# פיזיקה קלאסית 2 (לפיזיקאים)

## פרק 22 - שדות משתנים בזמן

### תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים ..... 1

# הסברים ותרגילים:

## רקע:

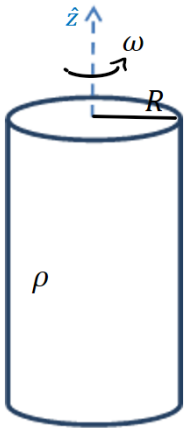
ממשואות מקסוול רואים ששדה מגנטי שמשתנה בזמן יוצר שדה חשמלי ולהפך.

**אם נתון שדה מגנטי משתנה בזמן וצריך לחשב את השדה החשמלי אז:**
נשתמש במשוואה השלישית של מקסוול כמו חוק פארדי ובמקום הכא"מ נחשב את האינטגרל כאשר בדר"כ יש סימטריה גלילית והאינטגרל הופך ל $E2\pi r$

**אם נתון שדה חשמלי משתנה בזמן וצריך לחשב את השדה המגנטי אז:**
נשתמש במשוואה הרביעית כמו חוק אמפר רק שבמקום זרם יש $\int \varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}\vec{E}}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}\vec{s}$ (או במקום צפיפות זרם $\varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}\vec{E}}{\mathrm{d}t}$ ) שנקרא זרם העתקה (לא באמת זרם).

## שאלות:

**1) גליל טעון מסתובב בתאוצה**

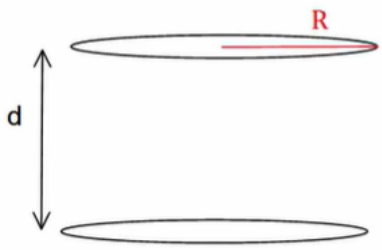



גליל אינסופי מלא ברדיוס R טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח $\rho$.
הגליל מסתובב סביב ציר הסימטריה שלו במהירות זוויתית המשתנה בזמן $\omega = \alpha t$ כאשר $\alpha$ קבועה ונתונה.

א. מה השדה המגנטי בכל המרחב?
ב. מה השדה החשמלי בכל המרחב?
ג. מה הכוח שפועל על מטען?

**2) שדה חשמלי תלוי בזמן בתוך קבל לוחות ווקטור פוינטינג על השפה**

קבל לוחות מורכב משני לוחות עגולים ברדיוס R המקבילים זה לזה ונמצאים במרחק $d$ אחד מהשני $d<<R$.




הקבל מחובר למעגל חשמלי המספק לקבל זרם I קבוע (ונתון).

א. מצא את המטען על הקבל כפונקציה של הזמן אם נתון ש-$q(t=0)=0$

ב. מצא את השדה החשמלי כפונקציה של הזמן.

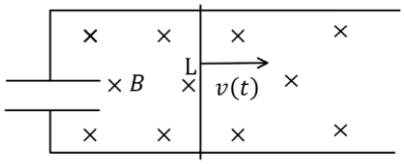
ג. מצא את השדה המגנטי כפונקציה של הזמן והמיקום, בתוך הקבל ומחוץ לו.

ד. מצא את האנרגיה האגורה בין הלוחות.

ה. מצא את הוקטור פוינטינג על שפת הקבל וחשב את השטף שלו על מעטפת הקבל.

**3) פארדיי עם קבל**

קבל לוחות מעגלי ברדיוס a ומרחק בין הלוחות (d<<a) מחובר למסילה מוליכה חסרת התנגדות.




על המסילה מונח מוט חסר התנגדות באורך L. מושכים את המוט כך שהוא מתרחק מהקבל במהירות $v(t)=At$.

במרחב קיים שדה מגנטי B אחיד וקבוע לתוך הדף.

א. מהו המטען על הקבל? על איזה לוח המטען החיובי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך הקבל?

ג. מהו השדה המגנטי בתוך הקבל ומחוץ לו, גודל וכיוון (התעלם מהשדה שנוצר ע"י התיילים והמוט)?

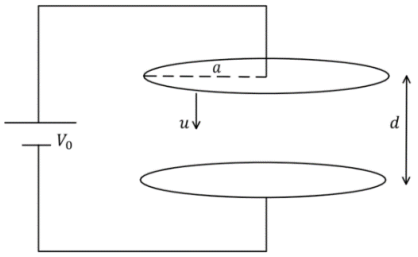
ד. מהו הכוח שיש להפעיל על המוט על מנת שינוע במהירות הנתונה אם מסת המוט היא M?

**4) לוחות בקבל מתקרבים בזמן**

קבל לוחות מורכב משני לוחות מעגליים ברדיוס a ומרחק $d \ll a$ ביניהם.

הקבל מחובר למקור מתח קבוע $V_0$.

בזמן $t = 0$ מתחילים לקרב את הלוח העליון אל התחתון במהירות קבועה ונמוכה u.




א. מהו המתח בין לוחות הקבל כתלות בזמן?

ב. מהו השדה החשמלי בין לוחות הקבל כתלות בזמן?

ג. מהו השדה המגנטי בין לוחות הקבל ומחוץ להן כתלות בזמן?

ד. חזור על כל הסעיפים אם ניתקו את הקבל מהמקור רגע לפני תחילת ההזזה של הלוח.

## תשובות סופיות:

**1)** א. $r < R \quad \vec{B} = \mu_0 \rho \omega \frac{R^2 - r^2}{2} \hat{z} \quad , \quad r > R \quad \vec{B} = 0$

ב. $r < R \quad \vec{E} = -\mu_0 \rho \alpha \frac{1}{2r} \left( R^2 \frac{r^2}{2} - \frac{r^4}{4} \right) \hat{\theta} + E_r(r) \hat{r} \quad , \quad r > R \quad \vec{E} = \frac{-\mu_0 \rho \alpha}{2r} \left( \frac{R^4}{4} \right) \hat{\theta} + (E_r) \hat{r}$

ג. $\vec{F} = q\vec{E}$

**2)** א. $q(t) = It$

ב. $\vec{E} = \frac{-q(t)}{\varepsilon_0 \pi R^2} \hat{z}$

ג. $\vec{B} = \frac{-\mu_0 Ir}{2\pi R^2} \hat{\theta}$

ד. $U = \frac{I^2 t^2 d}{2\varepsilon_0 \pi R^2} + \frac{\mu_0 I^2 d}{16\pi}$

ה. $\vec{S} = \frac{-1}{\mu_0} \cdot \frac{q(t)}{\varepsilon_0 \pi R^2} \frac{\mu_0 IR}{2\pi R^2} \hat{r} \quad , \quad \phi_S = \frac{-I^2 td}{\varepsilon_0 \pi R^2}$

**3)** א. $q_c = \frac{\varepsilon_0 \pi a^2}{d} BLAt$ , עליון.

ב. $\vec{E} = \frac{BLAt}{d} \hat{z}$

ג. $r < a \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \varepsilon_0 B_0 LAr}{2d} \hat{\theta} \quad ,$

$a < r \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \varepsilon_0 BLAa^2}{2dr} \hat{\theta}$

ד. $F = MA + \frac{\varepsilon_0 \pi a^2}{d} B_0^2 L^2 A$

**4)** א. $V_c(t) = V_0$

ב. $\vec{E} = \frac{-V_0 \hat{z}}{d - ut}$

ג. $r < a \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \varepsilon_0 V_0 ur\hat{\theta}}{2(d - ut)^2} \quad ,$

$r > a \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \varepsilon_0 V_0 ua^2 \hat{\theta}}{2(d - ut)^2 r}$

ד. $\vec{B} = 0 \quad , \quad \vec{E} = \frac{-V_0 z}{d} \quad , \quad V_c(t) = \frac{d - ut}{d} \cdot V_0$