# פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות

## פרק 14 - חוק אמפר

### תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים ..... 1

# הרצאות ותרגילים:

## רקע:

**חוק אמפר** :

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

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

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

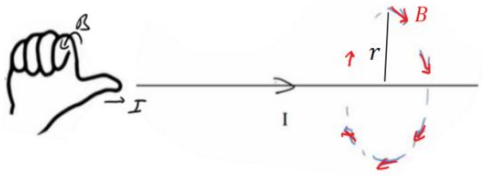
כאשר האינטגרל הוא על הרכיב המשיק של B לאורך מסלול סגור. בדרך, נבחר מקרים שבהם B אחיד לאורך המסלול והאינטגרל יהיה B כפול אורך המסלול.
הזרם הוא סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול.

**המקרים הנפוצים של חוק אמפר** :

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

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

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



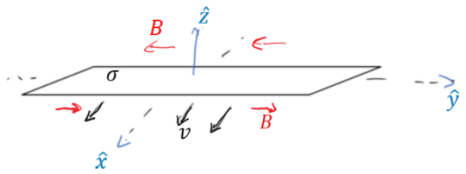

כאשר r הוא המרחק מהתיל.

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 $v$.

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

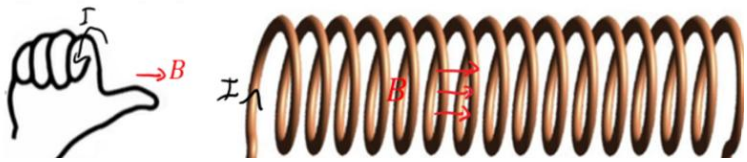



**שדה של סליל אינסופי:**

$$B = \mu_0 I n$$

כאשר $n$ הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל.

כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.

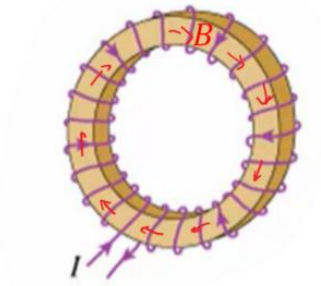



**טורואיד:**

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

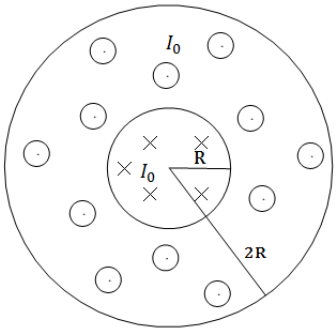
N - מספר הליפופים הכולל.

r - המרחק ממרכז הטורואיד.



## שאלות:

**1) כבל קו-אקסיאלי**

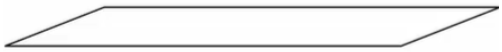



כבל קו-אקסיאלי מורכב מגליל מוליך בעל רדיוס R ומעטפת מוליכה עבה בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני 2R (ניתן להניח כי קיים מבודד דק בין הגליל הפנימי למעטפת).
בגליל הפנימי זורם זרם $I_0$ בצפיפות זרם אחידה לתוך הדף.
במעטפת זורם גם כן זרם $I_0$ בצפיפות אחידה החוצה מהדף.

א. מצא את צפיפות הזרם בגליל ובמעטפת.

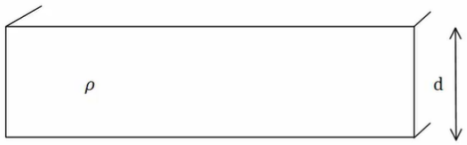
ב. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?

**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**

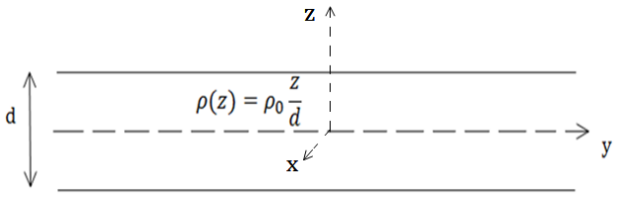



מישור אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח $\rho$.
המישור מונח במקביל למישור $xy$ וראשית הצירים במרכזו.
המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה-$x$ (החוצה מהדף) במהירות קבועה $V_0$.
מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

**4) שדה של סליל אינסופי**

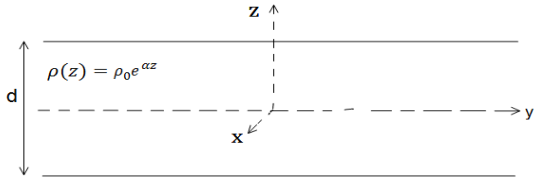
נניח אורך סליל l ומספר ליפופים כולל של סליל N.
צפיפות הליפופים n, רדיוס טבעת a ושטח חתך הסליל של כל טבעת הינו S.
קיימת סימטריה בציר ה-z.
חשב את השדה המגנטי.

**5) מישור עם צפיפות מטען משתנה**



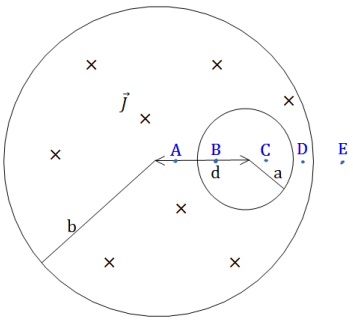

מישור אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען משתנה ליחידת נפח $\rho(z)=\rho_0\frac{z}{d}$ .
המישור מונח במקביל למישור $xy$ וראשית הצירים במרכזו.
המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה-$x$ (החוצה מהדף) במהירות קבועה $V_0$ .
מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

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

**7) חור בגליל**

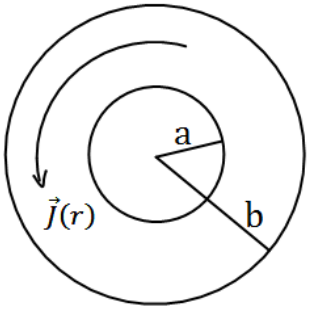



בגליל אינסופי ברדיוס a קודחים חור גלילי ברדיוס b.
מרכז החור נמצא במרחק d ממרכז הגליל.
בגליל זורם זרם לתוך הדף בצפיפות זרם אחידה ונתונה J .

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**




בגליל 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:

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

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

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

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

**4)** $\vec{B}=\mu_0 In\hat{z}$

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

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

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

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

ב. $\vec{B}=\frac{\mu_0 J}{2}\hat{z}\times d$ $\qquad$ $\vec{B}_E=\frac{\mu_0 Ja^2}{2r}-\frac{\mu_0 Jb^2}{2(r-d)}\hat{\theta}$

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