרונים חופשיים בכל סנטימטר אורך.
נתון כי מהירות הסחיפה של האלקטרונים לאורך התיל היא 0.05 ס"מ לשנייה.

- א- כמה אלקטרונים יעברו דרך חתך רוחבו של התיל בכל שניה?
- ב- מה יהיה גודלו של הזרם החשמלי בתיל?

בתיל נחושת אופייני יש כ- $2 \cdot 10^{21}$ אלקטרונים חופשיים בכל סנטימטר אורך.
נתון כי מהירות הסחיפה של האלקטרונים לאורך התיל היא 0.05 ס"מ לשנייה.
א- כמה אלקטרונים יעברו דרך חתך רוחבו של התיל בכל שניה?

◀ נעבור מביטוי של מספר אלקטרונים ליחידת אורך לביטוי של מספר אלקטרונים לשנייה על ידי הקשר:
 $L = v_d t$

$$n_e = n_e \cdot \frac{L}{L} = \frac{v_d \cdot t}{L}$$

$$\frac{n_e}{t} = n_e \cdot \frac{v_d}{L}$$

$$\frac{n_e}{t} = 2 \cdot 10^{21} \cdot \frac{0.05}{1} = 10^{20} \left[\frac{\text{electrons}}{\text{second}} \right]$$

◀ מהירות הסחיפה נתונה ב-ס"מ לשנייה ויחידת האורך נתונה ב-ס"מ.

ב- מה יהיה גודלו של הזרם החשמלי בתיל?

◀ את הזרם נחשב על פי הקשר:

$$I = \frac{q}{t}$$

◀ מהסעיף הקודם אנו יודעים כמה אלקטרונים עוברים בחתך של התיל בכל שניה, ומתוך ידיעת מטען האלקטרון נקבל:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{n_e}{t} e = 10^{20} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 16[A]$$

תיל אלומיניום שקוטרו 0.1 ס"מ מולחם בקצהו האחד לתיל נחושת שקוטרו 0.064 ס"מ. התיל המשולב נושא זרם קבוע של 10 אמפר.

א- צפיפות הזרם מוגדרת כזרם ליחידת שטח חתך (I/A). מהי צפיפות הזרם בכל תיל?

ב- הניחו כי בתיל הנחושת יש $8.4 \cdot 10^{22}$ אלקטרונים חופשיים בכל סמ"ק. מהי מהירות הסחיפה בתיל הנחושת?

תיל אלומיניום שקוטרו 0.1 ס"מ מולחם בקצהו האחד לתיל נחושת שקוטרו 0.064 ס"מ. התיל המשולב נושא זרם קבוע של 10 אמפר.

א- צפיפות הזרם מוגדרת כזרם ליחידת שטח חתך (I/A). מהי צפיפות הזרם בכל תיל?

◀ נחשב את שטח החתך הרוחב של כל מוליך. עבור האלומיניום:

$$A = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{0.1^2}{4} = 0.0079 [cm^2]$$

$$A = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{0.064^2}{4} = 0.0032 [cm^2] \quad \text{◀ ועבור הנחושת:}$$

◀ בהנחה כי הזרם הוא אחיד לאורך כל התיל המשולב נוכל לרשום עבור האלומיניום:

$$\frac{I}{A} = \frac{10}{0.0079} = 1,300 \left[\frac{A}{cm^2} \right]$$

◀ ועבור הנחושת:

$$\frac{I}{A} = \frac{10}{0.0032} = 3,100 \left[\frac{A}{cm^2} \right]$$

ב- הניחו כי בתיל הנחושת יש $8.4 \cdot 10^{22}$ אלקטרונים חופשיים בכל סמ"ק. מהי מהירות הסחיפה בתיל הנחושת?

אנו מכירים את הקשר: $I = n_e \cdot e \cdot \bar{v}_d \cdot A$

נבטא את מהירות הסחיפה: $\bar{v}_d = \frac{I}{A \cdot n_e \cdot e}$

מהסעיף הקודם קיבלנו עבור הנחושת: $\frac{I}{A} = \frac{10}{0.0032} = 3,100 \left[\frac{A}{cm^2} \right]$

נתון כי: $n_e = 8.4 \cdot 10^{22}$, וידוע כי מטען האלקטרון הוא: $1.6 \cdot 10^{-19}$ קולון

ולכן:

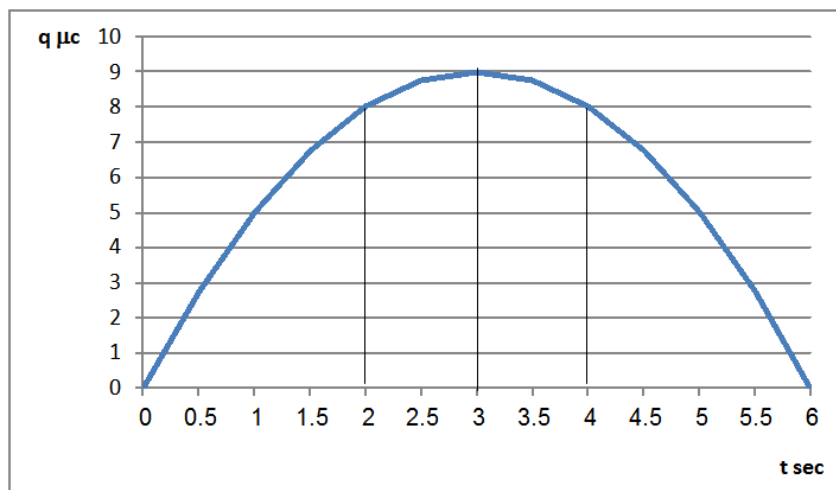
$$\bar{v}_d = \frac{3100}{8.4 \cdot 10^{22} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 0.230 \left[\frac{cm}{s} \right]$$

הגרף הנתון מתאר את כמות המטען החשמלי העוברת בחתך של מוליך במשך 6 שניות.

א- תארו במילים את האופן בו משתנה הזרם בפרק זמן זה. התייחסו לעוצמה ולכיוון.

ב- השתנות המטען נתונה באמצעות הפונקציה: $q(t) = -t^2 + 6t$ חשבו את עוצמת הזרם הרגעית ב- $t=1$, $t=2$ s, $t=3$ s, $t=4$ s ו- $t=5$ s.

ג- הראו כי תשובתכם בסעיף א' תואמת את זו שבסעיף ב'.

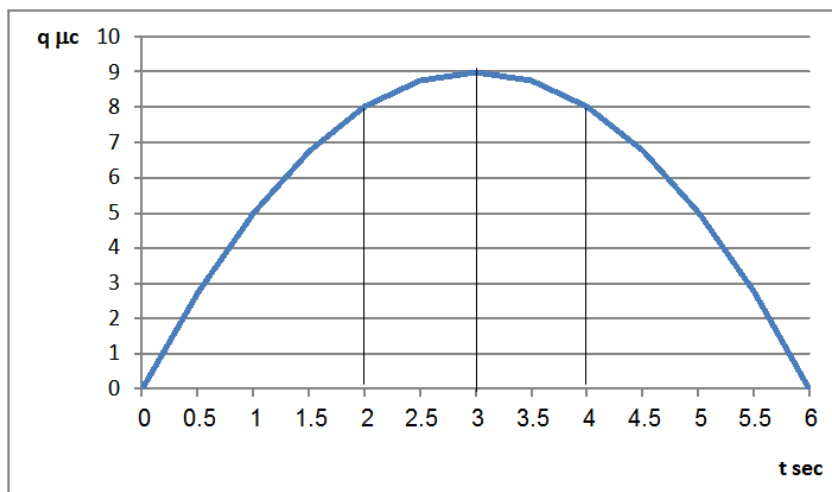


א- תארו במילים את האופן בו משתנה הזרם בפרק זמן זה. התייחסו לעוצמה ולכיוון.

על פי ההגדרה, הזרם שווה לשיפוע הגרף המתאר את המטען כפונקציה של הזמן:

$$I = \frac{q}{t}$$

על פי שיפועי הגרף, הזרם בתיל הולך וקטן עד לרגע $t=3s$. ברגע $t=3s$ הוא מתאפס ולאחר מכן הוא משנה את כיוונו והולך וגדל שוב עד ל- $t=6s$. ערכו של הזרם בשתי נקודות הקצה של ציר הזמן, אך כיוונו הפוך.



ב- השתנות המטען נתונה באמצעות הפונקציה: $q(t) = -t^2 + 6t$ חשבו את עוצמת הזרם הרגעית ב- $t=1$, $t=2s$, $t=3s$, $t=4s$ ו- $t=5s$.

◀ כאשר הזרם בתיל אינו קבוע, עלינו להתייחס לזרם הרגעי, המשתנה כל הזמן. במקרה זה הזרם מוגדר כנגזרת של המטען לפי הזמן:

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow i = q'(t)$$

◀ כלומר:

$$q(t) = -t^2 + 6t$$

$$i(t) = q'(t) = -2t + 6$$

$$i(1) = -2 \cdot 1 + 6 = 4A$$

$$i(2) = -2 \cdot 2 + 6 = 2A$$

$$i(3) = -2 \cdot 3 + 6 = 0$$

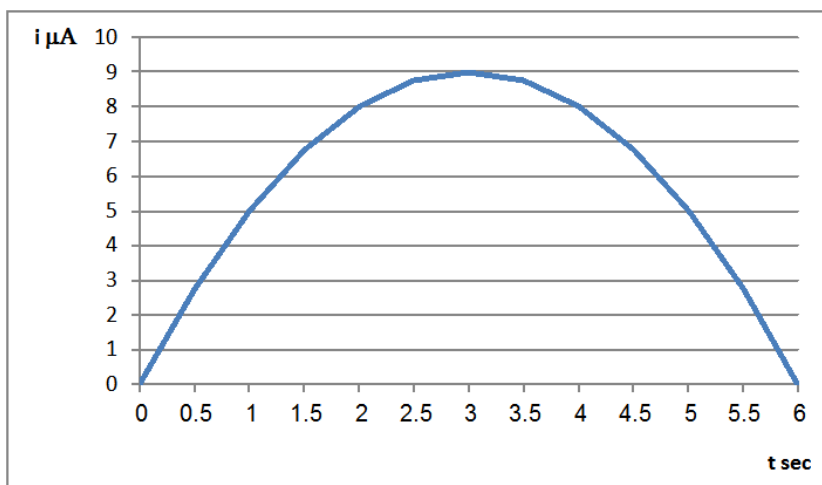
$$i(4) = -2 \cdot 4 + 6 = -2A$$

$$i(5) = -2 \cdot 5 + 6 = -4A$$

- ג- הראו כי תשובתכם בסעיף א' תואמת את זו שבסעיף ב'.
- ◀ בסעיף ב' קיבלנו כי הזרם יורד מ- $4A$ ל- 0 ולאחר מכן עולה שוב (בכיוון שלילי) מ- 0 ל- $4A$, זאת בתאימות לתשובה בסעיף ב'.

הגרף הנתון מתאר את השתנות הזרם בזרם במוליך במשך 6 שניות. ידוע כי השתנות הזרם נתונה באמצעות הפונקציה: $i(t) = -t^2 + 6t$.

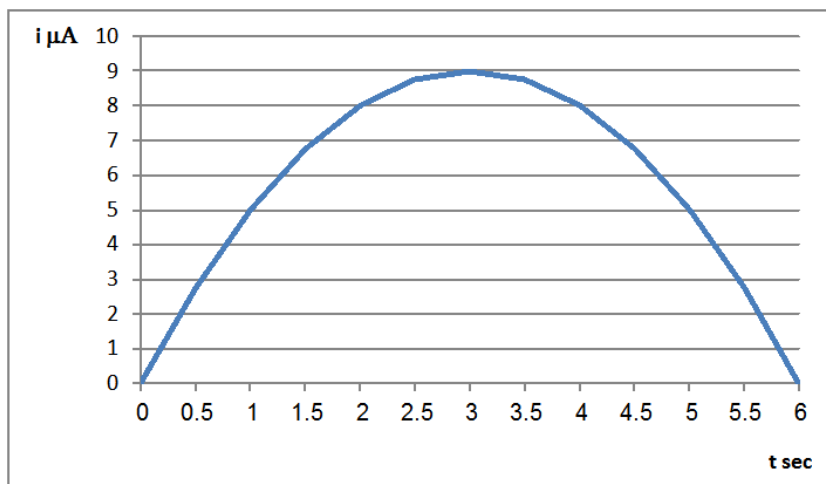
א- חשבו את כמות המטען הכוללת שעברה בחתך של המוליך בפרק זמן זה.



- א- חשבו את כמות המטען הכוללת שעברה בחתך של המוליך בפרק זמן זה.
 למדנו כי המטען הכולל העובר במוליך שווה (מספרית) לשטח הכלוא מתחת לגרף של הזרם כפונקציה של הזמן:

$$q = \int i(t) dt$$

- לכן, בהינתן פונקציה זו, נוכל לחשב את השטח המבוקש באמצעות האינטגרל הבא:



$$q = \int i(t) dt$$

$$q = \int_0^6 (-t^2 + 6t) dt$$

$$q = -\frac{t^3}{3} + 3t^2 \Big|_{t=0}^{t=6}$$

$$q = -72 + 108 = 36[C]$$