

פיזיקה 2C (חשמל ומגנטיות)

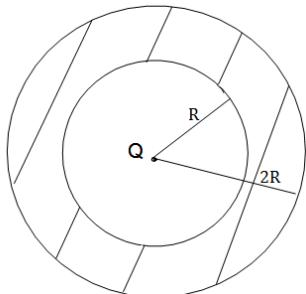
פרק 20 - תרגילים ברמת מבחן

תוכן העניינים

1 1. תרגילים

תרגילים:

שאלות:



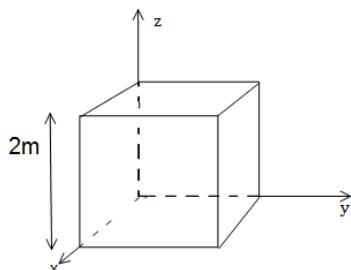
1) מטען במרכז קליפה
מטען נקודתי Q נמצא במרכזו של קליפה כדורית עבה.

רדיוס הקליפה הפנימי הוא R ורדיוסה החיצוני הוא $2R$.
הקליפה מוליכה ואינה טעונה.

א. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודה

$$\text{הנמצאת ב-} r = \frac{R}{3} \text{ לבין הנקודה הנמצאת ב-} R = 3r.$$

ב. חזר על סעיף א' עבור המקרה בו הקליפה טעונה במטען כולל Q .



2) מטען אנרגיה ופוטנציאל בקובייה

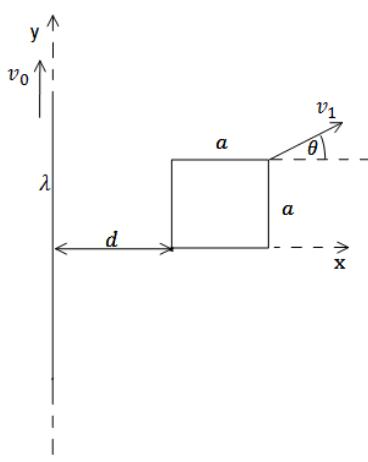
נתון שדה במרחב: $\vec{E} = 2\hat{y} + 3\hat{z}$

קובייה בעלת צלע של $2m$ נמצא ברגע הראשוני כך שאחד מקדוקדייה נמצא על הראשית (ראה ציור).

א. חשב את סך המטען הכלוא בתחום קובייה.

ב. מהי האנרגיה האלקטרוסטטית בתחום הקובייה?

ג. מצא מהו הפרש הפוטנציאלים בין ראשית הצירים והקדוקוד
המצא בנקודה $(0,2,0)$.



3) מסגרת נעה באլכסון ליד תיל נע

תיל אינסופי נמצא לאורכו ציר ה- y .

התיל טוען בצפיפות מטען אחידה ליחידה

אורץ g ונע בכיוון ציר ה- y במהירות קבועה v_0 .

מסגרת מלכנית בעלת צלע a נמצא ב- $t = 0$ במשורט $y-x$ כך שהפינה השמאלית שלה מרוחקת

מרחק d מהתיל (ראה סרטוט).

התנדות המסגרת היא R .

המסגרת נעה במהירות קבועה v_1 ובזווית טטה
ביחס לציר ה- x .

א. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון.

ב. מהו הכוח הפועל על המסגרת על מנת למשוך אותה במהירות קבועה?

ג. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהולך לאיבוד חום בנגד?

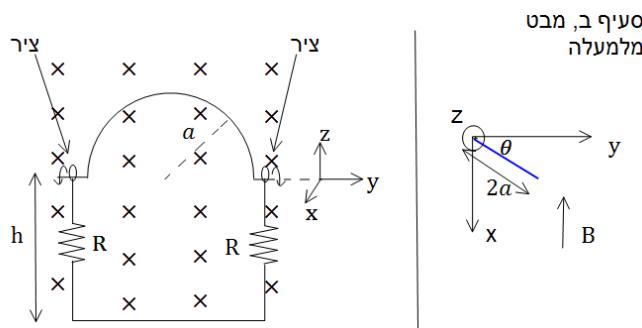
4) כבל מסתובב

במערכת הבאה ישנו כבל מוליך אידיאלי בצורת חצי מעגל ברדיוס a . בשתי הקצוות של חצי המעגל הכבול מחובר לצירים כך שניתן לו סובבו סביבים (סביב ציר ה- y בציור).

הצירים מחוברים למסגרת מלכנית בגובה $a > h$, המסגרת קבועה במקומות. בכל צד של המסגרת קיימים נגד R .

במרחב קיימת שדה מגנטי אחיד B לתוכן הדף (במינוס X).

ב- $t=0$ הכבול נמצא במצב המתוור בציור ומחילהים לסובבו סביב הצירים (ציר ה- y) ב מהירות זוויתית ω (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל מתקדמות אלינו).

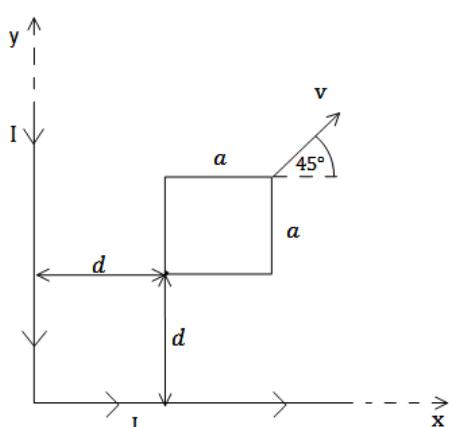


- א. מהו הזרם בכבל?
- ב. נניח כי העמוד השמאלי של המסגרת נמצא בראשית וניתן לסובבו את כל המערכת סביב עמוד זה.
- מצאת הזווית בה צריך לסובבו את המסגרת כך שהזרם יקטן פי 2.
- ג. מצאת הזווית בה צריך לסובבו את המסגרת כך שההספק יקטן פי 2.

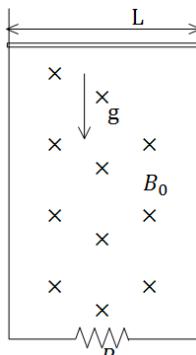
5) מסגרת נעה בין שני תילים

תיל אינסופי מכופף בזווית של 90° כך שחלק אחד של התיל נמצא על החלק החיוובי של ציר ה- x והחלק השני על החלק החיוובי של ציר ה- y (ראה סרטוט).

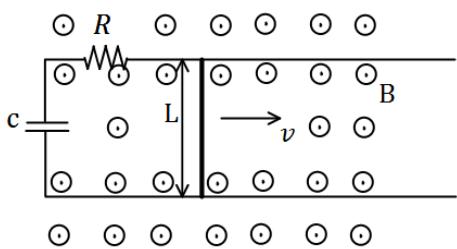
בתיל זורם זרם I קבוע, נגד השעון. מסגרת מלכנית בעלת צלע a נמצאת ב- $t=0$ ביחס לישור $y-x$ כך שהפינה השמאלית התחתונה שלה מרוחקת מרחק d מכל חלק של התיל (ראה סרטוט). התנגדות המסגרת היא R .



- המסגרת נעה ב מהירות קבועה v ובזווית של 45° ביחס לציר ה- x .
- א. מצאת הזרם במסגרת, גודל וכיוון.
- ב. מהו הכוח הפועל על המסגרת על מנת למשוך אותה ב מהירות קבועה?
- ג. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהולך לאיבוד חום ב נגד?



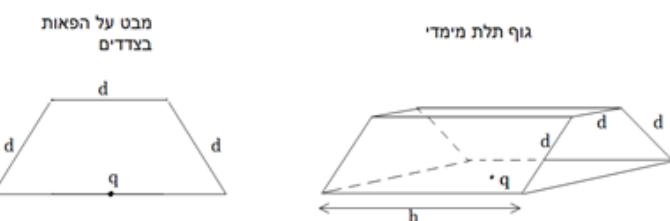
- 6) מוט מוליך מונח על מסילה אנכית ונופל בהשפעת כוח הכבידה. במרחב קיימת שדה מגנטי B לתוך הדף. רוחב המסילה הוא L ומסת המוט היא M התנגדות המסילה קבועה ושויה ל- R .
- מצא את הכא"ם במעגל כתלות ב מהירות המוט v .
 - מצא את כיוון השדה המשורה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.
 - מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדין כתלות ב מהירות).
 - רשות משווה כוחות על המוט. מהי מהירות הסופית של המוט?
 - מצא את מהירות והזרם כפונקציה של הזמן.

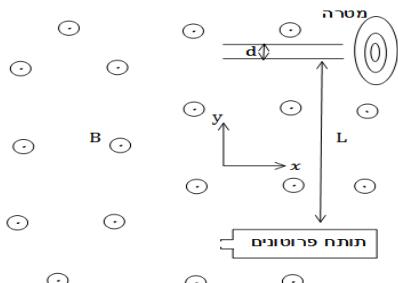


- 7) פארדי עם קבל ונגד ביחד מוט מוליך באורך L נע על גבי מסילה מוליכה ב מהירות קבועה בזמן v . למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R וקבל בעל קיבול C . בכל המרחב קיימת שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

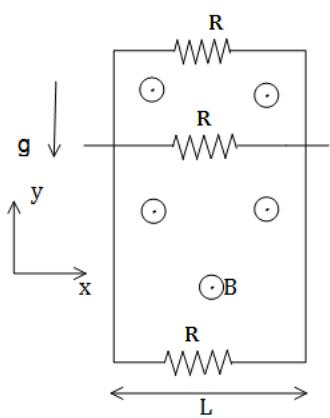
- מצא את הזרם במעגל גודל וכיוון (כתלות בזמן).
- מה הכוח בו צריך למשוך את המוט על מנת שיישאר ב מהירות קבועה?
- מצא מהו ההספק של הכוח הנ"ל (כתלות בזמן).
- מצא מהו ההספק נגד ובקבל (כתלות בזמן).
- הראה כי ההספק של הכוח החיצוני שווה להספק של הקבל והנגד. הסבר מדוע ההספקים שווים.

- 8) שטף דרכ משושה
בציור ישנו גוף תלת מימדי שפאותיו בצדדים הם חצאי משושה שווה צלעות עם אורך צלע d . המרחק בין הפאות הוא h וידוע $h \gg d$.
מטען נקודתי q נמצא במרכז הבסיס של הגוף.
מצא את השטף דרך אחת הפאות המלבניות (באורך h ורוחב d).



**9) תותח פרוטוניים**

תותח פרוטוניים יורה פרוטוניים ב מהירות
שונות בכיוון מינוס ציר ה- x .
ב מרחק L מעל התותח נמצא קובל לוחות
כאשר המרחק בין הלוחות הוא $L \ll d$.
ב סוף הקובל נמצא מטרה.
ב מרחב קיימים שדה מגנטי B אחיד ובכיוון z .
מצא את המתח ש צריך להפעיל על הקובל על
מנת שהפרוטונים יפגעו במרכז המטרה.

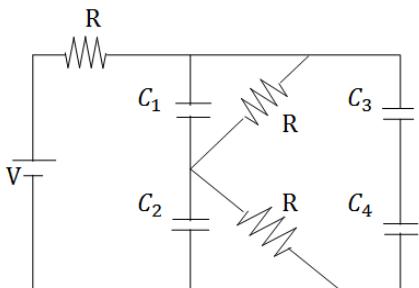
**10) נגד נופל במסגרת**

מסגרת מלכנית מוליכה, אורך 매우 גבוה ובעל
רוחב L , נמצא בשדה הכבוד.
אורכה נמצא על ציר ה- y ורוחבה על ציר ה- x .
בצלע העליון ובצלע התחתונה של המסגרת
קיימים נגדים עם התנגדות זהה R .
מוחט מוליך בעל התנגדות זהה R מחלק לאורך
ציר ה- y על המסגרת.

מצא את המהירות הסופית של המוט אם במרחב
קיים שדה מגנטי אחיד B בכיוון Z ונתונה מסת המוט.

11) אנרגיה של קבליים

ב מעגל הבא נתון מתח המקור וההתנגדות הנגדים (זהה לכל הנגדים).



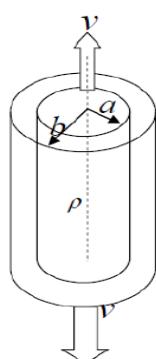
א. מצא את האנרגיה האגורה בקבליים

ב מצב העמיד אם נתון ש-

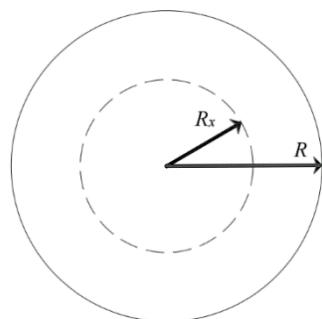
$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$$

ב. כתע נתון שהגדילו את המרוחק בין
الלוחות של קובל C_3 פי 2 ולקובל
הכניסו חומר דיאלקטרי בעל מקדם
דיאלקטרי ϵ_r הממלא את כל הנפח
בתוך הקובל.

מצא שוב את האנרגיה האגורה בקבליים.

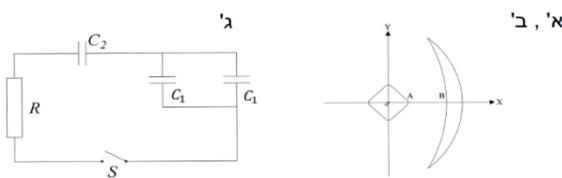


- 12) גליל וקליפה טעוניים ונעימים**
- במערכת הבאה ישנו גליל מבודד מלא ואינסופי ברדיוס a . מסביב לגליל ישנה קליפה גלילית מבודדת דקה ברדיוס σ (לגליל ולקליפה ציר מרכזי מסוות). צפיפות המטען יחידת נפח בתוך הגליל היא ρ והוא אחידה, וצפיפות המטען יחידת שטח בקליפה היא σ והוא אחידה גם כן.
- מצא מהו היחס $\frac{\rho}{\sigma}$ כך שהשدة מחוץ לקליפה יתאפס.
 - מהו השדה החשמלי בכל המרחב?
 - מהו הפוטנציאלי החשמלי בכל המרחב ומהו הפרש הפוטנציאלי בין הגליל לקליפה?
 - cut מזינים את הגליל במחירות קבועה γ לפני מעלה ואת הקליפה באותה המחירות ככל מטה.
 - מהו השדה המגנטי בכל המרחב?



- 13) חור בתוך כדור**
- כדור שרדיויסו R טוען בצפיפות נתונה אשר שווה $\rho(r) = Cr^3$.
- ידוע כי המטען הכלול של הכדור שווה Q .
- מצא את הפרמטר C .
 - מיי עוצמת השדה החשמלי בכל המרחב?
 - מוציאים מהכדור ליבת כדורית שרדיויסה R_x אשר יוצר חלל פנימי אך שאר החומר עדין טוען כמו קודם. הפרמטר x אינו ידוע. במצב החדש עוצמת השדה החשמלי בכל התחום $R > x$ נחלשה פי 2.
- מצא את עוצמת השדה החשמלי בתחום $R \leq x \leq R$ (אפשר אך אין חובה למצוא את R_x).

- 14) קבל לא סטנדרטי**
- בתרשים שלפנינו מתואר קבל הבניי משני גופים מוליכים שצורתם איננה סטנדרטית. היצירים x, y מוגדרים בשרטוט.
- נתונות קואורדינטות של הנקודות A, B , $x_A = a, x_B = b$.
- ידוע כי כאשר קבל זה טוען בטען q הפוטנציאלי על ציר x בין הנקודות A ו- B ניתן לפי הנוסחה $\varphi = \gamma q(x^2 + ax + bx)$.



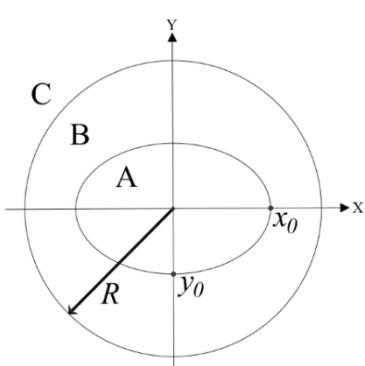
- א. מהו קיבולו של הקובל?
- ב. מלאים את הרכות שבין שני גופי הקובל בחומר דיאלקטרי, בעקבות זאת השדה בתוך הקובל משתנה וקטור השדה בנקודות של ציר z נתון לפי הנוסחה הבאה: $(zy^2, 2xy, x^2 + z^2) = \vec{E}$ מצא את קיבול הקובל במקרה זה.
- ג. טוענים את הקובל של סעיף א' ונותנים לו להתרפק דרך נגד R . כעבור 7 שניות, לאחר תחילת הפריקה נתון כי עוצמת הזרם במעגל ירדה פי 100. בניסוי נספּ מחרבים מעגל בשלושה קבילים כפי שרטוט 2 מראה, המעגל כולל 2 קבילים של סעיף א' (C_1) ועוד קובל של הסעיף ב' (C_2). טוענים את הקבילים ונותנים להם להתרפק דרך אותו הנגד R . כמה זמן יעבור כתע מרגע סגירת המפסק ועד שהזרם יקטן פי 100.

15) מוליך לא סטנדרטי

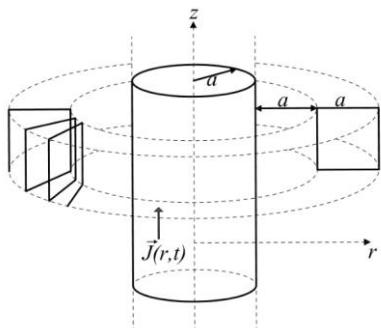
נתונה קליפה גלילית דקה שאינה מוליכה באורך אין סוף. בתוך הקליפה נמצא גוף נוספת, מוליך שאורכו גם אין סוף. באירוע מוצג חתך של המערכת, נסמן ב-A את שטח חתך המוליך, ב-B את התוחום בין המוליך לקליפה וב-C את התוחום שמחוץ למערכת. R הוא רדיוס הקליפה הגלילית אשר טעונה בצפיפות מטען אחידה σ . מערכת הצירים נבחרה כך שציר z מתלכד עם ציר הסימטריה של הקליפה (שימו לב כי צורת החתך המוצגת באירוע הינה להמחשה בלבד).

נתונה נקודת החיתוך $(0,0,x_0)$ של שפת המוליך עם ציר z ראו איור.

$$\vec{E}_C(x, y, z) = \frac{\sigma R(5x, y, 0)}{\epsilon_0(25x^2 + y^2)}$$



- א. מצאו את תרומתה של הקליפה הגלילית לווקטור השדה החשמלי בכל מקום במרחב. (כפונקציה של x ו- y).
- ב. קבלו ביטוי עבור וקטור השדה החשמלי בתחום A ובתחום B.
- ג. חשבו את הפרש הפוטנציאלי $\Delta\phi$ בין הנקודות $(0, y_0, z_0)$ הנמצאת אף היא על שפת המוליך לבין הנקודה $(R, 0, 0)$ שעלה הקליפה הגלילית.

**16) טורואיד מסביב לגליל עם זרם**

נתון גליל מוליך אינסופי שרדיווסו a החושה את הזרם $\hat{J} = crt^2$ (r, t) קבוע c חיובי.

א. מצא את וקטור השדה המגנטי בסביבתו החיצונית ($r > a$).

מקיפים את הגליל בסליל סגור בעל כרכיות

שצורתן ריבוע שאורך צלעותיו a נראה בשרטוט.

בעלת חתך ריבועי כמתואר על ידי הקווים המונוקדים.

הדופן הפנימית של הסליל מרוחקת מרחק a מעטפת הגליל.

בנוסף נתון שהסליל הוא תיל בעל רדיוס חתך $\frac{a}{100}$ והתנודות סגולית m .

ב. חשבו את השטף המגנטי דרך כריכה בודדת בסליל.

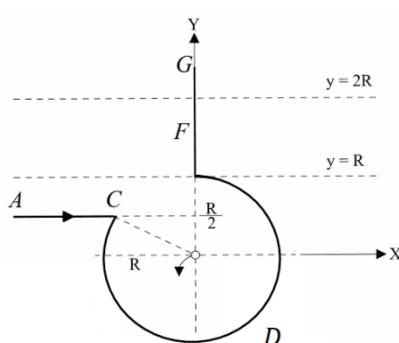
ג. חשבו את הזרם המשורה בסליל כפונקציה של הזמן וציינו את כיונו.

17) חישוב שדה של תיל מיוחד

תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיויסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים.

המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).

בתיל זרים זרם I , כיוון הזרם מסומן בשרטוט.



א. מהו גודלו וכיוונו של וקטור השדה המגנטי במרכזו החלק המעגלי של התיל?

ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכזו החלק המעגלי של התיל משלולו מטהעך עקב השפעת השדה המגנטי של התיל. צורת המסלול וכיונו התנועה נתונות בשרטוט. מהו סימן מטענו של החלקיק?

ג. בניסוי נושא יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחומים $2R < y < R$.

חלק של התיל FG נמצא בתחום זה (ראו בשרטוט).

נתון וקטור השדה $(0,0, ay^2)$, כאשר הקבוע a נתון.

מהו הכוח המגנטי ששהה זה מפעיל על התיל?

18) משולש נכנס הפוך לשדה מגנטי

משולש מתכתי נכנס לאזור ברוחב a בו קיים שדה מגנטי אחיד B . מהירות המשולש קבועה בזמן t ונתונה כ- v .

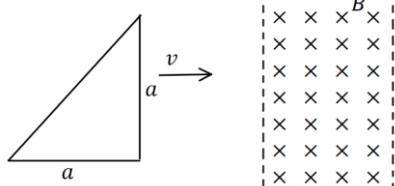
נתון כי הצלע הימנית של המשולש נכנסת לשדה ב- $t = 0$. המשולש שווה שוקיים ואורך כל שוק הוא a .

התנגדות המשולש היא R .

א. חשב את הכאים במסגרת כתלות בזמן t וצייר גרף (t) .

ב. מהו הספק איבוד האנרגיה?

ג. חשב את הכוח הדורש כדי שהמסגרת תנעה במהירות קבועה.



19) מציאת צפיפות זרם בגליל אינסופי

גליל אינסופי בעל רדיוס R מונח כך שצירו המרוצאי מקביל לציר ה- x . בתחום הגליל ישנו שדה

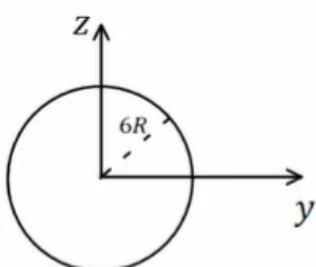
$$\text{מגנטי } \vec{B}(x, y, z) = \frac{\mu_0 J_0 R}{\sqrt{y^2 + z^2}} (-z\hat{y} + y\hat{z}).$$

התנגדות הסגולית של הגליל היא ρ_0 .

א. מצא את צפיפות הזרם בגליל.

ב. מהו השדה החשמלי בתחום הגליל?

ג. מהו השדה המגנטי מחוץ לגליל?



תשובות סופיות:

$$-\frac{KQ}{2R} \cdot 5 \text{ נ.} \quad -\frac{KQ}{6R} \cdot 13 \text{ נ.} \quad (1)$$

$$-6 \text{ נ.} \quad U = \frac{208}{3} \varepsilon_0 \text{ נ.} \quad 24\varepsilon_0 \text{ נ.} \quad (2)$$

$$\text{נ.} \quad I_1(t) = \frac{\mu_0 I_0 a V_1 \cos \theta}{2\pi} \left(\frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \text{ נ.} \quad (3)$$

$$P_{ext} = |F| |V_1| \cos \theta \text{ נ.} \quad \vec{F}_{ext} = \frac{-\mu_0 I_0 I_1 a}{2\pi} \left(\frac{1}{x(t)+a} - \frac{1}{x(t)} \right) \hat{x} \text{ נ.} \quad (4)$$

$$\theta = 45^\circ \text{ נ.} \quad \theta = 60^\circ \text{ נ.} \quad I = \frac{B\pi a^2 \omega}{4R} \sin \omega t \text{ נ.} \quad (5)$$

$$\vec{F}_{ext} = \frac{-\mu_0 I_1 I_0 a}{4\pi} \left(\frac{1}{y_1+a} - \frac{1}{y_1} \right) (\hat{x} + \hat{y}) \text{ נ.} \quad I_1 = \frac{|\varepsilon|}{R} \text{ נ.}$$

$$P_{ext} = \frac{\mu_0 I_1 I_0 a}{4\pi} \left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_1+a} \right) V \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2 \text{ נ.} \quad P_R = I_1^2 R = P_{ext} \text{ נ.}$$

$$\text{ב. שדה מושרحة- בכיוון השדה הקיים, זרם} \quad |\varepsilon| = B_0 L v_y \text{ נ.} \quad (6)$$

$$v_{final} = \frac{mgR}{B_0^2 \cdot L^2} \text{ נ.} \quad F_B = -\frac{B_0^2 L^2}{R} v \hat{y} \text{ נ.} \quad \text{במעגל- בכיוון השעון.}$$

$$v(t) = \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) \frac{mg}{k}, \quad k = \frac{B_0^2 L^2}{R} \text{ נ.}$$

$$\vec{F}_{ext} = \frac{B^2 L^2 V}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \hat{x} \text{ נ.} \quad \text{עם השעון.} \quad I(t) = \frac{BLV}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \text{ נ.} \quad (7)$$

$$P_R = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} e^{-\frac{2t}{RC}}, \quad P_C = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} \left(e^{-\frac{t}{RC}} - e^{-\frac{2t}{RC}} \right) \text{ נ.} \quad P_F = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \text{ נ.}$$

ה. הוכחה.

$$\phi_{E_i} = \frac{q}{6\varepsilon_0} \quad (8)$$

$$V = \frac{qB^2 L d}{2m} \quad (9)$$

$$V = \frac{3Rmg}{2B^2 L^2} \quad (10)$$

$$U_T = \frac{1}{2} \varepsilon_r C \left(\frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} C \left(\frac{V}{3} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{C}{3} \left(\frac{2}{3} V \right)^2 \text{ נ.} \quad U_T = 2C \left(\frac{V}{3} \right)^2 \text{ נ.} \quad (11)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho r}{2\epsilon_0} \hat{r} & 0 < r < a \\ \frac{\rho a^2}{2\epsilon_0 r} \hat{r} & a < r < b \\ 0 & b < r \end{cases} . \text{ב. } \frac{\rho}{\sigma} = -\frac{2b}{a^2} . \text{ נ. (12)}$$

$$\varphi = \begin{cases} \frac{\rho r^2}{4\epsilon_0} + \frac{\rho a^2}{2\epsilon_0} \left(\ln \frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) & 0 < r < a \\ \frac{\rho a^2}{2\epsilon_0} \ln \frac{b}{a} & a < r < b \\ 0 & b < r \end{cases} . \text{ג.}$$

$$\vec{B} = \begin{cases} \frac{\mu_0 V}{2} (\rho r) \hat{\theta} & 0 < r < a \\ \frac{\mu_0 V}{2} \left(\frac{\rho a^2}{r} \right) \hat{\theta} & a < r < b \\ \frac{\mu_0 V}{2} \left(\frac{\rho a^2 - \sigma 2b}{r} \right) \hat{\theta} & b < r \end{cases} . \text{ט.}$$

$$E = \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} - \frac{KQ}{2r^2} . \text{ג. } E = \begin{cases} \frac{Cr^4}{6\epsilon_0} & r < R \\ \frac{KQ}{r^2} & R < r \end{cases} . \text{ב. } C = \frac{3Q}{2\pi R^6} . \text{ נ. (13)}$$

$$t = 12 \text{ sec} . \text{ג. } C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \text{ב. } C = \frac{1}{\gamma 2(b^2 - a^2)} . \text{ נ. (14)}$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(5x, y, 0)}{(25x^2 + y^2)} - \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x, y, 0)}{(x^2 + y^2)} . \text{ב. } \vec{E} = \frac{R\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{(x\hat{x} + y\hat{y})}{(x^2 + y^2)} . \text{ נ. (15)}$$

$$\Delta\varphi = \frac{4\sigma R}{5\epsilon_0} \ln \frac{R}{x_0} . \text{ג.}$$

$$\phi_B = \frac{\mu_0 C t^2 a^4}{3} \ln 2 . \text{ב. } \vec{B}(r, t) = \frac{\mu_0 C t^2 a^3}{3r} \hat{\theta} \quad r > a . \text{ נ. (16)}$$

$$I = \frac{\mu_0 C \cdot 2 \cdot t a^5 \ln 2 \cdot \pi}{3} \cdot 10^{-4} . \text{ג.}$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} . \text{ג.} \quad \text{ב. שלילי} \quad \vec{B}_z = \frac{0.396 \mu_0 I}{R} \hat{z} . \text{ נ. (17)}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} BV(a - Vt) & t \leq \frac{a}{V} \\ BV(2a - Vt) & \frac{a}{V} \leq t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ נ } (18)$$

$$P(t) = \begin{cases} (BV(a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R} & t < \frac{a}{V} \\ (BV(2a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R} & \frac{a}{V} < t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ ז}$$

$$F = \begin{cases} (BV(a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R \cdot V} & t < \frac{a}{V} \\ (BV(2a - Vt))^2 \cdot \frac{1}{R \cdot V} & \frac{a}{V} < t \leq \frac{2a}{V} \\ 0 & \frac{2a}{V} \leq t \end{cases} . \text{ ג}$$

$$\vec{E} = \rho_0 J_0 R \cdot \frac{1}{r} \hat{z} \quad r < 6R \quad . \text{ ג} \quad \vec{J}(r) = \frac{J_0 R}{r} \hat{z} \quad r < 6R \quad . \text{ נ } (19)$$

$$B = \frac{\mu_0 J_0 6R^2}{r} \quad r > 6R \quad . \text{ ג}$$