

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610



תוכן העניינים

1.	תנועה הרמונית פשוטה מרוסנת ומאולצת כולל משוואות דיפרנציאליות	1
2.	מבוא לגלים	10
3.	גלים רוחביים במיתר	15
4.	גלי קול	29
5.	מבוא מתמטי לחשמל	39
6.	חוק קולון-	43
7.	חוק גאוס	50
8.	פוטנציאל	59
9.	דיפול חשמלי	71
10.	מציאת התפלגות מטען	75
11.	מעגלי זרם ישר	77
12.	קבלים-	82
13.	נגדים זרם וצפיפות זרם	97
14.	חוק לורנץ וכוח על תייל נושא זרם	101
15.	חוק ביו סבר	111
16.	חוק אמפר	115
17.	חוק פאראדיי- יש לוודא שהחומר נלמד בכיתה	118

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

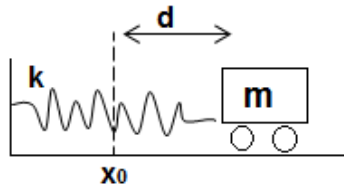
פרק 1 - תנועה הרמונית פשוטה מרוסנת ומאולצת כולל משוואות
דיפרנציאליות

תוכן העניינים

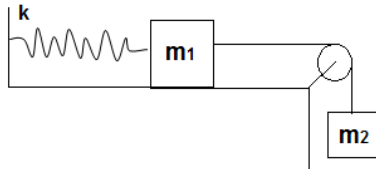
1. תנועה הרמונית פשוטה.....1
2. תנועה הרמונית מרוסנת.....3
3. תנועה הרמונית מאולצת.....5
4. תרגילים מסכמים.....7
5. תרגילים לבקשת סטודנטים.....9

תנועה הרמונית פשוטה:

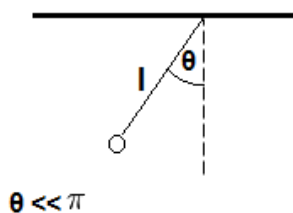
שאלות:



- (1) **דוגמה - מסה מתנגשת במסה**
 מסה m מונחת על שולחן ללא חיכוך ומחוברת לקפיץ המחובר לקיר בעל קבוע קפיץ k . מותחים את המסה מרחק d מהמיקום בו הקפיץ רפוי ומשחררים ממנוחה. מצא את $x(t)$ של המסה.



- (2) **דוגמה - מסה על שולחן מחוברת למסה תלויה**
 מסה m_1 מונחת על שולחן ללא חיכוך ומחוברת לקפיץ בעל קבוע k . מהמסה יוצא חוט העובר דרך גלגלת אידיאלית וקשור למסה נוספת התלויה באוויר M .
 א. מצא את נקודת שיווי המשקל של המערכת (קבע את הראשית בנקודה שבה הקפיץ רפוי).
 ב. מצא את תדירות התנודה של המערכת.
 ג. מהי האמפליטודה המקסימלית האפשרית לתנועה כך שהמתיחות בחוט לא תתאפס במהלך התנועה?



- (3) **דוגמה - מטוטלת מתמטית (עם אנרגיה)**
 נתונה מטוטלת (מתמטית) התלויה מהתקרה. אורך החוט של המטוטלת הוא l . מצא את תדירות התנודות הקטנות ואת הזווית כפונקציה של הזמן. הנח כי המטוטלת מתחילה את תנועתה ממנוחה בזווית ידועה θ (דרך אנרגיה).

תשובות סופיות:

$$x(t) = -\frac{v_0}{2} \sqrt{\frac{2m}{k}} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{2m}}t + \frac{\pi}{2}\right) + x_0 \quad (1)$$

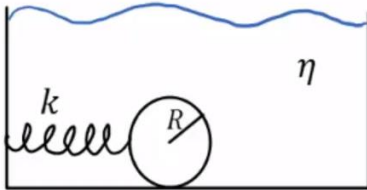
$$A_{\max} = \frac{g}{\omega^2} \quad \text{ג.} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m_1 + m_2}} \quad \text{ב.} \quad x = \frac{m_2 g}{k} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad \theta(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

תנועה הרמונית מרוסנת:

שאלות:

(1) כדור במיכל מים



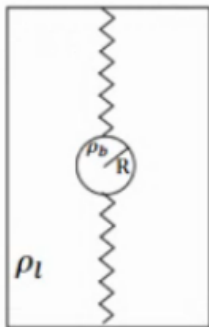
כדור בעל מסה m ורדיוס R נמצא בתוך מיכל מים ומחובר באמצעות קפיץ אופקי לדופן המיכל. קבוע הקפיץ הוא k . בתנועת הגוף במים, מפעילים המים על הכדור כוח התנגדות המתכונתי והפוך למהירותו. כוח זה נקרא כוח סטוקס וגודלו

הוא: $\vec{F} = -6\pi R\eta\vec{v}$. כאשר η היא צמיגות המים ו- R הוא רדיוס הכדור.

התייחס ל- m , k , η , R כנתונים ומצא את תדירות התנודות של הכדור

בהנחה ש- $R < \frac{\sqrt{mk}}{3\pi\eta}$. הזנח את החיכוך בין הכדור לתחתית המיכל.

(2) שני קפיצים בנוזל



כדור נמצא בתוך תיבה מלאה במים ומחובר עם קפיץ אידיאלי לקצה העליון של התיבה ועם קפיץ אידיאלי נוסף זהה לקצה התחתון של התיבה.

נתון: R - רדיוס הכדור, ρ_b - צפיפות המסה של הכדור,

ρ_l - צפיפות המסה של המים, K - קבוע שני הקפיצים ו- η - צמיגות המים.

(תזכורת: כאשר כדור נמצא בתוך נוזל פועלים עליו

כוח ציפה: $F = \rho_l V g$ וכוח סטוקס: $F = -6\pi\eta R v$).

א. מצא את נקודת שיווי המשקל של המערכת.

ב. מה התנאי שיהיו תנודות הרמוניות?

מצא את התדירות בהנחה שתנודות אלו מתקיימות.

ג. מצא את התנאי בו יחזור הכדור הכי מהר לנקודת שיווי המשקל.

(3) איבוד אנרגיה במחזור

בתנועה הרמונית מרוסנת קיים ריסון חלש כך שהאמפליטודה של התנועה יורדת ב-2.5 אחוז כל מחזור.

בכמה אחוז יורדת האנרגיה בכל מחזור?

(4) משקולת במיכל מים תלויה מהתקרה

משקולת שמסתה: $M = 1\text{kg}$ נמצאת במיכל מים ומחוברת לתקרה באמצעות קפיץ בעל קבוע: $k = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$. כוח ההתנגדות שמפעילים המים הוא מהצורה של: $\vec{F} = -\lambda \vec{v}$ כאשר: $\lambda = 4 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$ ו- $\vec{v}$ היא מהירות המסה. הניחו שהמשקולת אינה יוצאת מהמים ואינה פוגעת ברצפה.

א. תוך כמה זמן תרד האמפליטודה לחמישית מגודלה ההתחלתי? (הניחו שהפאזה היא אפס)

ב. לאחר כמה מחזורים זה יקרה?

(5) מסה באמבט מים ודבש

מסה: $m = 1\text{kg}$ נמצאת באמבט מלא מים, המסה מחוברת באמצעות שני קפיצים זהים בעלי קבוע: $k = 25 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ לשתי דפנות האמבט ונעה ללא חיכוך עם ריצפת האמבט. מזיזים את המסה 0.5m מנקודת שיווי המשקל ומשחררים ממנוחה. התנגדות המים מפעילה כוח גרר: $\vec{F} = -\lambda \vec{v}$ כאשר: $\lambda = 10 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$.

א. מהו העתק המסה כתלות בזמן?

ב. מחליפים את המים בדבש מה שמגדיל את λ פי $\sqrt{2}$. מזיזים שוב את המסה 0.5m ומשחררים, מהו העתק המסה כתלות בזמן?

תשובות סופיות:

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{3\pi R \eta}{m}\right)^2} \quad (1)$$

$$y_{eq} = \frac{F_b}{2K} \quad \text{א.} \quad \omega^* = \sqrt{\frac{2K}{m} - \left(\frac{6\pi\eta R}{2m}\right)^2} \quad \text{ב.} \quad \frac{2K}{m} = \frac{6\pi\eta R^2}{2m} \quad \text{ג.} \quad (2)$$

$$5\% \quad (3)$$

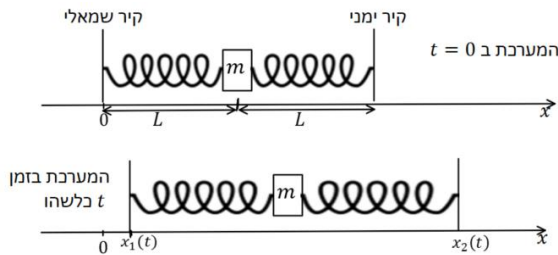
$$1.6\text{sec} \quad \text{א.} \quad \text{ב. בערך מחזור אחד.} \quad (4)$$

$$x(t) = \frac{1}{2} + \frac{5}{\sqrt{2}} t e^{-5\sqrt{2}t} \quad \text{ב.} \quad x(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-5t} \cos\left(5t + \frac{\pi}{4}\right) \quad \text{א.} \quad (5)$$

תנועה הרמונית מאולצת:

שאלות:

(1) מסה בין קירות זזים



מסה m מחוברת לשני קפיצים זהים בעלי קבוע k ואורך רפוי L משני צידיה. הקפיצים מחוברים לקירות הנמצאים במרחק L מהמסה משמאלה ומימינה והמערכת כולה מונחת על שולחן חלק (כוח הכובד לתוך הדף).

על המסה פועל כוח גרר: $F = -bv$. ב- $t = 0$ הקירות מתחילים לזוז. ראשית הצירים ממוקמת במרכז התנועה של הקיר השמאלי והכיוון החיובי ימינה. מיקום הקירות כתלות בזמן הוא: $x_1(t) = d \sin(\omega t)$, $x_2(t) = 2L + 2d \sin(\omega t)$. נתונים: $d \ll L$, d, L, ω, k, b, m .

א. מהי תדירות התנועה ומהי האמפליטודה?

ב. מה התנאי לתהודה בהנחה כי הריסון חלש מאוד?

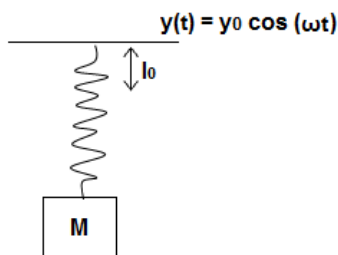
(2) מציאת תדירות ברבע אמפליטודה

מסה m מחוברת לקפיץ אופקי בעל קבוע k , המסה נעה על מישור חלק ללא חיכוך. על המסה פועל כוח גרר: $f = -bv$ וכוח מאלץ: $F(t) = d \cdot \cos(\omega t)$. מצא את תדירות הכוח בה אמפליטודת התנועה במצב העמיד תהיה רבע מהאמפליטודה המקסימלית. הנח כי: $d \ll \sqrt{mk}$, ω, b, k, m, d נתונים וכי: $b \ll \sqrt{mk}$.

(3) מסה תלויה על קרש נע

מסה M מחוברת באמצעות קפיץ אנכי לקרש אופקי הנע בציר ה- y . לפי: $y(t) = y_0 \cos(\omega t)$.

קבוע הקפיץ k ואורכו הרפוי l_0 נתונים. מצא את מיקום המסה כפונקציה של הזמן.



תשובות סופיות:

$$\omega \sim \sqrt{\frac{2k}{m}} \quad \text{ב.} \quad A(\omega) = \frac{\frac{3kd}{m}}{\sqrt{\left(\frac{2k}{m} - \omega^2\right)^2 + \left(\frac{b}{m}\right)^2 \omega^2}} \quad \text{א.} \quad (1)$$

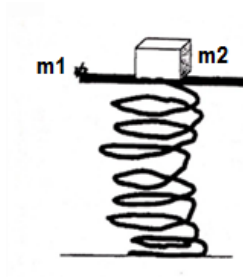
$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4C}}{2}} \quad (2)$$

$$y(t) = \frac{\frac{F_0}{m}}{\frac{k}{m} - \omega^2} \cos \omega t + y'_0 \quad (3)$$

תרגילים מסכמים:

שאלות:

(1) מסה על משטח על קפיץ אנכי



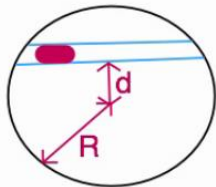
על קפיץ שקבועו k מונח משטח שמסתו m_1 , המשטח צמוד לקצהו של הקפיץ. על המשטח מונח גוף שמסתו m_2 . מכווצים את הקפיץ בשיעור Δy ומשחררים.

א. מה צריך להיות $\Delta y_{\min}$ כדי שהגוף יתנתק מן המשטח באיזה שהוא שלב?

ב. הניחו: $\Delta y = 2\Delta y_{\min}$, $k = 10 \frac{N}{m}$, $m_1 = 0.04 \text{ kg}$, $m_2 = 0.06 \text{ kg}$. ומצאו את רגע הניתוק.

ג. באמצעות הנתונים המספריים מסעיף ב', מהו מקומו ומהירותו של המשטח ברגע שהגוף ניתק מן המשטח?

(2) תנועה בתעלה בכדור"א



בתוך כדור הארץ נחפרה תעלה כבשרטוט. מסת כדור הארץ M .

מהי תדירות התנודות הקטנות של מסה החופשיה לנוע בתעלה?

(3) שתי מסות מחוברות בקפיץ**

שתי מסות m_1 ו- m_2 מחוברות בקפיץ בעל קבוע k ואורך רפוי l . המסות נמצאות במנוחה על מישור אופקי חלק.

נותנים דחיפה ימינה למסה m_1 המקנה לה מהירות התחלתית v_0 .

א. מהי תדירות התנודות של התנועה (כתלות בנתוני הבעיה)?

רמז: על מנת לפתור את המשוואות יש להחליף משתנים ל-

$$x_{c.m.} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}; \quad x_{rel} = x_1 - x_2$$

ב. מצאו את מיקום המסה m_2 כתלות בזמן.

תשובות סופיות:

$$\Delta y_{\min} = \frac{(m_1 + m_2)}{k} \quad \text{א.} \quad (1) \quad \text{ב.} \quad t_1 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1} \left(-\frac{1}{2} \right)$$

$$v(t) = \dot{y}(t) = -2\Delta y_{\min} \omega \sin(\omega t), \quad \Delta y_{\min} = \frac{(m_1 + m_2)}{k} \quad \text{ג.}$$

$$\ddot{x} = - \left(\frac{M}{R^3} \right) (x - 0) \quad (2)$$

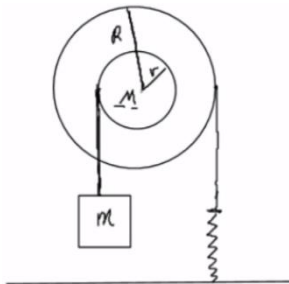
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{\mu}}, \quad \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$, \quad A = \frac{\sqrt{v_0^2 + l^2 \omega^2}}{\omega}, \quad x_2(t) = \frac{m_1}{m_1 + m} (l + v_0 t) - \frac{m_1}{m_1 + m_2} A \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{ב.}$$

$$\tan \varphi = -\frac{v_0}{\omega l}$$

תרגילים לבקשת סטודנטים:

שאלות:



(1) דיסקה כפולה מסה וקפיץ

נתונה דיסקה ממוסמרת במרכז לקיר (כלומר הדיסקה יכולה להסתובב אך לא לנוע מעלה ומטה).

הדיסקה בנויה משתי דיסקיות מודבקות בעלות רדיוס r לדיסקה הקטנה ו- R לדיסקה הגדולה.

סביב הדיסקות מלופפים חוטים כמתואר בשרטוט. עוד נתון כי אין החלקה לחוטים.

א. מצא את תדירות התנודות.

ב. מהי האנרגיה הכוללת של המערכת?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \omega = \sqrt{\frac{kR}{\frac{1}{2}MR + \frac{r^2}{R}}} \quad \text{א.} \quad E_{\text{total}} = \frac{1}{2}kx^2 - mgx + \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}m\dot{x}^2 \quad \text{ב.}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 2 - מבוא לגלים

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 10

הרצאות ותרגילים – מבוא לגלים

סוגי גלים ותאור גלים

רקע:

גל - הפרעה שמתקדמת במרחב

גלים רוחביים - גלים שבהם ההפרעה היא בכיוון ניצב להתקדמות הגל (מיתר מים)

גלים אורכיים - גלים שבהם ההפרעה היא בכיוון מקביל להתקדמות הגל (קול)

תווך - החומר שבו מתקדמת ההפרעה

פונקציית הגל - פונקציה שמתארת את ההפרעה כתלות בזמן ובמרחב. פונקציית הגל צריכה להיות פונקציה מהצורה $f(x \pm vt)$, כאשר v היא מהירות הגל.

יש להבחין בין מהירות התקדמות הגל למהירות של החלקיקים בחומר!

אמפליטודה (משרעת) - הערך המרבי של ההפרעה בגל (בדרי"כ מסומנת באות A).

אנרגיה של גל - $E \propto A^2$

משוואת הגלים

רקע:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} : \text{משוואת הגלים במימד אחד}$$

כל פונקציה מהצורה $f(x \pm vt)$ היא פתרון של משוואת הגלים. סכום של שני פתרונות מהווה גם פתרון אם לשני הפתרונות אותה מהירות גל.

שאלות

1) תרגיל - קוסינוס בשלישית

האם הפונקציה $y(x,t) = A \cos^3(ax + bt)$ מהווה פתרון של משוואת הגלים? במידה וקיים תנאי, פרטו את התנאי, מצאו את מהירות הגל ואת כיוון תנועתו.

2) תרגיל - סכום של שתי פונקציות

האם הפונקציה $y(x,t) = f(x - at) + g(x + bt)$ מהווה פתרון למשוואת הגלים? במידה וקיים תנאי, פרטו את התנאי, מצאו את מהירות הגל ואת כיוון תנועתו.

(3) האם הפונקציות הבאות הן פתרון של משוואת הגלים?

א. $y(x, t) = 0.005 \sin(20x - 660t) + 0.009e^{(x+33t)}$

ב. $y(x, t) = 0.005 \sin(20x - 660t) + 0.005 \cos(x + 32t)$

(4) תרגיל - חקירת פונקציה

נתונה הפונקציה $f(x) = \frac{4}{3x^2 + 1}$.

א. שרטטו איכותית את צורת הפונקציה.

ב. רשמו ביטוי לגל בעל פרופיל זה, אשר נע בכיוון השלילי של ציר ה- x ,

במהירות $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$, בהנחה שברגע $t = 0$ מתקיים $\psi(x, 0) = f(x)$.

ג. חשבו, ישירות מהביטוי שמצאתם בסעיף הקודם, היכן נמצא

המקסימום של הגל ברגע $t_1 = 4 \text{ sec}$ וברגע $t_2 = 5 \text{ sec}$.

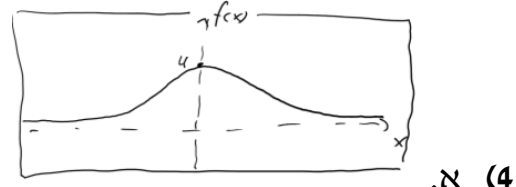
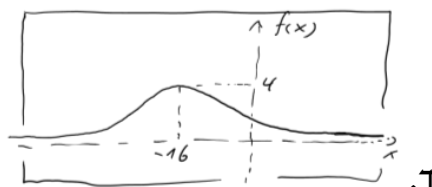
ד. שרטטו איכותית את צורת הגל ברגע $t = 2$.

תשובות סופיות

(1) $\frac{b}{a}$, בכיוון השלילי של ציר ה- x .

(2) $Y(x, t)$ מהווה פתרון רק אם $a = \pm b$ ואז מהירות הגל היא a .
לתנאים ראו בסרטון.

(3) א. כן. ב. לא.



ב. $\frac{4}{3(x+4t)^2 + 1} = 4(x, t)$ ג. -16, -20

תכונות ותופעות בגלים

רקע:

התאבכות - סכימה של גלים שנפגשים

חזית גל - אוסף הנקודות המגיעות לשיא באותו זמן

גלים הרמוניים

רקע:

גל מחזורי - גל שמכיל מקטע שחוזר על עצמו

אורך הגל - אורך הקטע שחוזר, מסומן ב- λ (בדור"כ נמדד ע"י המרחק בין שיא לשיא)

זמן המחזור - הזמן שלוקח לגל לעשות מחזור שלם, מסומן ב- T , $\lambda = v \cdot T$

תדירות - מספר המחזורים בשנייה, מסומנת ב- f , $f = \frac{1}{T}$

גל הרמוני - פונקציית קוסינוס או סינוס, $y(x, t) = A \cos(kx \pm \omega t + \varphi)$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

מספר הגל - k , $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$\omega = v \cdot k$$

גל עומד

מאפיינים:

1. נקודות צומת- נקודות שלא זזות - node
2. אין מהירות גל
3. נקודת טבור - נקודות שבהן האמפליטודה מקסימאלית - antinode
4. מורכב משני גלים נעים זהים הנעים בכיוונים מנוגדים

משוואת גל עומד היא מהצורה

$$y(x, t) = A \sin(kx) \cos(\omega t + \varphi) = \frac{A}{2} \sin(kx - (\omega t + \varphi)) + \frac{A}{2} \sin(kx + (\omega t + \varphi))$$

שאלות

(1) תרגיל - חישוב ערכים בסיסיים בגל במיתר

במיתר נע גל $y(x, t) = 2 \cos(500t - 0.2x)$.

א. חשבו את האמפליטודה, התדר הזוויתי (ω) , התדר (f) , מספר הגל (k) , אורך הגל (λ) ומהירות הגלים.

ב. באותו מיתר קיים גל $y(x, t) = 2 \sin(500t - 0.2x) + 2 \sin(500t - 0.2x + 0.6)$.
על ידי שימוש בזהות של סכום סינוסים, קבלו את הגל השקול. מה מתאר גל זה?

(2) תרגיל - חישוב תדירויות ואורכי גל של גל א"מ

אורך הגל של אור כתום הוא $\lambda = 605 \text{ nm}$.

א. כמה מחזורים של הגל ניתן להכניס לעובי של נייר $(D = 0.08 \text{ mm})$?

ב. איזה מרחק יכסו אותו מספר מחזורים שמצאתם בסעיף א, אם מדובר בגלי מיקרו בעלי תדירות של $f = 10^{10} \text{ Hz}$?

גלי מיקרו נעים במהירות האור, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

ג. מהי מהירות הקול בגוש ברזל, אם מתפשט בו גל בתדירות $f = 5 \cdot 10^7 \text{ Hz}$, עם אורך גל של $\lambda = 9 \cdot 10^{-5} \text{ m}$?

(3) תרגיל - סכום של N גלים עם הפרשי פאזה ומספרים מורכבים**

נתבונן ב- N גלים מהצורה $A \cos(kx - \omega t)$, כאשר בין גל לגל הפרש פאזה $\Delta\phi$, כלומר הגל ה- n הינו $A \cos(kx - \omega t + n\Delta\phi)$.

א. הראו שסכום הגלים, $\sum_{n=1}^N A \cos(kx - \omega t + n\Delta\phi)$, שקול לגל יחיד עם אותם

ערכי ω ו- k , ומצאו את האמפליטודה והפאזה שלו. היעזרו בכתוב מרוכב.

ב. עבור אילו ערכי $\Delta\phi$ מתקבלת אמפליטודה מקסימלית ומינימלית?

(4) תרגיל - סכום גלים עם הפרשי תדירויות

נתונים N גלים התלויים בזמן כך שקיים הפרש תדירות קבוע בין כל שני גלים $\delta\omega$. כלומר הגל ה- n הוא מהצורה: $A \cos(\omega_0 t + n\delta\omega t)$.

א. השתמשו בתוצאה של התרגיל הקודם ומצאו את סכום הגלים מ- $n = 0$ ועד $n = N - 1$.

ב. הראו שעבור $N = 2$ מתקבלת התוצאה של חיבור שני גלים שראינו בסרטון ההרצאה.

תשובות סופיות

(1) א. $A = 2m, \omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, f = 79.6 \text{ Hz}, k = 0.2 \frac{1}{m}, \lambda = 10\pi m, v = 2500 \frac{m}{s}$

ב. $-3.3 \sin(0.4x - 1000t)$, גל סינוס עם פאזה של π בתדירות כפולה ואורך גל כפול ואמפליטודה של 3.3.

(2) א. 130. ב. $\frac{3}{9}m$. ג. $4500 \frac{m}{s}$

(3) א. אמפליטודה $\tilde{A} = A \frac{\sin\left(\frac{N\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}$; פאזה $\tilde{\phi} = \frac{N+1}{2} \Delta\phi$.

ב. האמפליטודה המקסימלית היא NA והיא מתקבלת כש- $l = 0, 1, 2$ $\Delta\ell = 2\pi l$.

האמפליטודה המינימלית היא אפס והיא מתקבלת עבור $\Delta\phi = \frac{2\pi k}{N}$,

כאשר $\frac{k}{N}$ לא שלם.

(4) א. $A \frac{\sin\left(N \frac{\delta\omega t}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\delta\omega t}{2}\right)} \cos\left(\omega_0 t + \frac{N-1}{2} \delta\omega t\right)$. ב. ראו בסרטון.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 3 - גלים רוחביים במיתר

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגולים 15

גלים רוחביים במיתר

משוואת הגלים במיתר

משוואת הגלים היא $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\rho}{T} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$, כאשר

T – המתחיות במיתר

ρ – צפיפות המסה ליחידת אורך

ψ – פונקציית הגל, מתארת את התנועה הרוחבית של כל חתיכה במיתר.

מהירות הגל היא $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$.

פתרון המשוואה:

$$\psi(x, t) = A \cos(kx - \omega t) + B \sin(kx - \omega t) + C \cos(kx + \omega t) + D \sin(kx + \omega t)$$

יחס הדיספרסיה: $\omega = v \cdot k$.

אפשרויות נוספות לפתרון (על ידי שימוש בזהויות טריגונומטריות)

$$\begin{aligned} \psi(x, t) &= A_1 \cos(kx - \omega t + \phi_1) + A_2 \cos(kx - \omega t + \phi_2) = \\ &= B_1 \cos kx \cos \omega t + B_2 \cos kx \sin \omega t + B_3 \sin kx \cos \omega t + B_4 \sin kx \sin \omega t = \\ &= C_1 \cos kx \cos(\omega t + \phi_1) + C_2 \sin kx \cos(\omega t + \phi_2) \end{aligned}$$

שתי האפשרויות האחרונות עדיפות לגלים עומדים.

פתרון במספרים מרוכבים

$$\psi(x, t) = A_1 e^{i(kx + \omega t)} + A_2 e^{i(kx - \omega t)} + A_3 e^{-i(kx + \omega t)} + A_4 e^{-i(kx - \omega t)}$$

אם הפונקציה ממשית, אז $A_3 = A_1^*$ ו- $A_4 = A_2^*$, והפתרון מתכנס לחלק הממשי של

$$\psi(x, t) = A e^{i(kx - \omega t)} + B e^{-i(kx + \omega t)}$$

שאלות

1) תרגיל – סטודנטית מודדת את כוח הכובד

סטודנטית רוצה למדוד את תאוצת כוח הכבידה (g) המקומי, הסטודנטית תולה חוט אנכי ומחברת אליו משקולת בעלת מסה $M = 2\text{kg}$. נתון שלחבל יש מסה של $m = 5\text{gr}$ (ניתן להניח התפלגות אחידה) ואורך של $l = 1.2\text{m}$. הסטודנטית שולחת מספר פולסים לאורך החבל ומודדת שהזמן הממוצע שלוקח לפולס להגיע מקצה לקצה הוא $t = 17.5\text{ms}$ (מילי שניות). חשבו את g (ניתן להזניח את משקל החוט ולהשתמש רק במשקל המשקולת, כאשר מחשבים את המתיחות בו).

2) תרגיל - גל קוסינוס מעורר במיתר

צפיפות המסה הקווית במיתר היא $1.2 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, במיתר מעורר גל מהצורה:

$$\psi(x, t) = 0.005 \cos(3x - 90t)$$

חשבו את מהירות הגלים במיתר, את המתיחות ואת המהירות המקסימלית בכיוון רוחבי של נקודה כלשהיא במיתר. הניחו יחידות סטנדרטיות.

3) תרגיל - גל סינוס מתקדם במיתר

נתון גל סינוס המתקדם במיתר.

א. כתבו פונקציה שתתאר גל סינוס הנע על מיתר בכיוון החיובי של ציר ה- x , בעל זמן מחזור של 5 שניות, מהירות של 20 מטר לשנייה ואמפליטודה של 6 מילימטר.

ב. רשמו ביטוי לתאוצה של כל אלמנט מסה במיתר.

ג. איפה נמצאים אלמנטי המסה במיתר בעלי התאוצה הגדולה ביותר (בערך מוחלט) בזמן $t = 3\text{sec}$?

ד. עבור אילו זמנים התאוצה של אלמנט המסה בנקודה $x = 2\text{cm}$ היא הנמוכה ביותר (בערך מוחלט)?

ה. מקטינים את התדירות f של הגל, תארו כיצד ישתנו מהירות אלמנט מסה במיתר, מהירות הגל ואורך הגל?

**4 תרגיל – פונקציה ריבועית**

נתונה פונקציה $y(x, t) = 32x^2 + 128t^2$. הניחו יחידות סטנדרטיות.

א. הראו שפונקציה זו היא פתרון של משוואת הגלים במיתר.
הדרכה: נסו לרשום את הפונקציה כצירוף של פונקציות, אשר כל אחת מהן מתארת גל במיתר.

ב. מהי מהירות הגלים במיתר זה.

ג. נתון שצפיפות המסה ליחידת אורל של המיתר היא $0.03 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ חשבו את מתיחותו.

ד. האם הפונקציה $\sqrt{32x^2 + 128t^2}$ היא גם פתרון של משוואת הגלים?

תשובות סופיות

$$(1) \quad 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$(2) \quad 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}; 0.102 \text{N}; 0.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$(3) \quad \text{א. } y(x, t) = 0.006_m \sin\left(\frac{\pi}{50}x - \frac{2\pi}{5}t\right) \quad \text{ב. } a(x, t) = 0.00096\pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{50}x - \frac{2\pi}{5}t\right)$$

ג. כאשר $x = 85_m + 50n$, מספר שלם בין מינוס אינסוף לאינסוף.

$$\text{ד. } t = 0.001_s - 2.5_s n$$

ה. מהירות אלמנט מסה במיתר קטנה, מהירות הגל לא משתנה ואורך הגל גדל.

$$(4) \quad \text{א. } y(x, t) = (4x + 8t)^2 + (4x - 8t)^2 \quad \text{ב. } 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{ג. } 0.12 \text{N} \quad \text{ד. לא.}$$

החזרה והעברה

רקע

תנאי שפה לנקודת אי-רציפות במיתר ב- $x=0$.

$$1. \psi_L(0, t) = \psi_R(0, t) \quad \text{רציפות הפונקציה}$$

$$2. F_L = F_R \quad \text{רציפות הכוח}$$

אם המתיחות אחידה, אז תנאי 2 הופך לרציפות הנגזרת

$$\left. \frac{\partial \psi_L}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial \psi_R}{\partial x} \right|_{x=0}$$

$$\psi_r(x, t) = r\psi(-x, t)$$

$$\psi_t(x, t) = t\psi\left(\frac{v_1}{v_2}x, t\right)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{T}{\rho_1}} \quad v_2 = \sqrt{\frac{T}{\rho_2}}$$

מקדם החזרה

$$r = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} = \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_2} - \sqrt{\rho_1}}$$

מקדם העברה

$$t = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} = \frac{2\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}}$$

הערה: את הנוסחאות של מקדם ההעברה וההחזרה נרשום בנושא הבא בצורה יותר כללית עם שימוש בעכבות.

שאלות

1) תרגיל – ביטול של הגל העובר או החוזר

- מיתר מורכב משני חלקים בעלי צפיפויות שונות ρ_1 ו- ρ_2 ומתיחות אחידה T .
 גל מהצורה $\Psi_A(x, t) = |A| \cos(k_1 x - \omega t)$ מתקדם בכיוון החיובי ממיתר 1
 לכיוון מיתר 2. נתונים: $\rho_2, \rho_1, k_1, T, A, \omega$.
 א. מצאו את הביטוי עבור הגל המועבר והגל המוחזר באמצעות נתוני השאלה.
 ב. נניח עתה, כי בנוסף ל- Ψ_A שולחים גל נוסף ממיתר 2 לכיוון מיתר 1:
 $\Psi_D(x, t) = |D| \cos(-k_2' x - \omega' t + \phi)$. נתון כי $\rho_2 < \rho_1$.
 מצאו את ϕ, ω', k_2', D , כך שלאחר המעבר של הגלים בין המיתרים,
 במיתר 2 יהיה רק גל הנוסע שמאלה. מהם התנאים לכך שבמיתר 1 יהיה
 רק גל הנוסע ימינה?
 ג. האם ניתן למצוא תנאי, עבורו בו-זמנית במיתר 1 יהיה רק גל הנוסע
 ימינה ובמיתר 2 רק גל הנוסע שמאלה? נמקו.

תשובות סופיות

$$\psi_r(x, t) = \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}} |A| \cos(k_1 x + \omega t)$$

$$\psi_t(x, t) = \frac{2\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}} |A| \cos(k_2 x + \omega t), \quad k_2 = k_1 \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \quad \text{א. (1)}$$

$$k_2 = k_1', \quad \omega = \omega', \quad \phi = 0$$

$$|D| = \frac{2\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}} |A| \quad \text{ב. שמאלה:}$$

$$k_2 = k_1', \quad \omega = \omega', \quad \phi = \pi$$

$$|D| = \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}}{2\sqrt{\rho_2}} |A| \quad \text{ימינה:}$$

ג. לא, כי הפאזה בכל אחד צריכה להיות שונה.

עכבה

רקע

העכבה, נקראת גם אימפדנס (impedance), מסומנת באות Z , ונוסחתה

$$Z = \sqrt{\rho T} = \frac{T}{V}$$

T – מתיחות

V – מהירות הגל

$$|Z| = \frac{|F_y|}{|V_y(t)|}$$

F_y – הכוח על אלמנט מסה

$V_y(t)$ – מהירות אלמנט מסה (מהירות החומר)

מקדמי העברה והחזרה בפגיעה של גל מתווך 1 ל-2:

$$r = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \text{ מקדם החזרה}$$

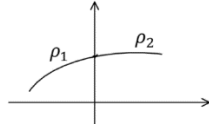
$$t = \frac{2z_1}{z_1 + z_2} \text{ מקדם העברה}$$

תאום עכבות: $z_1 = z_2 \Leftrightarrow t = 1 \text{ ו } r = 0$

שאלות

1) תרגיל – מיתר עם שתי צפיפויות ושני גלים

שני מיתרים מאוד ארוכים בעלי צפיפויות מסה שונות ρ_1 ו- ρ_2 מחוברים בנקודה $x=0$ ויוצרים מיתר אחד ארוך.



המתיחות במיתר היא אחידה

(כלומר לשני החלקים אותה מתיחות T)

שני גלים מגיעים לעבר נקודת האי רציפות : גל עם אמפליטודה A מגיע מצד ימין וגל עם אמפליטודה $3A$ מגיע מצד שמאל. שני הגלים בעלי אותה תדירות זוויתית ואין ביניהם הפרש פאזה קבוע.

- א. רשמו ביטוי לפונקציית הגל בכל חלק של המיתר באמצעות מספרים מורכבים. הסבירו עבור כל איבר בפונקציה איזה גל הוא מתאר.
- ב. רשמו את תנאי השפה שהפונקציות צריכות לקיים בנקודת אי הרציפות.
- ג. השתמשו בתנאי השפה ובטאו את אמפליטודות כל הגלים במיתר, במונחים של האמפליטודה A ועכבות המיתר.
- ד. חשבו שוב את האמפליטודות, הפעם באמצעות מקדמי העברה והחזרה.

תשובות סופיות

$$\begin{aligned}\psi_1(x, t) &= 3Ae^{i(k_1x - \omega t)} + Be^{-i(k_1x - \omega t)} \\ \psi_2(x, t) &= Ce^{i(k_2x - \omega t)} + Ae^{-i(k_2x - \omega t)}\end{aligned}\quad \text{א. (1)}$$

$3A$ – ימינה ; B – שמאלה ; C – ימינה ; A – שמאלה.

$$\psi_1(0, t) = \psi_2(0, t) \quad \left. \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \right|_{x=0} \quad \text{ב.}$$

$$B = \frac{3z_1 - z_2}{z_1 + z_2} A \quad C = \frac{5z_1 + z_2}{z_1 + z_2} A \quad \text{ג.}$$

ד. הוכחה בסרטון.

אנרגיה הספק ותנע

רקע

אנרגיה ליחידת אורך של גל נע במיתר

$$\varepsilon(x, t) = \rho \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2 = \rho v^2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2$$

אנרגיה ממוצעת בזמן

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 |A|^2$$

הספק רגעי בנקודה - כמה עבודה עושה החלק השמאלי על החלק הימני כל יחידת זמן

$$P^\pm = \pm Z \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2 = \pm v \varepsilon(x, t)$$

$P^\pm$ הוא הספק רגעי של גל הנע בכיוון החיובי/שלילי

ההספק הממוצע בזמן

$$\bar{P}^\pm = \pm \frac{1}{2} Z \omega^2 |A|^2$$

מקדם ההחזרה של האנרגיה

$$R = \frac{P_1^-}{P_1^+} = r^2 = \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2$$

מקדם ההעברה של האנרגיה

$$T = \frac{P_2^+}{P_1^+} = \frac{z_2}{z_1} t^2 = \frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)^2}$$

$$R + T = 1$$

התנע הוא אפס

שאלות

1) תרגיל - חישובים בפגיעה בתווך

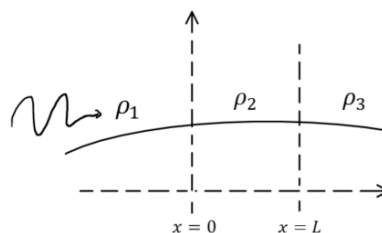
- גל סינוס נע ימינה במיתר מסוים בו מהירות הגל היא v_1 .
 צורת הגל היא $\Psi_i(x, t) = 1.4 \text{ mm} \cdot \sin(kx - 200t)$.
 הגל מגיע לצומת בו צפיפות המיתר משתנה (המתיחות נשארת קבועה), כך
 שבחלק הימני מהירות הגל היא $v_2 = 5v_1$.
 בהינתן שההספק הממוצע של הגל הפוגע הוא 60 W ,
 א. מהם האימפדנסים של שני חלקי המיתר?
 ב. מהו ההספק הממוצע של הגל העובר והגל החוזר?
 ג. מהי האמפליטודה של הגל העובר ושל הגל החוזר?

2) שינוי בהספק כתוצאה משינוי פרמטרים

- נתון מיתר מתוח בעל צפיפות מסה $\rho = 2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ ומתיחות $T = 50 \text{ N}$.
 א. מהו ההספק הממוצע שצריך לספק למיתר, על מנת לייצר גל סינוס בעל
 תדירות $f = 40 \text{ Hz}$ ואמפליטודה של $A = 4 \text{ mm}$?
 ב. פי כמה ישתנה ההספק של הגל אם:
 1. נכפיל את אורך החבל?
 2. נכפיל את האמפליטודה ונקטין את התדירות פי 2?
 3. נקפל את החבל לשניים ונשתמש בחבל הכפול כחבל החדש?

3) מיתר עם 3 חלקים

- מיתר מורכב משלושה חלקים בעלי צפיפות מסה שונה, כפי שמופיע באיור
 להלן. גל מגיע מכיוון שמאל T (המתיחות של המיתר) וזהו בשלושת החלקים.
 א. רשמו ביטוי עבור חמשת הגלים הרלוונטיים בשאלה. עבדו בצורה
 מורכבת.
 ב. מהם תנאי השפה בבעיה?
 ג. רשמו את היחס בין אמפליטודת הגל העובר לאמפליטודת הגל הפוגע.
 ד. רשמו ביטוי ליחס בין ההספק של הגל העובר להספק של הגל הפוגע.
 ה. מה משמעות הדרישה $-1 = \frac{P_3}{P_1}$? הראו שעל מנת לקיים דרישה זו צריך
 להתקיים $z_2 = \sqrt{z_1 z_3} - 1$ כאשר $L = \frac{\lambda}{4}$, כאשר λ הוא אורך הגל באזור האמצעי.



4) תרגיל - חישוב אמפליטודה בתיאום עכבות

מיתר בעל צפיפות מסה ρ_1 מחובר למיתר בעל צפיפות מסה ρ_2 באמצעות מיתר נוסף שצפיפות המסה שלו משתנה באופן רציף מ- ρ_1 ל- ρ_2 . במקרה כזה לא תתקיים החזרה אם אורך הגל קטן ביחס לקצב השינוי בצפיפות המסה. חשבו תחת הנחה זו מה היחס בין האמפליטודה של הגל העובר לגל הפוגע? הניחו מתיחות אחידה.

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } z_1 = 1531 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}}, \quad z_2 = 506 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}} \quad \text{ב. } \bar{P}_R = 15.6 \text{W}, \quad \bar{P}_T = 44.4 \text{W}$$

$$\text{ג. } B = 0.71 \text{mm} \quad C = 2.1 \text{mm}$$

$$(2) \quad \text{א. } 0.5 \text{W} \quad \text{ב.1. לא ישתנה.} \quad \text{2. לא ישתנה.} \quad \text{3. יגדל פי } \sqrt{2}.$$

$$(3) \quad \text{א. } \psi_1(x, t) = Ae^{i(k_1x - \omega t)} + Be^{-i(k_1x + \omega t)} \quad \psi_2(x, t) = Ce^{i(k_2x - \omega t)} + De^{-i(k_2x + \omega t)}$$

$$\psi_3(x, t) = Ee^{i(k_3x - \omega t)}$$

$$\text{ב. } \psi_1(0, t) = \psi_2(0, t) \quad T_1 \left. \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \right|_{x=0} = T_2 \left. \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \right|_{x=0}$$

$$\psi_2(2, t) = \psi_3(2, t) \quad T_2 \left. \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \right|_{x=L} = T_3 \left. \frac{\partial \psi_3}{\partial x} \right|_{x=L}$$

$$\text{ג. } \frac{4z_2z_1e^{i(k_2-k_3)L}}{\left[(z_1+z_2)(z_2+z_3) - (z_2-z_1)(z_2-z_3)e^{i2k_2L} \right]}$$

$$\text{ד. } \frac{16z_2^2z_1 \cdot z_3e^{2ik_2L}}{\left[(z_1+z_2)(z_2+z_3) - (z_2-z_1)(z_2-z_3)e^{2ik_2L} \right]^2}$$

ה. שכל האנרגיה של הגל הפוגע עוברת לגל העובר.

$$(4) \quad \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{\frac{1}{4}}$$

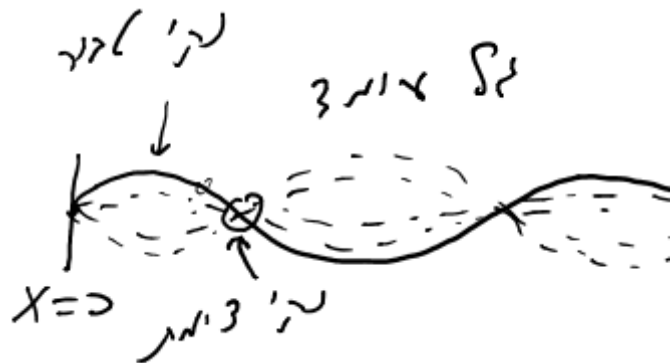
גלים עומדים

רקע

מיתר חצי אינסופיקצה קשור

$$\Psi(x=0, t) = 0 \Rightarrow$$

$$\Psi(x, t) = C \sin(kx) \sin(\omega t + \varphi)$$

קצה חופשי

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \Rightarrow \Psi(x, t) = C \cos(kx) \cos(\omega t + \varphi)$$

מיתר סופימיתר סופי עם 2 קצוות קשורות

$$\Psi(x=0, t) = \Psi(x=L, t) = 0$$

$$k_n = \frac{\pi n}{L} \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad f_n = \frac{vn}{2L}$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$



$$\Psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$$

מיתר סופי עם קצה קשור וקצה חופשי

$$\Psi(x=0, t) = 0, \quad \left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{x=L} = 0$$

$$k_n = \frac{\pi}{L} \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{\left(n + \frac{1}{2} \right)}$$

$$f_n = \frac{v}{2L} \left(n + \frac{1}{2} \right)$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$$

מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{x=L} = 0$$

$$k_n = \frac{\pi n}{L} \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = \frac{vn}{2L}$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$$

פתרון באמצעות טור פוריה :

$$\Psi(x, t) = \frac{B_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \sin(k_n x) + B_n \cos(k_n x)] [C_n \sin(\omega_n t) + D_n \cos(\omega_n t)]$$

שאלות

(1) תרגיל – גל פוגע וגל חוזר כביטוי של שני גלים עומדים

הראו כי הגל $\Psi(x, t) = A \cos(\omega t - kx) + rA \cos(\omega t + kx)$, כאשר r קבוע כלשהו, ניתן לביטוי כסופרפוזיציה של שני גלים עומדים: $\Psi(x, t) = A(1 + r) \cos(\omega t) \cos(kx) + A(1 - r) \sin(\omega t) \sin(kx)$

(2) תרגיל - מיתר פלדה בפסנתר

מיתר פסנתר מיוצר מפלדה בעלת צפיפות מסה ליחידת נפח $\rho = 4800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ רדיוס המיתר הוא r , היצרן ממליץ להפעיל את המיתר תחת לחץ (כוח ליחידת שטח חתך) של $1.3 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

- א. הראו שמהירות הגלים במיתר אינה תלויה ברדיוס שלו, וחשבו אותה.
- ב. מה צריך להיות אורך המיתר כדי שישמיע את הצליל 'לה', שתדירותו 440Hz? כמנגנים במיתר בד"כ שומעים את התדירות הבסיסית.
- ג. מגדילים את המתוחות פי α ללא שינוי באורך המיתר, מה צריכה להיות α כדי להעלות את תדירות המיתר פי 1.2?

תשובות סופיות

(1) הוכחה בסרטון.

(2) א. $520 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ב. 59cm ג. 1.44

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 4 - גלי קול

תוכן העניינים

1. גלי קול בצינור 29
2. אפקט דופלר 36

גלי קול בצינור

רקע

גל אורכי - תנועת המולקולות היא בכיוון ההתקדמות של הגל

$\psi(x, t)$ - פונקציית ההעתק של מולקולות הגז משיווי משקל. x מציין את מיקום המולקולות בשיווי משקל ולא את המיקום שלהן כתלות בזמן.

$\psi_p(x, t)$ - פונקציית הלחץ העודף access pressure

$\Delta\rho(x, t)$ - פונקציית השינוי בצפיפות

כאשר פונקציית ההעתק בנקודת צומת פונקציית הצפיפות/ לחץ בנקודת טבור ולהפך

הקשר בין פונקציית ההעתק לפונקציית הלחץ :

$$\frac{\partial\psi}{\partial x} = -\frac{1}{\gamma P_0}\psi_p$$

P_0 - הלחץ בשיווי משקל

γ - קבוע הקשור לסוג הגז מתוך משוואת הגז בתהליך אדיאבטי

$B_a = \gamma P_0$ מקדם האלסטיות של הגז

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} = \frac{\rho_0}{\gamma P_0} \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}$$

משוואת הגלים

מהירות הגלים - מהירות הקול
(לפעמים גם כתובה באות c)

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}}$$

באוויר בתנאים סטנדרטיים :

$$v \approx 340 \text{ m/s}$$

אותה המשוואה מתקיימת גם עבור ψ_p ו- $\Delta\rho$

$$\Delta\rho = -\rho_0 \frac{\partial\psi}{\partial x}$$

הקשר בין הצפיפות
לפונקציית ההעתק

עכבה של גל קול מישורי ליחידת שטח

$$\frac{Z}{A} = \rho_0 v$$

ρ_0 - צפיפות המסה בשיווי משקל

A - שטח החתך של הצינור

v - מהירות הקול בחומר

אנרגיה הכוללת ליחידת אורך

$$\varepsilon(x, t) = \frac{1}{2} A \rho_0 \left[\left(\frac{\partial\psi}{\partial t} \right)^2 + v^2 \left(\frac{\partial\psi}{\partial x} \right)^2 \right] = A \rho_0 \left(\frac{\partial\psi}{\partial t} \right)^2$$

השוויון האחרון נכון רק עבור גלים נעים

אנרגיה ממוצעת בזמן

$$\bar{U}_{dx} = \bar{E}_{kdx} = \frac{1}{4} \rho_0 A \omega^2 \psi_{max}^2$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} \rho_0 A \omega^2 \psi_{max}^2$$

ψ_{max} - האמפליטודה של פונקציית ההעתק - קבוע

ω - התדריות הזוויתית

הספק של גל קול - כמה אנרגיה עוברת דרך שטח חתך ביחידת זמן

$$P(x, t) = \pm v \varepsilon(x, t) \quad \text{הספק של גל נע}$$

כאשר הפלוס/מינוס הם עבור גל שנע בכיוון החיובי/שלילי בהתאמה
(לא לבלבל עם P של לחץ)

עוצמה של הגל - ההספק ליחידת שטח

$$I(x, t) = \frac{|P(x, t)|}{A} = v \rho_0 \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2$$

$$\bar{I} = \frac{1}{2} v \rho_0 \omega^2 \psi_{max}^2$$

מדידת עוצמה בסולם לוגריתמי

$$I_a = I_0 \cdot 10^a$$

a - היא העוצמה ב B (בל)

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

$$1B = 10 \text{ dB} \quad (\text{זה דציבל})$$

עוצמה בגל כדורי

$$I(r) = \frac{P}{4\pi r^2}$$

P – ההספק הכולל של הגל (אינו תלוי במרחק)

שאלות

(1) שיעור מעורר בחלל

אסטרונאוט הנמצא במעבורת חלל יצא מהמעברות לבצע תיקון חיצוני. האסטרונאוט לקח איתו שיעור מעורר וכיוון אותו לצלצל בשעה שבע בערב, כך שיספיק לחזור לארוחת הערב בתוך המעבורת. האסטרונאוט הניח את השעון לידו בזמן שהוא מבצע את התיקון. האם האסטרונאוט ישמע את השעון מצלצל? רמז: בחלל אין אוויר.

(2) דוגמה - מצאו פונקציית גל מנתונים על צפיפות

גל קול הרמוני נע בכיוון החיובי. האמפליטודה של השינוי בצפיפות האוויר של הגל היא $A_{\Delta\rho} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. התדירות של הגל היא 500Hz . נתון גם כי $\Delta\rho(0,0) = 0$, $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ו- $v = 340 \text{ m/s}$. מצאו מהי ההסטה משיווי משקל של מולקולות האוויר הנמצאות ב- $x = 15\text{cm}$, בזמן $t = 0$.

(3) תרגיל - כמה אנרגיה עברה בשעה

העוצמה של גל קול מישורי היא $I = 1.4 \mu\text{W/cm}^2$. חיישן בעל שטח חתך $A = 3.6\text{cm}^2$ קולט את הגל. כמה אנרגיה קיבל החיישן כל שעה?

(4) תרגיל - פי כמה גדלה העוצמה עבור שינוי של דציבל אחד

ראינו כי גידול של העוצמה ב-1B הוא גידול של פי 10 ביחידות של W/m^2 . חשבו פי כמה גדלה העוצמה ביחידות של W/m^2 עבור גידול של 1dB.

(5) תרגיל - חישוב הפרעה בלחץ מעוצמה ממוצעת

נתון גל קול מישורי בתדירות 12kHz . העוצמה הממוצעת בזמן של הגל היא $\bar{I} = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$. הגל מתקדם בתווך בעל: $v = 340\text{m/sec}$, $\gamma = 1.48$, $P_0 = 0.7 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$. מצאו ביטוי לשינוי בלחץ כתלות במיקום ובזמן, אם ידוע שהגל הוא גל סינוס.

(6) דוגמה - חישוב ירידה של העוצמה

- מקור מייצר גל קול כדורי. חיישן בעל שטח חתך של 0.2m^2 ממוקם במרחק $r_1 = 0.8\text{m}$ מהמקור ומודד הספק של $P = 3\text{mW}$.
- מהי העוצמה של הגל במרחק r_1 ?
 - מהו ההספק של המקור?
 - מה העוצמה של הגל במרחק $r_2 = 1.2\text{m}$?
 - מה ההספק שימדוד החיישן במרחק r_2 ?

(7) תרגיל - חליל בצליל לה

מה צריך להיות אורכו של חליל, על מנת שהתנודה הבסיסית שלו תהיה הצליל לה - כלומר תדר 440Hz ? הניחו שמהירות הקול היא 340m/s ושניתן להתייחס לחליל כצינור הפתוח בשני קצותיו.

(8) תרגיל - כמה תדירויות נמצאות בתחום השמיעה

- צינור באורך של 1m מרעיש כאשר הרוח נושבת. מהירות הקול היא 340m/s .
- אם הצינור פתוח בשני קצותיו, כמה מתוך ההרמוניות שלו נמצאות בתחום השמיעה? ($20\text{Hz} - 20\text{kHz}$)
 - ציירו את החלק המרחבי של ψ_p עבור שלושת ההרמוניות הראשונות, במקרה שבו הצינור פתוח רק בצד אחד.

(9) תרגיל - רזולוציית מדידה של עטלף

- עטלפים משתמשים בגלי קול בשביל למפות את המרחב (בדומה ל"סונר"). נניח כי עטלף שולח גלי קול אל חפץ מסוים ומודד את מיקומו ביחס אליו על ידי מדידת הזמן שלוקח לגלי הקול לחזור אליו מהחפץ.
- בהנחה שהעטלף והחפץ עומדים במקומם, מה צריכה להיות רזולוציית המדידה של העטלף? כלומר, מהו הזמן הכי קצר שהוא צריך למדוד, על מנת לזהות חפץ הנמצא במרחק 40cm ממנו?
 - בהנחה שגודל החפץ הכי קטן שהעטלף מסוגל לזהות הוא בסדר גודל של אורך הגל שהעטלף מייצר, מה יהיה התדר אותו צריך העטלף לייצר על מנת לזהות חפץ בגודל של 1cm ? הניחו כי מהירות הקול היא 340m/s .



(10) תרגיל - ערכי RMS

ערך RMS של פונקציה מחזורית בזמן בעלת זמן מחזור T מוגדר כך:

$$f_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} = \sqrt{\langle f^2 \rangle}$$

ההפרעה בלחץ בגל קול מישורי נתונה ביחידות פסקל לפי:

$$\psi_p(x, t) = 6 \cdot 10^{-6} \cos(kx - \omega t)$$

נתון גם:

$$P_0 = 0.8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2, \gamma = 1.4, v = 340 \text{ m/sec}, \omega = 7000 \text{ rad/sec}$$

א. מהו אורך הגל?

ב. מהו ערך ה-RMS של התנודות בלחץ?

ג. מהו ערך ה-RMS של המהירות החומרית בגל?

ד. מהו הערך הממוצע בזמן של צפיפות האנרגיה הנפחית $u = \frac{E}{V} = \frac{\varepsilon}{A}$?

ה. מהו ההספק הממוצע בזמן הנקלט בגלאי בעל שטח של 0.15 m^2 , המאונך לכיוון התקדמות הגל?

(11) תרגיל - גל קול כדורי וערכי RMS

מקור מייצר גל קול כדורי הרמוני בתדר 500 Hz . ערך ה-RMS של הלחץ

במרחק $r_1 = 30 \text{ cm}$, הוא 4 N/m^2 .

נתון גם: $P_0 = 10^5 \text{ N/m}^2, \gamma = 1.5, v = 330 \text{ m/sec}$.

א. מהו ערך ה-RMS של הלחץ במרחק $r_2 = 15 \text{ m}$?

ב. מהו ערך ה-RMS של פונקציית ההעתק באותו המיקום?

ג. מהו הערך הממוצע בזמן של צפיפות האנרגיה הנפחית $u = \frac{E}{V} = \frac{\varepsilon}{A}$ באותו מיקום?

תשובות סופיות

(1) לא

(2) 0.30mm

(3) 18144J

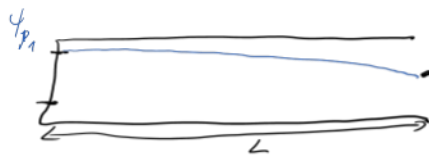
(4) 1.26

(5) $\psi(x, t) = 0.123 \sin(222x - 75.4 \cdot 10^3 t)$

(6) א. $15 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^2}$ ב. 0.121W ג. $6.67 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^2}$ ד. 1.33mW

(7) 0.39 m

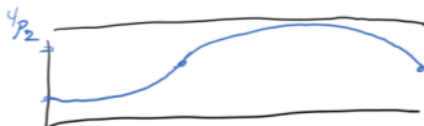
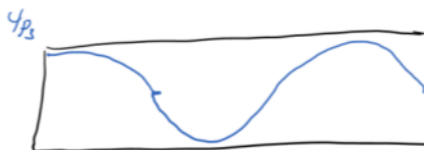
(8) א. 117



ב.

(9) א. 2.35ms ב. 34kHz

(10) א. 0.31m

ב. $4.24 \cdot 10^{-6} Pa$ ג. $1.29 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$ ד. $1.6 \cdot 10^{-15} \frac{s}{m^2}$ ה. $8.18 \cdot 10^{-14} W$ (11) א. $0.08 \frac{N}{m^2}$ ב. $5.6 \cdot 10^{-8} m$ ג. $4.3 \cdot 10^{-8} \frac{s}{m}$

אפקט דופלר

רקע

עבור מקור נע וצופה נייח :

$$f' = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

f' - התדר המוסט.

v_s - מהירות המקור, חיובית עם כיוון התקדמות הגל.

f_s - תדירות המקור (התדירות שהצופה היה קולט אם המקור לא היה זו).

v - מהירות הגל.

עבור מקור וצופה נעים :

$$f_0 = f_s \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

f_0 - התדר המוסט (התדר שקולט צופה שנע).

v_0 - מהירות הצופה, חיובית נגד כיוון התקדמות הגל.

גלי הלם :

$$\sin \theta = \frac{v}{v_s}$$

θ - חצי מזווית הראש של קונוס גל ההלם.

שאלות

(1) מציאת המהירות של גוף בתנועה הרמונית

גוף קטן בעל מסה m נע בתנועה הרמונית. הגוף משדר גל קול באופן רציף. מודדים את התדירות המינימלית והמקסימלית של גלי הקול הנקלטים מהגוף. חשבו את האנרגיה הקינטית של הגוף באמצעות התדירויות. הניחו שהבעיה חד מימדית.

(2) מקור נע בתאוצה*

מקור נע במהירות v_s לכיוון צופה נייח הנמצא במרחק L ופולט גלי קול בתדירות f_s (תדירות המקור). המקור מתחיל להאיץ בתאוצה קבועה a . מהי התדירות אותה ימדוד הצופה כתלות בזמן? ניתן להניח כי: $aT \ll v_s$ וכי הצופה תמיד רחוק מהמקור. שימו לב כי לגל לוקח זמן להגיע לצופה.

(3) נמלה מטיילת על מיתר

במיתר אינסופי קיימת הפרעה מהצורה: $\psi(x, t) = A \cos(kx - \omega t)$

כאשר אורך הגל ומהירות הגל הן: $\lambda = 0.4 \text{ m}$, $v = \frac{7 \text{ m}}{\text{sec}}$.

נמלה מטיילת על המיתר במהירות $0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ בכיוון הפוך לכיוון התקדמות הגל. כמה פעמים עולה ויורדת הנמלה כל שניה?

(4) מדידת מהירות של צוללת

צוללת נעה במהירות: $v_1 = \frac{19 \text{ m}}{\text{sec}}$ מזהה צוללת נוספת הנעה לכיוונה.

בצוללת יש סונר המייצר גלי קול בתדר קבוע: $f = 1000 \text{ Hz}$. גלי הקול פוגעים בצוללת השנייה וחוזרים לסונר. התדר של הגל המוחזר שמודד הסונר הוא: $f' = 1060 \text{ Hz}$.

ידוע שמהירות הגלים במי ים היא: $v = 1519 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

חשבו את מהירות הצוללת השנייה (ביחס לקרקע).



5) פעימות של גל המוחזר מפגיעה בקיר

אדם העומד הרחק מקיר מחזיק מקור שפולט צלילים בתדירות 280Hz.

האדם מתחיל לנוע לכיוון הקיר, עם המקור בידיו, במהירות $3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

הניחו שמהירות הקול היא: $330 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

א. מה תדירות הצליל אותה היה שומע מאזין הנמצא ליד הקיר במנוחה?

ב. אילו האדם שנע היה יכול להאזין רק לגל המוחזר מהקיר, מה תדירות הצליל שהוא היה שומע?

ג. נניח שעוצמת הגל המוחזר מהקיר זהה לזו של הגל הפוגע.

מה התדר ששומע האדם שנע ומהי תדירות הפעימות של גל זה?

תשובות סופיות

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \left(\frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}} \right)^2 \quad (1)$$

$$f_s = \frac{1}{v_s + a \left(t - \frac{L}{v} \right)} \quad (2)$$

$$18 \quad (3)$$

$$34.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (4)$$

$$283\text{Hz} \text{ א. } 285\text{Hz} \text{ ב.} \quad (5)$$

ג. תדירות הגל היא: 283Hz ותדירות הפעימות היא: 2.6Hz.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 5 - מבוא מתמטי לחשמל

תוכן העניינים

1. אינטגרל כפול ומשולש..... 39
2. קואורדינטות..... 41
3. צפיפות מטען..... 42
4. וקטורים..... (ללא ספר)
5. אופרטור הנאבלה..... (ללא ספר)

אינטגרל כפול ומשולש:

שאלות:

פתור את האינטגרלים הבאים:

- (1) אינטגרל משולש – דוגמה 1

$$\int_1^2 \int_0^2 \int_0^3 (zx^2 + 3y) dy dx dz$$
- (2) דוגמה 1

$$\int_0^3 \int_0^2 3 \cdot x^3 y^2 dx dy$$
- (3) דוגמה 2

$$\int_1^2 \int_0^3 (x^2 + 2y) dx dy$$
- (4) דוגמה 3

$$\int_0^2 \int_1^3 (x^2 + y) dy dx$$
- (5) דוגמה 4

$$\int_0^1 \int_0^2 x \cdot z^2 dx dz$$
- (6) דוגמה 5

$$\int_1^5 \int_0^4 2 \cdot y^3 dy dz$$
- (7) דוגמה 6

$$\int_0^{2\pi} \int_0^3 r^2 dr d\theta$$
- (8) דוגמה 7

$$\int_a^b \int_0^c 4 \cdot x^2 y dx dy$$
- (9) דוגמה 8

$$\int_a^b \int_0^c (4z + r^2) dr dz$$
- (10) דוגמה 9

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R 4a \cdot r^2 dr d\theta$$
- (11) דוגמה 10

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R 4yr^2 dr d\theta$$
- (12) דוגמה 11

$$\int_0^\pi \int_0^{2\pi} r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$$

תשובות סופיות:

(1) 39

(2) 108

(3) 18

(4) 13.33

(5) $\frac{2}{3}$

(6) 512

(7) 56.55

(8) $\frac{4c^3}{3} \left(\frac{b^2}{2} - \frac{a^2}{2} \right)$

(9) $2cb^2 + \frac{c^3}{3}b - 2ca^2 - \frac{a^3}{3}$

(10) $\frac{4aR^3}{3} 2\pi$

(11) $\frac{8\pi yR^3}{3}$

(12) $4\pi r^2$

קואורדינטות:

שאלות:

(1) שטח דיסקה

חשב שטח דיסקה בעלת רדיוס R (שטח מעגל) באמצעות אינטגרל על אלמנט שטח בקואורדינטות פולריות.

(2) חישוב נפח כדור

חשב נפח של כדור באמצעות אינטגרל על אלמנט נפח בקואורדינטות כדוריות.

תשובות סופיות:

$$\pi R^2 \quad (1)$$

$$\frac{4\pi R^3}{3} \quad (2)$$

צפיפות מטען:

שאלות:

(1) דסקה עם חור

מצא את צפיפות המטען של דסקה בעלת רדיוס R הטעונה במטען כולל Q המתפלג בצורה אחידה.
בדסקה קדחו חור ברדיוס r , מצא את כמות המטען שהוצאה מהדסקה.

(2) מטען כולל בכדור

מצא את המטען הכולל בכדור בעל רדיוס R וצפיפות מטען $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$.

תשובות סופיות:

$$Q \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (1)$$

$$\rho_0 \pi R^3 \quad (2)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 6 - חוק קולון-

תוכן העניינים

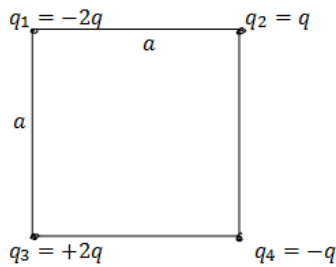
1. חוק קולון וסופרפוזיציה..... 43
2. התפלגות מטען רציפה..... 46

חוק קולון וסופרפוזיציה:

שאלות:

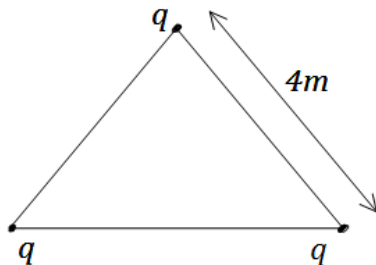
(1) מטען בפינת ריבוע

חשב את הכוח הפועל על המטען שבפינה התחתונה הימנית של הריבוע ששרטוט. q ו- a נתונים.



(2) מטענים בקודקודי משולש

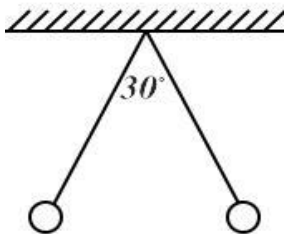
שלושה מטענים זהים נמצאים על קדקודיו של משולש שווה צלעות. גודל כל מטען הוא $q = 2\mu C$ ואורך צלע המשולש היא $4m$.



מצא את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהמטענים האחרים.

(3) שני כדורים תלויים

שני כדורים בעלי מסה m ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך L . הזווית בין החוטים היא 30° מעלות. מצא את מטען הכדורים.

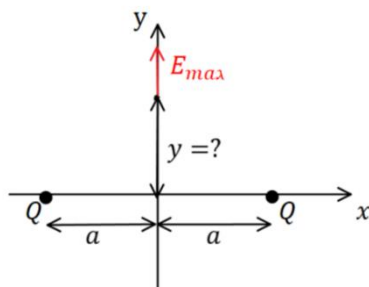


(4) שדה מקסימלי בין שני מטענים

שני מטענים בעלי מטען זהה Q נמצאים על ציר ה- x בנקודות $(a, 0)$ ו- $(-a, 0)$. א. מצאו את הנקודה על ציר ה- y כלומר $(0, y)$ שבה השדה החשמלי מקסימלי.

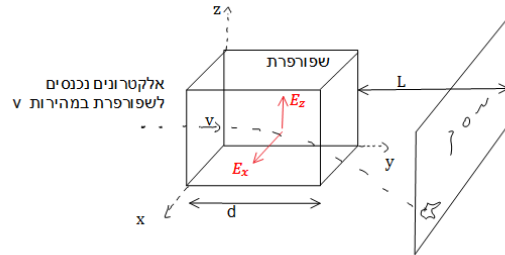
ב. מה גודל השדה בנקודה זו?

ג. באיזה נקודה השדה מקסימלי בציר ה- z ?



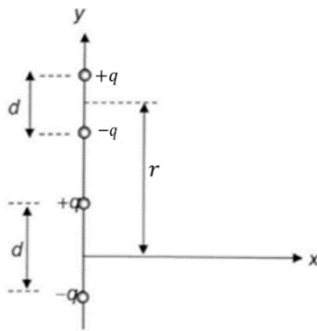
(5) שפופרת טלויזיה

אלקטרונים נכנסים לשפופרת במהירות V נתונה.
 בשפופרת יש שדה קבוע בשני הכיוונים הניצבים למהירות כניסת האלקטרונים.
 אורך השפופרת הוא d .
 חשב את נקודת הפגיעה של האלקטרונים במסך הנמצא במרחק L מקצה השפופרת.
 הנח כי $d \ll L$ וכי מסת ומטען האלקטרון ידועים.

**(6) דיפול מפעיל כוח על דיפול**

דיפול חשמלי מורכב משני מטענים נקודתיים $\pm q$

הנמצאים בנקודות $\left(0, \pm \frac{d}{2}\right)$ (ראו איור).



א. חשבו את השדה החשמלי שיוצר הדיפול

בנקודה $(y, 0)$ שעל ציר ה- y .

ב. השתמשו בתוצאת הסעיף הקודם וחשבו את

הכוח שמפעיל הדיפול הנ"ל על דיפול נוסף

שמטעניו גם כן $\pm q$ המרוחקים זה מזה

מרחק d (המצוי על ציר ה- y גם כן) ואשר מרכזו

במרחק r ממרכז הדיפול הראשון. הניחו ש- $r > d$.

ג. למה תצטמצם תשובתכם לסעיף קודם עבור $r \gg d$?

הדרכה: השתמשו בפיתוח לטור טיילור (או מקלורן) של פונקציית

$$\text{החזקה: } (1+x)^n \approx 1+nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2 \dots +$$

תשובות סופיות:

$$\frac{kq^2}{a^2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (1)$$

$$3.897 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad (2)$$

$$\sqrt{\frac{mg}{k}} \tan(15^\circ) L^2 (2 - \sqrt{3}) \quad (3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} a \quad \text{ג.} \quad \frac{4kQ}{\sqrt{27}a^2} \quad \text{ב.} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} a \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$z \approx \frac{|e|E_z d \cdot L}{mv^2}, \quad \frac{|e|E_x d \cdot L}{mv^2} \quad (5)$$

$$\vec{E}(y) = kq \left[\frac{1}{\left(y - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(y + \frac{d}{2}\right)^2} \right] \hat{y} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\vec{F} = kq^2 \left[\frac{2}{r^2} - \frac{1}{(r+d)^2} - \frac{1}{(r-d)^2} \right] \hat{y} \quad \text{ב.}$$

$$\vec{F} = -\frac{6d^2 kq^2}{r^4} \hat{y} \quad \text{ג.}$$

התפלגות מטען רציפה:

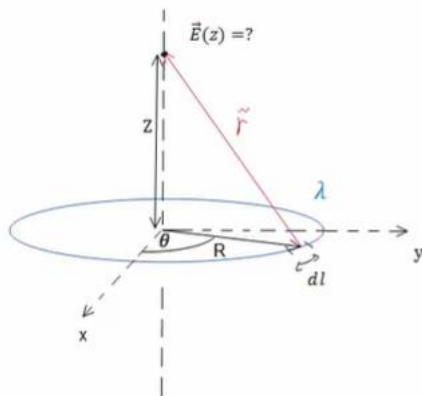
שאלות:

(1) התפלגות מטען רציפה-תיל מכופף



תיל אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליח' אורך λ מכופף לחצי מעגל בעל רדיוס R . מצא את השדה במרכז חצי המעגל.

(2) שדה של טבעת ודיסקה

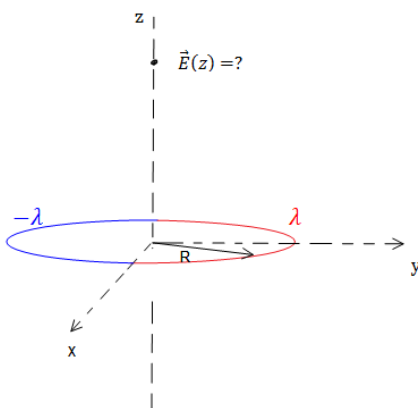


נתונה טבעת בעלת רדיוס R וצפיפות מטען ליחידת אורך λ .

א. חשב את השדה של טבעת ברדיוס R הטעונה בצפיפות מטען ליחידת אורך λ לאורך ציר הסימטריה של הטבעת.

ב. חשב את השדה החשמלי של דיסקה ברדיוס R הטעונה בצפיפות מטען σ לאורך ציר הסימטריה של הדיסקה.

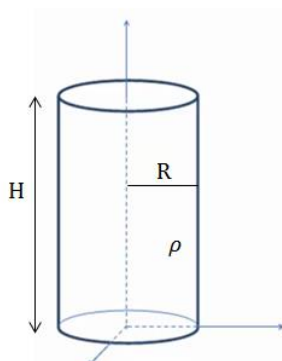
(3) טבעת חצי חצי



נתונה טבעת בעלת רדיוס R .

חציה האחד של הטבעת טעון בצפיפות מטען λ וחציה השני טעון בצפיפות $-\lambda$. מצא את השדה לאורך ציר הסימטריה של הטבעת.

(4) שדה של גליל מלא



גליל מלא בעל רדיוס R וגובה H טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח ρ . מצא את השדה לאורך ציר הסימטריה של הגליל (בתוך ומחוץ לגליל).

(5) טבעת עם צפיפות לא אחידה

טבעת ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משתנה התלויה בזווית עם ציר ה- x .

$$\lambda(\theta) = \lambda_0 \sin \theta$$

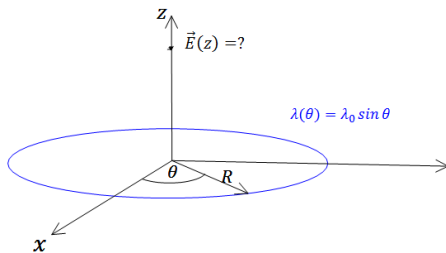
λ_0 , R קבועים נתונים.

א. מהו סך המטען על הטבעת?

ב. מצא את השדה החשמלי בכל נקודה על ציר הסימטריה של הטבעת (גודל וכיוון).

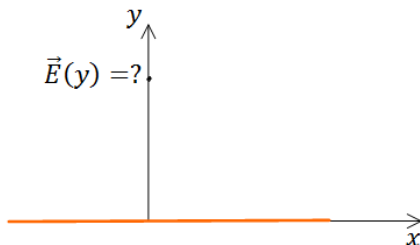
ג. מצא מהו השדה החשמלי עבור $z \gg R$.

איזה שדה מאפיין מתקבל? ומדוע? (סעיף זה קשור לנושא של דיפולים).

**(6) שדה של תיל סופי**

תיל סופי באורך L טעון במטען כולל Q המפולג בצורה אחידה.

חשב את השדה החשמלי לאורך ציר המאונך לתיל והעובר במרכזו.

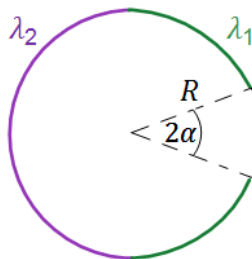
**(7) שדה של טבעת עם חלק חסר**

במערכת הבאה ישנה טבעת ברדיוס R שחציה הימני טעון בצפיפות מטען λ_1 וחציה השמאלי טעון

בצפיפות מטען λ_2 .

לחציה הימני חסר חלק באורך קשת הנשען מול הזווית 2α .

מצא את השדה במרכז הטבעת.

**(8) כוח של מוט על מוט**

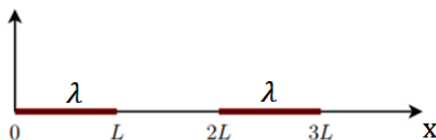
שני מוטות בעלי אורך L טעונים

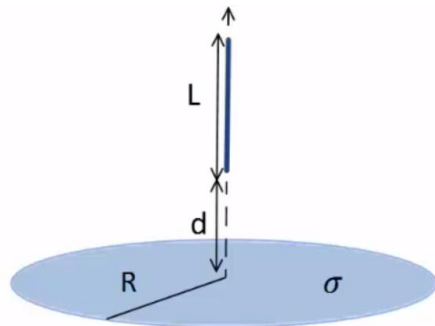
בצפיפות מטען אחידה ליחידת אורך λ .

שני המוטות מונחים על ציר ה- x

כפי שנראה בצור.

מצא את הכוחות שמפעילים המוטות אחד על השני.



**(9) כוח של מוט על דסקה**

במערכת הבאה ישנה דסקה (מלאה) ברדיוס R הטעונה בצפיפות מטען אחידה ליחידת שטח σ . מוט באורך L מונח לאורך ציר הסימטריה של הדסקה ובגובה d מעל מרכזה (ראה איור). המוט טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת אורך λ . מצא מה הכוח שמפעיל המוט על הדסקה.

(10) חרוט קטום**

מטען q נמצא בקודקודו של משטח בצורת חרוט בעל חצי זווית מפתח השווה ל- θ ואורך הקו היוצר הוא l (ראו איור). החרוט טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת שטח σ .
 א. האם ניתן לחשב את הכוח על המטען אם המטען נמצא ממש בקצה החרוט?
 כעת מסירים את חציו העליון של החרוט כך שנשאר חרוט קטום.
 ב. חשבו את הכוח הפועל על המטען מהחרוט. (הדרכה: השתמש בסופרפוזיציה של טבעות, השטח של טבעת אינפיניטסימלית בעובי dr הנמצאת במרחק r מקודקוד החרוט הוא: $dS = 2\pi r \sin \theta dr$ בקואורדינטות כדוריות).
 ג. עבור איזו זווית θ הכוח מקסימאלי? מה קורה כאשר: $\theta = \frac{\pi}{2}$?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad 0$$

$$(2) \quad \text{א.} \quad \frac{k\lambda R\pi z}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \begin{cases} \hat{z} & z > 0 \\ -\hat{z} & z < 0 \end{cases}$$

$$\text{ב.} \quad 2\pi k\sigma z \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right)$$

$$(3) \quad 2 \cdot \frac{-k\lambda R^2 2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$(4) \quad 2\pi\sigma k$$

$$(5) \quad \text{א.} \quad 0 \quad \text{ב.} \quad -\frac{k\pi\lambda_0 R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{ג.} \quad -\frac{k\pi\lambda_0 R^2}{z^3}$$

$$(6) \quad \frac{kQ}{y \left(\left(\frac{L}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$(7) \quad \frac{k}{R} [\lambda_1 (2 \sin \alpha - 2) + \lambda_2 \cdot 2]$$

$$(8) \quad kx^2 \ln \left| \frac{4}{3} \right|$$

$$(9) \quad 2\pi k\sigma\lambda \left[L - \left(\sqrt{R^2 + (L+d)^2} \right) - \sqrt{R^2 + d^2} \right]$$

$$(10) \quad \text{א. לא, כי המרחק בין המטען למטענים בקודקוק הוא אפס ואי אפשר לחשב}$$

$$\text{ב.} \quad \vec{F} = q\pi\sigma k \sin(2\theta) \ln 2 \cdot \hat{z} \quad \text{כוח כאשר המרחק הוא אפס.}$$

$$\text{ג. החרוט הקטום הופך לדיסקה עם חור והשדה במרכז מתאפס.}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

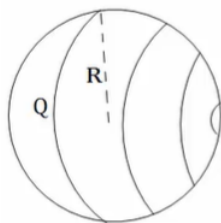
פרק 7 - חוק גאוס

תוכן העניינים

1. הסברים בסיסיים 50
2. תרגול נוסף 53

הסברים בסיסיים:

שאלות:



- (1) **שדה של קליפה כדורית**
 נתונה קליפה כדורית בעלת רדיוס R .
 מצא את השדה.



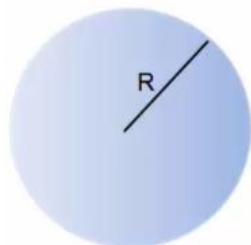
- (2) **שדה של תיל אינסופי**
 נתון תיל אינסופי בעל צפיפות λ .
 מצא את השדה במרחב.



- (3) **שדה של גליל אינסופי**
 נתון גליל אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת נפח ρ ורדיוס R .
 מצא את השדה במרחב.



- (4) **שדה של לוח אינסופי**
 נתון משטח אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת שטח σ .
 מצא את השדה במרחב.

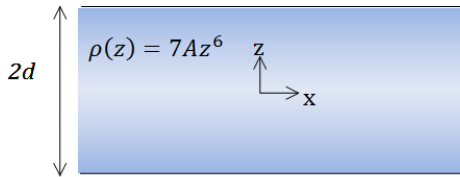


- (5) **שדה של כדור עם צפיפות לא אחידה**
 נתון כדור בעל רדיוס R וצפיפות התלויה במרחק ממרכז הכדור r קבוע ונתון: $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$.
 מצא את התפלגות השדה במרחב (בתוך ומחוץ לכדור).



- (6) **לוח עם עובי**
 נתון מישור בעל שטח A ועובי d .
 המישור טעון בצפיפות מטען קבועה ρ .
 ליחידת נפח ρ .

- א. מצא את השדה רחוק מאוד מהמישור.
 ב. מצא את השדה קרוב מאוד למישור ובתוכו (השתמש בקירובים).
 ג. מניחים אלקטרון בגובה $Z_0 < \frac{d}{2}$, מצא את מיקום האלקטרון כפונקציה של הזמן בהנחה שצפיפות המטען במישור חיובית.

**(7) מישור עבה עם צפיפות משתנה**

מישור אינסופי בעובי $2d$ טעון בצפיפות מטען

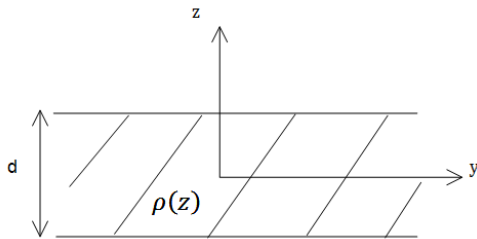
משתנה $\rho(z) = 7Az^6$, כאשר A קבוע נתון.

ציר ה- z אנך למישור וראשיתו במרכז המישור (המישור אינסופי ב- x, y , ראה ציור).

א. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

ב. הראה שחוק גאוס הדיפרנציאלי מתקיים בכל המרחב.

ג. מצא את הרוטור של השדה החשמלי $\vec{V} \times \vec{E}$ בכל המרחב, והסבר את התוצאה.

**(8) מישור עבה עם צפיפות אנטי סימטרית**

מישור אינסופי בעל עובי d טעון בצפיפות מטען

כתלות במרחק ממרכז המישור $\rho(z) = Az$, A קבוע נתון.

מצא את השדה החשמלי בכל המרחב שיוצר המטען במישור.

תשובות סופיות:

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{KQ}{r^2} \hat{r} & R < r \end{cases} \quad (1)$$

$$\vec{E} = \frac{2k\lambda}{r} \hat{r} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \frac{\rho r}{2\epsilon_0} \hat{r} \quad (3)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} & z > 0 \\ -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} & z < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{kQ_{in}}{r^2} \hat{r} & r > R \\ \frac{\rho_0}{4\pi\epsilon_0} r^2 \hat{r} & r < R \end{cases} \quad (5)$$

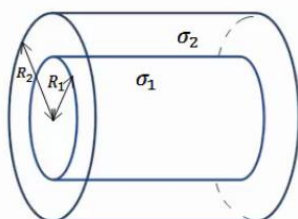
$$z(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{|e|\rho}{\epsilon_0 m}} t\right) \quad \text{ג.} \quad \vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z > \frac{d}{2} \\ -\frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{k\rho d A}{r^2} \hat{r} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} A \cdot z^7 \hat{z} \quad \text{א.} \quad \text{ב. שאלת הוכחה.} \quad \text{ג. שאלת הוכחה.} \quad (7)$$

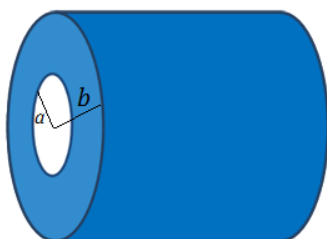
$$\vec{E} = -\frac{A}{\epsilon_0 z} \left[\left(\frac{d}{2} \right)^2 - z^2 \right] \hat{z} \quad (8)$$

תרגול נוסף:

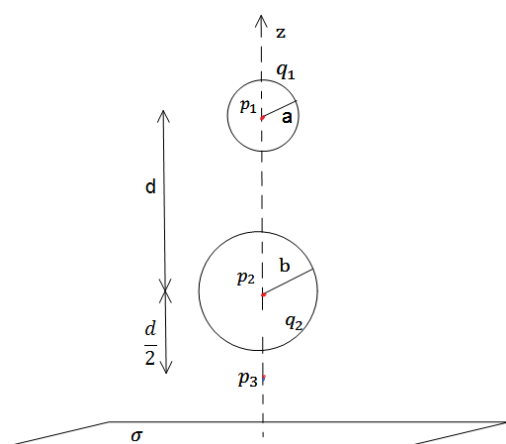
שאלות:



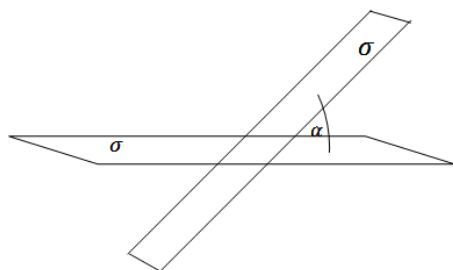
- (1) שתי קליפות גליליות חלולות נתונות שתי קליפות (חלולות) גליליות אינסופיות בעלות ציר סימטריה משותף. רדיוס הקליפה הפנימית הוא R_1 וצפיפות המטען המשטחית בה היא σ_1 . רדיוס הקליפה החיצונית הוא R_2 וצפיפות המטען בה היא σ_2 . מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.



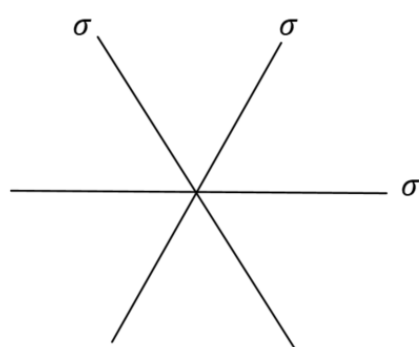
- (2) קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי a , רדיוס חיצוני b וגובה H טעונה בצפיפות מטען נפחית $\rho(r) = \frac{c}{r}$, כאשר c קבוע נתון ו- r הוא המרחק מציר הסימטריה של הקליפה. א. מצא את המטען הכולל בקליפה. ב. מצא את השדה בכל המרחב אם: $H \gg a, b$.



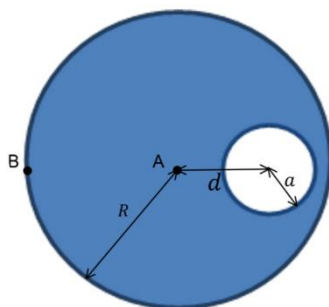
- (3) משטח ושתי קליפות כדוריות שתי קליפות כדוריות בעלות רדיוסים שונים $a < b$, נמצאות במרחק $d > 2b$ אחת מעל השנייה. הקליפות טעונות במטענים q_1, q_2 בהתאמה. במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחת לקליפה התחתונה (עם רדיוס b) מונח מישור אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח σ . מצא את השדה בנקודות הבאות.
- א. p_1 הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס a .
 - ב. p_2 הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס b .
 - ג. p_3 הנמצאת במרחק $\frac{d}{2}$ מתחת למרכז הקליפה התחתונה אך מעל המישור.

(4) שני מישורים בזווית

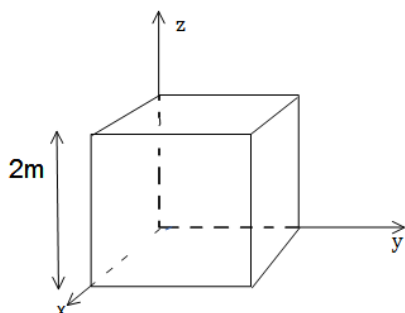
- שני מישורים אינסופיים טעונים בצפיפות מטען ליחידת שטח σ . המישורים נמצאים בזווית α אחד מהשני.
- א. מצא את השדה החשמלי בין המישורים ומעל המישור האופקי.
- ב. מצא את השדה מעל שני המישורים.

(5) שלושה לוחות בזווית

- באיור מתוארת מערכת של שלושה לוחות אינסופיים (אינסופיים פנימה והחוצה מהדף) בעלי צפיפות מטען משטחית זהה σ .
- א. חשבו את השדה בכל נקודה במרחב על ידי סופרפוזיציה של השדות של כל לוח בנפרד.
- ב. חשבו את השדה החשמלי על ידי שימוש בחוק גאוס, הסבירו מדוע חוק גאוס ישים במקרה זה.
- ג. חשבו את השדה החשמלי במרחב עבור המקרה של N משטחים המחלקים את המרחב בזוויות שוות.
- למה תצטמצם תשובתכם עבור $N \gg 1$?
- השתמשו ב- $\sin \theta \approx \theta$, כאשר $\theta \ll 1$.
- ד. כאשר N גדול מאוד, המערכת הופכת להיות מערכת עם צפיפות מטען נפחית התלויה במרחק מנקודת (או קו) החיתוך.
- מהי צפיפות המטען כתלות במרחק מנקודת (או קו) החיתוך $p(r)$?

(6) כדור עם חור

- בתוך כדור הטעון בצפיפות מטען אחידה ρ קיים חלל כדורי בעל רדיוס a . המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא d , רדיוס הכדור הגדול הוא R .
- א. מצאו את השדה בנקודה A.
- ב. מצאו את השדה בנקודה B.
- ג. מצאו את השדה החשמלי בתוך החלל (בכל נקודה).

(7) שטף דרך קובייה

נתון שדה במרחב: $\vec{E} = -6\hat{x} + (2-3y)\hat{y}$.

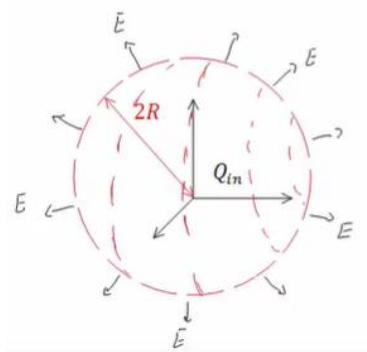
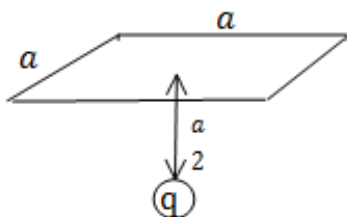
- א. חשב את השטף העובר דרך צלעות קובייה הנמצאת ברביע הראשון כך שאחד מקדקודיה בראשית ואורך צלעה 2m.
 ב. מהו המטען הכלוא בתוך הקובייה?

(8) מטען כלוא

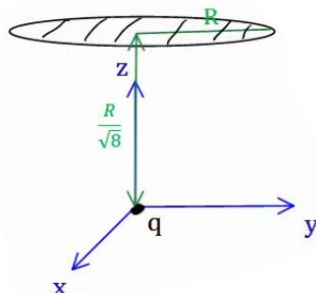
נתונה פונקציית השדה החשמלי

$$\vec{E} = \frac{\rho_0 R^3}{\epsilon_0 (r^2 + R^2)} \hat{r}$$

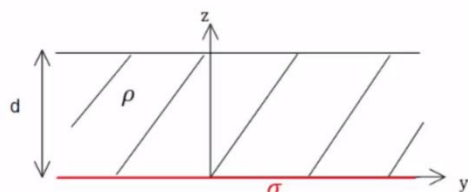
במרחב: כאשר R , ρ_0 קבועים נתונים, ו- r הוא המרחק מהראשית בקואורדינטות כדוריות, מצא את כמות המטען הכלואה בתוך מעטפת כדורית בעלת רדיוס $2R$.

**(9) שטף דרך משטח ריבועי**

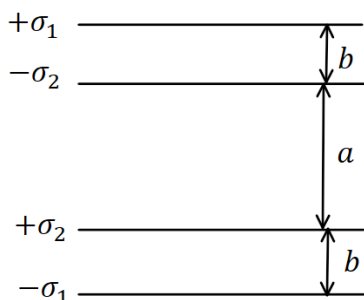
מצא את השטף העובר דרך משטח ריבועי (לא טעון) בעל צלע באורך a הנמצא בגובה $\frac{a}{2}$ מעל מטען נקודתי q .

(10) שטף דרך מעגל

מטען q נמצא בראשית הצירים. מהו השטף החשמלי העובר דרך עיגול ברדיוס R המקביל למישור $x-y$ ומרכזו נמצא בנקודה $(0, 0, \frac{R}{\sqrt{8}})$?

(11) מישור עבה צמוד למישור דק

מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען אחידה σ נמצא על מישור $x-y$. מישור אינסופי נוסף בעל עובי d טעון בצפיפות מטען אחידה ρ , מונח מעל המישור הדק (תחתית המישור העבה נמצא גם על מישור $x-y$). מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

(12) ארבעה לוחות

במערכת הבאה ישנם ארבעה לוחות הטעונים בצפיפויות מטען $\sigma_1 = 0.05 \frac{C}{m^2}$, $\sigma_2 = 0.02 \frac{C}{m^2}$. המרחקים בין הלוחות הם: $a = 3 \text{ c.m}$, $b = 1 \text{ c.m}$. כפי שמצוין בציור וניתן להניח כי מרחקים אלו קטנים בהרבה מצלעות הלוחות.

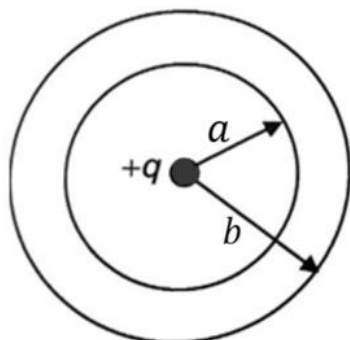
- מצא את השדה החשמלי בכל מקום במרחב (בין הלוחות ומעליהן, אין צורך להתייחס למה שקורה בצידי הלוחות).
- משחררים פרוטון ממנוחה מהלוח $-\sigma_2$. כמה אנרגיה קינטית "ירוויח" מן המערכת? (הנח שהפרוטון עובר דרך הלוחות ללא הפרעה).
- מצא את מהירות הפרוטון ביציאה מן המערכת.

(13) מלוח אל לוח

- שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 6 ס"מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה. המטען הכולל על הלוח התחתון הוא: $Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ והמטען הכולל על הלוח העליון זהה בגודלו והפוך בסימנו. משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון: ($q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$).
- כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?
 - מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?
 - מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון ברגע הפגיעה?

(14) קליפה כדורית עבה עם צפיפות משתנה

- קליפה כדורית עבה שרדיוסיה הפנימי והחיצוני הם a ו- b נושאת מטען בצפיפות נפחית לא אחידה, $\rho(r) = \frac{\alpha}{r}$, כאשר $\alpha > 0$ הינו קבוע מספרי. במרכזו של החלל הכדורי ($r = 0$) מצוי מטען נקודתי $+q$. מה צריך להיות ערכו של הקבוע המספרי α על מנת שהשדה בתחום $a < r < b$ יהיה קבוע, כלומר בלתי תלוי במרחק.



תשובות סופיות:

$$\vec{E} = (\sigma_1 R_1 + \sigma_2 R_2) \frac{1}{\epsilon_0 r} \hat{r} \quad (1)$$

$$\vec{E} = \frac{C(b-a)}{\epsilon_0 r} \hat{r} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} + 0 + \left(-\frac{kq_1}{d^2} \hat{z} \right) \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} + \frac{kq_2 \hat{z}}{d^2} + 0 \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} - \frac{kq_2}{\frac{d^2}{4}} \hat{z} - \frac{kq_1}{\frac{9d^2}{4}} \hat{z} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{E}_T = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} ((1 + \cos \alpha) + \sin \alpha \hat{y}) \quad \text{בין המישורים :} \quad (4)$$

$$\vec{E}_T = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} ((1 + \cos \alpha) - \sin \alpha \hat{y}) \quad \text{מעל המישורים :}$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \text{א.} \quad (5)$$

ב. חוק גאוס ישים מכיוון שניתן למצא מעטפת גאוס שהרכיב המאונך $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \sin\left(\frac{\pi}{N}\right)} \approx \frac{\sigma N}{2\pi\epsilon_0} \quad \text{ג. של השדה על המעטפת אחיד.}$$

$$\rho(r) = \frac{\sigma N}{2\pi r} \quad \text{ד.}$$

$$\frac{4\pi k \rho d}{3} \hat{x} \quad \text{ג.} \quad \frac{4\pi k \rho}{3} \left(\frac{a^3}{(d+R)^2} - R \right) \hat{x} \quad \text{ב.} \quad \frac{4\pi k \rho a^3}{3d^2} \hat{x} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\frac{Q_{in}}{\epsilon_0} \quad \text{ב.} \quad -24 \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$\frac{16}{5} \pi \rho_0 R^3 \quad (8)$$

$$\frac{q}{6\epsilon_0} \quad (9)$$

$$\phi = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{kqa}{2 \left(x^2 + y^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx dy \quad (10)$$

$$\frac{q}{3\epsilon_0} \quad (11)$$

$$\bar{E} = -5.65 \cdot 10^q \frac{N}{C} \hat{y} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$v = 1.04 \cdot 10^8 \frac{m}{sec} \quad \text{ג.} \quad 2.53 \cdot 10^{-11} J \quad \text{ב.}$$

$$t \approx 1.1 \cdot 10^{-12} sec \quad \text{א.} \quad (13)$$

$$V(t) = 3.65 \cdot 10^9 \frac{m}{sec} \quad \text{ב.}$$

$$E_k = 6.06 \cdot 10^{-12} J \quad \text{ג.}$$

$$\alpha = \frac{q}{2\pi a^2} \quad (14)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 8 - פוטנציאל

תוכן העניינים

59	1. מהו פוטנציאל
60	2. שיטה 1, סופרפוזיציה
61	3. שיטה 2, שאלות חוק גאוס
63	4. שיטה 3, חישוב מפורש
64	5. תרגילים נוספים

מהו פוטנציאל:

שאלות:

(1) עבודה להביא מטען מהאינסוף

מהי העבודה הדרושה להביא מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

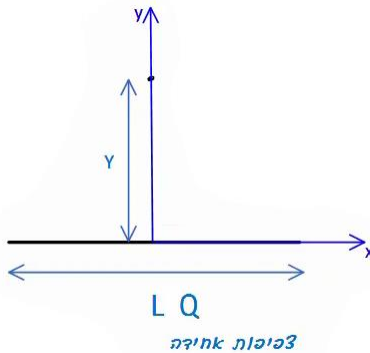
מהאינסוף למרחק $r = 50 \text{ cm}$ ממטען $Q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$
המקובע במקום?

תשובות סופיות:

$$W = 108 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad (1)$$

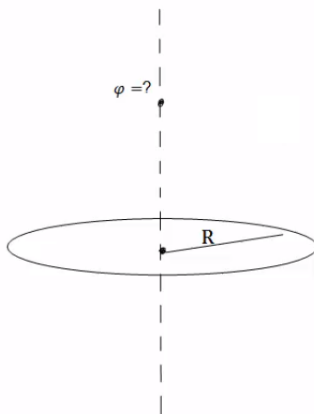
שיטה 1, סופרפוזיציה:

שאלות:



1) שיטה ראשונה, סופרפוזיציה

תיל באורך L טעון במטען כולל Q המפולג בתיל בצורה אחידה. התיל מונח על ציר ה- x . מצא את הפוטנציאל על ציר ה- y העובר במרכז התיל.



2) פוטנציאל של טבעת לאורך ציר הסימטריה

מצא את הפוטנציאל של טבעת ברדיוס R עם צפיפות מטען ליחידת אורך λ לאורך ציר הסימטריה.

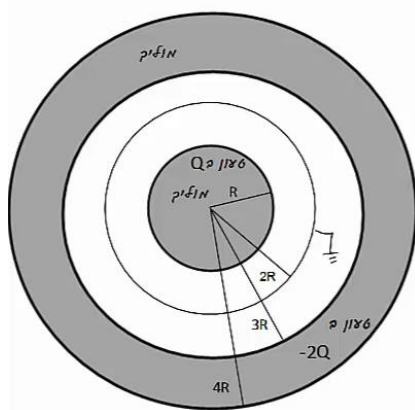
תשובות סופיות:

$$\varphi = k\lambda \ln \left| \frac{\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}}{-\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}} \right| \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{2\pi k\lambda R}{\sqrt{R^2 + z^2}} \quad (2)$$

שיטה 2, שאלות חוק גאוס:

שאלות:



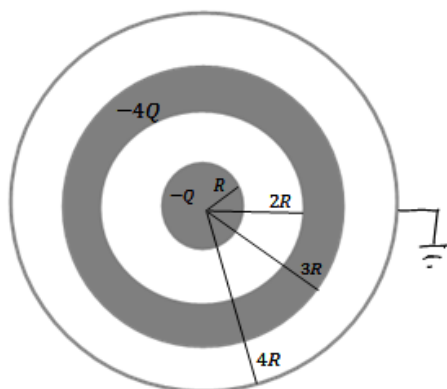
(1) דרך שניה, שאלות חוק גאוס

כדור מוליך בעל רדיוס R טעון במטען Q .
 מסביב לכדור ברדיוס $2R$, נמצאת מעטפת כדורית דקה, מוליכה ומוארקת.
 כל המערכת מוקפת במעטפת עבה ומוליכה עם רדיוס פנימי $3R$ ורדיוס חיצוני $4R$.
 המעטפת החיצונית טעונה במטען $-2Q$ (ראה ציור).
 לכדור ולמעטפות מרכז משותף, Q , R נתונים.
 א. מהו הפוטנציאל בכל המרחב?
 ומהי התפלגות המטען בכל המרחב?

(2) פוטנציאל של קליפה כדורית

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של קליפה כדורית ברדיוס R הטעונה במטען כולל Q . הנח שהמטען מפוזר בצורה אחידה על השפה.

(3) קליפות גליליות מוליכות



גליל מוליך בעל רדיוס R ואורך L טעון במטען $-Q$.
 סביב הגליל נמצאת קליפה גלילית עבה ומוליכה, בעלת רדיוס פנימי $2R$ ורדיוס חיצוני $3R$.
 אורך הקליפה הוא L גם כן.
 הקליפה טעונה במטען כולל של $-4Q$.
 מסביב לקליפה העבה נמצאת קליפה דקה מוליכה ומוארקת ברדיוס $4R$ ואורך זהה.
 הנח כי $L \gg R$ ולקליפות ציר מרכזי משותף.

א. כיצד מתפלג המטען במערכת?

ב. מה הפוטנציאל בכל המרחב?

ג. פרוטון בעל מסה m_p ומטען $|e|$ משוחרר ממנוחה במרחק $r=2R$.

מהי מהירות הפרוטון לאחר שעבר מרחק R ?

(4) שדה ופוטנציאל של כדור מלא

נתון כדור מלא בעל רדיוס R וצפיפות מטען נפחית אחידה p .

א. מצא את פונקציית השדה בכל המרחב.

ב. מצא את פונקציית הפוטנציאל בכל המרחב.

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \varphi = \begin{cases} C_1 & r < R \\ \frac{kQ}{r} + C_2 & R < r < 2R \\ \frac{k(Q+q)}{r} + C_3 & 2R < r < 3R \\ C_4 & 3R < r < 4R \\ \frac{k(q-Q)}{r} + C_5 & 4R < r \end{cases} \quad \text{א. פוטנציאל: התפלגות: ראה סרטון}$$

$$(2) \quad \varphi = \begin{cases} \frac{KQ}{R} & r < R \\ \frac{KQ}{r} & R > r \end{cases}$$

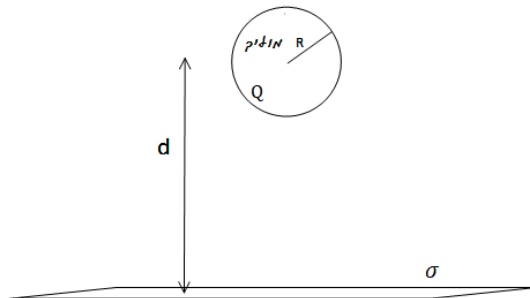
$$(3) \quad \text{א. ראה סרטון} \quad \varphi = \frac{Q}{2\pi L \epsilon_0} \cdot \begin{cases} \ln \frac{1}{2} + 5 \ln \frac{3}{4} & r < R \\ \ln \frac{r}{2R} + 5 \ln \frac{3}{4} & R < r < 2R \\ 5 \ln \frac{3}{4} & 2R < r < 3R \quad \text{ב.} \\ 5 \ln \frac{r}{4R} & 3R < r < 4R \\ 0 & 4R < r \end{cases}$$

$$v = \sqrt{\frac{|e|Q \ln 2}{\pi L \epsilon_0 m_p}} \quad \text{ג.}$$

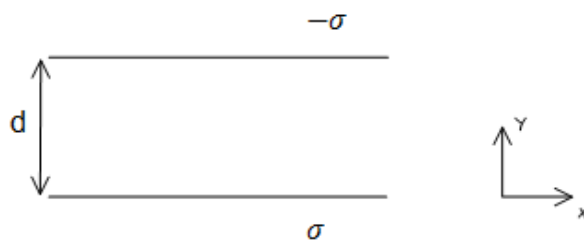
$$(4) \quad \text{א.} \quad E = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r} & r < R \\ \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2} \hat{r} & R < r \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \varphi = \begin{cases} -\frac{\rho r^2}{6\epsilon_0} + C_1 & r < R \\ -\left(-\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r}\right) + C_2 & R < r \end{cases}$$

שיטה 3, חישוב מפורש:

שאלות:



- (1) **דרך שלישית, חישוב מפורש**
 נתון משטח אינסופי הטעון בצפיפות מטען משטחית σ .
 במרחק d מעל המשטח ממוקם כדור מוליך בעל רדיוס R ומטען Q .
 מצא את הפרש הפוטנציאלים בין המישור לבין שפת הכדור.



- (2) **מתח בין לוחות**
 מצא את הפרש הפוטנציאלים בין שני לוחות, כאשר לוח אחד טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת שטח σ והלוח השני טעון בצפיפות אחידה ליחידת שטח $-\sigma$.
 נתון כי המרחק בין הלוחות הוא d וכי שטח הלוחות גדול בהרבה מהמרחק ביניהם.

תשובות סופיות:

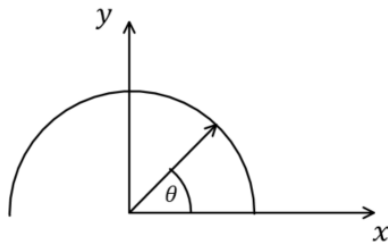
$$\Delta\varphi_{B \rightarrow A} = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0}(d-R) + \frac{kQ}{R} - \left[Q + \frac{KQ}{\lambda} \right] \quad (1)$$

$$V = |E|d \quad (2)$$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) חישוב פוטנציאל במרכז חצי טבעת עם צפיפות משתנה



תיל מכופף לחצי טבעת ברדיוס R . מרכז הטבעת (או מרכז המעגל השלם) הוא בראשית הצירים וחצי הטבעת נמצאת בחלק החיובי של ציר ה- y (ראו איור).

חצי הטבעת טעונה בצפיפות מטען לא אחידה ליחידת אורך: $\lambda(\theta) = \lambda_0 \sin \theta$ כאשר θ

והיא הזווית עם ציר ה- x החיובי ו- $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-12} \frac{C}{m}$.

מצאו את הפוטנציאל בראשית.

(2) יצירת היסוד קיריום

בשנת 1944 המדענים גלן סיבורג (חתן פרס נובל לכימיה), ראלף גיימס ואלברט גיורסו ייצרו לראשונה את היסוד הכימי שמספרו 96 וקראו לו "קיריום" על שם מארי קירי. לשם כך הם "הפציצו" גרעינים של פלוטוניום (שמספרו האטומי 94, כלומר יש לו 94 פרוטונים) בגרעיני הליום – 4 (בהם יש 2 פרוטונים ושני נויטרונים), והמסה שלו היא: $M = 6.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

א. אפשר להתייחס בקירוב אל גרעין הפלוטוניום כאל כדור

ברדיוס: $R = 7 \times 10^{-15} \text{ m}$, בו המטען של 94 הפרוטונים מפוזר באופן אחיד בנפחו.

אם כך, מה הפוטנציאל על פניו (יחסית לאינסוף)?

ב. מה צריכה להיות האנרגיה של גרעין ההליום בשביל שהוא יוכל להגיע אל פני גרעין הפלוטוניום?

תנו את התשובה גם ביחידות eV וגם ביחידות J.

ג. מה צריכה להיות המהירות שלו רחוק מהגרעין ("באינסוף")?

ד. באיזה מרחק ממרכז הגרעין המהירות שלו יורדת ל-80% מהמהירות בסעיף ג'?

(3) דיפול

במרחב נמצאים שני מטענים :

$$\vec{r}_1 = -a\hat{y} = (-a, 0, 0) \text{ בנקודה } q_1 = -q$$

$$\vec{r}_2 = a\hat{y} = (a, 0, 0) \text{ בנקודה } q_2 = -q$$

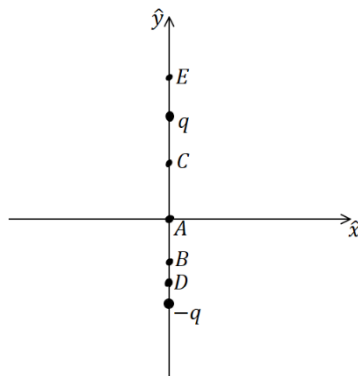
א. מה הפוטנציאל (יחסית לאינסוף), ומה השדה החשמלי בכל אחת מהנקודות

$$\text{הבאות : } \vec{r}_A = 0, \vec{r}_B = -\frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_C = \frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_D = -\frac{3}{4}a\hat{y}, \vec{r}_E = \frac{3}{2}a\hat{y} ?$$

ב. היכן הפוטנציאל (יחסית לאינסוף) מתאפס?
תארו את המקום הגאומטרי של כל הנקודות
בהן זה קורה.

ג. ציירו גרפים סכמתיים של הפוטנציאל לאורך
ציר y ולאורך שני צירים שמקבילים לציר y
בשני מרחקים שונים.

ד. ציירו את קווי השדה ואת המשטחים שווי
הפוטנציאל.

**(4) מטען q ומטען $3q$**

במרחב נמצאים שני מטענים.

$$\text{מטען } 3q \text{ בנקודה } (a, 0, 0) \text{ ומטען } -q \text{ בנקודה } (-a, 0, 0).$$

א. מה הפוטנציאל ϕ (יחסית לאינסוף) ומה השדה
החשמלי בראשית הצירים.

ב. מצאו על ציר x שתי נקודות בהן הפוטנציאל
מתאפס.

ג. מה השדה החשמלי בשתי הנקודות שמצאתם
בסעיף ב'?

ד. הראו שהמקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן הפוטנציאל
יחסית לאינסוף מתאפס הוא כדור.

מצאו את הרדיוס שלו ואת מרכזו (בשביל למצוא את הרדיוס והמרכז
אפשר להיעזר בתוצאה של סעיף ב').

ה. מצאו איפה השדה החשמלי מתאפס. מה הפוטנציאל שם?

ו. ציירו גרף סכמתי של הפוטנציאל לאורך ציר x .

ציינו את המיקומים של נקודות בהן הפוטנציאל ידוע ואת ערכו בהן.

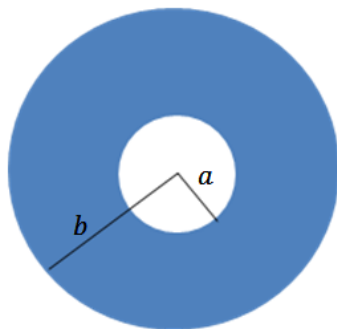
(5) מטען על השפה בצורה לא אחידה

מטען Q מפוזר בצורה לא אחידה על שפה של קליפה כדורית ברדיוס R .

א. מה הפוטנציאל במרכז הקליפה?

ב. האם ניתן לחשב את הפוטנציאל על השפה?

(6) דסקה עם חור



בדסקה בעלת רדיוס b קדחו חור במרכזו ברדיוס a .
הדסקה טעונה בצפיפות מטען ליחידת

שטח: $\sigma(r) = \frac{D}{r^2}$, D קבוע לא נתון.

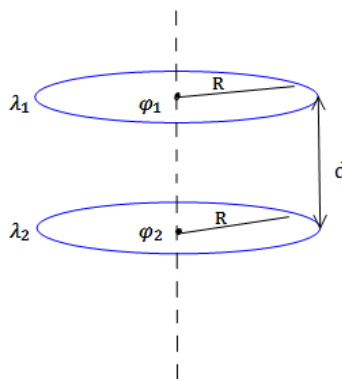
א. מצא את היחידות של D .

ב. מצא את D אם נתון גם המטען הכולל בדסקה Q .

ג. מצא את הפוטנציאל במרכז הדסקה.

ד. בדוק מה קורה בגבול של $a \rightarrow b$.

(7) טבעת מעל טבעת

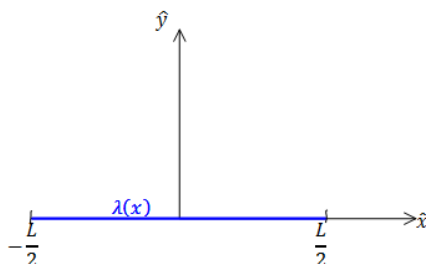


שתי טבעות זהות בעלות רדיוס R מונחות האחת מעל ובמקביל לשנייה כך שהמרחק ביניהן הוא d .
הטבעת העליונה טעונה בצפיפות מטען ליחידת

אורך λ_1 ונתון כי הפוטנציאל במרכזו הוא φ_1 .
הטבעת התחתונה טעונה בצפיפות מטען ליחידת

אורך λ_2 ונתון כי הפוטנציאל במרכזו הוא φ_2 .
מצא את צפיפויות המטען של הטבעות אם נתון כי הפוטנציאל באינסוף מתאפס.

(8) תיל עם צפיפות משתנה



תיל דק מונח על ציר ה- x כך שמרכזו בראשית הצירים. אורך התיל הוא L והוא טעון בצפיפות

מטען ליחידת אורך: $\lambda(x) = \lambda_0 \frac{x}{L}$.

א. מצא את המטען הכולל בתיל.

ב. מצא את הפוטנציאל על ציר ה- x למעט בתחום בו נמצא התיל.

(9) כדור זז מחבר בין שני כדורים



הכדורים 1 ו-2 בתמונה הם מוליכים המקובעים במקומם וטעונים במטען זהה. הנח שהכדורים

מאוד מרוחקים זה מזה וידוע שהכוח הפועל עליהם הוא F . הכדור השלישי גם הוא זהה

אך אינו טעון. מצמידים את הכדור השלישי לכדור הראשון וממתינים עד שהמערכת

תתייצב. לאחר מכן מנתקים את הכדור השלישי

ומצמידים אותו לכדור השני. שוב ממתינים עד שהמערכת תתייצב.

לבסוף מרחיקים את הכדור השלישי לגמרי.

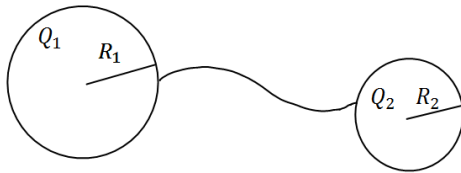
מהו הכוח בין הכדורים 1 ו-2 לאחר כל התהליך?

(10) שני כדורים מוליכים מחוברים בחוט

שני כדורים מוליכים טעונים ונמצאים במרחק גדול מאוד זה מזה.

רדיוסי הכדורים והמטענים שלהם הם: R_1, R_2, Q_1, Q_2 .

מחברים בין הכדורים באמצעות חוט מוליך.



א. מה יהיה המטען על כל כדור

לאחר זמן רב?

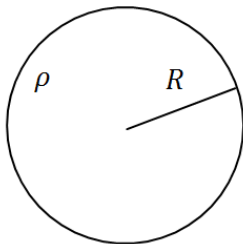
ב. כמה מטען זרם דרך החוט

ולאיזה כיוון?

(11) פוטנציאל של גליל מלא טעון בצפיפות אחידה

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של גליל אינסופי

ברדיוס R וצפיפות מטען אחידה ונתונה ρ .

**(12) חור במישור**

לוח אינסופי בעובי $2d$ טעון בצפיפות מטען

אחידה וחיובית ליחידת נפח ρ .

בתוך הלוח ישנו חלל כדורי בקוטר d .

א. חשב את השדה החשמלי בנקודות:

$O(0,0)$, $A(0,d)$, $B(0.5d, 0.5d)$, $C(0,0.5d)$

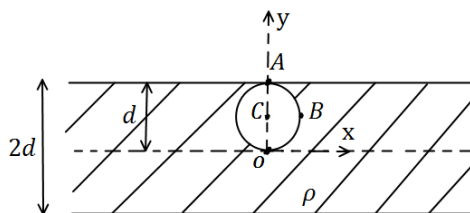
ב. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין

הנקודות A ו-B.

ג. משחררים מטען $q > 0$ בעל מסה m מהנקודה C.

i. לאיזה כיוון יתחיל לנוע המטען אם מתעלמים מהשפעת כוח הכובד?

ii. מהי מהירות המטען רגע לפני שהוא מגיע לדופן החלל?

**(13) כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת**

כדור מוליך בעל רדיוס R_1 טעון במטען Q_1 .

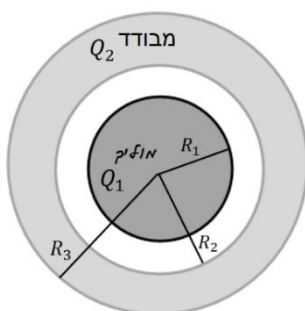
הכדור נמצא במרכז של קליפה כדורית מבודדת

בעלת רדיוס פנימי R_2 ורדיוס חיצוני R_3 .

הקליפה טעונה באופן הומוגני במטען Q_2 .

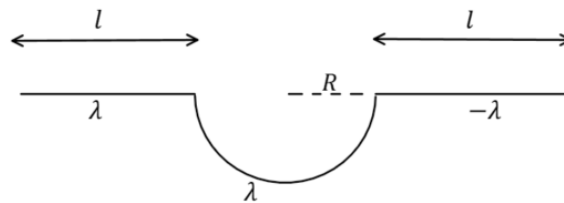
א. חשב השדה החשמלי והפוטנציאל בכל המרחב.

ב. חזור על החישוב הזה במקרה שבו הכדור מוארק.



14) שדה ופוטנציאל במרכז של תיל עם חצי עיגול

- תיל טעון מורכב משלושה חלקים, שני קווים ישרים בעלי אורך l וחצי עיגול ברדיוס R שמחבר ביניהם, ראו איור. החלק הישר השמאלי וחצי העיגול טעונים בצפיפות מטען אחידה λ שאינה נתונה. החלק הישר הימני טעון ב $-\lambda$.
- א. מצאו את λ אם ידוע שסך כל המטען במערכת הוא Q .
- ב. חשבו את השדה החשמלי במרכז חצי העיגול.
- ג. חשבו את הפוטנציאל החשמלי במרכז חצי העיגול.



תשובות סופיות:

$$3.6 \cdot 10^{-2} \quad (1)$$

$$1.93 \cdot 10^7 \text{ V} \quad \text{א.} \quad 6.17 \cdot 10^{-12} \text{ J} \quad \text{ב.} \quad (2)$$

$$v = 4.32 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad r = 1.95 \cdot 10^{-14} \text{ m} \quad \text{ד.} \quad (3)$$

$$y = 0 \quad \text{ב.} \quad \text{א. ראה סרטון} \quad (3)$$

$$\text{ג. ראה סרטון} \quad \text{ד. ראה סרטון}$$

$$\text{א. פוטנציאל: } \frac{2kq}{a}, \text{ שדה חשמלי: } -\frac{k4q}{d^2} \hat{x} \quad \text{ב.} \quad x_1 = -\frac{1}{2}a, x_2 = -2a \quad (4)$$

$$\text{ג.} \quad x_1 = -\frac{kq}{a^2} \cdot \frac{16}{3} \hat{x}, x_2 = \frac{kq}{a^2} \cdot \frac{2}{3} \hat{x} \quad \text{ד. רדיוס: } R = \frac{3}{4}a, \text{ מרכז: } \left(-\frac{5}{4}a, 0, 0\right) \quad (5)$$

$$\text{ה. איפוס השדה: } x_2 = -3.73a, \text{ הפוטנציאל בנקודה זו: } 0.27 \frac{kq}{a}$$

$$\text{ו. ראו סרטון.}$$

$$\frac{kQ}{R} \quad \text{א.} \quad \text{ב. לא} \quad (5)$$

$$D = \frac{Q}{2\pi \ln \frac{b}{a}} \quad \text{ב.} \quad \varphi = \frac{kQ}{\ln \frac{b}{a}} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad \text{ג.} \quad [D] = [C] \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\frac{kQ}{a} \quad \text{ד.} \quad \varphi_1 = 2\pi k\lambda_1 + \frac{2\pi k\lambda_2 R}{\sqrt{R^2 + d^2}}, \quad \varphi_2 = 2\pi k\lambda_2 + \frac{2\pi k\lambda_1 R}{\sqrt{R^2 + (-d)^2}} \quad (7)$$

$$\varphi = \frac{k\lambda_0}{L} \left(-L + x \ln \left(\frac{x + \frac{L}{2}}{x - \frac{L}{2}} \right) \right) \quad \text{ב.} \quad 0 \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$\frac{3}{8}F \quad (9)$$

$$q'_2 = \frac{R_2(Q_1 + Q_2)}{R_1 + R_2} \quad \text{א.} \quad \text{ב. אם } \frac{Q_1}{Q_2} > \frac{R_1}{R_2} \text{ אז המטען עבר משמאל לימין,} \quad (10)$$

$$\text{אם } \frac{Q_1}{Q_2} < \frac{R_1}{R_2} \text{ אז עבר מימין לשמאל.}$$

$$\varphi = \begin{cases} -\frac{\rho}{4\epsilon_0}(r^2 - R^2) & r \leq R \\ -\frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln \frac{r}{R} & r \geq R \end{cases} \quad (11)$$

$$\vec{E}_O = \frac{\rho d}{6\epsilon_0} \hat{z}, \quad \vec{E}_A = \frac{5\rho d}{6\epsilon_0} \hat{z}, \quad \vec{E}_B = \frac{\rho d}{6\epsilon_0} \hat{x}, \quad \vec{E}_C = \frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z}. \quad \text{א. (12)}$$

$$V = \sqrt{\frac{2q\rho d^2}{3\epsilon_0 m}}. \quad \text{ii.} \quad \text{ג. i. למעלה.} \quad \frac{3\rho d}{8\epsilon_0} \quad \text{ב.}$$

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 & r < R_1 \\ \frac{kQ_1}{r^2} \hat{r} & R_1 < r < R_2 \\ \frac{k}{r^2} \left(Q_1 + Q_2 \left(\frac{r^3 - R_2^3}{R_3^3 - R_2^3} \right) \right) \hat{r} & R_2 < r < R_3 \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r^2} \hat{r} & R_3 < r \end{cases} \quad \text{א. (13)}$$

$$\varphi(r) = \begin{cases} C_1 & r < R_1 \\ \frac{kQ_1}{r} + C_2 & R_1 < r < R_2 \\ \frac{kQ_1}{r} - \frac{kQ_2 r^2}{2(R_3^3 - R_2^3)} - \frac{kQ_2 R_2^3}{(R_3^3 - R_2^3)r} + C_3 & R_2 < r < R_3 \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r} + C_4 & R_3 < r \end{cases} \quad \text{ב.}$$

$$\vec{E} = \frac{2K\lambda}{R} \hat{y} + 2K\lambda \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{1+R} \right) \hat{x} \quad \text{ב.} \quad \lambda = \frac{Q}{\pi R} \quad \text{א. (14)}$$

$$\varphi = K\lambda\pi \quad \text{ג.}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 9 - דיפול חשמלי

תוכן העניינים

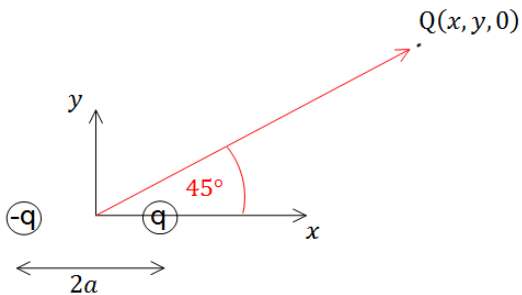
1. הכל על דיפול 71

הכל על דיפול:

שאלות:

(1) תרגיל ופיתוח הנוסחה של דיפול מהשדה

שני מטענים בעלי מטען q ו- $-q$ ממוקמים $x=a$ ו- $x=-a$.



א. חשב את הכוח הפועל על מטען

שלישי Q הנמצא בנקודה $(x, y, 0)$.

ב. הנח שמרחק המטען מהראשית

גדול בהרבה מהמרחק בין

המטענים והזווית של וקטור

מיקום המטען עם ציר ה- x הוא 45° .

השתמש בתשובה של סעיף א' ובקירובים

וחשב מה הכוח הפועל על המטען.

ג. חשב את וקטור מומנט הדיפול שיוצרים המטענים.

ד. חשב שוב את הכוח הפועל על המטען, הפעם השתמש בנוסחה של שדה של

דיפול והראה כי התשובה זהה לתשובה של סעיף ב'.

(2) דיפול בראשית מזיז אלקטרון

נתון דיפול $\vec{p} = (p, 0, 0)$ הנמצא בראשית.

א. מצא את הגודל p כך שאלקטרון הממוקם בנקודה $(a, 0, 0)$ עם

מהירות $(v, 0, 0)$ ייעצר בנקודה $(b, 0, 0)$.

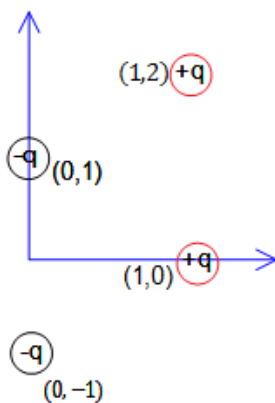
ב. מצא את הגודל p כך שאלקטרון הממוקם בנקודה $(a, -\sqrt{2}a, 0)$ עם

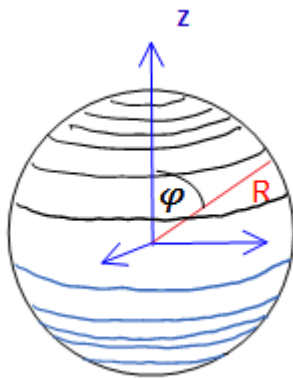
מהירות $(0, 0, v)$ יבצע תנועה מעגלית.

(3) מציאת מומנט דיפול של מערכת

מצא את מומנט הדיפול החשמלי של התפלגות

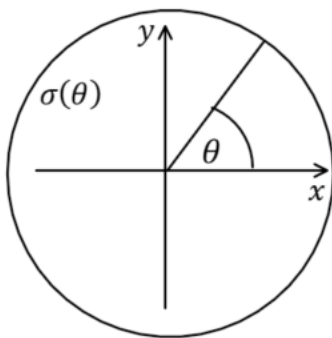
המטענים המתוארת בציור.



**(4) מציאת מומנט דיפול של מערכת**

(באותו הסרטון כמו השאלה הקודמת)

מצא את מומנט הדיפול של קליפה כדורית הטעונה

בצפיפות מטען משטחית לא אחידה $\sigma = \sigma_0 \cos \varphi$ כאשר σ_0 קבוע נתון ו- φ היא הזווית עם ציר ה-z.**(5) דיסקה עם התפלגות מטען שתלויה בזווית**

דיסקה מלאה בעלת רדיוס R טעונה בצפיפות מטען

ליחידת שטח $\sigma(\theta)$.

מצא את השדה החשמלי במרחק z מעל מרכז

הדיסקה בגבול בו $z \gg R$:א. במקרה בו $\sigma(\theta) = \sigma_0 \sin(\theta)$.ב. במקרה בו $\sigma(\theta) = \sigma_0 \sin(2\theta)$ רק עד

הסדר של הדיפול.

(6) חישוב שגיאהמטען q נמצא ב- $(0,0,d)$ ומטען -q נמצא ב- $(0,0,-d)$.

א. חשב את הפוטנציאל המדויק בנקודה כלשהיא על

ציר z.

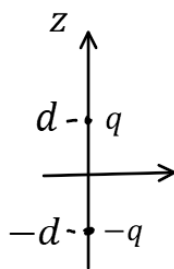
ב. מהו הערך המינימלי של z כך שהקירוב של

הפוטנציאל של דיפול לא יסטה יותר מאחוז אחד

מהפוטנציאל האמיתי?

ג. מהו הערך המינימלי של z כך שהקירוב של השדה

של דיפול לא יסטה יותר מאחוז אחד מהשדה האמיתי?

**(7) מטען נקודתי ודיפול (כולל אנרגיה וכוח)**דיפול חשמלי בעל מומנט דיפול $\vec{p}$ נמצא במיקום $\vec{r}$.מטען נקודתי q נמצא בראשית. התייחס ל-q, $\vec{p}$ ו- $\vec{r}$ כנתונים.

א. חשב את מומנט הכוח שפועל על הדיפול.

ב. חשב את האנרגיה של הדיפול.

ג. הראה כי הכוח הפועל על הדיפול הוא:
$$\vec{F} = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r}^2 - (\vec{p} \cdot \vec{r})(\vec{r} \cdot \vec{r}))}{r^5}$$

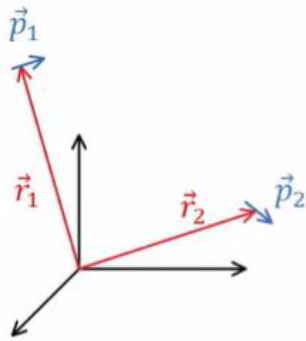
(8) אנרגיית דיפול-דיפול

דיפול $\vec{p}_1$ ממוקם ב- $\vec{r}_1$ ודיפול $\vec{p}_2$ ממוקם ב- $\vec{r}_2$.

א. הראה שהאנרגיה של $\vec{p}_2$ בשדה של $\vec{p}_1$ היא:

$$U = \frac{k}{\tilde{r}^3} [\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 - 3(\vec{p}_1 \cdot \tilde{\vec{r}})(\vec{p}_2 \cdot \tilde{\vec{r}})]$$

כאשר $\tilde{\vec{r}} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$, $\tilde{r} = |\tilde{\vec{r}}|$, ו- $\tilde{\vec{r}} = \frac{\tilde{\vec{r}}}{\tilde{r}}$.



ב. אנרגיה זו היא בעצם אנרגיה של מערכת דיפול-דיפול, הראה שאם היינו מחשבים את האנרגיה של $\vec{p}_1$ בשדה של $\vec{p}_2$ היינו מקבלים תוצאה זהה.

ג. מצא את הכוח הפועל על $\vec{p}_2$ והכוח על $\vec{p}_1$.

ד. מה שווה הכוח על $\vec{p}_2$ במקרה ש- $\vec{p}_2$ מקביל ל- $\vec{p}_1$ ומקביל ל- $\tilde{\vec{r}}$?

ומה הכוח אם $\vec{p}_2$ מקביל ל- $\vec{p}_1$ ומאונך ל- $\tilde{\vec{r}}$.

תשובות סופיות:

$$\vec{E} = kq \left[\left(\frac{x-a}{((x-a)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{x+a}{((x+a)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \hat{x} + \left(\frac{y}{((x-a)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{y}{((x+a)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \hat{y} \right] \quad \text{א. (1)}$$

$$\text{ב. } \frac{kq}{r^3} (a\hat{x} + 3a\hat{y}) \quad \text{ג. } q2a\hat{x} \quad \text{ד. שאלת הוכחה.}$$

$$\rho = \frac{mv^2}{2e^k} \left(\frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} \right) \quad \text{א. (2)} \quad |e| \frac{K\sqrt{2}p}{3\sqrt{3}a^3} \quad \text{ב.}$$

$$0 \quad \text{ג. (3)}$$

$$\left(0, 0, \frac{4}{3} \sigma_0 R^3 2\pi \right) \quad \text{א. (4)}$$

$$-\frac{k\pi r_0 R^3 \hat{y}}{3z^3} \quad \text{א. (5)} \quad \text{ב. } 0$$

$$\varphi(q) = \frac{kq2d}{z^2 - d^2} \quad \text{א. (6)} \quad z_{\min} = 10d \quad \text{ב.} \quad z_{\min} \approx 14.14d \quad \text{ג.}$$

$$\frac{kq}{r^3} (\vec{p} \cdot \vec{r}) \quad \text{א. (7)} \quad -\frac{kq}{r^3} (\vec{p} \cdot \vec{r}) \quad \text{ב.} \quad \text{ג. שאלת הוכחה}$$

$$\text{א. שאלת הוכחה} \quad \text{ב. שאלת הוכחה} \quad \text{ג. שאלת הוכחה} \quad \text{ד. שאלת הוכחה} \quad \text{ה. שאלת הוכחה} \quad \text{ו. שאלת הוכחה} \quad \text{ז. שאלת הוכחה} \quad \text{ח. שאלת הוכחה} \quad \text{ט. שאלת הוכחה} \quad \text{י. שאלת הוכחה}$$

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2, \quad \vec{F}_2 = \frac{3k}{\tilde{r}^4} \left[\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 \cdot \tilde{r} + (\vec{p}_2 \cdot \hat{r}) \cdot \vec{p}_1 + (\vec{p}_1 \cdot \hat{r}) \cdot \vec{p}_2 - 5(\vec{p}_1 \cdot \hat{r})(\vec{p}_2 \cdot \hat{r}) \hat{r} \right] \quad \text{ג.}$$

$$\vec{F}_2 = -\frac{3K}{\tilde{r}^4} p_1 p_2 \hat{r} : \vec{p}_1 \parallel \vec{p}_2 \perp \vec{r}, \quad \vec{F}_2 = -\frac{6K}{\tilde{r}^4} p_1 p_2 \hat{r} : \vec{p}_1 \parallel \vec{p}_2 \parallel \vec{r} \quad \text{ד.}$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 10 - מציאת התפלגות מטען

תוכן העניינים

1. מציאת התפלגות מטען 75

מציאת התפלגות מטען:

שאלות:

(1) מציאת צפיפות נפחית משטחית קווית ונקודתית

נתונה פונקציית הפוטנציאל הבאה במרחב (בקואורדינטות גליליות):

$$\varphi(r) = \begin{cases} Ar^2, & r < a \\ B \ln(r) + C, & a < r < b \\ D \ln(r), & b < r \end{cases}$$

A, B, C, D נתונים.

א. מצא קשר בין הקבועים.

ב. מצא את התפלגות המטען במרחב, כעת נתון כי עוטפים את כל המערכת

בגליל אינסופי מוליך מוארק ברדיוס $c > b$.

ג. מצא את פונקציית הפוטנציאל החדשה בכל המרחב.

(2) שדה התלוי בזווית

השדה החשמלי במרחב נתון ע"י הפונקציה הבאה בקואורדינטות כדוריות:

$$\vec{E} = \frac{c}{r} (\hat{r} + \cos \theta \hat{\theta} + \sin \theta \cos \varphi \hat{\phi})$$

א. מצא את צפיפות המטען במרחב.

ב. מצא את כמות המטען הנמצאת בתוך כדור ברדיוס R ע"י אינטגרל על צפיפות המטען.

ג. מצא שוב את כמות המטען הנמצאת בתוך כדור ברדיוס R ע"י חישוב של השטף של השדה החשמלי ושימוש בחוק גאוס.

(3) התפלגות בכדוריות

השדה החשמלי במרחב נתון לפי הפונקציה הבאה:

$$\vec{E}(r) = \begin{cases} -\frac{72\pi \cdot 10^5 (N \cdot \frac{m}{C})}{r} \hat{r}, & r < 1 \\ -\frac{144\pi \cdot 10^5 (N \cdot \frac{m^2}{C})}{r^2} \hat{r}, & r > 1 \end{cases}$$

הקואורדינטות כדוריות.

מצאו את התפלגות המטען במרחב ותארו את המבנה שלה.

תשובות סופיות:

(1) ראה סרטון.

$$\vec{\nabla} \vec{E} = \frac{\epsilon_0 c}{r^2} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\sin \varphi} + \frac{\sin \theta \cos 2\varphi}{\sin \varphi} \right) \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$4\pi\epsilon_0 cR \quad \text{ב.}$$

$$4\pi\epsilon_0 cR \quad \text{ג.}$$

$$\sigma(r=1) = -2 \cdot 10^{-4} \frac{c}{m^2}, \quad \rho(r) = \begin{cases} -\frac{2 \cdot 10^{-4} \left(\frac{c}{m} \right)}{r^2} & r < 1 \\ 0 & 1 < r \end{cases} \quad (3)$$

המבנה הוא כדור ברדיוס 1 מטר המלא בצפיפות המטען נפחית ועטוף במעטפת בעלת צפיפות המטען המשטחית.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 11 - מעגלי זרם ישר

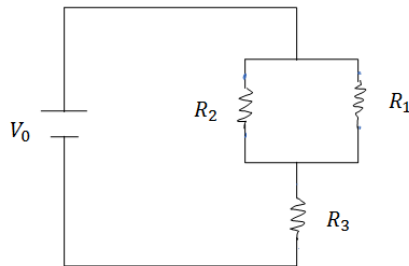
תוכן העניינים

- 1. זרם, חוק אוהם וחיבור נגדים..... 77
- 2. חוקי קירכבהוף..... 79
- 3. מעגלים אינסופיים..... 81

זרם, חוק אוהם וחיבור נגדים

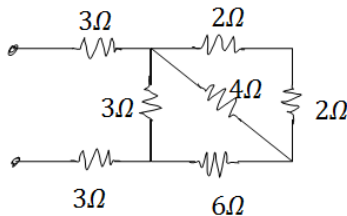
שאלות

(1) שנים במקביל אחד בטור



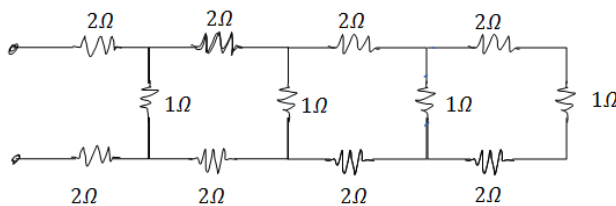
במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור: $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $V_0 = 31V$.
 א. מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל.
 ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.
 חשב את הזרם והמתח על כל אחד מהנגדים.

(2) מרובע עם אלכסון



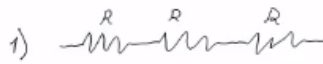
חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני ההדקים.

(3) 4 חוליות



מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים.

(4) שלושה נגדים



נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R .



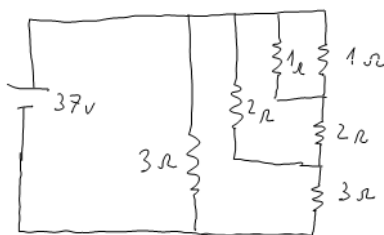
א. מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.

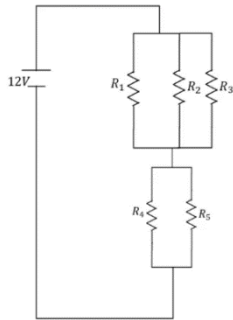


ב. מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

(5) שניים של 1 שניים של 2 ושניים של 3

חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:





6 חישוב הספק מעגל

נתון המעגל הבא $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega$, $R_5 = R_4 = 8\Omega$.

- מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.
- חשבו את הספק המעגל והראו כי הוא שווה להספק הסוללה.
- מוסיפים נגד כלשהו המחובר בטור לסוללה. האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

תשובות סופיות

$$\text{א. } R_T = \frac{31}{5}\Omega \quad \text{ב. } I_1 = 3A, I_2 = 2A, V_{1,2} = 3A, I_2 = 2A \quad (1)$$

$$\frac{90}{11} \quad (2)$$

$$R_T = \frac{985}{204} \quad (3)$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{.iii} \quad \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{.ii} \quad R_1 + R_2 + R_3 \quad \text{.i} \quad \text{א. } (4)$$

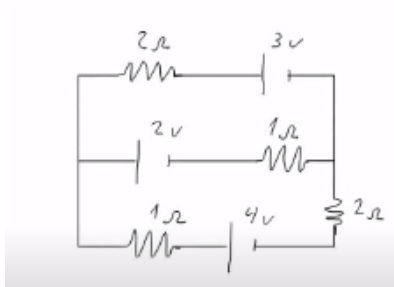
$$\frac{R}{3} \quad \text{.iii} \quad \frac{3}{2}R \quad \text{.ii} \quad 3R \quad \text{.i} \quad \text{ב. } (5)$$

נגד 1- מתח: 2V זרם: 2A, נגד 2- מתח: 8V זרם: 4A, נגד 3- מתח: 27V זרם: 9A.

$$\text{א. } I_4 = I_5 = 1A, I_3 = \frac{2}{3}A, I_2 = I_1 = 2A, I_T = 2A \quad \text{ב. } 24W \quad \text{ג. יקטן.} \quad (6)$$

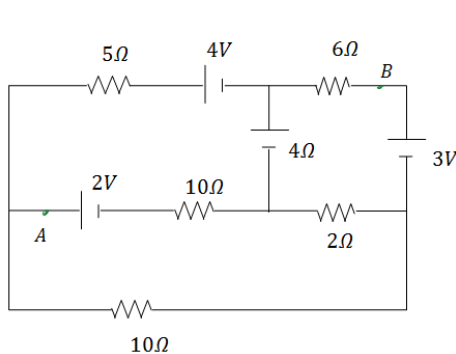
חוקי קירכהוף:

שאלות:



1) חוקי קירכהוף

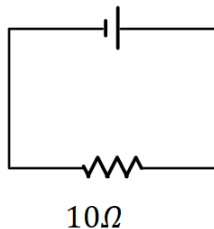
- א. חשב את הזרם בכל נגד במעגל הבא.
 ב. מצא את המתח V_{AB} .



2) חוגים

- א. חשב את הזרם בכל נגד במעגל הבא.
 ב. מצא את המתח V_{AB} .

סוללה לא אידיאלית

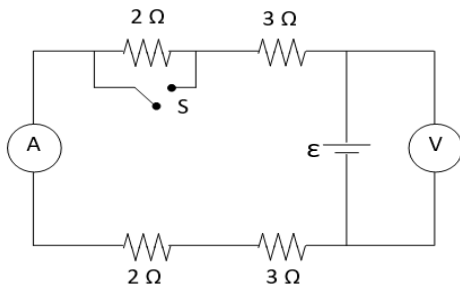


3) דוגמה 1

- המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית המחוברת לנגד של 10 אוהם. ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא 1 אוהם. במעגל זרם זרם של 2 אמפר. א. מהו הכא"מ של הסוללה?
 ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

4) דוגמה 2

- מחברים סוללה לא אידיאלית לנגד של 10 אוהם ומודדים את הזרם במעגל. המדידה מראה כי הזרם הוא 2 אמפר. לאחר מכן מנתקים את הסוללה מהנגד ומחברים אותה לנגד של 6 אוהם. מודדים שוב את הזרם במעגל ורואים כי הזרם השתנה ל-3 אמפר.
 א. מצא את הכא"מ וההתנגדות הפנימית של הסוללה.
 ב. מצא את מתח ההדקים של הסוללה בכל אחד מהחיבורים.


(5) מעגל עם סוללה לא אידיאלית

המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאליים, סוללה (לא אידיאלית) ומפסק. קריאת האמפרמטר נרשמה פעמיים, כאשר המפסק פתוח וכאשר המפסק סגור. אחת הקריאות הייתה 1.5A והאחרת הייתה 1.8A.

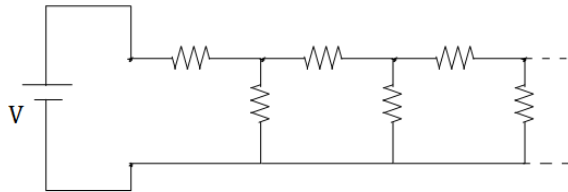
- א. האם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק/י!
- ב. מה הוראת מד המתח בשני מצבי המפסק? פרטי חישוביך!
- ג. חשבו/י את הכא"מ ואת ההתנגדות הפנימית של הסוללה.
- ד. מה היו מראים אותם שני מכשירי מדידה אילו היו מחברים את מד המתח במקום מד הזרם ולהפך? נמק/י!

תשובות סופיות:

- (1) א. $I_3 = \frac{5}{11} \text{ A}$, $I_2 = \frac{7}{11} \text{ A}$, $I_1 = \frac{2}{11} \text{ A}$ ב. $V_{AB} = 3 + \frac{1}{11} \text{ V}$
- (2) א. $I_3 = -0.3876 \text{ A}$, $I_2 = 0.0281 \text{ A}$, $I_1 = -0.6584 \text{ A}$ ב. $V_{AB} = -0.8766 \text{ V}$
- (3) א. 22V ב. 20V
- (4) א. התנגדות פנימית: $r = 2R$, כא"מ: 24V. ב. $V_2 = 18 \text{ V}$, $V_1 = 20 \text{ V}$
- (5) א. כאשר המפסק סגור. סגור-1.8A פתוח-1.5A ב. $V_{AB} = 15 \text{ V}$
- ג. התנגדות פנימית: $r = 2R$ כא"מ: 18V ד. הוולטמטר יראה $V = 0$

מעגלים אינסופיים:

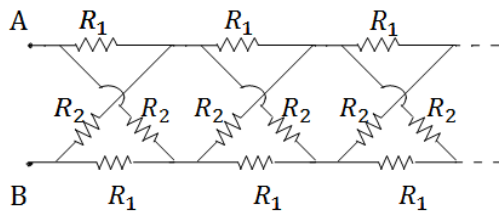
שאלות:



- (1) חישוב התנגדות של טור אינסופי במעגל הבא טור אינסופי של נגדים. התנגדות כל הנגדים זהה ושווה R . מצא את ההתנגדות השקולה והזרם במקור המתח.

(2) מתח זרם בטור אינסופי

- א. מצא נוסחה למתח על כל נגד במעגל של התרגיל הקודם.
 ב. חשב את הזרם בנגד האנכי ה-23 אם נתון מתח המקור.



- (3) טור אינסופי של נגדים בהצלבה
 א. חשב את ההתנגדות הכוללת במעגל האינסופי הבא (ההתנגדות בין A ל-B).
 ב. מצא את הזרם בכל נגד במקרה בו $R_1 = R_2$.

תשובות סופיות:

$$R_T = \frac{1+\sqrt{5}}{2} R \quad (1)$$

$$V_{n+1} = V \left(\frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1} \right)^n \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$R_T = R \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$\tilde{I}_{23} = \frac{V}{R} \left(\frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1} \right)^{23} \quad \text{ב.}$$

ב. הזרם שווה ביניהם והוא $2A$.

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 12 - קבלים-

תוכן העניינים

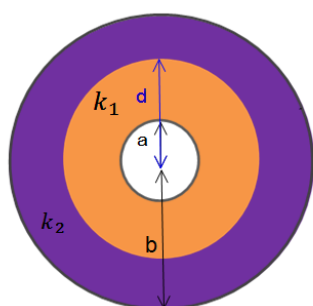
- 1. הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול..... 82
- 2. אנרגיה האגורה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי..... 84
- 3. תרגילים נוספים בקבלים..... 87
- 4. טור אינסופי של קבלים..... 96

הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול:

שאלות:

(1) קבל גלילי

קבל גלילי מורכב משתי קליפות גליליות מוליכות באורך L ורדיוסים a, b .

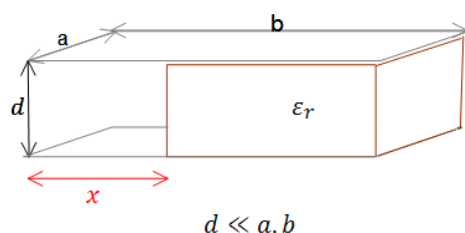


א. מצא את הקיבול של הקבל $L \gg a, b$.

ב. כעת ממלאים את הקבל בחומר דיאלקטרי בעל קבוע משתנה.

k_1 כאשר $a < r < d$ ו- k_2 כאשר $d < r < b$. מצא את הקיבול החדש.

ג. טוענים את הקבל במטען Q , מצא את התפלגות המטען במרחב (חופשי ומושרה).



(2) דרך שניה לחשב קיבול וחיבור קבלים

קבל לוחות מורכב משני לוחות מלבניים בעלי

אורך b ורוחב a . המרחק בין הלוחות הוא d . לתוך הקבל מכניסים חומר דיאלקטרי הממלא את כל החלל בין הלוחות עד

למרחק x מקצה הלוחות. הקבוע הדיאלקטרי של החומר נתון ϵ_r .

א. מצא את הקיבול של הקבל כתלות ב- x .

ב. מחברים את הקבל למקור מתח V , מה תהיה התפלגות המטען החופשי על הלוחות? ומהי צפיפות המטען המושרה בחומר?

(3) קבל לוחות עם חומר דיאלקטרי התלוי בגובה

קבל לוחות טעון בצפיפות מטען $\pm \sigma$.

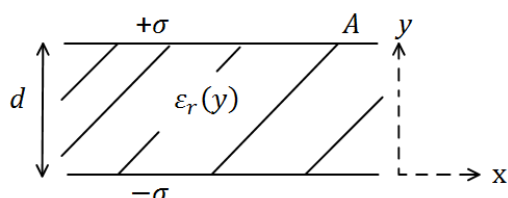
שטח הלוחות הוא A והמרחק בין הלוחות

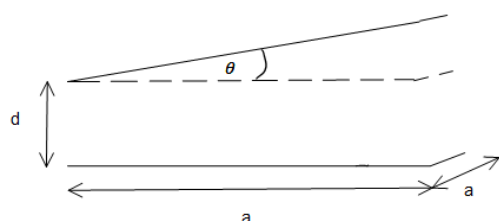
הוא d . בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק

בין הלוחות: $\epsilon_r(y) = 1 + \left(\frac{y}{d}\right)^2$,

כאשר הלוח התחתון נמצא ב- $y = 0$.

מצא את הקיבול של הקבל.





(4) קבל לוחות בזווית

נתון קבל לוחות בעל שטח A ומטען Q .
 אורך כל צלע בלוחות הקבל הינה a .
 עקב טעות בייצור נוצרה זווית θ קטנה
 מאוד בין הלוחות.

- א. חשב את קיבולו של הקבל כפונקציה של θ .
 ב. מחברים את הקבל למקור מתח V , מצא את התפלגות המטען
 המשטחית על לוחות הקבל.

תשובות סופיות:

$$(1) \quad C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} \quad \text{א.} \quad C = \frac{Q}{V} \quad \text{ב.} \quad \sigma_i = \frac{Q}{2\pi bc} \left(1 - \frac{1}{k_2} \right) \quad \text{ג.}$$

$$(2) \quad C_T = \frac{\epsilon_0 a}{d} (x + \epsilon_r (b - x)) \quad \text{א.}$$

$$\text{ב.} \quad q_1 = \frac{\epsilon_0 a x V_0}{d}, \quad q_2 = \frac{\epsilon_0 a (b - x) V_0 \epsilon_r}{d} E, \quad \sigma_1 = \frac{\epsilon_0 V_0}{d}, \quad \sigma_2 = \frac{\epsilon_0 V_0 \epsilon_r}{d}$$

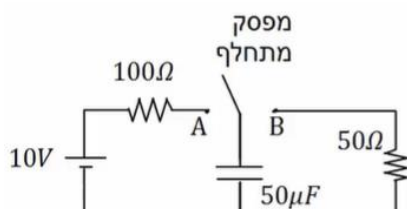
$$(3) \quad \frac{\pi d}{4\epsilon_0 A}$$

$$(4) \quad \sigma_{(x)} = \frac{\epsilon_0 V_0}{d + x \tan \theta} \quad \text{ב.} \quad \frac{\epsilon_0 a}{\theta} \ln \left(1 + \frac{a}{b} \theta \right) \quad \text{א.}$$

אנרגיה האגורה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי:

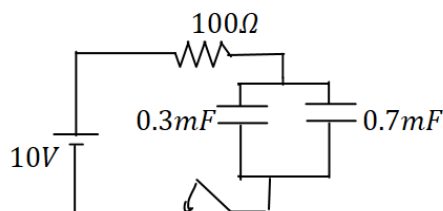
שאלות:

(1) מתג מתחלף



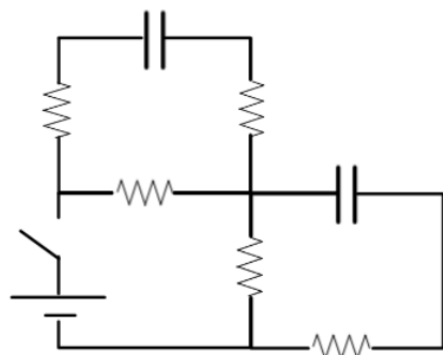
- במעגל הבא מחברים ב- $t = 0$ את המפסק המתחלף לנקודה A. ב- $t = 0.01$ מעבירים את המפסק לנקודה B.
- רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.
 - מה המטען על הקבל ב- $t = 0.02$.
 - רשום שוב את הזרם כתלות בזמן.
 - צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

(2) טעינה של שני קבלים

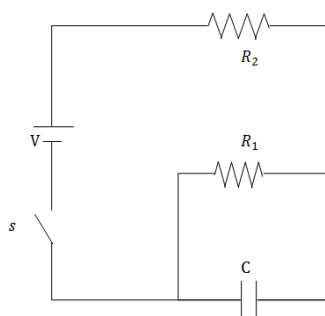


- במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$.
- מהו הזמן האופייני במעגל?
 - מצא את המתח והמטען בכל קבל בזמנים: 0.8sec , $t = 0.2\text{sec}$.

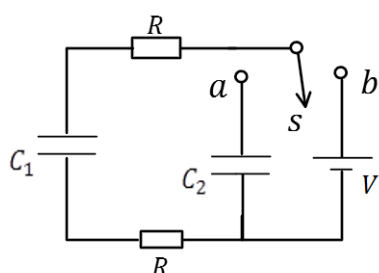
(3) קבלים בהתחלה ובסוף



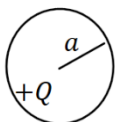
- במעגל הבא הקיבול של הקבלים זהה ושווה ל-C התנגדות הנגדים זהה ושווה ל-R ומתח הסוללה הוא V.
- הקבלים אינם טעונים כאשר המפסק פתוח. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג.
 - מצאו את הזרם בסוללה והמתח על כל קבל לאחר זמן רב.
 - מהו המטען על כל קבל לאחר זמן רב?

**(4) מטען על קבל במקביל לפי הזמן**

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$
 כאשר הקבל אינו טעון.
 מצא את המטען על הקבל והזרם בכל נגד
 כפונקציה של הזמן.
 נתון: V, R_1, R_2, C .

**(5) פריקה בין שני קבלים**

במעגל הבא הקבל C_1 טעון במטען Q_0 לפני
 סגירת המתג s לנקודה a .
 א. רשום את המשוואה ממנה ניתן לקבל
 את המטען על הקבל C_1 כתלות בזמן.
 ב. פתור את המשוואה ומצא את המטען
 על כל קבל כתלות בזמן.
 ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?

**(6) קבל של שני כדורים**

שני כדורים בעלי רדיוסים a ו- b מרוחקים
 מאוד זה מזה.
 טוענים את הכדורים במטענים $+Q$ ו- $-Q$
 בהתאמה.



א. חשב את האנרגיה האלקטרוסטטית
 הכוללת של המערכת.

ב. חשב את הקיבול של המערכת דרך
 התוצאה שקיבלת עבור האנרגיה.

ג. אם מחברים את הכדורים בחוט ארוך מאוד עם התנגדות כוללת R ,
 מה זמן הפריקה האופייני של המערכת?

תשובות סופיות:

$$V_C(t) = \begin{cases} 10 \left(1 - e^{-\frac{t}{0.05}} \right) & 0 < t < 0.01 \\ 8.65 \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1 < t \end{cases} \quad \text{א. (1)}$$

ב. $q_0(t=0.02) \approx 7.92 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

$$I(t) = \begin{cases} \frac{10}{100} \cdot e^{-\frac{t}{0.005}} & 0 < t < 0.01 \\ \frac{8.65}{50} \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1 < t \end{cases} \quad \text{ג.}$$

ד. ראה סרטון

א. 0.1sec ב. 0.8sec : $V_1 = V_2 = 10\text{V}$, $q_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ C}$, $q_2 = 7 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ (2)

0.2sec : $V_1 = V_2 \approx 8.65\text{V}$, $q_1 = 2.6 \cdot 10^{-3} \text{ C}$, $q_2 = 6.01 \cdot 10^{-3} \text{ C}$

א. $\frac{6V}{7R}$ ב. זרם סוללה : $\frac{V}{2R}$, מתח קבלים : $\frac{V}{2}$ (3)

ג. מטען קבלים : $\frac{CV}{2}$

$$q(t) = \frac{VR_1 \cdot C}{R_2 + R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_2 + R_1}{R_1 C R_2} t} \right) \quad \text{א. (4)}$$

א. $\frac{C_1 + C_2}{2RC_1 C_2} \cdot q_1 + q_1 - \frac{Q_0}{2RC_2} = 0$ ב. $q_1(t) = (\tau \cdot A - Q_0) e^{-\frac{t}{\tau}}$ (5)

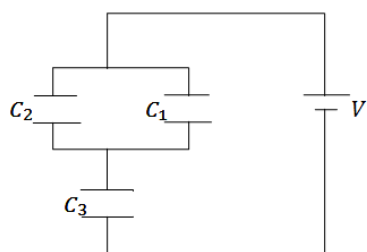
ג. $I = \left(\frac{Q_0}{\tau} - A \right) e^{-\frac{t}{\tau}}$ $q_2(t) = (-\tau \cdot A + Q_0) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

א. $U = \frac{KQ^2}{2} \left(\frac{b+a}{a \cdot b} \right)$ ב. $C = \frac{a \cdot b}{K(a+b)}$ ג. $\tau = RC = \frac{Rab}{K(a+b)}$ (6)

תרגילים נוספים בקבלים:

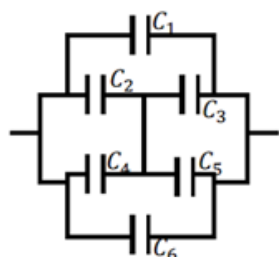
שאלות:

(1) שלושה קבלים



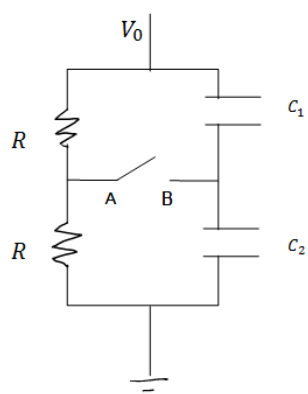
במעגל הבא נתון מתח הסוללה $V = 3\text{V}$.
 והקיבול של כל קבל: $C_1 = 2\mu\text{F}$, $C_2 = 3\mu\text{F}$, $C_3 = 5\mu\text{F}$.
 מצא את המטען על כל קבל.

(2) חיבור קונפיגורציית קבלים



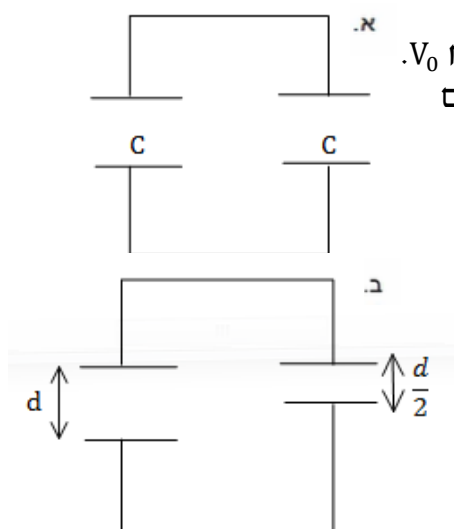
נתונה מערכת קבלים המחוברים על פי השרטוט.
 מצא את הקיבול השקול של המערכת.

(3) קבלים עם מפסק



במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע ונתון V_0 . הקצה התחתון מוארק.
 נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזוהה של הנגדים.
 א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין הנקודה A לנקודה B.
 ב. סוגרים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת התייצבה?

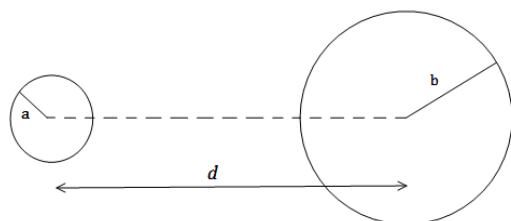
(4) שני קבלים טעונים מחוברים אחד לשני



טוענים בנפרד שני קבלי לוחות זהים ע"י מקור מתח V_0 .
 לאחר הטעינה מנתקים את הקבלים ומחברים אותם אחד לשני, הדק חיובי לחיובי ושלילי לשלילי.
 א. מצא את האנרגיה של המערכת אם קיבול הקבלים הוא C.
 כעת מקטינים את המרחק בין אחד הקבלים פי 2.
 ב. מצא את המתח על כל קבל לאחר זמן רב, ואת האנרגיה של המערכת.
 ג. חשב את שינוי האנרגיה והסבר לאן עברה?

(5) שני כדורים מרוחקים

שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים שונים ונתונים a, b טעונים במטענים שווים ומנוגדים $+q, -q$. המרחק בין מרכזי הכדורים הוא d . נתון כי $d \gg a, b$.



א. מהו השדה החשמלי לאורך הציר המחבר בין הכדורים (ומחוצה להם)?

ב. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין משטחי הכדורים.

ג. הראה כי קיבול המערכת הוא: $C \approx \frac{4\pi\epsilon_0}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{2}{d}}$.

(6) חומרים דיאלקטריים בתוך קבל

נתון קבל לוחות ריבועיים בעל צלע a ומרחק בין הלוחות d .

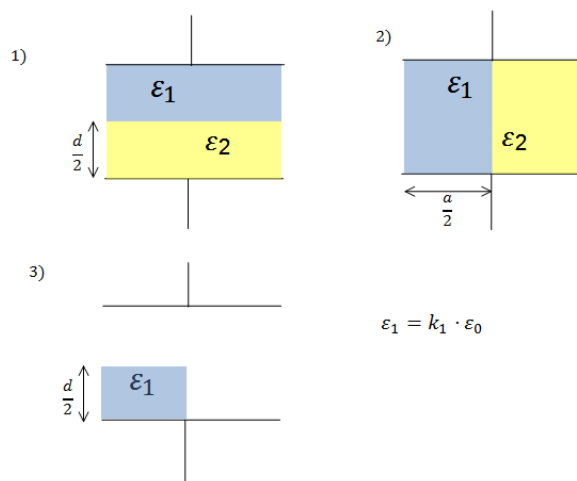
אל הקבל מכניסים חומרים דיאלקטריים שונים עם מקדמים נתונים.

החומרים מוכנסים בשלוש צורות שונות כפי שמוצג בציר (במצב השלישי מוכנס רק חומר אחד, החומרים ממלאים את כל הצלע שנכנסת ללוח).

א. מצא עבור כל מצב את הקיבול של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח V נתון, מהו השדה החשמלי בתוך הקבל בכל אחד מהמצבים?

ג. מצא את התפלגות המטען החופשית והמושרית בכל אחד מהמצבים.



$$\epsilon_1 = k_1 \cdot \epsilon_0$$

(7) קבל לוחות עם בליטה

במערכת הבאה ישנו קבל לוחות עם לוחות מעגליים ברדיוס R , ומרחק בין הלוחות d ($d \ll R$).

בלוח התחתון ישנה בליטה בצורת גליל ברדיוס a ($a \gg d$) ועובי h .

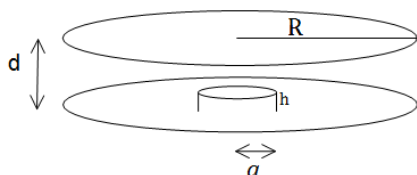
מרכז הבליטה במרכז הלוח התחתון.

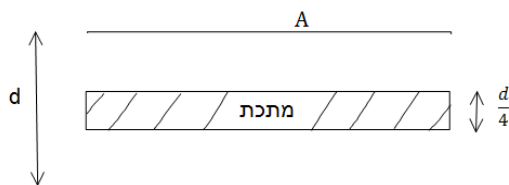
א. מצא את הקיבול של הקבל.

ב. מהו השדה בכל מקום בתוך הקבל.

אם נתון שהקבל מחובר למקור מתח V .

ג. מצא את התפלגות המטען על הלוחות.



(8) קבל עם פיסת מתכת

קבל לוחות מחובר למקור מתח V .

שטח כל לוח בקבל הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d , $(d \ll \sqrt{A})$.

א. מצא את המטען על הקבל, את

השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.

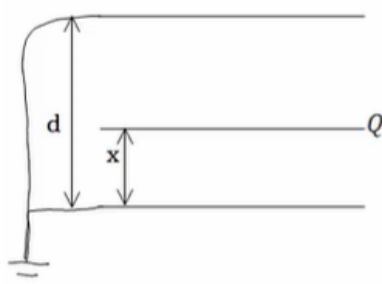
ב. כעת מכניסים לקבל פיסת מתכת בעובי $\frac{d}{4}$ עם שטח A ממרכז הקבל.

חזור על סעיף א.

ג. כעת מוציאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את

מקור המתח. לאחר הניתוק מכניסים את המתכת חזרה פעם שניה.

חזור על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').

(9) שלושה לוחות

נתונה מערכת המורכבת משני לוחות מוארקים

במרחק d . בין הלוחות, במרחק x מהלוח התחתון,

מכניסים לוח נוסף זהה עם מטען Q .

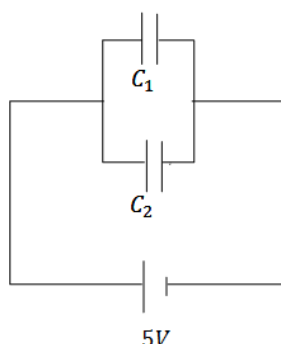
שטח הלוחות הוא $A \gg d^2$.

א. מצא את הקיבול של המערכת.

ב. מצא את המטען על כל לוח.

ג. מצא את האנרגיה של המערכת כפונקציה של x .

ד. מהו הכוח הפועל על הלוח?

(10) שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי

במעגל הבא קיבול הקבלים הוא: $C_1 = 3\mu F$, $C_2 = 2\mu F$

והמתח בסוללה הוא $5V$.

לאחר שהקבלים נטענים מנתקים את המקור

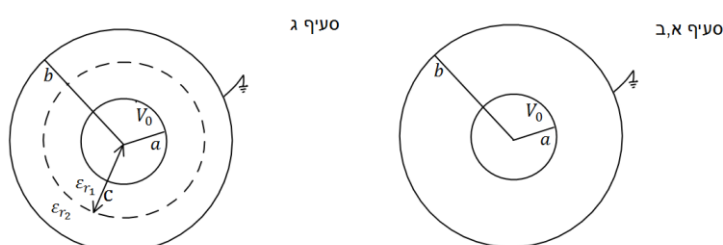
ומחליפים אותו בקבל של $C_3 = 5\mu F$.

מצא את המטען, המתח והאנרגיה של הקבל החדש

לאחר שהמערכת מתייצבת.

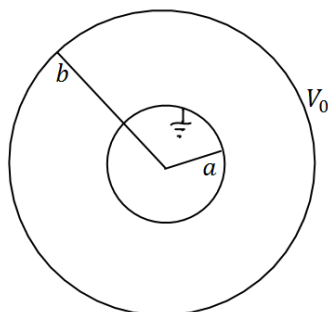
11 קבל כדורי עם חומר דיאלקטרי מפוצל

- קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות דקות ברדיוסים a, b . הקליפה הפנימית מוחזקת במתח V_0 והקליפה החיצונית מוארקה.
- חשב את המטען על כל קליפה.
 - חשב את הקיבול של הקבל.
 - ממלאים את הקבל בשני חומרים דיאלקטריים. חומר אחד בעל מקדם ϵ_{r1} ממלא את החלל בין הרדיוסים a ל- c וחומר שני בעל מקדם ϵ_{r2} ממלא את החלל בין הרדיוסים c ל- b .
 - חשב את הקיבול החדש.



12 קבל לא אידיאלי

- קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות דקות ברדיוסים a, b . הקליפה החיצונית מוחזקת במתח V_0 והקליפה הפנימית מוארקה.
- חשב את המטען על כל קליפה, שים לב שיש שדה מחוץ לקבל!
 - חשב את הקיבול של הקבל.
 - מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם ϵ_r ממלא את החלל בין הרדיוסים a ל- b .
 - חשב את הקיבול החדש וחשב את המטען החופשי על הקליפה המוארקה.



13 מרחיקים לוחות בקבל לוחות

- קבל לוחות בעל אורך צלע $a = 2 \text{ cm}$ ומרחק בין הלוחות $d = 1 \text{ mm}$ נטען ע"י סוללה במתח $3V$. לאחר שהקבל נטען במלואו מנתקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק $3d$.
- מצא את הפרש הפוטנציאל החדש על הקבל.
 - מצא את האנרגיה ההתחלתית והסופית האגורה בקבל.
 - מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.

(14) מושכים לוח מקבל גלילי

קבל גלילי עשוי משני קליפות גליליות באורך L ורדיוסים $a < b \ll L$.
נתון כי הגליל הפנימי טעון במטען Q והחיצוני ב- $-Q$.

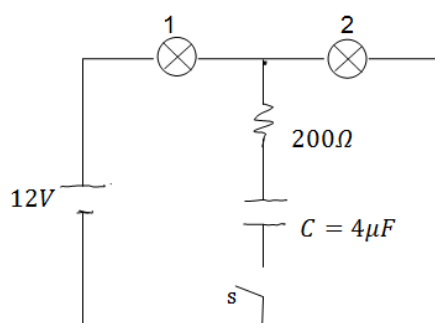
א. מצא את הקיבול של הקבל.

ב. מושכים את הגליל הפנימי כלפי מעלה לאורך הציר המשותף כך שהוא

בולט בשיעור $L \gg \Delta L$ בחלקו העליון.

מהו הכוח החשמלי הפועל על הגליל הפנימי? (ניתן להניח כי השדה

החשמלי מתאפס באזורים בהם אין חפיפה בין הגלילים).

(15) שתי נורות

במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של 10V

הוא 0.5W. ההספק של נורה מס' 2 באותו המתח

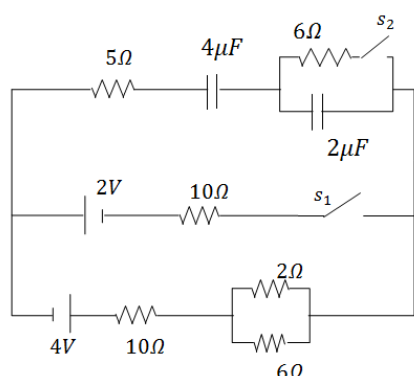
הוא 0.4W. התנגדות הנגד היא 200Ω.

א. חשב את ההתנגדות, המתח וההספק

החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.

ב. חשב את המתח על הקבל אם המפסק סגור

והמערכת התייצבה.

(16) מעגל עם קבלים

חשב את כל הזרמים במעגל ואת המטען על כל
קבל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

א. s_1 פתוח ו- s_2 סגור.

ב. s_2 פתוח ו- s_1 סגור.

ג. שני המפסקים סגורים.

(17) קבל לוחות עם חומר דיאלקטרי הממלא רק חלק מהקבל

קבל לוחות בנוי משני לוחות ריבועיים בעלי צלעות a המרוחקים מרחק d זה מזה.

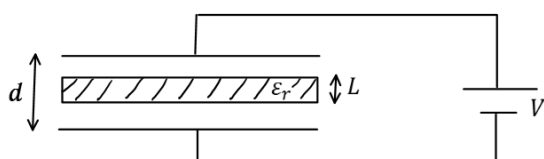
בין לוחות הקבל הוכנס חומר דיאלקטרי בעובי $L < d$ ומקדם דיאלקטרי ϵ_r .

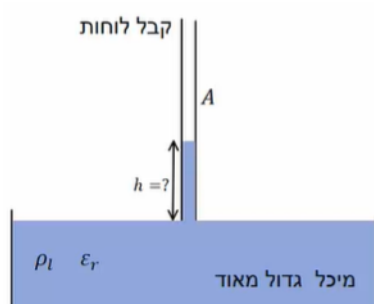
מחברים את הקבל למקור מתח V .

א. מהו השדה החשמלי באזור ללא החומר הדיאלקטרי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי?

ג. מהו המטען המושרה על השפה של החומר הדיאלקטרי?





18) גובה נוזל בתוך קבל

- קבל לוחות ריבועיים מחובר למקור מתח V .
 שטח כל לוח הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d .
 מחזיקים את הקבל כך שקצהו טבול במיכל גדול מאוד המכיל נוזל בעל מקדם דיאלקטרי ϵ_r וצפיפות מסה ליחידת נפח ρ_l .
 המטרה היא למצא עד איזה גובה עולה הנוזל בקבל.
 א. הנח שהגובה ידוע ומצא את האנרגיה כובדית של המים והאנרגיה הפוטנציאלית של הקבל.
 ב. מצא מה השינוי באנרגיה של הסוללה ע"י חישוב העבודה שביצעה הסוללה (התייחס לגובה כנתון עדיין).
 ג. מצא באיזה גובה המערכת תתייצב? השתמש בשיקול שמערכת שואפת להתייצב במינימום של האנרגיה שלה.

19) קבל לוחות עם חומר לא אחיד

- בקבל לוחות שטח הלוחות הוא A והמרחק ביניהם הוא d .
 בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק בין הלוחות $\epsilon_r(y) = \frac{2d}{y+d}$ כאשר הלוח התחתון נמצא ב- $y = 0$.
 הקבל מחובר למקור מתח V .
 א. מצאו את הקיבול של הקבל.
 ב. חשבו את צפיפות המטען על לוחות הקבל.
 ג. חשבו את השדה החשמלי בין לוחות הקבל, גודל וכיוון.
 ד. מהי האנרגיה האגורה בקבל.

תשובות סופיות:

$$q_1 = 3\mu C, q_2 = 4.5\mu C, q_3 = 7.5\mu C \quad (1)$$

$$C_T = C_1 + C_6 + C_{2345} \quad (2)$$

$$\Delta q = \frac{V_0}{2}(C_2 - C_1) \quad \text{ב.} \quad V_{AB} = \frac{V_0}{2} - \frac{V_0 C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$U'_T = \frac{2}{3}CV_0^2, V' = \frac{2}{3}V_0 \quad \text{ב.} \quad U_T = 2U_1 = CV_0^2 \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$\Delta U = \frac{1}{3}CV_0^2 \quad \text{ג.} \quad \text{האנרגיה ירדה ועברה לכוח שהזיז את הלוחות.}$$

$$\vec{E} = \left(\frac{kq}{x^2} + \frac{kq}{(d-x)^2} \right) \hat{x} \quad \text{א.} \quad \Delta \varphi \approx kq \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) \quad \text{ב.} \quad \text{ג. הוכחה} \quad (5)$$

מצב 1:

$$E_1 = E_2 = \frac{V}{d} \quad \text{ב.} \quad C_T = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2)a^2}{2d} \quad \text{א.}$$

$$\sigma_{free_1} = \frac{\epsilon_1}{d}V, \sigma_{i_1} = (\epsilon_0 - \epsilon_1)\frac{V}{d}, \sigma_{free_2} = \frac{\epsilon_2}{d}V, \sigma_{i_2} = (\epsilon_0 - \epsilon_2)\frac{V}{d} \quad \text{ג.}$$

מצב 2:

$$E_1 = \frac{2\epsilon_2}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}V, E_2 = \frac{2\epsilon_1}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}V \quad \text{ב.} \quad C_T = \frac{\epsilon_1\epsilon_2 a^2 \cdot 2}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)} \quad \text{א.}$$

$$\sigma_{free_1} = \frac{2\epsilon_1\epsilon_2}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}V, \sigma_{i_1} = (\epsilon_0 - \epsilon_1)\frac{2\epsilon_2}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}V \quad \text{ג. לוח עליון-}$$

$$\sigma_{free_2} = \frac{-2\epsilon_1\epsilon_2}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}V, \sigma_{i_2} = -(\epsilon_0 - \epsilon_2)\frac{2\epsilon_1}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}V \quad \text{לוח תחתון-}$$

$$\sigma_{free_3} = 0, \sigma_{i_3} = \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1)2\epsilon_0}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)} \quad \text{בין החומרים-}$$

מצב 3:

$$E_1 = \frac{2\epsilon_0 V}{d(\epsilon_1 + \epsilon_0)}, E_2 = \frac{2\epsilon_1 V}{d(\epsilon_1 + \epsilon_0)}, E_3 = \frac{V}{d} \quad \text{ב.} \quad C_T = \frac{\epsilon_0 a^2}{a} \left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_1 + \epsilon_0} + \frac{1}{2} \right) \quad \text{א.}$$

$$\sigma_T = \sigma_{free} = \epsilon_0 \frac{V}{d} \quad \text{ג. לוח עליון צד ימין-}$$

$$\sigma_T = \sigma_{free} = \epsilon_0 \frac{2\epsilon_0\epsilon_1 V}{d(\epsilon_1 + \epsilon_0)} \quad \text{לוח עליון צד שמאל-}$$

$$\sigma_{T_down} = -\epsilon_0 \frac{V}{d} \quad \text{לוח תחתון צד ימין-}$$

$$\sigma_i = \frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)} (\varepsilon_1 - \varepsilon_0) \quad \text{לוח תחתון צד שמאל-}$$

$$\sigma_T = \frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)} (\varepsilon_0 - \varepsilon_1), \quad \sigma_{free} = 0 \quad \text{באמצע-}$$

$$E_1 = \frac{V}{d-h}, E_2 = \frac{V}{d} \quad \text{ב.} \quad C_T = \varepsilon_0 \pi \left(\frac{a^2}{d-h} + \frac{R^2 - a^2}{d} \right) \quad \text{א. (7)}$$

$$\sigma_1 = \varepsilon_0 \frac{V}{d-h}, \quad \sigma_2 = \varepsilon_0 \frac{V}{d} \quad \text{ג.}$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 A}{d} V^2, \quad E = \frac{V}{d}, \quad q = \frac{\varepsilon_0 A}{d} V \quad \text{א. (8)}$$

$$U = \frac{2\varepsilon_0 A}{3d} V^2, \quad E_1 = E_2 = \frac{4V}{3d}, \quad q_T = \frac{4\varepsilon_0 AV}{3d} \quad \text{ב.}$$

$$U = \frac{3\varepsilon_0 AV^2}{8d}, \quad E_1 = E_2 = \frac{V}{d}, \quad q_T = \frac{\varepsilon_0 A}{d} V \quad \text{ג.}$$

$$q_1 = Q \frac{d-x}{d}, \quad q_2 = Q \left(\frac{x}{d} \right) \quad \text{ב.} \quad C_T = \varepsilon_0 A \left(\frac{d}{x(d-x)} \right) \quad \text{א. (9)}$$

$$\vec{F} = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 Ad} (d-2x) \quad \text{ד.} \quad U(x) = \frac{Q^2 \cdot x(d-x)}{2\varepsilon_0 Ad} \quad \text{ג.}$$

$$q'_3 = 12.5 \mu C, \quad V'_3 = 2.5 V, \quad U = 15.625 J \quad \text{(10)}$$

$$C = \frac{1}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} \quad \text{ב.} \quad q_1 = \frac{V_0}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)}, \quad q_2 = -q_1 \quad \text{א. (11)}$$

$$C = \frac{q}{\left| kq \left(\frac{1}{\varepsilon_{r_1}} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{a} \right) + \frac{1}{\varepsilon_{r_2}} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} \right) \right) \right|} \quad \text{ג.}$$

$$C_T = \frac{1}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} + \frac{b}{k} \quad \text{ב.} \quad q_1 = \frac{V_0}{k \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)}, \quad q_2 = \frac{bV_0}{ak \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)} \quad \text{א. (12)}$$

$$q_1 = \frac{-\varepsilon_r}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} V_0, \quad C_T = \frac{\varepsilon_r}{k \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)} + \frac{b}{k} \quad \text{ג.}$$

$$U_{C_i} = 15.93 \cdot 10^{-12} J, \quad U_{C_p} = 47.79 \cdot 10^{-12} J \quad \text{ב.} \quad V' = 9 V \quad \text{א. (13)}$$

$$W = 31.86 \cdot 10^{-12} J \quad \text{ג.}$$

$$(14) \quad \text{א. } C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} \quad \text{ב. } |F| = \frac{q^2 \ln \frac{b}{a}}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2}$$

$$(15) \quad \text{א. נורה 1: } R_1 = 200\Omega, V_1 = 5.34V, P_1 = 0.143W$$

$$\text{נורה 2: } R_2 = 250\Omega, V_2 = 6.68V, P_2 = 0.178W$$

$$\text{ב. } V_0 = V_2 = 6.68V$$

$$(16) \quad \text{א. } q_1 = 16\mu C, \text{ זרם } = 0. \quad \text{ב. } I = \frac{12}{43}A, q_1 = \frac{136}{129}\mu C \quad \text{ג. } I = \frac{12}{43}A, q_1 = \frac{136}{43}\mu C$$

$$(17) \quad \text{א. } E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 a^2} = \frac{V}{d - L\left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right)} \quad \text{ב. } E = \frac{V}{d \cdot \epsilon_r - L(\epsilon_r - 1)}$$

$$\text{ג. } \sigma_T = \epsilon_0 \left(\frac{V}{\epsilon_r d - L(\epsilon_r - 1)} - \frac{V}{d - L\left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right)} \right)$$

$$(18) \quad \text{א. } U_g = \rho_l a d g \frac{1}{2} h^2, U_c = \frac{1}{2} C_{(h)} U^2 \quad \text{ב. } \Delta U = -\Delta C_{(h)} V^2$$

$$\text{ג. } h = \frac{\epsilon_0 (\epsilon_r - 1) V^2}{2d^2 \rho_l g}$$

$$(19) \quad \text{א. } \frac{4\epsilon_0 A}{3d} \quad \text{ב. } y = d \text{ חיובי ב-}, \frac{4\epsilon_0 V}{3d} \text{ ושלילי ב- } y = 0.$$

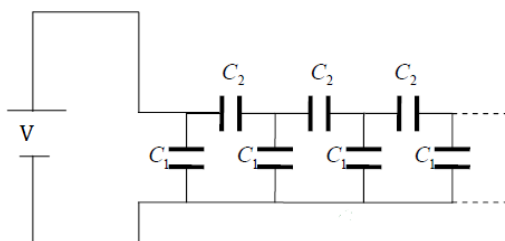
$$\text{ג. } \frac{2V(y+d)}{3d^2} \quad \text{ד. } \frac{2\epsilon_0 A V^2}{3d}$$

טור אינסופי של קבלים:

שאלות:

(1) תרגיל 1 והסבר

חשב את הקיבול של הטור האינסופי הבא.
הקיבול של הקבלים נתון.

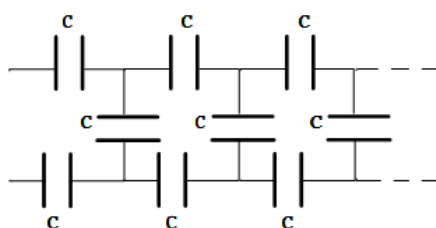


(2) טור אינסופי של קבלים זהים

במערכת הבאה הקיבול של כל הקבלים זהה ונתון.

א. מצא את קיבול כל הטור.

ב. מצא את המטען על כל קבל במערכת
אם נתון שהמערכת מחוברת למקור
מתח V_1 .



הדרכה לסעיף ב' :

סמן את המטען על כל אחד מהקבלים העליונים כ- Q_n .
הראה ש- Q_n מקיים סדרה הנדסית ומצא את המכפיל.
לאחר מכן השתמש במתח הנתון למציאת Q_1 .

תשובות סופיות:

$$C_T = \frac{C_1 + \sqrt{C_1^2 + 4C_1C_2}}{2} \quad (1)$$

$$Q_n = \frac{C}{2}(\sqrt{3}-1)V_1(2-\sqrt{3})^n, \quad Q'_n = CV_1(2-\sqrt{3})^{n+1} \quad \text{ב.}$$

$$C_T = \frac{C}{2}(\sqrt{3}-1) \quad \text{א.} \quad (2)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

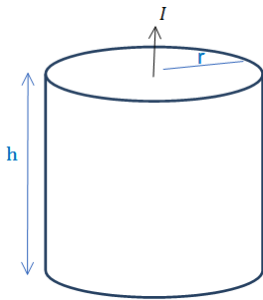
פרק 13 - נגדים זרם וצפיפות זרם

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 97

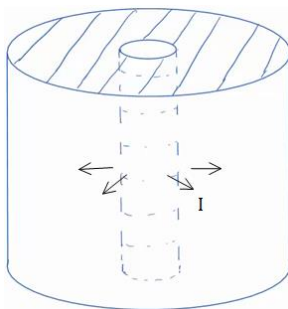
הרצאות ותרגילים:

שאלות:

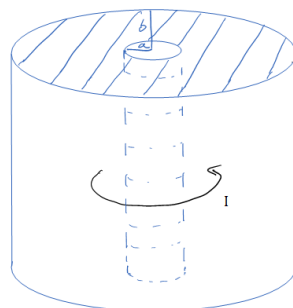


- (1) נוסחה לחישוב התנגדות ודוגמה עבור נגד גלילי
גליל מלא בעל רדיוס r וגובה h עשוי מחומר בעל התנגדות
סגולית משתנה $\rho = \rho_0 \frac{z}{h}$ כאשר ρ_0 נתון ו- z הוא המרחק
מבסיס הגליל.

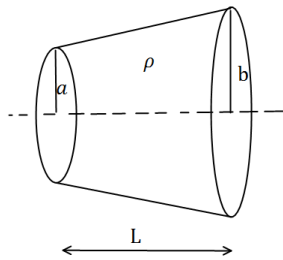
- א. חשב את ההתנגדות השקולה.
נתון שהזרם עובר בין הבסיסים (לאורך z)
מחברים את הגליל למקור מתח נתון V_0
(המתח הוא בין בסיס אחד לבסיס שני).
ב. מצא את הזרם הכולל בגליל.
ג. מצא את צפיפות הזרם והשדה החשמלי בגליל (פתרון בסרטון הבא).



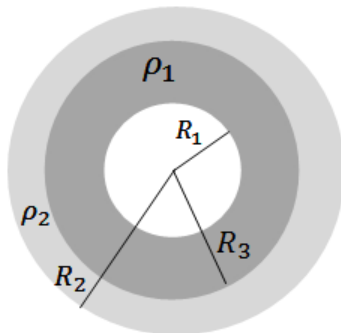
- (2) זרם רדיאלי
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b
מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה ונתונה.
א. מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה אם
הזרם זורם בכיוון הרדיאלי.
ב. מחברים מקור מתח V_0 בין המעטפת הפנימית
למעטפת החיצונית של הקליפה.
מצא את צפיפות הזרם בקליפה.
ג. מצא את השדה החשמלי בתוך הקליפה.



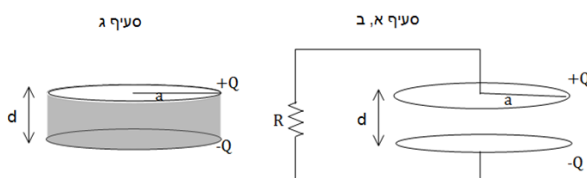
- (3) זרם מעגלי בגליל
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b
מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה ונתונה.
א. מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה אם
הזרם זורם בכיוון טטה (ז"א זרם מעגלי).
ב. נתון הזרם הכולל הזורם בנגד.
מצא את הצפיפות כתלות במרחק ממרכז הנגד.
ג. מצא את השדה החשמלי בתוך הקליפה.

(4) חרוט קטום

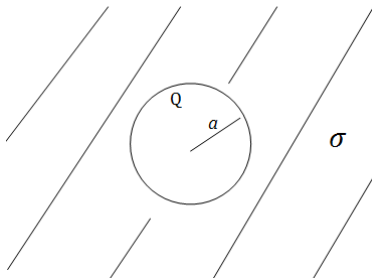
נתון חרוט קטום שאורכו L , רדיוס בסיסו הקטן a ורדיוס בסיסו הגדול b .
בין שני הבסיסים נתון הפרש פוטנציאלים.
ההתנגדות הסגולית של החרוט היא ρ .
חשבו את ההתנגדות השקולה של החרוט.

(5) נגד כדורי מחולק לשני חומרים שונים

נגד בצורת קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2 מורכב מחומר בעל התנגדות סגולית ρ_1 בתחום $R_1 < r < R_2$ ($R_3 < R_2$) והתנגדות סגולית ρ_2 בתחום $R_2 < r < R_3$.
א. מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה (זרם בכיוון רדיאלי).
ב. מצא את צפיפות הזרם בנגד אם נתון שמחברים את הנגד למקור מתח קבוע V .
ג. מהו השדה החשמלי בנגד?
ד. מצא את התפלגות המטען (משטחית ונפחית) בקליפה.

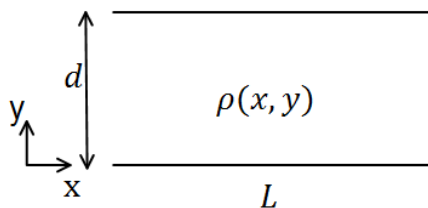
(6) צפיפות זרם בתוך לוח של קבל לוחות

קבל לוחות עגולים טעון במטען Q ומחובר לנגד. רדיוס הלוחות הוא a והמרחק בין הלוחות הוא $d \ll a$,
התנגדות הנגד היא R .
א. מצא את הזרם במעגל.
ב. מצא את צפיפות הזרם על פני לוח הקבל.
הדרכה: הנח כי צפיפות המטען על הקבל תמיד אחידה.
חשב את הזרם שיוצא מחלק הלוח בין r כלשהו ל- a .
חשוב איזו סוג של צפיפות ישנה על הלוח.
מצא את הצפיפות ע"י חלוקה של הזרם בחתך.
ג. בסעיף זה הנגד לא קיים, במקומו ממלאים את הקבל בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה. חזור על סעיפים א' ו-ב'.

**(7) קליפה טעונה מוליכה בתוך נגד**

קליפה מוליכה (מוליכות אידיאלית) ברדיוס a
 נמצאת בתוך חומר אינסופי עם מוליכות סגולית σ .
 נתון כי המטען על הקליפה ב- $t=0$ הוא Q .
 א. מצא את המטען על הקליפה כפונקציה של הזמן.

ב. מצא את צפיפות הזרם ואת השדה החשמלי בנגד.

**(8) התנגדות תלויה באורך וברוחב**

נתונים שני לוחות מקבילים בעלי
 ממדים $L \times L$, המרוחקים זה מזה
 מרחק d , אשר ביניהם הפרש פוטנציאלים
 $(L \gg d)$.

בין שני הלוחות ישנו חומר מוליך בעל
 התנגדות סגולית $\rho(x, y)$.

חשבו את ההתנגדות בשני המקרים הבאים:

א.
$$\rho = \rho_0 \sin\left(\frac{\pi y}{d}\right)$$

ב.
$$\rho = \rho_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi y}{d}\right)}{\sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)}$$

תשובות סופיות:

$$E = \rho_0 \frac{z}{h} \frac{I}{\pi r^2} \hat{z}, \quad \vec{J} = \frac{I}{\pi r^2} \hat{z} \quad \text{ג.} \quad I = \frac{V_0}{R_T} \quad \text{ב.} \quad R_T = \frac{\rho_0 h}{2\pi r^2} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$E = \frac{\rho V_0}{R_T 2\pi r h} \hat{r} \quad \text{ג.} \quad \vec{J} = \frac{V_0}{R_T 2\pi r h} \hat{r} \quad \text{ב.} \quad R_T = \frac{\rho}{2\pi h} \ln \frac{b}{a} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \rho \cdot \vec{J} \quad \text{ג.} \quad \vec{J} = \frac{V_T}{\rho 2\pi r} \hat{\theta} \quad \text{ב.} \quad R_T = \frac{1}{\frac{h}{2\pi\rho} \ln \frac{b}{a}} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$R = \frac{\rho L}{\pi ab} \quad (4)$$

$$\vec{J}_{(r)} = \frac{I}{4\pi r^2} \hat{r} \quad \text{ב.} \quad R_T = \frac{\rho_1}{4\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3} \right) + \frac{\rho_2}{4\pi} \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$\vec{E} = \begin{cases} \rho_1 \frac{I}{4\pi r^2} \hat{r} & R_1 < r < R_3 \\ \rho_2 \frac{I}{4\pi r^2} \hat{r} & R_3 < r < R_2 \end{cases} \quad \text{ג.}$$

$$\tilde{\rho} = 0, \quad \tilde{\sigma}_{(R_1)} = \epsilon_0 \rho_1 \frac{I}{4\pi R_1^2} - 0, \quad \tilde{\sigma}_{(R_3)} = \frac{I \epsilon_0}{4\pi R_3^2} (\rho_2 - \rho_1), \quad \tilde{\sigma}_{(R_2)} = -\epsilon_0 \frac{I}{4\pi R_2^2} \rho_2 \quad \text{ד.}$$

$$k = \frac{a^2 - r^2}{2\pi r a^2} \frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{ב.} \quad I = \frac{Q}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\vec{J} = \frac{I}{\pi a^2} \hat{z}, \quad k = 0! \quad , \quad I = \frac{Q}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{J} = \frac{\sigma q(t)}{\epsilon_0 4\pi r^2} \hat{r}, \quad \vec{E} = \frac{k q(t)}{r^2} \hat{r} \quad \text{ב.} \quad q(t) = Q e^{-\frac{\sigma}{\epsilon_0} t} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$R_T = \frac{\rho_0 d}{L^2} \quad \text{ב.} \quad R = \frac{2\rho_0 d}{\pi L^2} \quad \text{א.} \quad (8)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

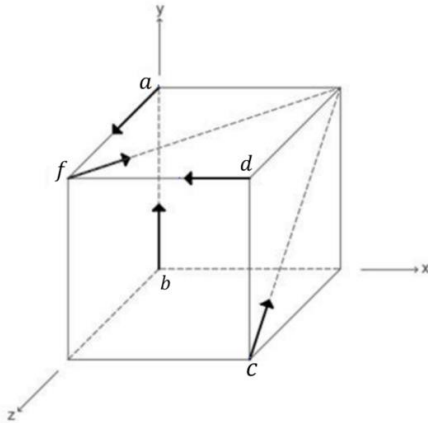
פרק 14 - חוק לורנץ וכוח על תייל נושא זרם

תוכן העניינים

101	1. חוק לורנץ
106	2. כוח על תיל נושא זרם
109	3. תרגילים נוספים

חוק לורנץ:

שאלות:



(1) מצא את הכוח על כל חלקיק

החיצים בציור מציינים מהירויות של חלקיקים חיוביים שונים. החלקיקים נמצאים בשדה מגנטי אחיד שכיוונו הוא $\hat{x}$. עבור כל חלקיק מצא: מהו כיוון הכוח ברגע הנתון באיור? מהי צורת המסלול?

(2) חלקיק זז בשדה מגנטי

חלקיק הטעון במטען q נע במהירות $\vec{v}$ באזור בו שורר שדה מגנטי $\vec{B} = -2\hat{x} + 3\hat{y}$ טסלה.

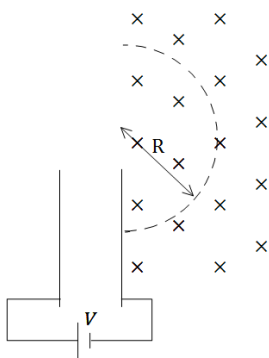
חשב את הכוח המגנטי שיפעל על החלקיק אם נתון:

א. $\vec{v} = 2\hat{x} + 3\hat{y}$ מטר לשניה ו- $q = 2C$

ב. $\vec{v} = -\hat{x} + 2\hat{z}$ מטר לשניה ו- $q = -1\mu C$

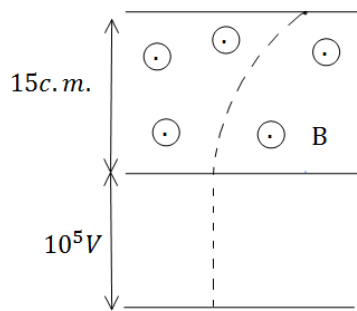
(3) ספקטוגרף המסות של דמפסטר

המערכת הבאה מתארת את ספקטוגרף המסות של דמפסטר. מטרתה היא להפריד בין חלקיקים בעלי מסות שונות. חלקיקים עם מטען חיובי משוחררים ממנוחה ליד לוח הקבל החיובי. החלקיקים מואצים ע"י מקור מתח V המחבר בין הלוחות. החלקיקים עוברים דרך הלוח השלילי ונכנסים לשדה מגנטי אחיד הפועל לתוך הדף. מצא את רדיוס הסיבוב כתלות במסת החלקיק. נתונים: B, q, V .



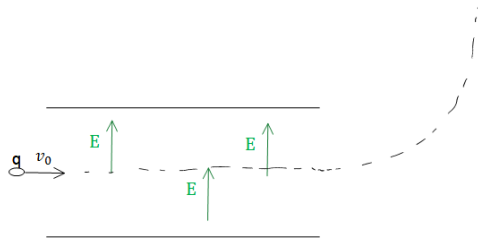
(4) פרוטון בזווית

פרוטון נכנס בזווית של 30 מעלות לשדה מגנטי אחיד בעוצמה של 0.15T. מצא את רדיוס הסיבוב של הפרוטון אם ידוע שגודל מהירותו $V = 10^6 \frac{m}{sec}$.

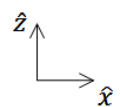
(5) פרוטון פוגע במסך

פרוטון מואץ בקבל הנמצא במתח של $10^5 V$. לאחר מכן הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד לפגיעתו במסך הנמצא במרחק $15c.m.$ מהקבל. עוצמת השדה המגנטי היא $0.2T$.

- מצא את המרחק האופקי שעבר הפרוטון עד לפגיעתו במסך.
- מצא את הזמן עד לפגיעה במסך.
- מהו המתח המינימלי הדרוש על מנת שהפרוטון יפגע במסך?

(6) מטען עובר קבל

- מטען נע בתוך קבל לוחות עם מהירות קבועה V_0 בקו ישר ובמקביל ללוחות הקבל. בתוך הקבל (ורק בתוכו) ישנו שדה חשמלי אחיד ונתון E . כאשר המטען יוצא מהקבל הוא מבצע תנועה מעגלית כלפי מעלה. ידוע כי בכל המרחב (בתוך ומחוץ לקבל) יש שדה מגנטי אחיד אך לא ידוע מה גודלו וכיוונו. הזנח את כוח הכובד הפועל על המטען.
- מה הסימן של המטען?
- מצא את כיוון וגודל השדה המגנטי.

(7) מטען פוגע בלוחות קבל

- חלקיק בעל מסה m ומטען $q > 0$ נכנס במרכז של קבל לוחות עם מהירות $\vec{v} = v_0 \hat{x}$. לוחות הקבל מקבילים למישור xy והמרחק ביניהם הוא d . הקבל מחובר למקור מתח V , כאשר הלוח העליון נמצא בפוטנציאל הגבוה.
- מצא את המרחק מקצה הלוח של הקבל בו יפגע המטען.
- כעת הנח שהקבל אינו מחובר למקור ואינו טעון אך במרחב קיים שדה מגנטי אחיד $\vec{B} = B_0 \hat{y}$. מצא את המרחק מקצה הלוח בו יפגע המטען.
- לאיזה כיוון יסטה המטען אם הקבל מחובר למקור מתח ובמרחב קיים שדה מגנטי.

(8) מטען בשדה מגנטי וחשמלי

שדה חשמלי קיים בתחום $x < 0$ כך שמעל ציר ה- x ($y > 0$)

השדה הוא: $\vec{E} = -E_0 \hat{y}$ ומתחת לציר ה- x ($y < 0$)

השדה הוא: $\vec{E} = E_0 \hat{y}$, ראה שרטוט.

בכל המרחב קיים גם שדה מגנטי אחיד,

שכיוונו וגודלו אינם ידועים.

חלקיק בעל מסה m ומטען $|q|$ מגיע

מ- $x = -\infty$ ונע בקו ישר ובמהירות קבועה.

גובה המסלול של החלקיק הוא $y = -R$.

כאשר החלקיק חוצה את ציר ה- y הוא מבצע רבע מעגל ברדיוס R (ראה ציור).

נתון: $E_0, |q|, m, R$.

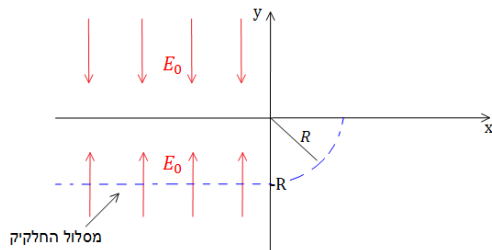
א. שרטט את המשך מסלול המטען.

ב. מה סימן המטען?

ג. מצא את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.

ד. מצא את המסה הדרושה על מנת לבצע אותו מסלול בשדה מגנטי הגדול

פי 3 מהשדה הקיים, כאשר שאר התנאים אינם משתנים.

**(9) בורר מהירויות ומתח עצירה**

חלקיקים בעלי מטען $+q$ ומסה m נפלטים

ממקור S במהירויות שונות ונכנסים אל בין

לוחות קבל.

בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד $\vec{E}$

וכיוונו ימינה ושדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ והמכוון

אל תוך הדף, כמוראה בתרשים.

השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל.

במרחק d מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל, נמצא נקב קטן דרכו

נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי.

על הקבל השני מופעל מתח עצירה V . ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו L .

ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על החלקיקים.

נתונים: $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$.

א. באיזו מהירות v יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?

ב. מהו המרחק d (ראה ציור)?

ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?

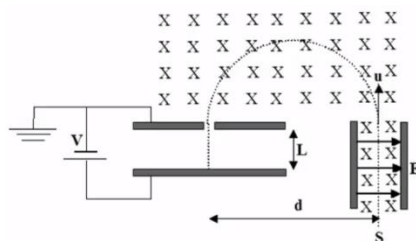
ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V המופעל על הקבל השני

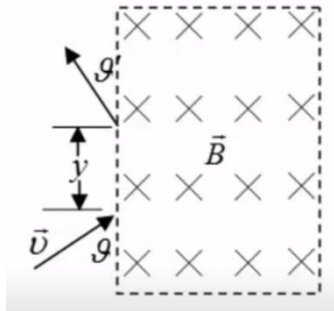
כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?

ה. מחברים את הקבל השני לסוללה שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבת

בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל

השני כעת?

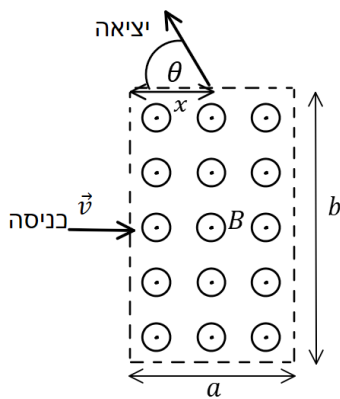


10 מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

אלומות חלקיקים בעלי מסה m ומטען q נקלעות לאזור בו שורר שדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ המאונך למישור הדף במגמה פנימה. לחלקיקים אנרגיה קינטית E_k והם נכנסים לאזור המגנטי בזווית θ , כמתואר בציור.

א. חשבו את המרחק האנכי y אותו יעברו החלקיקים מנקודת כניסתם לאזור המגנטי ועד ליציאתם ממנו.

ב. חשבו את זווית היציאה θ' (ראו איור).

11 עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

שדה מגנטי אחיד B נמצא בתחום מלבני בגודל $a \times b$. מחוץ לתחום השדה הוא אפס. כיוון השדה החוצה מהדף. מטען $|q|$ נכנס לתחום המלבני בדיוק במרכז המלבן, במהירות שגודלה v וכיוונה מאונך לשפת המלבן (ראה איור).

ידוע שהמטען יוצא מהצלע העליונה של המלבן.

א. מהו סימן המטען? ומהו גודל מהירותו ביציאה?

ב. מהו המרחק x מקצה המלבן בו יוצא המטען?

ג. מהי הזווית θ של וקטור המהירות ביציאה ביחס לצלע המלבן?

תשובות סופיות:

$$\vec{F}_a = qvB\hat{y}, \vec{F}_b = qvB(-\hat{z}), \vec{F}_c = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y}-\hat{z}), \vec{F}_d = 0, \vec{F}_f = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y}) \quad (1)$$

$\vec{F}_a$: מעגל אנכי במישור yz , $\vec{F}_b$: מעגל אנכי במישור yz , $\vec{F}_c$: מעגל אנכי במישור yz , $\vec{F}_d$: תנועה בקו ישר, $\vec{F}_f$: ספירלה במישור yz שמתקדמת סביב ציר x .

$$\vec{F} = 24N\hat{z} \quad \text{א.} \quad \vec{F} = (6\hat{x} + 4\hat{y} + 3\hat{z})\mu N \quad \text{ב.} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{\frac{2V}{qB^2}} \cdot \sqrt{m} \quad (3)$$

$$R \approx 3.48 \cdot 10^{-2} m \quad (4)$$

$$\Delta x = 0.0315 \quad \text{א.} \quad t = 3.371 \text{ sec} \quad \text{ב.} \quad V = 4.312 \cdot 10^4 V \quad \text{ג.} \quad (5)$$

$$B \odot, B = \frac{E}{V} \quad \text{ב.} \quad \text{א. שלילי} \quad (6)$$

$$x^2 = R^2 - \left(R - \frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{ב.} \quad x = V_0 \sqrt{\frac{md^2}{qV}} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$\varepsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) > 0 \quad \text{ג. המטען יסטה למעלה אם :}$$

$$\varepsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) < 0 \quad \text{המטען יסטה למטה אם :}$$

$$V = \sqrt{\frac{qRE_0}{m}}, \vec{B} = \sqrt{\frac{mE_0}{qR}}\hat{z} \quad \text{ג.} \quad \text{א. ראה סרטון} \quad \text{ב.} \quad \text{sign}(q) = -1 \quad (8)$$

$$m_2 = qm_1 \quad \text{ד.}$$

$$\frac{2BL}{E} \quad \text{ה.} \quad \frac{mE^2}{2qB^2} \quad \text{ד.} \quad \frac{\pi m}{qB} \quad \text{ג.} \quad \frac{2mE}{qB^2} \quad \text{ב.} \quad \frac{E}{B} \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \vartheta}{Bq} \quad \text{א.} \quad \text{ב.} \quad \vartheta' = \vartheta \quad (10)$$

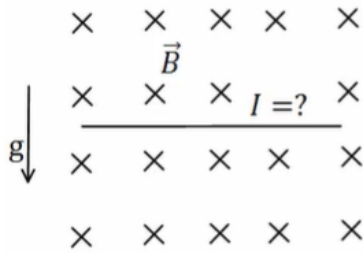
(11) א. אם כיוון הכוח הפוך לכיוון המכפלה $\vec{V} \times \vec{B}$ אז המטען שלילי.
 $\vec{F}$ תמיד מאונך ל- $\vec{V}$ ול- $\vec{B}$ לכן ה- $\vec{F}_B$ אף פעם לא ישנה את גודל המהירות,
 רק את הכיוון (V כניסה V יציאה).

$$\cos \theta = \frac{b}{2R} - 1 \quad \text{ג.} \quad x = \sqrt{b \left(\frac{b}{4} - \frac{mV}{qB} \right)} \quad \text{ב.}$$

כוח על תיל נושא זרם:

שאלות:

(1) דוגמה-תיל מרחף



תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי

אחיד $B = 10^{-2} \text{ T}$ לתוך הדף.

צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך

היא: $\lambda = 20 \frac{\text{gr}}{\text{c.m}}$

מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל
כך שהתיל ירחף באוויר?

(2) דוגמה-מסגרת מלבנית בשדה לא אחיד

מסגרת מלבנית בעלת צלעות a , b נמצאת במישור של הדף ובתוך
שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף. גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.

המסגרת מונחת כך שחלק מהמסגרת נמצא בשדה $B_1 = 4 \text{ T}$

והחלק השני נמצא בשדה $B_2 = 3 \text{ T}$.

במסגרת זורם זרם $I = 2 \text{ A}$ עם כיוון השעון. נתון: $a = 0.5 \text{ m}$.
מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת?

(3) כוח על תיל מכופף

תיל הנושא זרם I מכופף כפי שנראה באיור.

החלק העגול הוא רבע מעגל

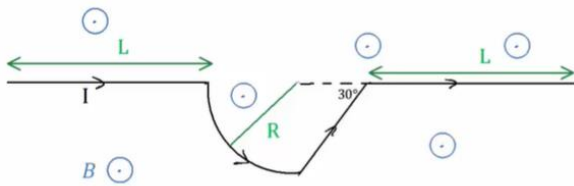
בעל רדיוס R .

בכל המרחב יש שדה מגנטי

אחיד B החוצה מהדף.

מצא את הכוח השקול על התיל

אם L , I , B , R נתונים.



(4) כוח על תיל מכופף עם חלוקה לחתיכות

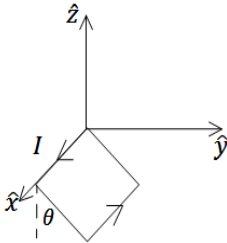
הנח נתונים זהים לשאלה קודמת.

מצא את הכוח השקול על התיל ע"י חלוקה לחתיכות,

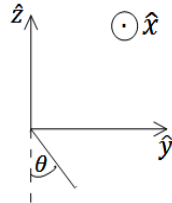
חישוב הכוח ע"י כל חתיכה בנפרד וסכימה.

(5) לולאה תלויה

לולאה ריבועית בעלת צלע a ומסה m תלויה על ציר ה- x (הצלע שנמצאת על הציר מקובעת לציר) ויכולה להסתובב סביבו. בלולאה זרם I כך שהזרם בצלע שנמצאת על ציר ה- x חיובי (זרם בכיוון ציר ה- x).



מבט תלת מימדי



מבט דו-מימדי

- מצא את גודל השדה המגנטי שדרוש להפעיל בכיוון ציר ה- z על מנת שהלולאה תתייצב במנוחה בזווית θ ביחס לציר ה- z .
- מצא את גודל השדה המגנטי שדרוש להפעיל בכיוון ציר ה- y על מנת שהלולאה תתייצב במנוחה בזווית θ ביחס לציר ה- z .

(6) כוח על לולאה סגורה

הראו כי :

- הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד הניצב למישור הלולאה מתאפס.
- הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד המקביל למישור הלולאה מתאפס.
- הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד מתאפס.
- הכוח המגנטי על לולאת זרם סגורה בעלת כל צורה שהיא בשדה אחיד מתאפס.

(7) לולאה בצורת חצי גליל ותייל אינסופי - סמי שמעון

- לולאה מורכבת משני חצאי עיגול מקבילים ושני קווים ישרים מקבילים כך שנוצרת השפה של חצי גליל, ראו איור. תיל אינסופי עובר לאורך ציר הסימטריה של גליל. רדיוס חצאי העיגול הוא R ואורך הקווים הישרים הוא h . בלולאה ובתיל זורמים הזרמים I_1 ו- I_2 וכיוונם מתואר באיור.
- חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל חצי מעגל של הלולאה.
 - חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל אחד מהקווים הישרים (גודל וכיוון).
 - מה הכוח השקול שמפעיל התיל על הלולאה?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad I = 2 \cdot 10^3 \text{ A}, \text{ ימינה.}$$

$$(2) \quad F = 1 \text{ N}, \text{ ימינה.}$$

$$(3) \quad F = BI(2L + (1 + \sqrt{3})R)$$

$$(4) \quad F_x = 0, F_y = IB(2L + (1 + \sqrt{3})R)(-1)\hat{y}$$

$$(5) \quad \text{א. } B = \frac{mg}{2aI} \tan \theta \hat{z} \quad \text{ב. } \vec{B} = -\frac{mg}{2aI} \hat{y}$$

$$(6) \quad \text{שאלת הוכחה.}$$

$$(7) \quad \text{א. 0.} \quad \text{ב. עבור שניהם, שמאלה, } \frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{2\pi R}$$

$$\text{ג. שמאלה, } \frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{\pi R}$$

תרגילים נוספים:

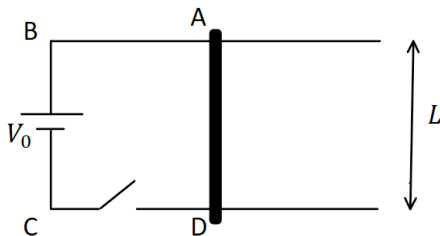
שאלות:

(1) מטען בשדה מגנטי עם משוואות דיפרנציאליות

נתון שדה חשמלי $\vec{E} = \alpha x \hat{x}$ ושדה מגנטי קבוע ואחיד $\vec{B} = B_0 \hat{z}$.
 חלקיק בעל מסה m ומטען q נמצא בראשית בזמן $t = 0$.
 מהירותו ההתחלתית היא: $\vec{v} = v_0 \hat{x}$.
 א. מהו מיקום החלקיק כתלות בזמן בכל אחד מהמקרים הבאים:
 $\alpha > \frac{q}{m} B_0^2$, $\alpha < \frac{q}{m} B_0^2$, $\alpha = \frac{q}{m} B_0^2$

(2) מטען בשדה חשמלי רדיאלי

נתון שדה חשמלי $\vec{E} = \alpha(x\hat{x} + y\hat{y})$ ושדה מגנטי קבוע ואחיד $\vec{B} = B_0 \hat{z}$.
 חלקיק בעל מסה m ומטען q נמצא בראשית בזמן $t = 0$.
 מהירותו ההתחלתית היא: $\vec{v} = v_0 \hat{x}$.
 כתוב 4 משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון עבור המיקום והמהירות.
 הסבר את דרך הפתרון, אין צורך לפתור.



(3) מוט נע על מסילה עם חיכוך וסוללה

מקור מתח V_0 מחובר לשני תילים מוליכים ומקבילים במרחק L אחד מהשני.
 לתילים התנגדות ליחידת אורך r .
 על התילים מניחים מוט מוליך בעל מסה m וחסר התנגדות המחבר בין הנקודות A ו-D באיור.
 המערכת נמצאת בתוך שדה מגנטי B המאונך לדף אך לא ידוע האם הוא לתוך או החוצה מהדף.
 ברגע $t = 0$ סוגרים את המתג והמוט מתחיל לנוע ימינה.
 על המוט פועל חיכוך קינטי ומקדם החיכוך הוא μ .
 התנגדות הקטע ABCD (כולל המקור) היא R_0 .
 ניתן להזניח השפעות של השראות מגנטיות.
 א. מהו כיוון השדה המגנטי?
 ב. מהו הזרם במעגל כתלות במרחק אותו עבר המוט מתחילת התנועה?
 ג. באיזה מרחק תתאפס תאוצת המוט?
 ד. תאר את תנועת המוט במילים.

תשובות סופיות:

$$x(t) = V_0 \cdot t, y = \frac{1}{2} \left(-\frac{qB_0 V_0}{m} \right) t^2 : \alpha = \frac{q}{m} B_0^2 \quad (1)$$

$$x(t) = \frac{V_0}{\sqrt{\frac{q}{m} \left(\frac{qB_0^2}{m} - \alpha \right)}} \sin \left(\sqrt{\frac{q}{m} \left(\frac{qB_0^2}{m} - \alpha \right)} \cdot t \right) : \alpha < \frac{q}{m} B_0^2$$

$$x(t) = \frac{V_0}{\sqrt{\frac{q}{m} \left(\alpha - \frac{qB_0^2}{m} \right)}} \sinh \left(\sqrt{\frac{q}{m} \left(\alpha - \frac{qB_0^2}{m} \right)} \cdot t \right) : \alpha > \frac{q}{m} B_0^2$$

$$\begin{cases} qB_0 V_y + q\alpha x = m\dot{V}_x \\ -qB_0 V_x + q\alpha y = m\dot{V}_y \\ \dot{x} = V_x \\ \dot{y} = V_y \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{א. } B \text{ לתוך הדף.} \quad \text{ב. } I = \frac{V_0}{R_0 + 2rx} \quad \text{ג. } x = \frac{1}{2r} \left(\frac{BLV_0}{\mu mg} - R_0 \right) \quad \text{ד. ראה סרטון.} \end{aligned} \quad (3)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

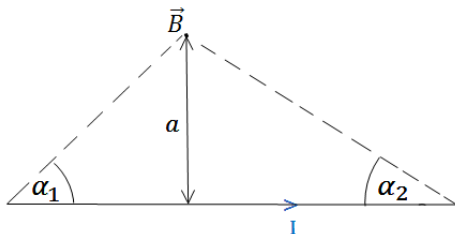
פרק 15 - חוק ביו סבר

תוכן העניינים

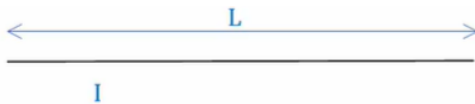
1. הרצאות ותרגילים 111

הרצאות ותרגילים:

שאלות:



- (1) חישוב שדה של תיל סופי לפי זוויות הראה כי גודלו של השדה המגנטי שיוצר תיל בנקודה הנמצאת במרחק a מהתיל הוא:
- $$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$
- כאשר I הוא הזרם בתיל.



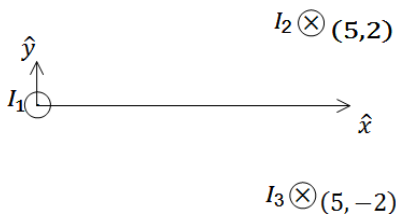
- (2) חישוב שדה של תיל סופי לפי וקטורים נתון תיל סופי באורך L וזרם I . השדה נמצא במרחק y מהראשית. חשב את השדה המגנטי של תיל סופי.



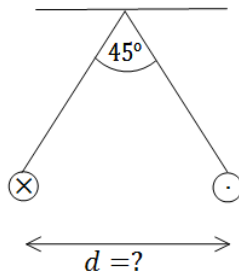
- (3) חישוב שדה של טבעת חשב את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה של טבעת ברדיוס R כאשר בטבעת זרם I .



- (4) חישוב שדה של דיסקה דיסקה ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משטחית σ . הדיסקה מסתובבת במהירות זוויתית ω סביב ציר הסימטריה שלה. מצא את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה.



- (5) שדה של שלושה תילים אינסופיים שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- z מונחים במיקומים הבאים:
- $$\vec{r}_1(0,0), \vec{r}_2(5,2), \vec{r}_3(5,-2)$$
- הזרמים בתילים הם:
- $$I_1 = 3A \text{ החוצה מהדף}, I_2 = 5A \text{ לתוך הדף}, I_3 = 4A \text{ גם כן לתוך הדף}.$$
- מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה- x מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון y ?

**(6) שני תילים תלויים**

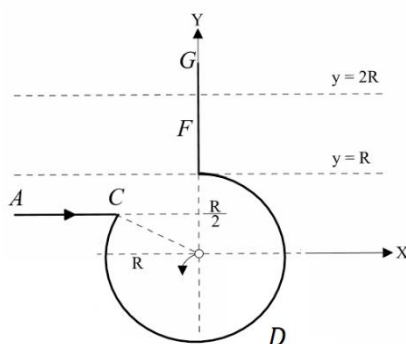
שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקרה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע.
בתילים זורם זרם של 100 אמפר בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת אורך היא: $\mu = 2 \frac{gr}{m}$.
מצא את המרחק בין התילים.

(7) מצולע עם אן צלעות

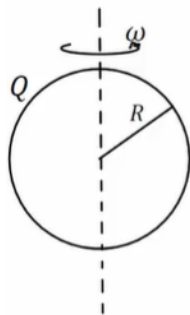
במצולע משוכלל (כל הצלעות שוות) בעל n צלעות זורם זרם I. נתון כי המצולע חסום ע"י מעגל ברדיוס R.
א. מהו השדה המגנטי במרכז המצולע?
ב. בדוק עבור $n \rightarrow \infty$.

(8) כוח מגנטי מתבטל עם חשמלי

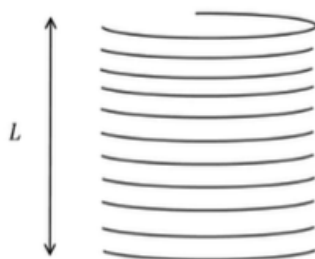
שני תילים אינסופיים טעונים בצפיפות מטען λ ו- $-\lambda$.
התילים מקבילים ונמשכים במהירות קבועה v_0 ימינה.
מצא את גודל המהירות כך שהכוח המגנטי יתבטל עם הכוח החשמלי?

(9) חישוב שדה של תיל מיוחד

תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים.
המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).
בתיל זורם זרם I, כיוון הזרם מסומן בשרטוט.
א. מהו גודלו וכיוונו של וקטור השדה המגנטי במרכז החלק המעגלי של התיל?
ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכז החלק המעגלי של התיל מסלולו מתעקם עקב השפעת השדה המגנטי של התיל.
צורת המסלול וכיוון התנועה נתונים בשרטוט. מהו סימן מטענו של החלקיק?
ג. בניסוי נוסף יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחום $R < y < 2R$. חלק של התיל FG נמצא בתוך תחום זה (ראו בשרטוט).
נתון וקטור השדה $\vec{B}(0,0, ay^2)$, כאשר הקבוע a נתון.
מהו הכוח המגנטי ששדה זה מפעיל על התיל?

**(10) שדה במרכז קליפה כדורית מסתובבת**

קליפה כדורית ברדיוס R טעונה במטען Q המפולג באופן אחיד על פני הקליפה.
 הקליפה מסתובבת סביב צירה במהירות זוויתית קבועה ω .
 הנח כי הסיבוב אינו משפיע על התפלגות המטען וחשב את השדה המגנטי במרכז הקליפה.

**(11) שדה של סליל סופי**

בסליל סופי באורך L , רדיוס R וצפיפות ליפופים אחידה ליחידת אורך n זורם זרם I .
 חשבו את השדה המגנטי ב:
 א. מרכז הסליל.
 ב. הקצה העליון של הסליל.

תשובות סופיות:

(1) שאלת הוכחה.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi y} \frac{IL\hat{z}}{\left(\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

$$B_x = B_y = 0, \quad B_z = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

$$\vec{B}_T = \frac{\mu_0 \sigma w}{2} \left((R^2 + z^2)^{\frac{1}{2}} + z^2 (R^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} - 2z \right) \quad (4)$$

$$x_1 = -2.76, \quad x_2 = 5.26 \quad (5)$$

$$d = 0.241 \text{ m} \quad (6)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad \text{ב.} \quad B = \frac{n\mu_0 I}{2\pi R} \tan\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$V = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (8)$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} \quad \text{ג.} \quad B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2 - \sqrt{3}) \quad \text{א.} \quad \text{ב. שלילי} \quad (9)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 Qw}{6\pi R} \quad (10)$$

$$\frac{\mu_0 \ln L}{2(R^2 + (L)^2)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{ב.} \quad \frac{\mu_0 \ln L}{2\left(R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{א.} \quad (11)$$

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

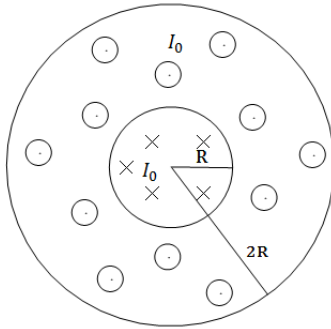
פרק 16 - חוק אמפר

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 115

הרצאות ותרגילים:

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 σ . 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 ρ . 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 משתנהמישור אינסופי בעובי d טעון

בצפיפות מטען משתנה ליחידת

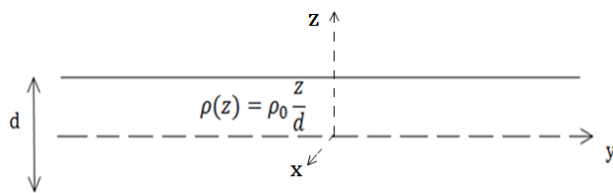
נפח $\rho(z) = \rho_0 \frac{z}{d}$.

המישור מונח במקביל למישור xy

וראשית הצירים במרכזו.

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

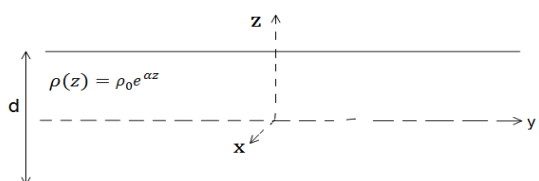
מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

**(6) מישור אינסופי עם צפיפות אקספוננציאלית**מישור אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען

משתנה ליחידת נפח $\rho(z) = \rho_0 e^{\alpha z}$

כאשר α קבוע.המישור מונח במקביל למישור xy וראשיתהמישור 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.

גליל זורם זרם לתוך הדף בצפיפות זרם אחידה

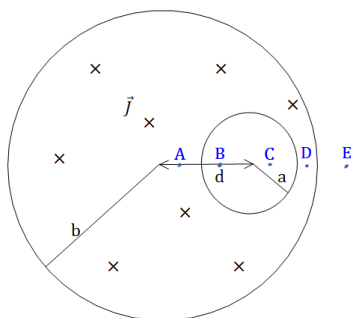
ונתונה J .א. מצא את השדה המגנטי בנקודות A, B, C, D, E

המסומנות בסרטוט.

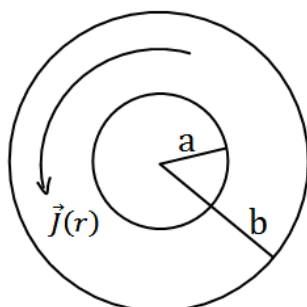
הנח כי מרחק הנקודות מהמרכז ידוע וכי כל

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 $\vec{J}(r) = A r^3 \hat{\theta}$.

מצא את השדה המגנטי בכל המרחב.

 A קבוע נתון.

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 242123103 ו 4910610

פרק 17 - חוק פאראדיי- יש לוודא שהחומר נלמד בכיתה

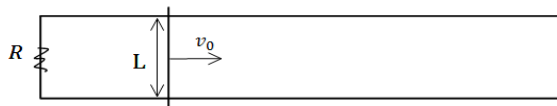
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים.....118

הרצאות ותרגילים:

שאלות:

(1) מוט שזז על מסילה



במערכת הבאה ישנה מסילה המורכבת ממוליכים אידיאליים.

בתחילת המסילה נמצא נגד R .

המרחק בין פסי המסילה הוא L .

על המסילה נמצא מוט מוליך

נוסף המחבר בין שני פסי המסילה,

המוט הנוסף נע במהירות קבועה V_0 .

א. מה הכא"מ במעגל?

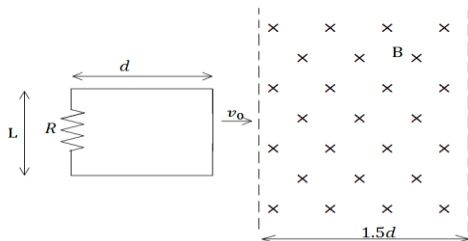
ב. מהו הזרם במעגל?

ג. מה הכוח החיצוני הדרוש על מנת למשוך את המוט במהירות קבועה?

ד. מה ההספק של הכוח החיצוני?

ה. מה ההספק בנגד?

(2) מסגרת נעה בתוך שדה



מסגרת מלבנית בעלת אורך d ורוחב L ,

נעה במהירות קבועה v_0 , לכיוון אזור בו

שורר שדה מגנטי אחיד B .

אורך האזור הוא $1.5d$ ורוחבו ארוך מאוד.

למסגרת התנגדות כוללת R .

הנח כי ב- $t = 0$ הצלע הימנית של המסגרת

נכנסת לאזור עם השדה.

א. מצא את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).

ב. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון

(כתלות בזמן).

ג. מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת על מנת

שתנוע במהירות קבועה.

ד. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?

(3) מסגרת נעה ליד תיל אינסופי

מסגרת ריבועית מוליכה עם צלע a נמצאת על מישור xy .

ונע במהירות קבועה v_0 בכיוון ציר ה- x .

מיקום המסגרת ב- $t = 0$ הוא x_0 .

תיל אינסופי מונח לאורך ציר ה- y וזורם בו

זרם I_0 בכיוון החיובי של ציר ה- y .

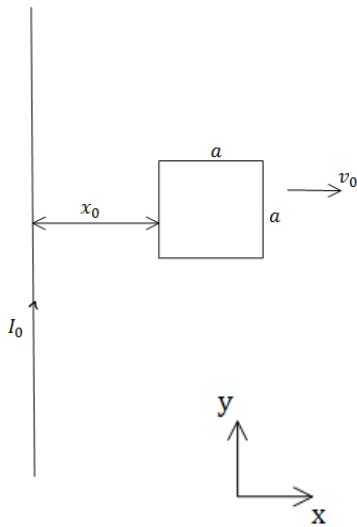
א. מצא את הכא"מ במסגרת.

ב. מצא את הזרם במסגרת אם ידוע

שההתנגדות הכללית שלה היא R .

ג. מצא את הכוח הדרוש על מנת להזיז את

המסגרת במהירות קבועה.

**(4) טבעת מסתובבת**

טבעת מוליכה ברדיוס a מונחת במישור xy

ומתחילה להסתובב במהירות זוויתית קבועה ω

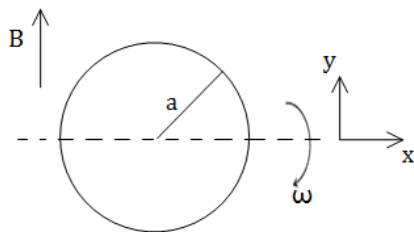
סביב ציר ה- x .

במרחב קיים שדה מגנטי אחיד B_0 בכיוון ציר ה- y .

א. מצא את הכא"מ בטבעת כפונקציה של הזמן.

ב. מצא את הכא"מ בטבעת אם גם השדה המגנטי משתנה בזמן

לפי $B(t) = B_0 \cos(\omega t)$.

**(5) מוט זז בתוך מעגל**

מוט מוליך באורך L נע על צלעותיו של המעגל הבא.

בתוך המעגל קיים שדה מגנטי אחיד

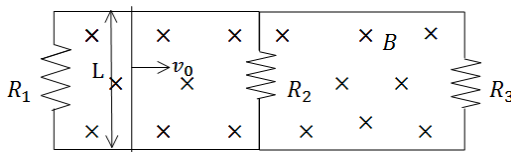
וקבוע לתוך הדף B .

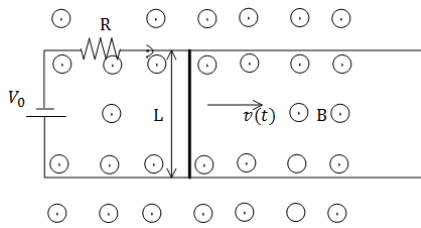
נתונים: L, v_0, R_1, R_2, R_3, B .

מצא את הזרם משני צידי המוט עבור

המקרה בו המוט נמצא בין הנגד הראשון

לשני ועבור המקרה בו המוט נמצא בין הנגד השני לשלישי.





(6) מוט נע על מסגרת עם מקור מתח

מוט מוליך באורך L ומסה M נע על גבי מסילה מוליכה במהירות שאינה קבועה בזמן. למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R ומקור מתח V_0 .

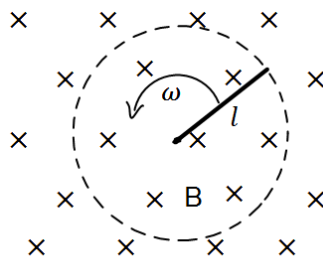
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

א. מצא את הכא"מ במוט כתלות במהירות המוט, ומצא את הזרם במעגל גודל וכיוון.

ב. רשום משוואת תנועה עבור המוט, מהי מהירותו הסופית.

ג. מצא את מהירות המוט כתלות בזמן אם התחיל ממנוחה.

ד. מהו הספק החום בנגד?



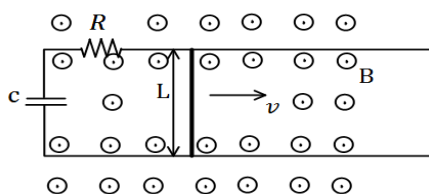
(7) מוט מסתובב

מוט בעל אורך l מסתובב סביב אחד הקצוות שלו במהירות זוויתית קבועה ω .

המוט נמצא בשדה מגנטי אחיד B הניצב למישור בו הוא מסתובב.

א. מצא את המתח בין קצות המוט באמצעות אינטגרציה על חוק לורנץ.

ב. מצא את המתח במוט באמצעות חוק פאראדיי.



(8) פאראדיי עם קבל ונגד ביחד

מוט מוליך באורך L נע על גבי מסילה מוליכה במהירות קבועה בזמן v .

למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R וקבל בעל קיבול C .

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

א. מצא את הזרם במעגל גודל וכיוון (כתלות בזמן).

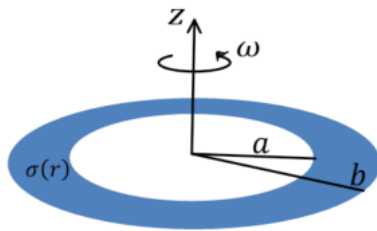
ב. מה הכוח בו צריך למשוך את המוט על מנת שיישאר במהירות קבועה?

ג. מצא מהו ההספק של הכוח הנ"ל (כתלות בזמן).

ד. מצא מהו ההספק בנגד ובקבל (כתלות בזמן).

ה. הראה כי ההספק של הכוח החיצוני שווה להספק של הקבל והנגד.

הסבר מדוע ההספקים שווים.

**(9) טבעת בתוך טבעת רחבה**

טבעת מבודדת בעלת רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b טעונה בצפיפות מטען משטחית חיובית ולא אחידה.

$$\sigma(r) = \begin{cases} 0 & r < a \\ \sigma_0 \frac{a}{r} & a \leq r \leq b \\ 0 & b < r \end{cases}$$

הטבעת מונחת במישור xy כך שמרכזה מתלכד עם ראשית הצירים וציר z עובר דרך מרכז הטבעת ומאונך לפני הטבעת. מסובבים את הטבעת סביב ציר z (המאונך למישור הטבעת) במהירות זוויתית שהולכת וגדלה עם הזמן לפי הנוסחה $\omega = at^3$.

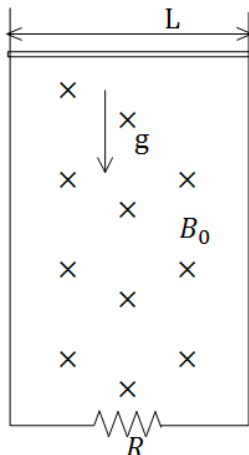
א. מהו השדה המגנטי במרכז הטבעת?

ב. במרכז הטבעת מניחים טבעת קטנה ודקה במישור xy כך שמרכזה

מתלכד עם ראשית הצירים ורדיוסה r_0 ($r_0 \ll a$).

חשבו את השטף בטבעת הקטנה, מאחר והטבעת הקטנה מאוד קטנה יחסית לטבעת הגדולה תוכלו להזניח את השינוי במרחב של השדה המגנטי העובר דרך הטבעת הקטנה.

ג. חשבו את הזרם שייווצר בטבעת הקטנה אם התנגדותה R .

(10) מוט נופל מחובר למסילה

מוט מוליך מונח על מסילה אנכית ונופל בהשפעת כוח הכובד. במרחב קיים שדה מגנטי B_0 לתוך הדף.

רוחב המסילה הוא L ומסת המוט היא M .

התנגדות המסילה קבועה ושווה ל- R .

א. מצא את הכא"מ במעגל כתלות במהירות המוט v .

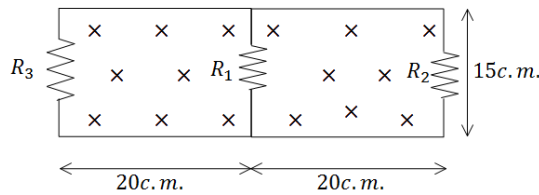
ב. מצא את כיוון השדה המושרה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.

ג. מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדיין כתלות במהירות).

ד. רשום משוואת כוחות על המוט.

ה. מהי המהירות הסופית של המוט?

ה. מצא את המהירות והזרם כפונקציה של הזמן.



11) כא"מ בשני מעגלים

במעגל הבא התנגדות הנגדים היא :

$$R_1 = 1\Omega, R_2 = 2\Omega, R_3 = 3\Omega$$

$$B = 2 \frac{T}{sec} \cdot t$$

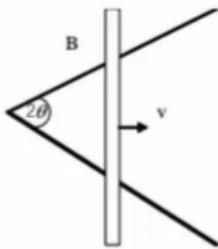
במרחב קיים שדה מגנטי

אחיד לתוך הדף.

ממדי המעגל נתונים בשרטוט.

מצא את הזרם בכל נגד.

12) מוט נע על מסילות בזווית



שתי מסילות מוליכות יוצרות זווית 2θ ביניהן.

מוט מוליך מונח עליהן ויוצר משולש שווה שוקיים.

המוט נע לאורכם במהירות קבועה v , ומתחיל את

תנועתו בקדקוד המשולש.

כל המערכת נמצאת בשדה מגנטי אחיד B היוצא מהדף.

א. מצא את הכא"מ המושרה כפונקציה של הזמן.

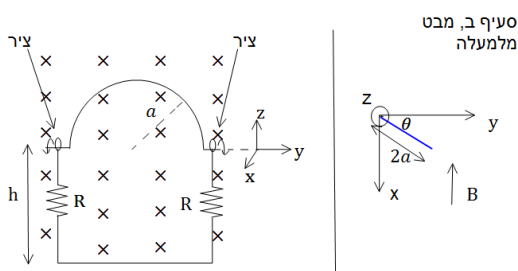
ב. אם התנגדותו של המוט ליחידת אורך היא R_1 ,

והמסילות חסרות התנגדות, חשב את הזרם המושרה

כפונקציה של הזמן.

ג. חשב את ההספק שמועבר למערכת ליצירת הזרם.

13) כבל מסתובב



במערכת הבאה ישנו כבל מוליך

אידיאלי בצורת חצי מעגל ברדיוס a .

בשתי הקצוות של חצי המעגל הכבל

מחובר לצירים כך שניתן לסובבו

סביבם (סביב ציר ה- y בציר).

הצירים מחוברים למסגרת מלבנית

בגובה $h > a$, המסגרת קבועה במקום.

בכל צד של המסגרת קיים נגד R .

במרחב קיים שדה מגנטי אחיד B לתוך הדף (במינוס x).

ב- $t = 0$ הכבל נמצא במצב המתואר בציר ומתחילים לסובבו סביב הצירים

(ציר ה- y) במהירות זוויתית ω (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל

מתקדמות אלינו).

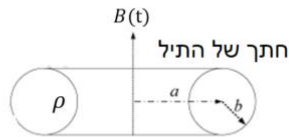
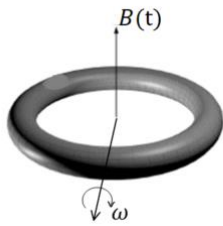
א. מהו הזרם בכבל?

ב. נניח כי העמוד השמאלי של המסגרת נמצא בראשית וניתן לסובב את כל

המערכת סביב עמוד זה.

מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שהזרם יקטן פי 2.

ג. מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שההספק יקטן פי 2.

14) גוש נחושת מעוצב לטבעת

נתון גוש נחושת בעל מסה m צפיפות מסה α והתנגדות סגולית ρ . מעבדים את הנחושת לתיל שרדיוס שטח החתך שלו הוא b . יוצרים מהתיל טבעת שרדיוסה a כך ש- $b \ll a$.

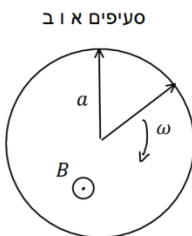
מניחים את הטבעת מקובעת במרחב כך שקיים שדה מגנטי אחיד המשתנה בזמן $B(t)$ במאונך לטבעת.

$$\beta = \frac{dB}{dt}$$

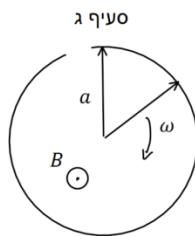
א. חשב את הזרם המושרה בטבעת.

ב. הראה כי אפשר לבטא את הזרם כתלות של β, ρ, α, m וללא תלות במימדי התיל (כלומר אינו תלוי ב- a ו- b).

ג. כעת מתחילים לסובב את הטבעת במהירות זוויתית ω סביב ציר העובר במרכזה ומאונך לשדה המגנטי. חשב את הזרם הנוצר בטבעת כתלות בזמן. האם כעת הוא תלוי במימדי התיל?

15) שער פאראדיי

סעיפים א ו ב



סעיף ג

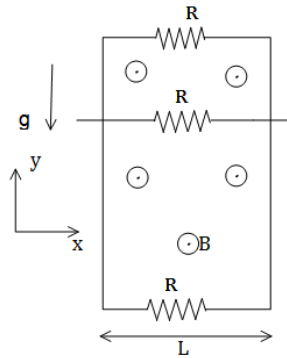
לטבעת מוליכה שאורך מחוגה a והתנגדותה ליחידת אורך היא r מחברים שני מחוגים מוליכים שהתנגדות כל אחד מהם היא R . המחוגים מחוברים אחד לשני במרכז הטבעת ובקצה השני נוגעים בטבעת. מחוג אחד קבוע במקומו והשני מסתובב במהירות זוויתית קבועה ω .

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

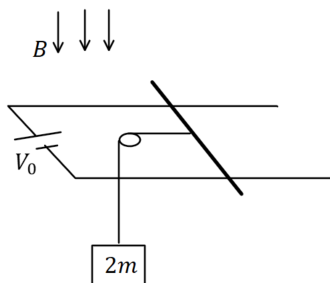
א. חשבו את ההתנגדות הכוללת של המעגל כתלות בזווית θ .

ב. חשבו את גודל וכיוון הזרם כתלות בזמן בכל מחוג עבור הסיבוב הראשון (הניחו שהמוט הנע מתחיל תנועתו בצמוד למוט הנייח).

ג. חותכים חתיכה בסוף המעגל של הטבעת (ראה ציור). חזור על סעיף ב.

16) נגד נופל במסגרת

מסגרת מלבנית מוליכה, ארוכה מאוד ובעלת רוחב L , נמצאת בשדה הכובד. אורכה נמצא על ציר ה- y ורוחבה על ציר ה- x . בצלע העליונה ובצלע התחתונה של המסגרת קיימים נגדים עם התנגדות זהה R . מוט מוליך בעל התנגדות זהה R מחליק לאורך ציר ה- y על המסגרת. מצא את המהירות הסופית של המוט אם במרחב קיים שדה מגנטי אחיד B בכיוון z ונתונה מסת המוט.

17) מוט על מסילה מחובר למשקולת

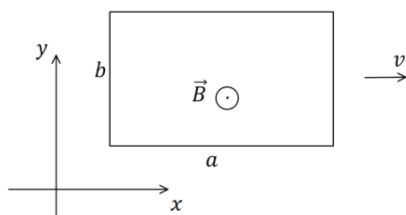
מוט מוליך בעל אורך L , מסה m והתנגדות R מונח על מסילה אופקית חלקה העשויה משני מוליכים ארוכים מאוד וחסרי התנגדות. המוליכים מחוברים בקצה למקור מתח V_0 . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B המאונך למישור המסילה וכלפי מטה. משקולת שמסתה $2m$ מחוברת למוט באמצעות חוט דרך גלגלת אידיאלית.

א. חשבו את V_0 אם נתון שהמוט במנוחה.

ב. חותכים את החוט.

רשמו משוואת תנועה עבור המוט ומצאו את המהירות המירבית של המוט, מה הזרם במהירות זו?

ג. מצאו את מהירות המוט כתלות בזמן והשוו לתשובה של סעיף ב.

18) מסגרת נעה בשדה מגנטי משתנה לינארית

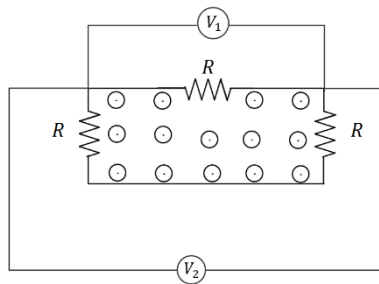
מסגרת מלבנית בגודל $a \times b$ מסה m והתנגדות R נמצאת על מישור xy . המסגרת נעה באיזור בו קיים שדה מגנטי $\vec{B}(x) = \alpha(x_0 - x)\hat{z}$. ברגע $t = 0$ מהירות המסגרת היא $v_0\hat{x}$ כאשר α, x_0, v_0 קבועים נתונים.

א. מצא את הכא"מ בלולאה כתלות במהירות הלולאה.

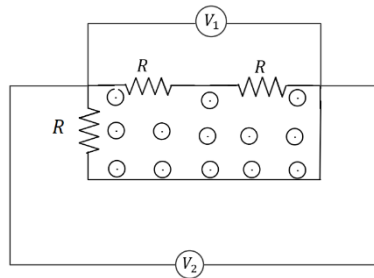
הראה כי הוא אינו תלוי במיקום ההתחלתי של המסגרת.

ב. מצא את מהירות הלולאה כתלות בזמן.

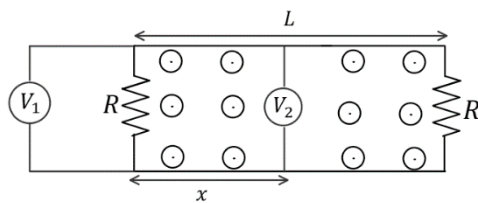
ג. מהו המרחק אותו עברה הלולאה עד לעצירתה?

**19) מעגל עם פאראדיי**

במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד. אם מד המתח V_1 מורה 1mV מה מורה מד המתח V_2 ?

**20) מעגל עם פאראדיי 2**

במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד. אם מד המתח V_1 מורה 1mV מה מורה מד המתח V_2 ?

**21) מעגל עם פאראדיי 3**

במעגל הבא שני נגדים זהים. בין הנגדים (ורק ביניהם) קיים שדה מגנטי אחיד המשתנה בזמן. המרחק בין הנגדים הוא L . מחברים שני מדי מתח אידיאליים כפי שמתואר באיור כאשר x הוא המרחק של מד המתח V_2 מהנגד השמאלי. נתון כי מד המתח V_1 מודד 1mV . מה ימדוד מד המתח V_2 אם:

א. $x = \frac{1}{2}L$

ב. $x = \frac{1}{4}L$

תשובות סופיות:

$$\vec{F}_{0xt} = \frac{B_0^2 L^2 V_0}{R} \hat{x} \quad \text{ג.} \quad I = \frac{BLV_0}{R} \quad \text{ב.} \quad \varepsilon = -BLV_0 \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\rho_R = \frac{BLV}{R} \quad \text{ה.} \quad \rho_{\text{ext}} = \frac{B_0^2 L^2 V_0}{R} \quad \text{ז.}$$

$$\vec{F}_{\text{ext}} = \frac{B^2 L^2 V_0}{R} \hat{x} \quad \text{ג.} \quad I = \frac{BLV_0}{R} \quad \text{ב.} \quad |\varepsilon| = BLV_0 \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\rho_{\text{ext}} = \frac{B^2 L^2 V_0^2}{R} \quad \text{ז.}$$

$$I = \frac{-\frac{\mu_0 I_0 a}{2\pi} \left(\frac{1}{x+a} - \frac{1}{x} \right) V_0}{R} \quad \text{ב.} \quad \varepsilon = -\frac{\mu_0 I_0 a}{2\pi} \left(\frac{1}{x+a} - \frac{1}{x} \right) V_0 \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$|\vec{F}| = F_1 - F_2 \quad \text{ג.}$$

$$\varepsilon = \omega B_0 \pi a^2 \sin(2\omega t) \quad \text{ב.} \quad \varepsilon = -B_0 \pi a^2 (-\omega) \sin(\omega t) \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$I_L = I_1, \quad I_R = I_2 + I_3 \quad \text{בין הראשון לשני:} \quad (5)$$

$$I_L = I_1 + I_2, \quad I_R = I_3 \quad \text{בין השני לשלישי:}$$

$$a = \frac{BL}{MR} (-BLV(t) + V_0), \quad V_{\text{final}} = \frac{V_0}{BL} \quad \text{ב.} \quad |\varepsilon| = BLV(t) \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$P_R = \left(\frac{BLV(t) - V_0}{R} \right)^2 R \quad \text{ז.} \quad V(t) = \frac{V_0}{BL} \left(1 - e^{-\frac{B^2 L^2}{MR} t} \right) \quad \text{ג.}$$

$$\varepsilon = -B \cdot \omega \frac{l^2}{2} \quad \text{ב.} \quad \varepsilon = B \frac{l^2}{2} \omega \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$P_F = \frac{B^2 L^2 V^2}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \neq I^2 R \quad \text{ג.} \quad F_{\text{ext}} = \frac{B^2 L^2 V}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \hat{x} \quad \text{ב.} \quad I(t) = \frac{BLV}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{א.} \quad (8)$$

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

$$\varphi = \mu_0 \sigma_0 a \omega \frac{1}{2} \ln \frac{b}{a} \pi r_0^2 \quad \text{ב.} \quad \vec{B} = \mu_0 \sigma_0 a \omega \cdot \frac{1}{2} \ln \frac{b}{a} \hat{z} \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$I = \frac{3\mu_0 \sigma_0 a \pi r_0^2 \alpha \ln \frac{b}{a}}{2R} \quad \text{ג.}$$

$$\text{ב. כיוון השדה המושרה בכיוון השדה שקיים, לתוך הדף.} \quad |\varepsilon| = B_0 L V_y \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$V(t) = \left(1 - e^{-\frac{k}{m} t} \right) \frac{mg}{k}, \quad k = \frac{B_0^2 L^2}{R} \quad \text{ה.} \quad V_{\text{final}} = \frac{mgR}{B_0^2 \cdot L^2} \quad \text{ז.} \quad F = \frac{B_0^2 L^2}{R} V \hat{y} \quad \text{ג.}$$

$$I_{R1} = \frac{0.6}{110} A, I_{R2} = \frac{3}{110} A, I_{R3} = \frac{2.4}{110} A \quad (11)$$

$$P_{out} = \frac{V^2 B^2}{R_1} 2 \cdot V \cdot t \cdot \tan \theta \quad \text{ג.} \quad I = \frac{V \cdot B}{R_1} \quad \text{ב.} \quad \varepsilon = 2V^2 \tan \theta t B \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$\theta = 45^\circ \quad \text{ג.} \quad \theta = 60^\circ \quad \text{ב.} \quad I = \frac{B \pi a^2 \omega}{4R} \sin \omega t \quad \text{א.} \quad (13)$$

$$I = \frac{m(\beta \cos \theta - B \sin \theta \omega)}{4 \rho \alpha \pi} \quad \text{ג.} \quad I = \frac{\beta m}{4 \pi \rho \alpha} \quad \text{ב.} \quad I = \frac{\beta \pi b^2 a}{2 \rho} \quad \text{א.} \quad (14)$$

$$R_T = 2R + \frac{\arctan(2\pi - \theta)}{2\pi} \quad \text{א.} \quad (15)$$

$$\hat{r}. \quad I_T = \frac{B \omega a^2 \pi}{4\pi R + \arctan(2\pi - \omega t)} \quad \text{ב.} \quad \text{במחוג שעומד בכיוון הרדיאלי ובמחוג שנע בכיוון } \hat{r}.$$

$$I(t) = \frac{B \omega \frac{a^2}{2}}{2R + \arctan \omega t} \quad \text{ג.}$$

$$V = \frac{3Rmg}{2B^2 L^2} \quad (16)$$

$$\frac{BL}{R}(V_0 - BLV) = ma, V_{max} = \frac{V_0}{BL} \quad \text{ב.} \quad V_0 = \frac{2mgR}{BL} \quad \text{א.} \quad (17)$$

$$V(t) = \frac{V_0}{BL} \left(1 - e^{-\frac{B^2 L^2}{MR} t} \right) \quad \text{ג.}$$

$$\Delta x = \frac{V_0}{k} \quad \text{ג.} \quad V(t) = V_0 e^{-kt} \quad \text{ב.} \quad |\varepsilon| = \alpha b a V \quad \text{א.} \quad (18)$$

$$1 \text{mV} \quad (19)$$

$$0.5 \text{mV} \quad (20)$$

$$0.5 \text{mV} \quad \text{ב.} \quad 0 \quad \text{א.} \quad (21)$$