

# שדות אלקטרומגנטיים להנדסת חשמל

פרק 10 - חוק אמפר- מתוך פיזיקה 2

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים.....1

## הרצאות ותרגילים:

רקע:

חוק אמפר:

$$C_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

$$I_{in} = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

מקדם המגנטיות של הריק  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$

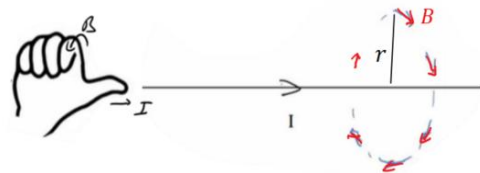
כאשר האינטגרל הוא על הרכיב המשיק של B לאורך מסלול סגור. בדרכ, נבחר מקרים שבהם B אחיד לאורך המסלול והאינטגרל יהיה B כפול אורך המסלול. הזרם הוא סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול.

המקרים הנפוצים של חוק אמפר:

1. תיל / גליל / מעטפת גלילית אינסופיים
2. מישור אינסופי
3. סליל אינסופי / טורואיד

שדה של תיל אינסופי (ראינו גם בחוק ביו-סבר):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



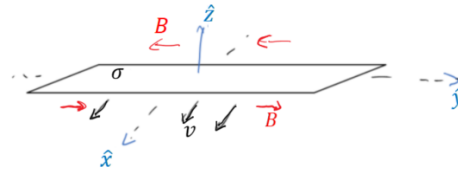
כאשר  $r$  הוא המרחק מהתיל.

כיוון השדה מעגלי מסביב לזרם ולפי כלל הבורג כאשר הזרם בכיוון האגודל והשדה בכיוון האצבעות, ניתן להגיד שכיוון השדה הוא בכיוון  $\hat{\theta}$  כאשר הזרם בכיוון  $\hat{z}$ .

**שדה של מישור אינסופי :**

עבור מישור דק הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma$  ונע בכיוון  $\hat{x}$  במהירות  $v$ .

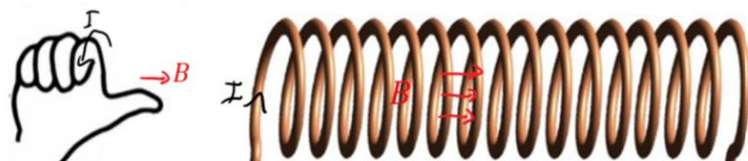
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$$



**שדה של סליל אינסופי :**

$$B = \mu_0 I n$$

כאשר  $n$  הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל. כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.

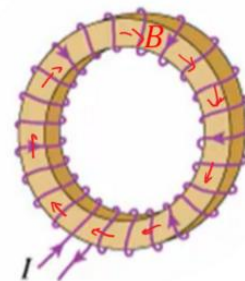


**טורואיד :**

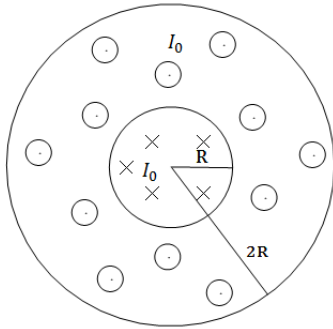
$$B = \frac{\mu_0 I N}{2\pi r}$$

$N$  - מספר הליפופים הכולל.

$r$  - המרחק ממרכז הטורואיד.



**שאלות:**



**(1) כבל קו-אקסיאלי**

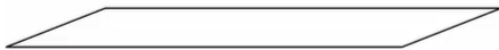
כבל קו-אקסיאלי מורכב מגליל מוליך בעל רדיוס  $R$  ומעטפת מוליכה עבה בעלת רדיוס פנימי  $R$  ורדיוס חיצוני  $2R$  (ניתן להניח כי קיים מבודד דק בין הגליל הפנימי למעטפת).  
גליל הפנימי זורם זרם  $I_0$  בצפיפות זרם אחידה לתוך הדף.

במעטפת זורם גם כן זרם  $I_0$  בצפיפות אחידה החוצה מהדף.

א. מצא את צפיפות הזרם בגליל ובמעטפת.

ב. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?

**(2) שדה של מישור דק אינסופי**



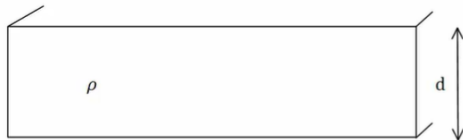
נתון מישור אינסופי דק אשר זורם בו זרם.

נניח שהמישור טעון בצפיפות מטען  $\sigma$ .

המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה- $x$  במהירות קבועה  $V_0$ .

חשב את השדה המגנטי.

**(3) שדה של מישור עבה**



מישור אינסופי בעובי  $d$  טעון בצפיפות מטען

אחידה ליחידת נפח  $\rho$ .

המישור מונח במקביל למישור  $xy$  וראשית

הצירים במרכזו.

המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה- $x$  (החוצה מהדף) במהירות קבועה  $V_0$ .

מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

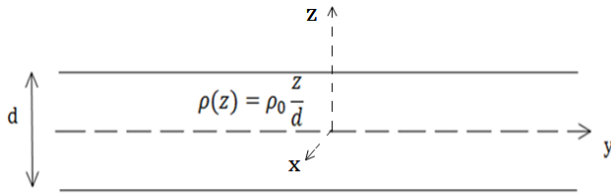
**(4) שדה של סליל אינסופי**

נניח אורך סליל  $l$  ומספר ליפופים כולל של סליל  $N$ .

צפיפות הליפופים  $n$ , רדיוס טבעת  $a$  ושטח חתך הסליל של כל טבעת הינו  $S$ .

קיימת סימטריה בציר ה- $z$ .

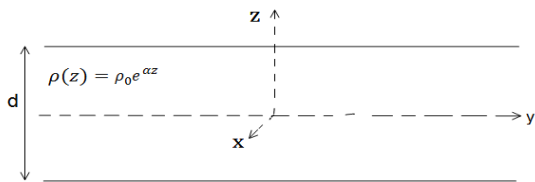
חשב את השדה המגנטי.



**(5) מישור עם צפיפות מטען משתנה**  
מישור אינסופי בעובי  $d$  טעון בצפיפות מטען משתנה ליחידת נפח  $\rho(z) = \rho_0 \frac{z}{d}$ . המישור מונח במקביל למישור  $xy$  וראשית הצירים במרכזו.

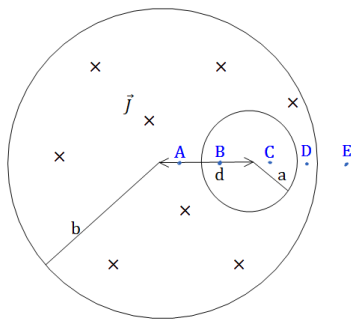
המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה- $x$  (החוצה מהדף) במהירות קבועה  $V_0$ . מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

**(6) מישור אינסופי עם צפיפות אקספוננציאלית**



מישור אינסופי בעובי  $d$  טעון בצפיפות מטען משתנה ליחידת נפח  $\rho(z) = \rho_0 e^{\alpha z}$  כאשר אלפה קבוע. המישור מונח במקביל למישור  $xy$  וראשית המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה- $x$  (החוצה מהדף) במהירות קבועה  $V_0$ . מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

**(7) חור בגליל**



גליל אינסופי ברדיוס  $a$  קודחים חור גלילי ברדיוס  $b$ . מרכז החור נמצא במרחק  $d$  ממרכז הגליל. בגליל זורם זרם לתוך הדף בצפיפות זרם אחידה ונתונה  $J$ .

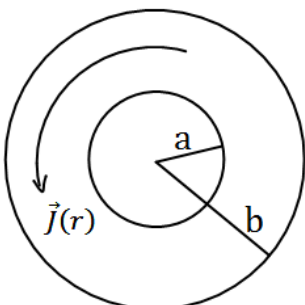
א. מצא את השדה המגנטי בנקודות  $A, B, C, D, E$  המסומנות בסרטוט.

הנח כי מרחק הנקודות מהמרכז ידוע וכי כל הנקודות נמצאות על הציר העובר בשני מרכזי הגלילים.

ב. מצא את השדה המגנטי בכל נקודה בתוך החור.

רמז:  $\hat{\theta} = \hat{z} \times \hat{r}$  והשדה בתוך החור אחיד.

**(8) שדה מגנטי של זרם היקפי**



גליל אינסופי בעל רדיוס פנימי  $a$  ורדיוס חיצוני  $b$  זורם זרם היקפי בעל צפיפות זרם  $\vec{J}(r) = Ar^3 \hat{\theta}$ . מצא את השדה המגנטי בכל המרחב.  $A$  קבוע נתון.

## תשובות סופיות:

$$\vec{J}_{in} = \frac{I_0}{\pi R^2} \hat{z} \quad r < R, \quad \vec{J} = \frac{-I_0}{\pi 3R^2} \hat{z} \quad R < r < 2R. \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\vec{B} = \frac{I_0 r}{2\pi R^2} \hat{\theta} \quad r < R, \quad B=0 \quad R < r < 2R. \quad \text{ב.}$$

$$\vec{B} = \frac{\sigma V_0 \mu_0}{2} \begin{cases} (-\hat{y}) & z > 0 \\ (+\hat{y}) & z < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\vec{B} = \rho_0 V_0 z (-\hat{y}), \quad \vec{B} = \frac{\rho V_0 d \mu_0}{2} \begin{cases} -\hat{y} & z > \frac{d}{2} \\ \hat{y} & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad (3)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \ln \hat{z} \quad (4)$$

$$\vec{B}=0 \quad z > \frac{d}{2}, \quad \vec{B}=0 \quad z < -\frac{d}{2}, \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \rho_0 V_0}{2d} \left( \left( \frac{d}{2} \right)^2 - z^2 \right) \hat{y} \quad -\frac{d}{2} < z < \frac{d}{2} \quad (5)$$

$$\vec{B} = \frac{\rho_0 V_0}{2\alpha} \left( e^{-\alpha \frac{d}{2}} - e^{\alpha \frac{d}{2}} \right) \hat{y} \cdot \begin{cases} (+1) & z > \frac{d}{2} \\ (-1) & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad (6)$$

$$\vec{B} = \frac{\rho_0 V_0}{2\alpha} \left( e^{-\alpha \frac{d}{2}} + e^{\alpha \frac{d}{2}} - 2e^{\alpha z} \right) \hat{y} \quad -\frac{d}{2} < z < \frac{d}{2}$$

$$\vec{B}_A = \frac{\mu_0 J}{2} \left( r + \frac{b^2}{d-r} \right) \hat{\theta}, \quad \vec{B}_B = \frac{\mu_0 J d}{2} \hat{\theta}, \quad \vec{B}_C = \frac{\mu_0 J d}{2} \hat{\theta}, \quad \vec{B}_D = \frac{\mu_0 J r}{2} \hat{\theta} - \frac{\mu_0 J b^2}{2(r-d)} \hat{\theta}. \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 J}{2} \hat{z} \times d. \quad \text{ב.} \quad \vec{B}_E = \frac{\mu_0 J a^2}{2r} - \frac{\mu_0 J b^2}{2(r-d)} \hat{\theta}$$

$$\vec{B} = \frac{b^4 - r^4}{4} \mu_0 \hat{z} \quad a < r < b, \quad \vec{B} = A \frac{b^4 - a^4}{4} \mu_0 \hat{z} \quad 0 < r < a \quad (8)$$