

סטודנטים יקרים

לפניכם ספר תרגילים בקורס פיזיקה 2. הספר הוא חלק מקורס חדשני וראשון מסוגו בארץ בנושא זה, המועבר ברשת האינטרנט On-line.

הקורס באתר כולל פתרונות מלאים לספר התרגילים, וכן את התיאוריה הרלוונטית לכל נושא ונושא.

הקורס כולו מוגש בסרטוני וידאו המלווים בהסבר קולי, כך שאתם רואים את התהליכים בצורה מובנית, שיטתית ופשוטה, ממש כפי שנעשה בשיעור פרטי, לצפיה בשיעור לדוגמה יש להיכנס לעמוד הקורס.

את הקורס בנו מני גבאי ויונתן גילאון, מרצים מבוקשים במוסדות אקדמיים שונים ובעלי ניסיון עתיר בהוראת המקצוע.

אז אם אתם עסוקים מידי בעבודה, סובלים מלקויות למידה, רוצים להצטיין או פשוט אוהבים ללמוד בשקט בבית, אנחנו מזמינים אתכם לחוויית לימודים יוצאת דופן וחדשה לחלוטין, היכנסו עכשיו לאתר www.gool.co.il



אנו מאחלים לכם הצלחה מלאה בבחינות
צוות האתר GooL
גול זה בול. בשבילך!

מבוא מתמטי	3
חוק קולון	4
חוק גאוס	9
לחץ אלקטרוסטטי	17
פוטנציאל	18
דיפול חשמלי	29
מציאת התפלגות מטען	31
אנרגיה הדרושה לבניית מערכת	32
מטעני דמות	33
חומרים דיאלקטרים	36
נגדים במעגל-מעגלים עם זרם ישר	40
קבלים	45
נגדים זרם וצפיפות זרם	59
חוק לורנץ וכוח על תיל נושא זרם	63
חוק ביו – סבר	72
חוק אמפר	75
טרנספורמציה יחסותית של השדות	79
מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון	80
חוק פאראדיי	81
טרנספורמציה יחסותית לשדות (נוסחאות מלאות)	92
שדות משתנים בזמן	94
מומנט דיפול מגנטי	98
השראות	102
מעגלי זרם חליפין	106
הפוטנציאל הוקטורי	109
חומרים מגנטיים	114
גלים אלקטרומגנטיים	117

מבוא מתמטי
קואורדינטות

0-2 תרגיל - שטח דסקה

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

0-2.2 תרגיל - חישוב נפח כדור

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

צפיפות מטען

0-3.1 תרגיל - דסקה עם חור

מצא את הצפיפות של דסקה בעלת רדיוס R ומסה M ? בדסקה קדחו חור ברדיוס r , מצא את המסה שהוצאה מהדסקה.

0-3.3 תרגיל - מטען כולל בכדור

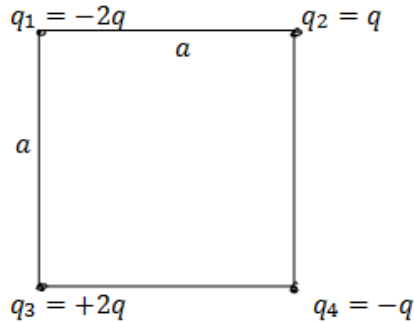
מצא את המטען הכולל בכדור בעל רדיוס R וצפיפות מטען $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$

חוק קולון

חוק קולון וסופרפוזיציה

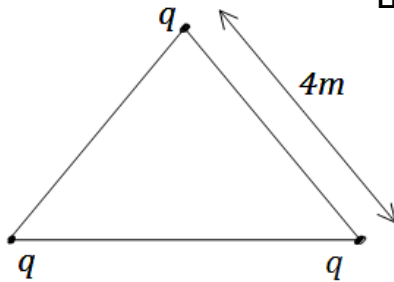
1-3 תרגיל, מטען בפינת ריבוע

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



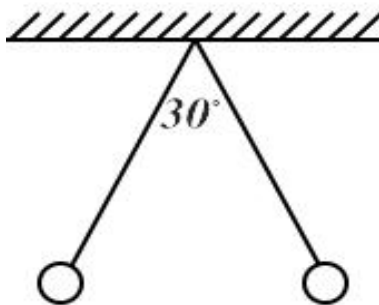
1-105 מטענים בקודקודי משולש

שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו 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



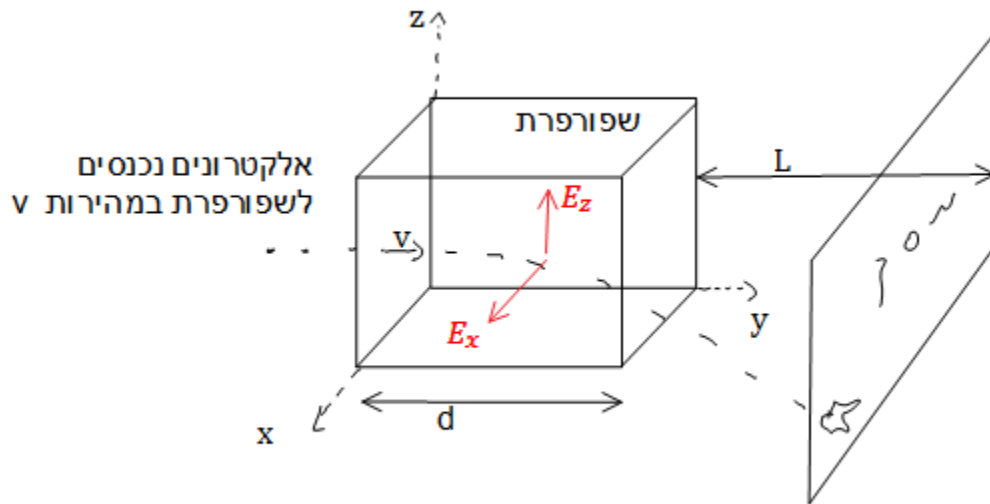
1-101 שני כדורים תלויים

שני כדורים בעלי מסה m תלויים מהתקרה בשני חוטים בעלי אורך L . הזווית בין החוטים היא 30° מעלות. מצא את מטען הכדורים.



1-102 שפופרת טלויזיה

אלקטרונים נכנסים לשפופרת כמתואר בשרטוט במהירות v . בשפופרת יש שדה קבוע בשני הכיוונים הניצבים למהירות כניסת האלקטרונים. אורך השפופרת הוא d ומרחק המסך מקצה השפופרת הוא L . נתון גם כי $d \ll L$. חשב את נקודת פגיעת האלקטרונים במסך.

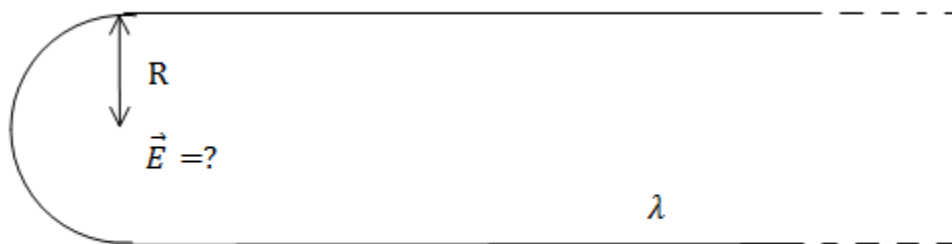


אלקטרונים נכנסים
לשפופרת במהירות v

התפלגות מטען רציפה

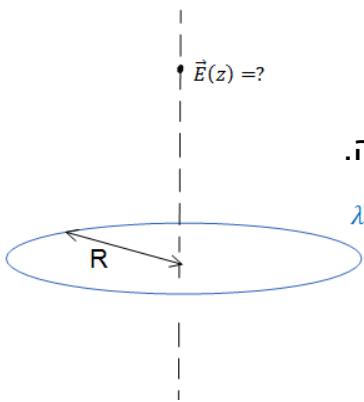
1-4 התפלגות מטען רציפה - תיל מכופף

נתון תיל אינסופי טעון בצפיפות מטען λ . התיל מכופף לחצי מעגל בעל רדיוס R . מצא את השדה במרכז המעגל.



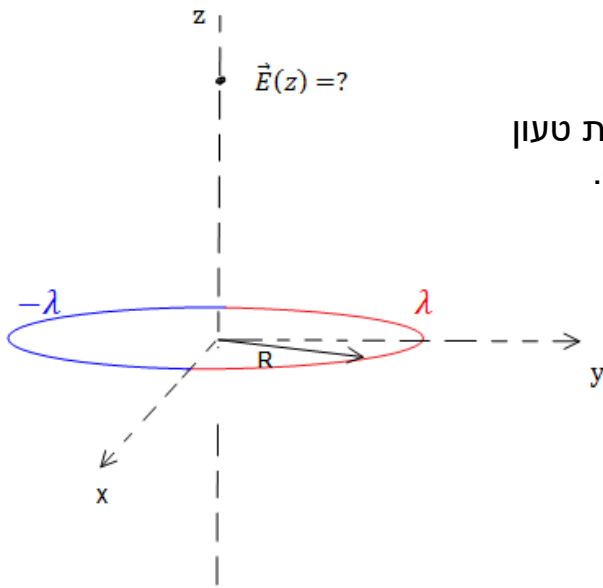
1-5 שדה של טבעת ודסקה

נתונה טבעת בעלת רדיוס R וצפיפות מטען ליחידת אורך λ .
 א. חשב את השדה לאורך ציר הסימטריה של הטבעת.
 ב. נתונה דסקה (מלאה) בעלת רדיוס R וצפיפות מטען ליחידת שטח σ . חשב את השדה לאורך ציר הסימטריה של הדסקה.



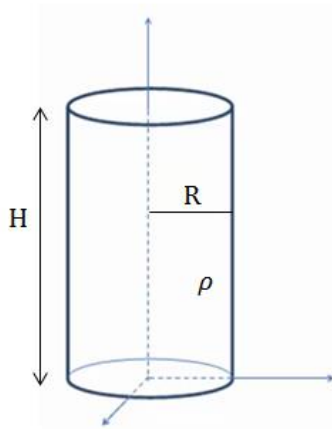
1-103 טבעת חצי חצי

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



1-6 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).



1-104 טבעת עם צפיפות לא אחידה

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

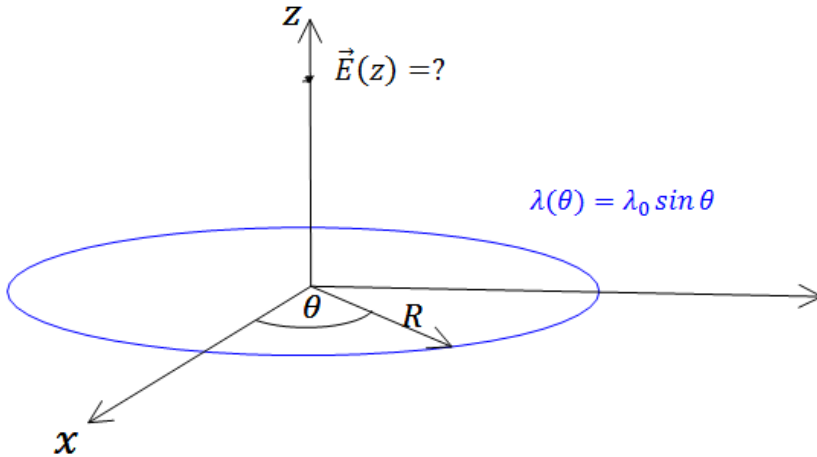
$$\lambda(\theta) = \lambda_0 \sin \theta$$

λ_0, R קבועים נתונים.

א. מהו סך המטען על הטבעת?

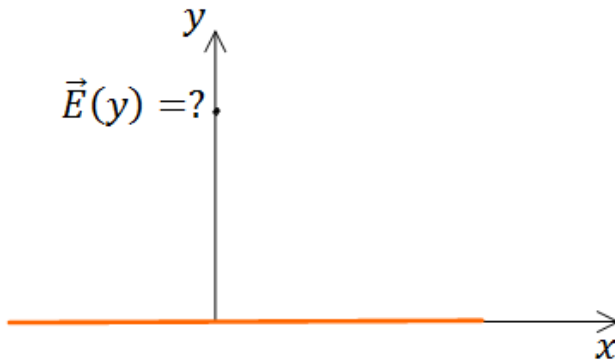
ב. מצא את השדה החשמלי בכל נקודה על ציר הסימטריה של הטבעת (גודל וכיוון).

ג. מצא מהו השדה החשמלי עבור $z \gg R$ איזה שדה מאפיין מתקבל? ומדוע? (סעיף זה קשור לנושא של דיפולים)



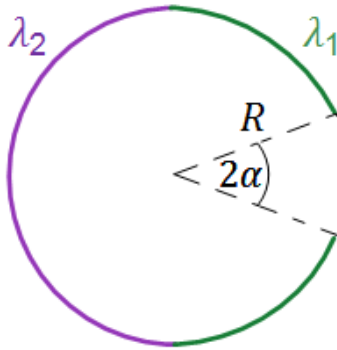
1-106 שדה של תיל סופי

תיל סופי באורך L טעון במטען כולל Q המפולג בצורה אחידה. חשב את השדה החשמלי לאורך ציר המאונך לתיל והעובר במרכזו.



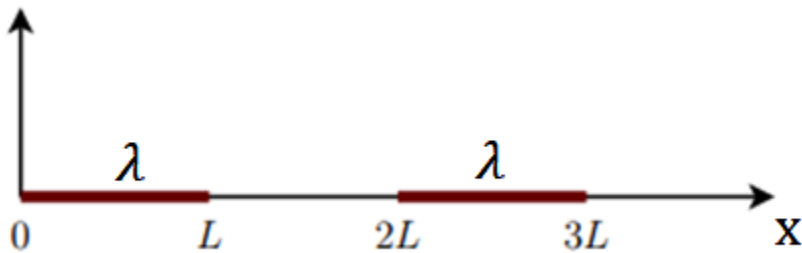
1-107 שדה של טבעת עם חלק חסר

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.



1-108 תרגיל מוט מפעיל כוח על מוט

שני מוטות בעלי אורך L טעונים בצפיפות מטען אחידה ליחידת אורך λ שני המוטות מונחים על ציר ה x כפי שנראה בציור. מצא את הכוחות שמפעילים המוטות אחד על השני.



חוק גאוס

הסברים בסיסיים

2-2 שדה של תיל אינסופי

נתון תיל אינסופי בעל צפיפות λ . מצא את השדה במרחב.

2-3 שדה של גליל אינסופי

נתון גליל אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת נפח ρ ורדיוס R . מצא את השדה במרחב.

2-4 שדה של לוח אינסופי

נתון משטח אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת שטח σ . מצא את השדה במרחב.

2-5 שדה של כדור עם צפיפות לא אחידה

נתון כדור בעל רדיוס R וצפיפות התלויה במרחק ממרכז הכדור r

$$\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R} \rho_0$$

קבוע ונתון. מצא את התפלגות השדה במרחב (בתוך ומחוץ לכדור)

2-6 לוח עם עובי

א. נתון מישור בעל שטח A ועובי d . המישור טעון בצפיפות מטען קבועה ליחידת

נפח ρ . מצא את השדה רחוק מאוד מהמישור.

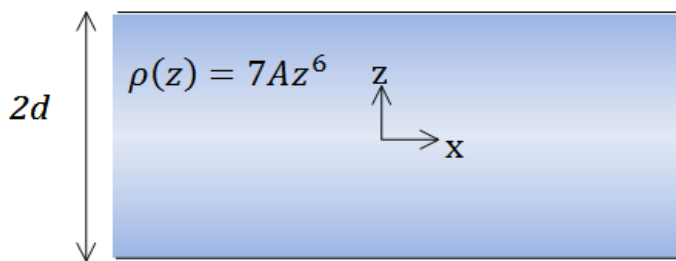
ב. מצא את השדה קרוב מאוד למישור ובתוכו (השתמש בקירובים).



2-7.1 תרגיל, מישור עבה עם צפיפות משתנה

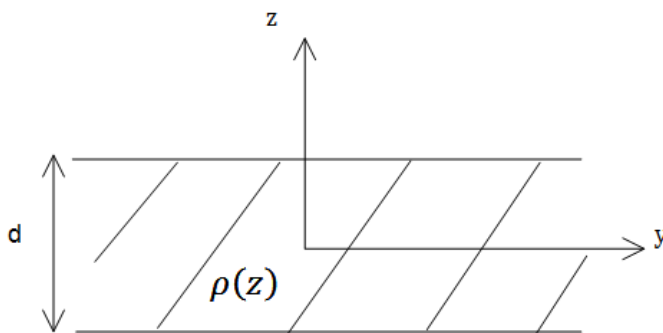
מישור אינסופי בעובי $2d$ טעון בצפיפות מטען משתנה $\rho(z) = 7Az^6$, כאשר A קבוע נתון. ציר ה- z אנך למישור וראשיתו במרכז המישור (המישור אינסופי ב- x , ראה ציור).

- מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.
- הראה שחוק גאוס הדיפרנציאלי מתקיים בכל המרחב.
- מצא את הרוטור של השדה החשמלי $\vec{V} \times \vec{E}$ בכל המרחב, והסבר את התוצאה.



2-110 מישור עבה עם צפיפות אנטי סימטרית

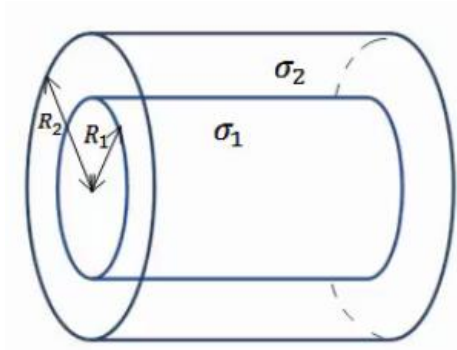
מישור אינסופי בעל עובי d טעון בצפיפות מטען כתלות במרחק ממרכז המישור $\rho(z) = Az$, קבוע נתון. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב שיוצר המטען במישור.



תרגול נוסף

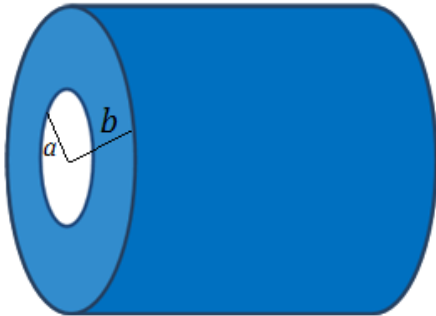
2-106 שתי קליפות גליליות חלולות

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.



2-107 קליפה גלילית עבה

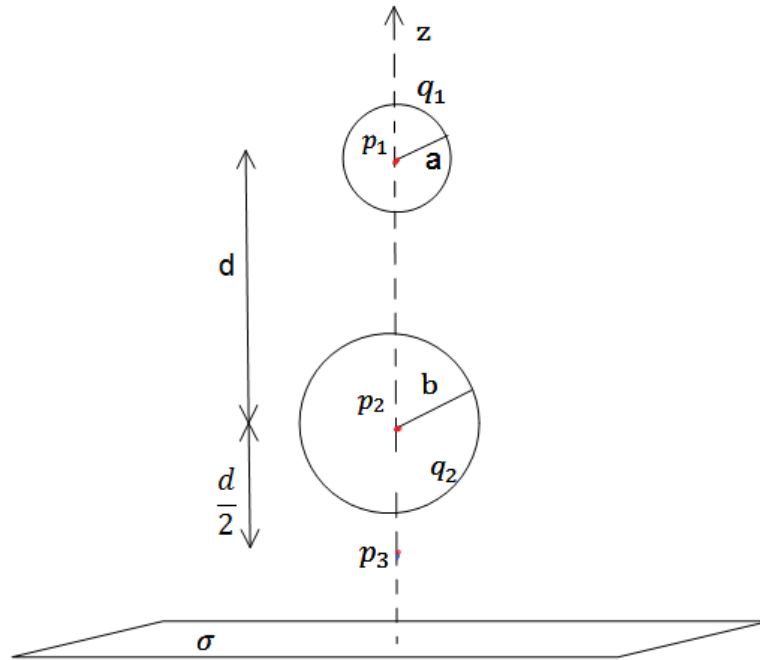
קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי a , רדיוס חיצוני b וגובה H טעונה בצפיפות מטען נפחית $\rho(r) = \frac{c}{r}$ כאשר c קבוע נתון ו r הוא המרחק מציר הסימטריה של הקליפה.
 א. מצא את המטען הכולל בקליפה.
 ב. מצא את השדה בכל המרחב אם $a, b \ll H$.



2-108 משטח ושתי קליפות כדוריות

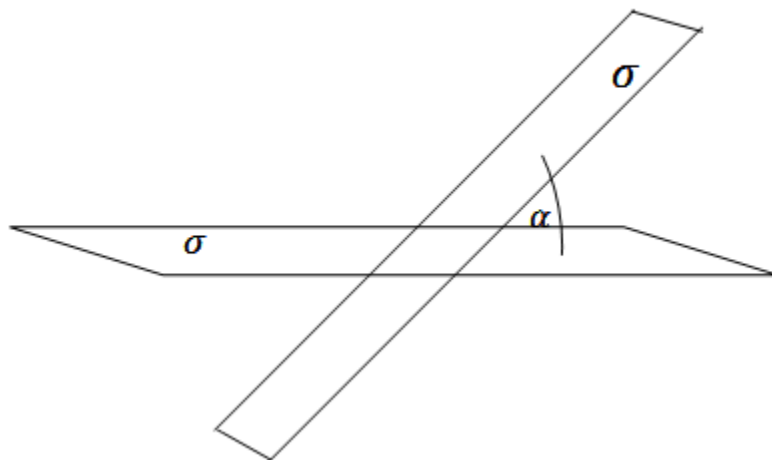
שתי קליפות כדוריות בעלות רדיוסים שונים $a < b$, נמצאות במרחק $d > 2b$ אחת מעל השנייה. הקליפות טעונות במטענים q_1, q_2 בהתאמה. במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחת לקליפה התחתונה (עם רדיוס b) מונח מישור אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח σ . מצא את השדה בנקודות הבאות.

- הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס a .
- הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס b .
- הנמצאת במרחק $\frac{d}{2}$ מתחת למרכז הקליפה התחתונה אך מעל המישור.



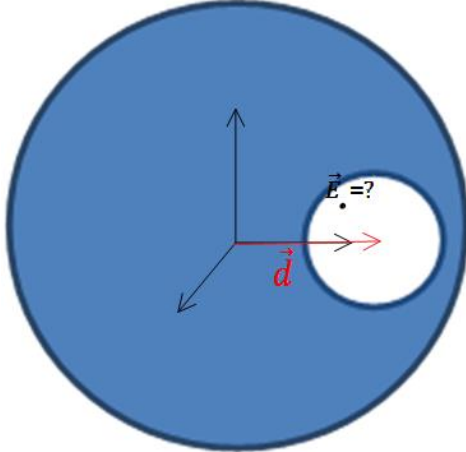
2-109 שני מישורים בזווית

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



2-103 כדור עם חור

בתוך כדור הטעון בצפיפות מטען אחידה ρ קיים חלל כדורי בעל רדיוס a . המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא d . מצא את השדה החשמלי בתוך החלל.

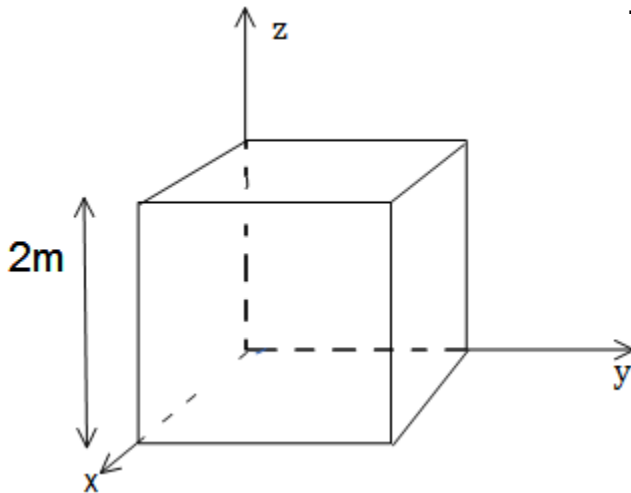


2-104 שטף דרך קובייה

נתון שדה במרחב

$$E = -6z\hat{z} + (2-3y)\hat{y}$$

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



2-102 מטען כלוא

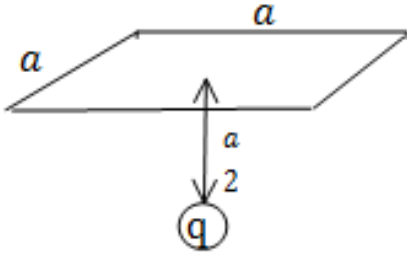
נתונה פונקציית השדה החשמלי במרחב

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

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

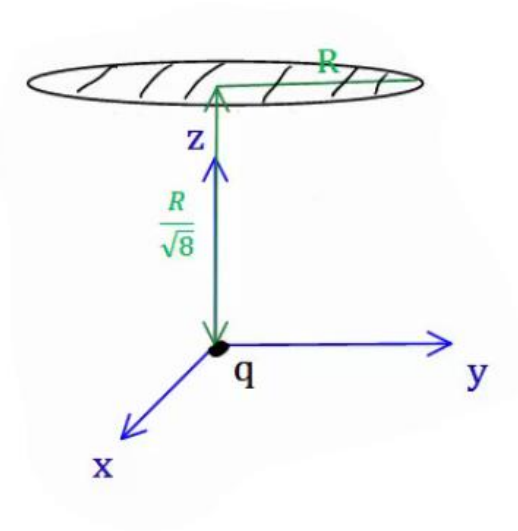
2-105 שטף דרך משטח ריבועי

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



2-100-1 שטף דרך מעגל

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



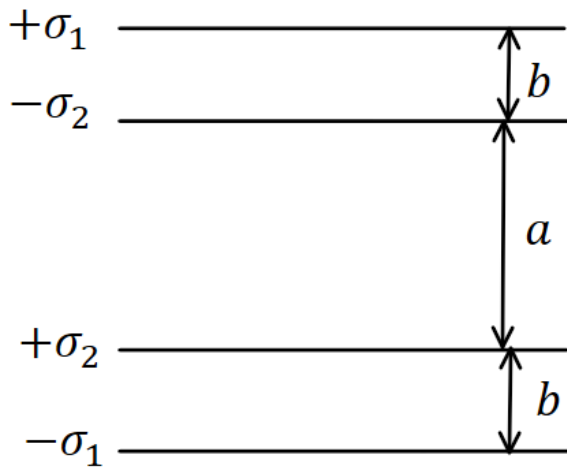
ארבעה לוחות

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.

א. מצא את השדה החשמלי בכל מקום במרחב (בין הלוחות ומעליהן, אין צורך להתייחס למה שקורה בצידי הלוחות).

ב. משחררים פרוטון ממנוחה מהלוח $-\sigma_2$. כמה אנרגיה קינטית "ירוויח" מן המערכת? (הנח שהפרוטון עובר דרך הלוחות ללא הפרעה)

ג. מצא את מהירות הפרוטון ביציאה מן המערכת.



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.

$$(q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c}, m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg})$$

- א. כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?
- ב. מהי מהירותו הזמן פגיעתו בלוח?
- ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון ברגע הפגיעה?

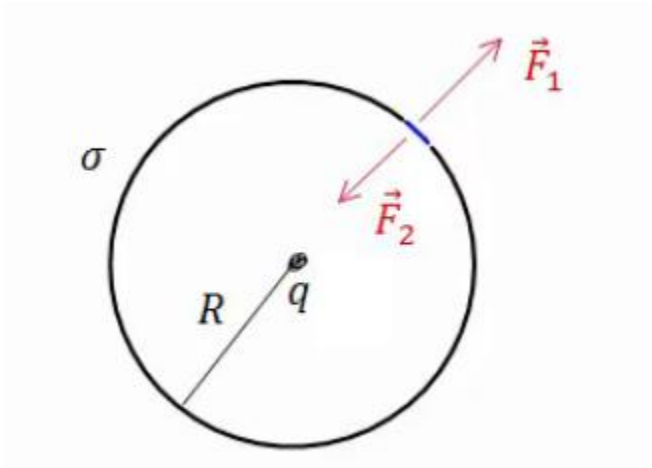
לחץ אלקטרוסטטי

תרגילים

3.1 תרגיל, מטען נקודתי במרכז קליפה

מטען נקודתי נמצא במרכזה של קליפה כדורית דקה טעונה וגמישה. צפיפות המטען המשטחית על הקליפה אחידה ושווה ל- σ . מצא תנאי על גודלו של המטען הנקודתי כך שהקליפה תישאר בצורתה ההתחלתית.

הדרכה: על כל חלק בקליפה מופעל לחץ כתוצאה מהכוח שמפעילים עליה כל המטענים האחרים.

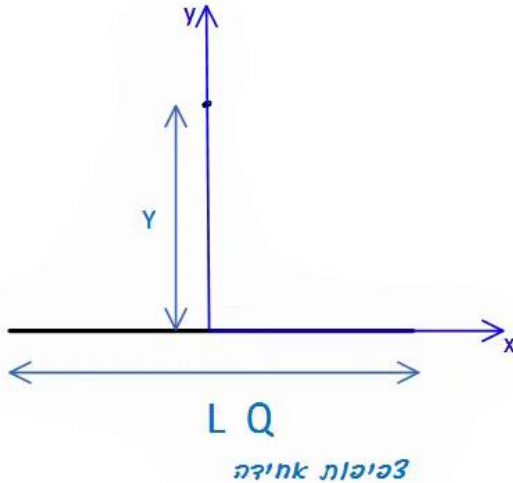


פוטנציאל

שיטה 1, סופרפוזיציה

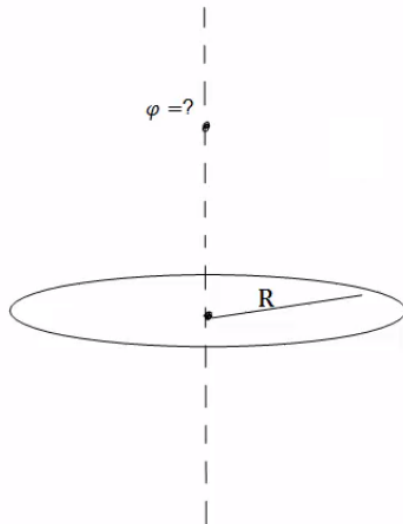
4-2-2-1 שיטה ראשונה, סופרפוזיציה.

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.



422212 פוטנציאל של טבעת לאורך ציר הסימטריה

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

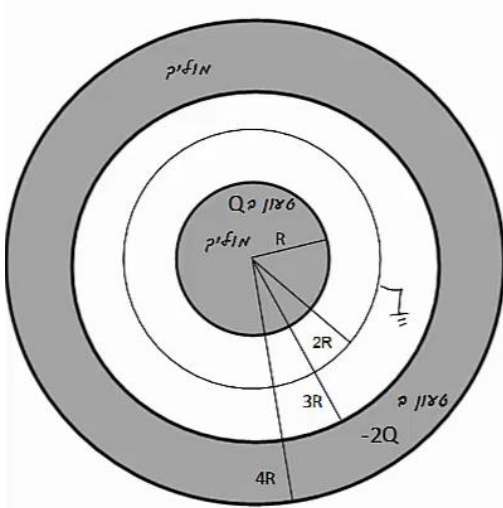


שיטה 2, שאלות חוק גאוס

4-2-2-2 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, R, Q נתונים.

- א. מהו הפוטנציאל בכל המרחב? ומהי התפלגות המטען בכל המרחב?
 ב. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של 5 קולון מהאינסוף למרחק של $1.5R$ מהמרכז



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.

42220 תרגיל, קליפות גליליות מוליכות

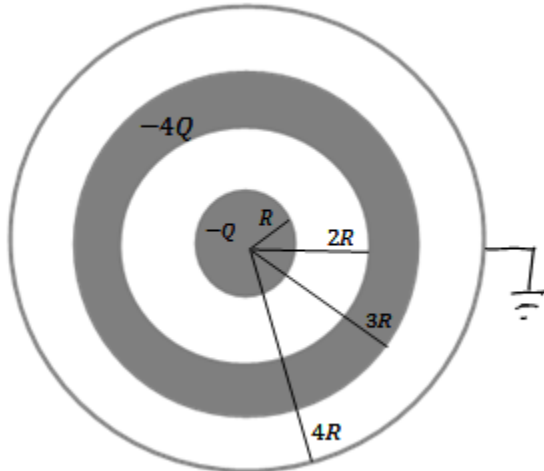
גליל מוליך בעל רדיוס R ואורך L טעון במטען $-Q$. סביב הגליל נמצאת קליפה גלילית עבה מוליכה, בעלת רדיוס פנימי $2R$ ורדיוס חיצוני $3R$. אורך הקליפה הוא L גם כן. הקליפה טעונה במטען כולל של $-4Q$. מסביב לקליפה העבה נמצאת קליפה דקה מוליכה ומוארקת ברדיוס $4R$ ואורך זהה. הנח כי $L \gg R$ ולקליפות ציר מרכזי משותף.

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 ?



4-2-2-21 תרגיל, שדה ופוטנציאל של כדור מלא

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

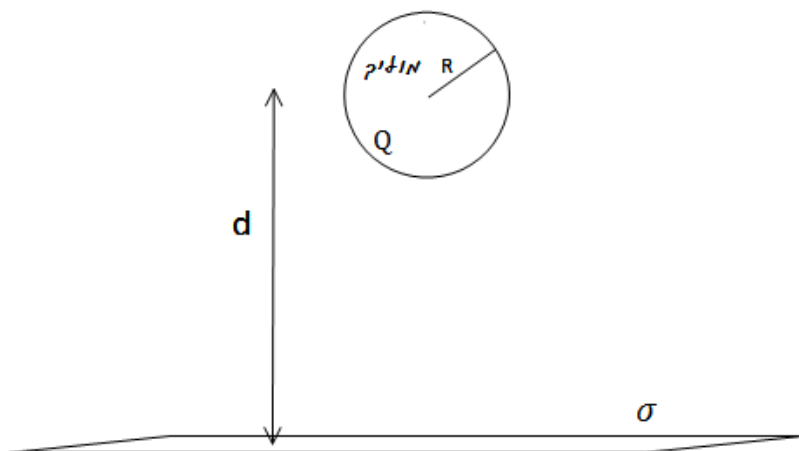
א. מצא את פונקציית השדה בכל המרחב.

ב. מצא את פונקציית הפוטנציאל בכל במרחב.

שיטה 3, חישוב מפורש

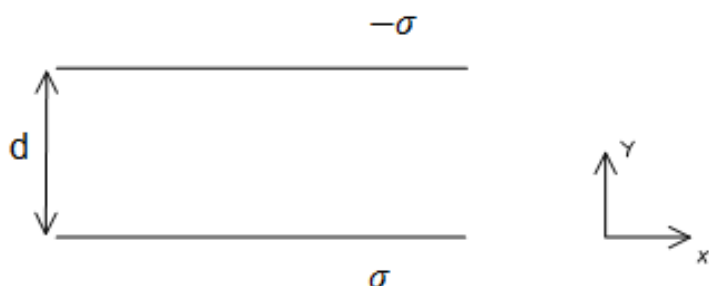
4-2-2-3 דרך שלישית, חישוב מפורש

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.



42232 תרגיל, 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.



תרגילים נוספים

יצירת היסוד קיריום

בשנת 1944 המדענים גלן סיבורג (חתן פרס נובל לכימיה), ראלף ג'יימס 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 $M = 6.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$).

1. 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)?
2. מה צריכה להיות האנרגיה של גרעין ההליום בשביל שהוא יוכל להגיע אל פני גרעין הפלוטוניום? תנו את התשובה גם ביחידות eV וגם ביחידות J.
3. מה צריכה להיות המהירות שלו רחוק מהגרעין ("באינסוף")?
4. באיזה מרחק ממרכז הגרעין המהירות שלו יורדת ל-80% מהמהירות בסעיף ג'?

דיפול

במרחב נמצאים שני מטענים:

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

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

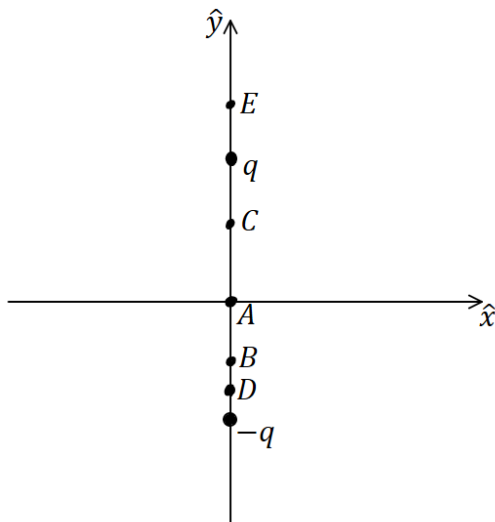
1. מה הפוטנציאל (יחסית לאינסוף) ומה השדה החשמלי בכל אחת מהנקודות הבאות:

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

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

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

4. ציירו את קווי השדה, ואת המשטחים שווי הפוטנציאל.



מטען q ומטען $3q$

במרחב נמצאים שני מטענים. מטען $3q$ בנקודה $(a, 0, 0)$ ומטען $-q$ בנקודה $(-a, 0, 0)$

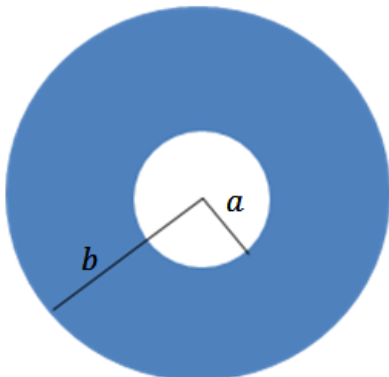
1. מה הפוטנציאל φ (יחסית לאינסוף) ומה השדה החשמלי בראשית הצירים.
2. מצאו על ציר x שתי נקודות בהן הפוטנציאל מתאפס.
3. מה השדה החשמלי בשתי הנקודות שמצאתם בסעיף ב'?
4. הראו שהמקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן הפוטנציאל יחסית לאינסוף מתאפס הוא כדור. מצאו את הרדיוס שלו ואת מרכזו (בשביל למצוא את הרדיוס והמרכז אפשר להיעזר בתוצאה של סעיף ב').
5. מצאו איפה השדה החשמלי מתאפס. מה הפוטנציאל שם?
6. ציירו גרף סכמתי של הפוטנציאל לאורך ציר x . ציינו את המיקומים של נקודות בהן הפוטנציאל ידוע ואת ערכו בהן.

100-4 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?

102-4 דיסקה עם חור

בדיסקה בעלת רדיוס b קדחו חור במרכזו ברדיוס a . הדיסקה טעונה בצפיפות מטען ליחידת שטח $\sigma(r) = \frac{D}{r^2}$, D קבוע לא נתון.



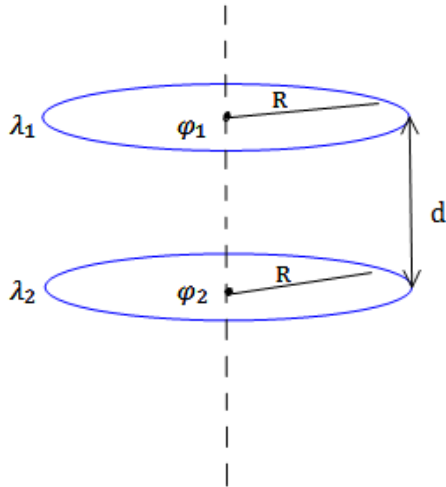
- א. מצא את היחידות של D .
- ב. מצא את D אם נתון גם המטען הכולל בדיסקה Q .
- ג. מצא את הפוטנציאל במרכז הדיסקה.
- ד. בדוק מה קורה בגבול של $a \rightarrow b$

לפתרון מלא בסרטון וידאו היכנסו ל- co.il

כתב ופתר - מני גבאי ©

4-103 טבעת מעל טבעת

שתי טבעות זהות בעלות רדיוס R מונחות האחת מעל ובמקביל לשניה כך שהמרחק בניהם הוא d . הטבעת העליונה טעונה בצפיפות מטען ליחידת אורך λ_1 ונתון כי הפוטנציאל במרכזה הוא φ_1 . הטבעת התחתונה טעונה בצפיפות מטען ליחידת אורך λ_2 ונתון כי הפוטנציאל במרכזה הוא φ_2 .



מצא את צפיפויות המטען של הטבעות

אם נתון כי הפוטנציאל באינסוף מתאפס.

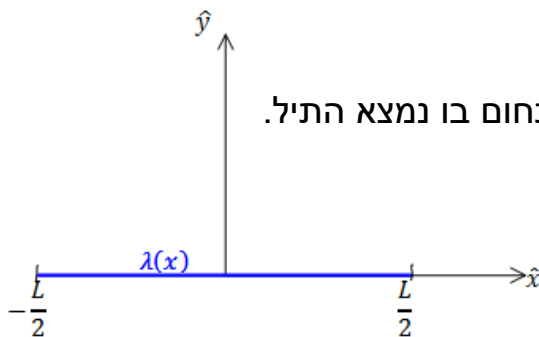
4-104 תיל עם צפיפות משתנה

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

$$\lambda(x) = \lambda_0 \frac{x}{L}$$

א. מצא את המטען הכולל בתיל.

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



105-4 כדור זז מחבר בין שני כדורים

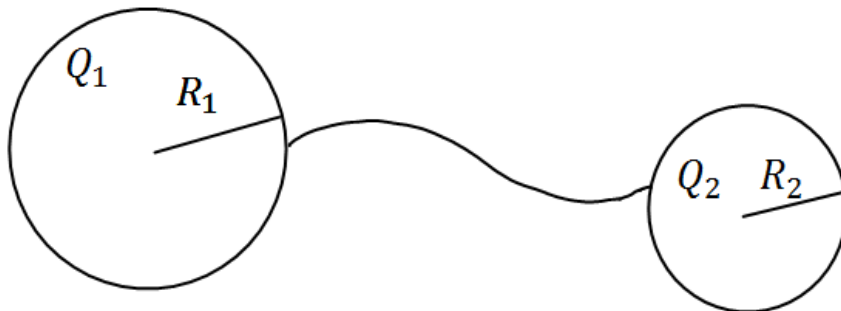
הכדורים 1 ו 2 בתמונה הם מוליכים המקובעים במקומם וטעונים במטען זהה. הנח שהכדורים מאוד מרוחקים זה מזה וידוע שהכוח הפועל עליהם הוא F . הכדור השלישי גם הוא זהה אך אינו טעון. מצמידים את הכדור השלישי לכדור הראשון וממתינים עד שהמערכת תתייצב. לאחר מכן מנתקים את הכדור השלישי ומצמידים אותו לכדור השני. שוב ממתינים עד שהמערכת תתייצב. לבסוף מרחיקים את הכדור השלישי לגמרי. מהו הכוח בין הכדורים 1 ו 2 לאחר כל התהליך?



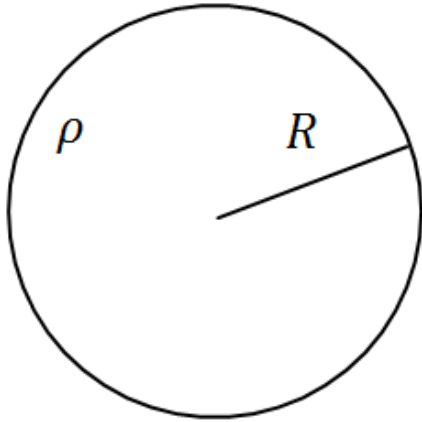
106-4 תרגיל- שני כדורים מוליכים מחוברים בחוט

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.

- מה יהיה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?
- כמה מטען זרם דרך החוט ולאיזה כיוון?



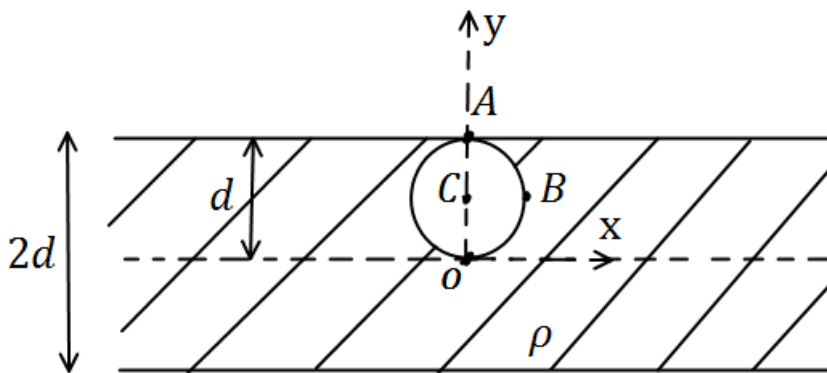
4-107 תרגיל-פוטנציאל של גליל מלא טעון בצפיפות אחידה
מצא את הפוטנציאל בכל במרחב של גליל אינסופי ברדיוס R וצפיפות מטען אחידה ונתונה ρ .



4-108 תרגיל-חור במישור

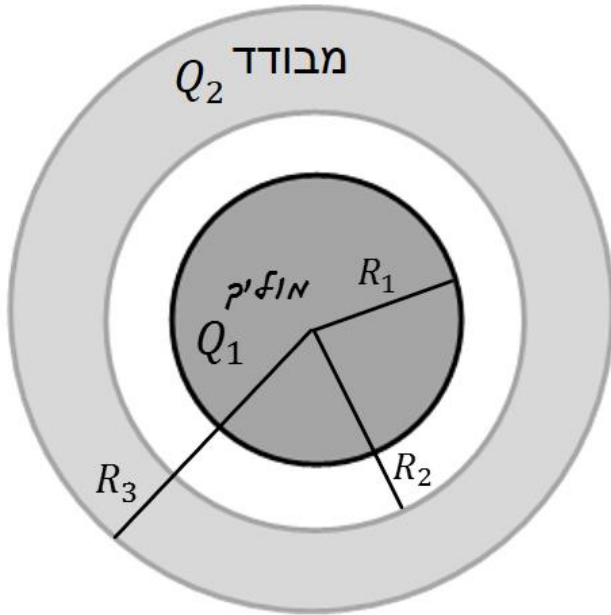
לוח אינסופי בעובי $2d$ טעון בצפיפות מטען אחידה וחיובית ליחידת נפח ρ . בתוך הלוח ישנו חלל כדורי בקוטר d .

- 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
 1. לאיזה כיוון יתחיל לנוע המטען אם מתעלמים מהשפעת כוח הכובד
 2. מהי מהירות המטען רגע לפני שהוא מגיע לדופן החלל.



כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת

כדור מוליך בעל רדיוס R_1 טעון במטען Q_1 . הכדור נמצא במרכזה 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



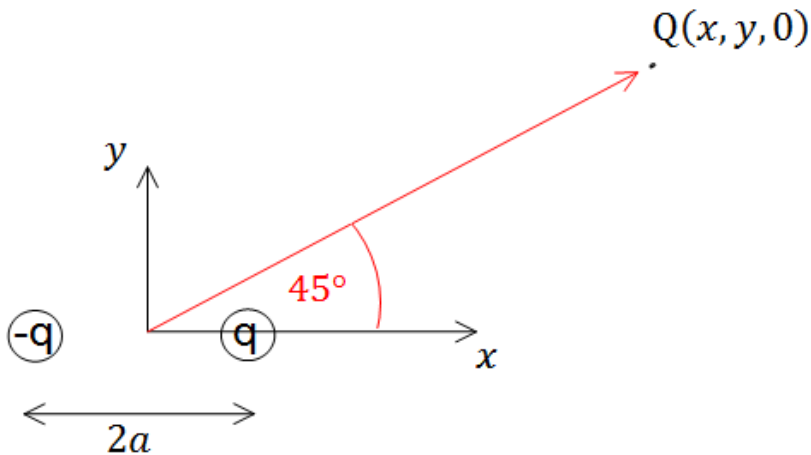
דיפול חשמלי

הכל על דיפול

8-3.0 תרגיל ופיתוח הנוסחה של דיפול מהשדה

שני מטענים בעלי מטען q ו $-q$ ממוקמים ב $x = a$ 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 היא 45° מעלות. 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'.



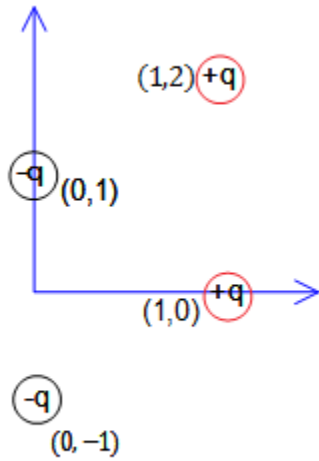
8-3 תרגיל, דיפול בראשית מזיז אלקטרון

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.

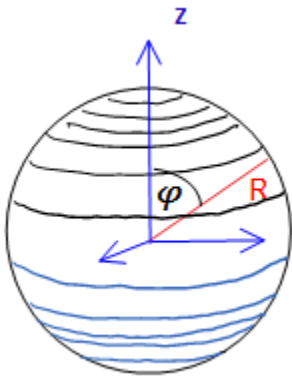
8-4 מציאת מומנט דיפול של מערכת

מצא את מומנט הדיפול החשמלי של התפלגות המטענים המתוארת בציר



8-4 מציאת מומנט דיפול של מערכת (באותו הסרטון כמו השאלה הקודמת)

מצא את מומנט הדיפול של קליפה כדורית הטעונה בצפיפות מטען משחית לא אחידה $\sigma = \sigma_0 \cos \varphi$ כאשר σ_0 קבוע נתון ו φ היא הזווית עם ציר ה-z



מציאת התפלגות מטען

מציאת התפלגות מטען

7-1 מציאת צפיפות נפחית משטחית קווית ונקודתית

נתונה פונקציית הפוטנציאל הבאה במרחב (בקואורדינטות גליליות) , A,B,C,D .

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

פוטנציאל

- א. מצא קשר בין הקבועים.
- ב. מצא את התפלגות המטען במרחבכעת נתון כי עוטפים את כל המערכת בגליל אינסופי מוליך מוארק ברדיוס $c > b$
- ג. מצא את פונקציית הפוטנציאל החדשה בכל המרחב

7-101 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.

אנרגיה הדרושה לבניית מערכת

הרצאה

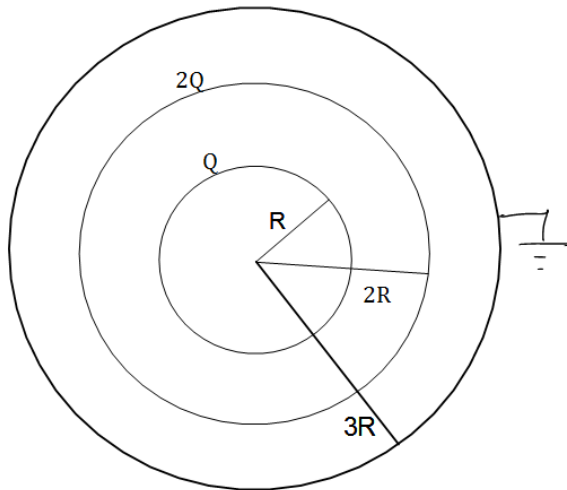
5-1 הסבר נוסחאות ודוגמה

מצא את האנרגיה הדרושה לבניית קליפה כדורית בעלת רדיוס R וצפיפות מטען משטחית σ .

תרגילים

5-2 תרגיל, אנרגיה של מערכת שלוש קליפות

קליפה כדורית ברדיוס R טעונה במטען Q המפלג בצורה אחידה. הקליפה מוקפת קליפה נוספת ברדיוס $2R$ הטעונה במטען $2Q$. שתי הקליפות מוקפות בקליפה שלישית מוליכה ומארקת ברדיוס $3R$. מצא את האנרגיה הדרושה לבניית המערכת.

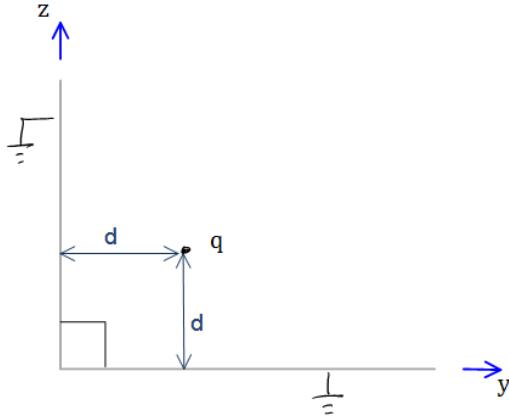


מטעני דמות

הרצאות ותרגילים

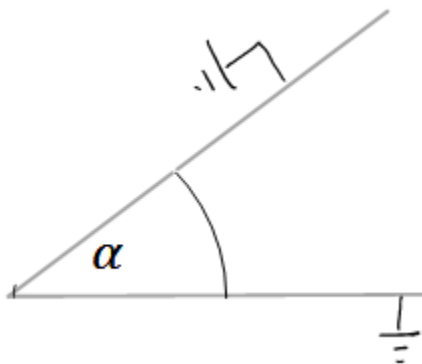
6-2 לוחות בזווית 90 מעלות

נתונים שני מישורים מוארכים המחוברים בזווית ישרה. במרחק d משני המישורים ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט. מצא את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.



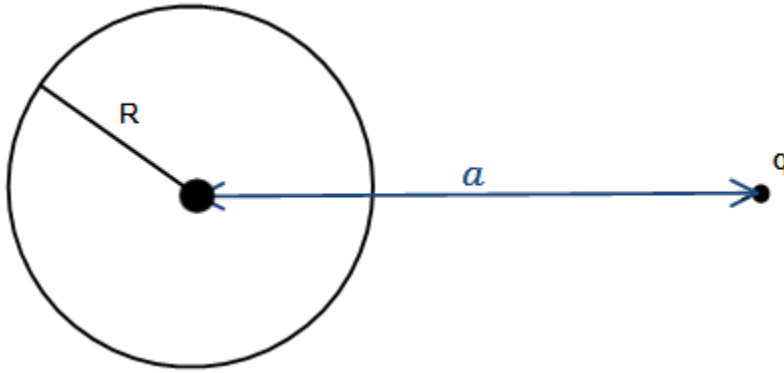
6-3 לוחות בזווית אלפה

נתונים שני מישורים מוארכים המחוברים בזווית α . במרחק d משני המישורים ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט. מצא את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.



6-4 ספירה

נתונה ספירה (קליפה כדורית) מוארקת ברדיוס R . במרחק $a > R$ ממרכזה ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט. מצא את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.

**6-6 מציאת התפלגות המטען על שפת המוליך**

נתון מישור אינסופי מוארק. במרחק z מעל המישור נמצא חלקיק בעל מטען q . מצא את התפלגות המטען σ על שפת המישור.

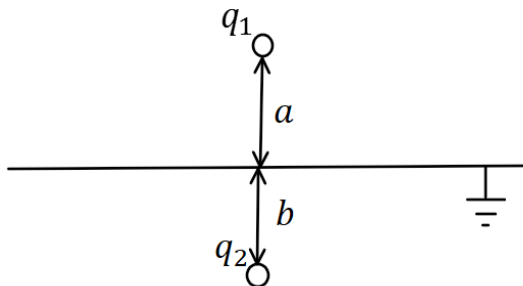
כוח ואנרגיה במטעני דמות

נתון מישור אינסופי מוארק ובמרחק z מעליו נמצא חלקיק בעל מטען q . מהו הכוח שמרגיש החלקיק?

מטענים משני צידי מישור מוארק

מטען q_1 נמצא במרחק a מעל מישור אינסופי מוארק. מטען q_2 נמצא במרחק b מתחת למישור.

א. מצא את השדה והפוטנציאל בכל המרחב.
ב. מהי התפלגות המטען על המישור ומהו המטען הכולל על המישור?

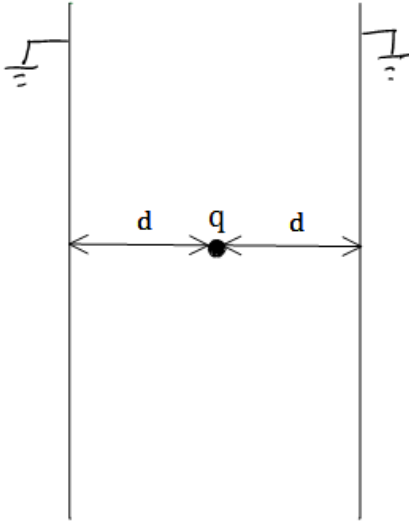


מטען בין שני לוחות אינסופיים

נתונים שני לוחות אינסופיים מוארקים במרחק $2d$ זה מזה. בדיוק באמצע ביניהם ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט.

א. מצא את פונקציית הפוטנציאל במרחב.

ב. מצא את העבודה הדרושה לבניית המערכת



6-101 דיפול מעל מישור

דיפול מונח במרחק z_0 מלוח אינסופי מוארק. מומנט הדיפול הוא $\vec{p} = (0,0,p)$

א. מצא את השדה בכל המרחב.

ב. מצא את צפיפות המטען על המישור.

ג. מצא את סך המטען על המישור.

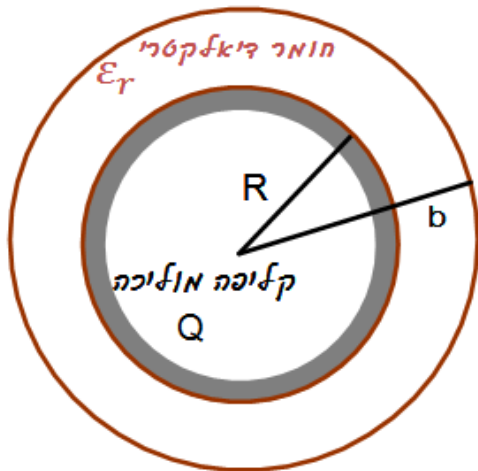


חומרים דיאלקטריים

הרצאות ותרגילים בסיסיים

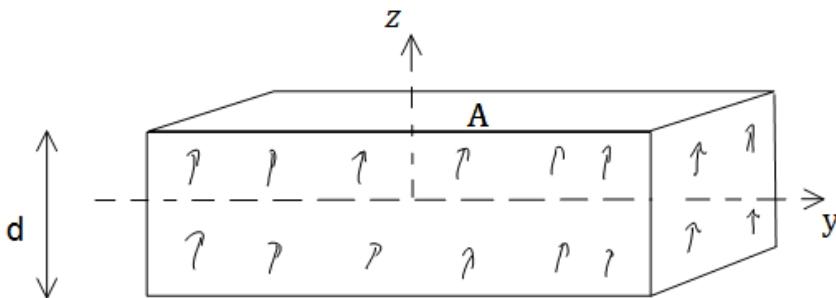
9-2 תרגיל, חומר דיאלקטרי מסביב לקליפה מוליכה

קליפה מוליכה (דקה) ברדיוס R טעונה במטען Q . מסביב לקליפה נמצאת קליפה נוספת עבה עם רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני b . מצא את השדה בכל המרחב ואת התפלגות המטען המושרית (קשורה).



9-5a דוגמה: תיבה מקוטבת

תיבה בעלת שטח A ועובי d מקוטבת עם צפיפות קיטוב נתונה: $\vec{P} = P_0 \frac{z}{d} \hat{z}$ כאשר ראשית הצירים במרכז התיבה.
 (א) מצא את צפיפות המטען הקשורה (משטחית נפחית) בתיבה.
 (ב) מצא את סך המטען הקשור בתיבה.



9-8 תרגיל, כדור מקוטב רדיאלית

כדור ברדיוס R מקוטב לפי: $\vec{P} = A \vec{r}$ כאשר A קבוע ו \vec{r} הוא וקטור ממרכז הכדור.
 א. מצא את צפיפות המטען הקשורה (משטחית ונפחית).
 ב. מצא את השדה מחוץ ובתוך הכדור.

9-10 גליל מקוטב באופן אחיד

גליל מקוטב באופן אחיד ובמקביל לציר הסימטריה. רדיוס הגליל הוא R ואורכו L . חשב את התפלגות המטען הקשור וצייר את קווי השדה במקרים הבאים.

א. $R \ll L$

ב. $L \ll R$

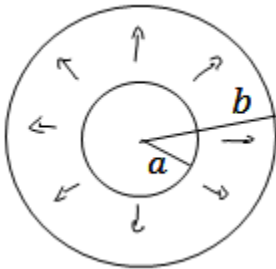
ג. $R \approx L$

9-7 שדה של כדור עם צפיפות קיטוב אחידה

חשב את השדה של כדור מלא עם צפיפות קיטוב אחידה. הדרכה: חשב את צפיפות המטען הקשור. ניתן לתאר צפיפות מטען כזו באמצעות שני כדורים הטעונים בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח הנמצאים במרחק קטן אחד מהשני. מצא מה צריכה להיות הצפיפות של כל כדור (תלויה גם במרחק הקטן) ולאחר מכן חשב את השדה בכל המרחב כסופרפוזיציה של השדות של שני הכדורים.

9-22 קליפה כדורית דיאלקטרית

קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b עשויה מחומר דיאלקטרי בעל צפיפות קיטוב נתונה $\vec{P}(\vec{r}) = \frac{A}{r} \hat{r}$ כאשר A קבוע ו r הוא המרחק ממרכז הקליפה. מצא את השדה בכל המרחב פעם בעזרת צפיפות המטען המושרה ופעם באמצעות השימוש בשדה ההעתקה.

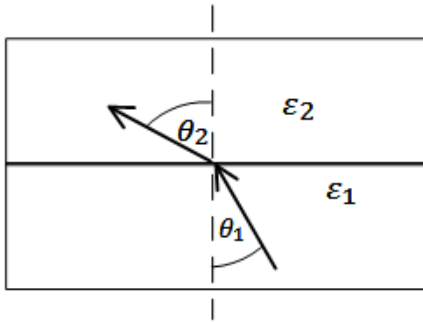


9-25 תרגיל, חוק סנל

קרן אור מורכבת משדה חשמלי ושדה מגנטי המתקדמים במרחב, הראה כי אם קרן האור עוברת מחומר דיאלקטרי בעל מקדם ϵ_1 לחומר בעל מקדם דיאלקטרי ϵ_2 אז מתקיים חוק סנל. (התעלם מהשדה המגנטי)
חוק סנל:

$$\tan \theta_1 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \tan \theta_2$$

כאשר θ_1 היא זווית הפגיעה של הקרן עם האנך ו θ_2 היא זווית השבירה עם האנך בחומר.

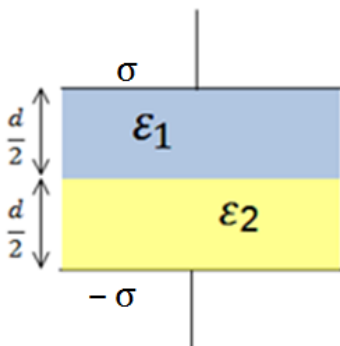


9-101 תרגיל- חומר דיאלקטרי מפוצל בין שני לוחות

שני לוחות אינסופיים נמצאים במרחק d ביניהם, הלוח העליון טעון σ והלוח התחתון טעון $-\sigma$. בין הלוחות ישנם שני סוגים של חומרים דיאלקטריים ליניאריים כפי שנראה בציור.

נתון המקדם הדיאלקטרי של כל חומר ϵ_1 ו ϵ_2

- מצאו את וקטור העתקה D בכל אחד מהחומרים.
- מצאו את השדה החשמלי בכל מקום בין הלוחות.
- מצאו את הפולריזציה P בכל אחד מהחומרים.
- מצאו את הפרש הפוטנציאל בין הלוחות.
- מצאו את גודל ומיקום המטען הקשור בחומרים הדיאלקטריים.
- מצאו שוב את השדה בכל המרחב ע"י שימוש במטענים הקשורים והחופשיים.



9-102 תרגיל-כדור דיאלקטרי טעון

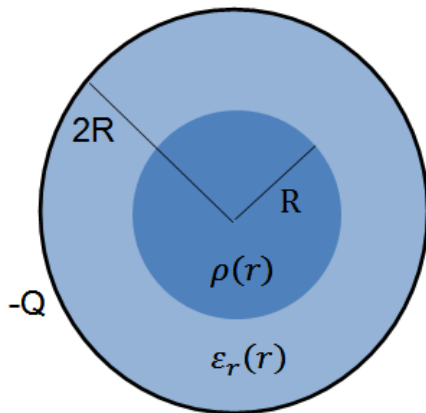
כדור ברדיוס R מורכב מחומר דיאלקטרי ליניארי בעל קבוע דיאלקטרי אחיד ϵ_r . בתוך החומר הדיאלקטרי ישנה צפיפות של מטען חופשי (בנוסף לחומר הדיאלקטרי עצמו) מפוזרת באופן אחיד ושווה ל ρ מצאו את השדה בכל המרחק. (רמז – מצאו קודם כל את D).

תרגול נוסף

9-27 כדור מבודד וקליפה מוליכה

כדור מבודד ברדיוס R טעון בצפיפות מטען משתנה השווה ל $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$. מסביב לכדור ישנה קליפה מבודדת עבה בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני $2R$. הקליפה עשויה מחומר דיאלקטרי עם מקדם דיאלקטרי משתנה $\epsilon_r(r) = 1 + \frac{r}{R}$. מסביב לקליפה הדיאלקטרית ישנה קליפה מוליכה דקה ברדיוס $2R$ הטעונה במטען כולל $-Q$.

- מצא את וקטור ההעתקה \vec{D} בין בכל המרחב.
- מצא את השדה החשמלי \vec{E} בכל המרחב.
- מהי צפיפות המטען המושרה (או קשור) בתוך החומר הדיאלקטרי (משטחית ונפחית).
- מצא באמצעות סכימה מפורשת על צפיפות המטען המושרה, את סך המטען המושרה.



נגדים במעגל-מעגלים עם זרם ישר

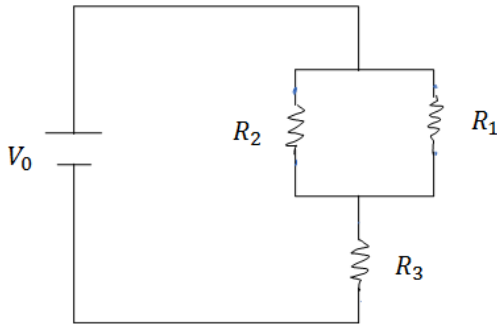
זרם, חוק אוהם וחיבור נגדים

11-0-3 תרגיל 1, שנים במקביל אחד בטור

במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור.

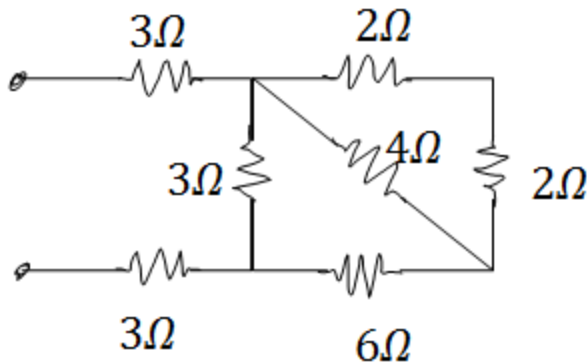
$$R_1 = 2\Omega, R_2 = 3\Omega, R_3 = 5\Omega, V_0 = 31V$$

- א. מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל.
 ב. מצא את הזרם העובר בסוללה. חשב את הזרם והמתח על כל אחד מהנגדים.



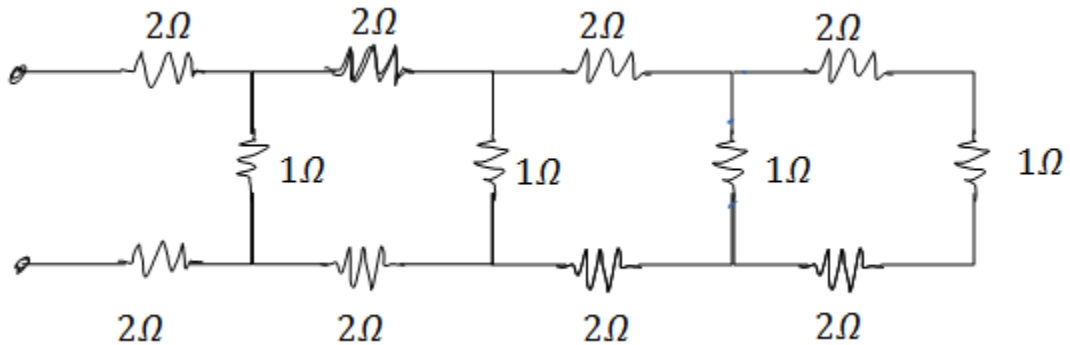
11-0-4 תרגיל 2 מרובע עם אלכסון

חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני ההדקים



11-0-4 תרגיל 4 חוליות

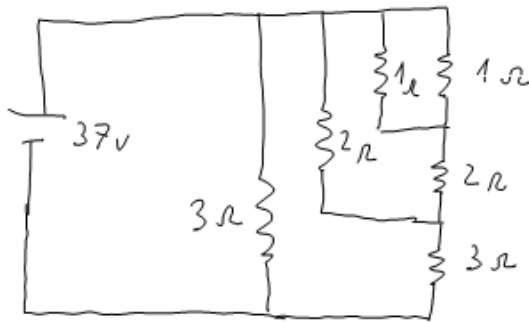
מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים



11-0-5 שלושה נגדים

נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R . מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים. מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

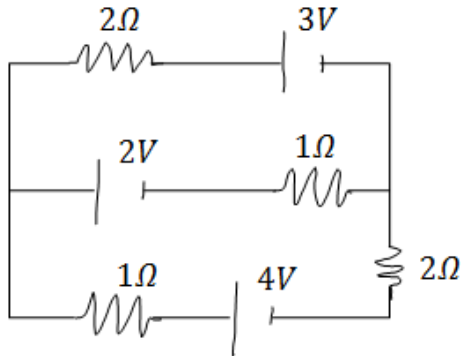
שניים של 1 שניים של 2 ו שניים של 4 11-0-6
חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא.



חוקי קירכהוף

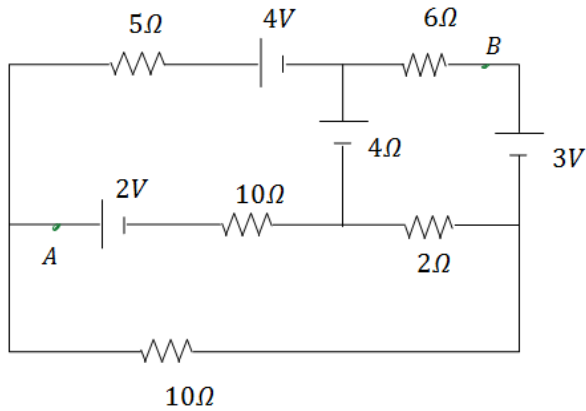
11-01 חוקי קירכהוף

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



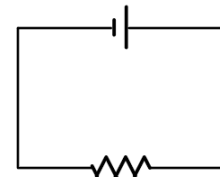
11-01-1 תרגיל, חוגים

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



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?
 סוללה לא אידיאלית



10Ω

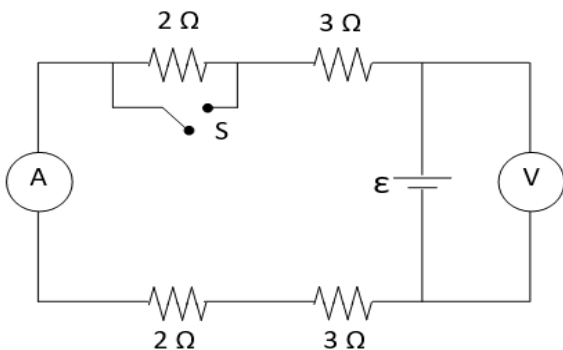
דוגמה 2

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 והתנגדות הפנימית של הסוללה.
 ב. מצא את מתח ההדקים של הסוללה בכל אחד מהחיבורים.

תרגיל – סוללה לא אידיאלית

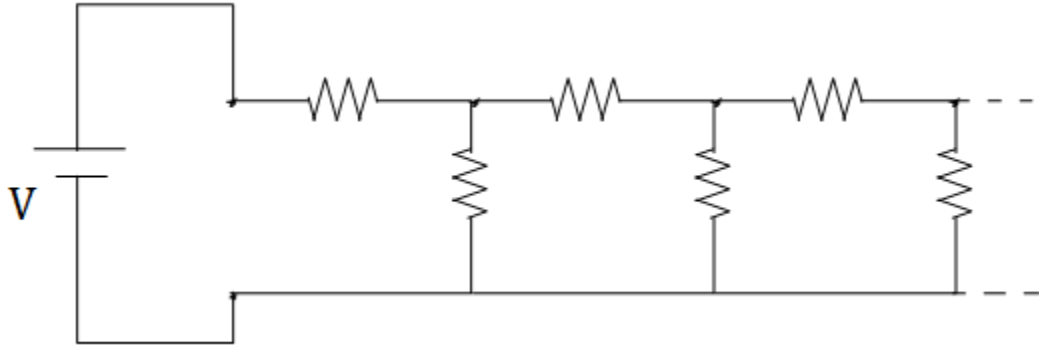
- המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאליים, סוללה (לא אידיאלית) ומפסק. קריאת האמפרמטר נרשמה פעמיים, כאשר המפסק פתוח וכאשר המפסק סגור. אחת הקריאות הייתה 1.5A והאחרת הייתה 1.8A.
 א. האם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק/י!
 ב. מה הוראת מד המתח בשני מצבי המפסק? פרטי/י חישוביך!
 ג. חשבי/ 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!



מעגלים אינסופיים

11.0-7 חישוב התנגדות של טור אינסופי

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

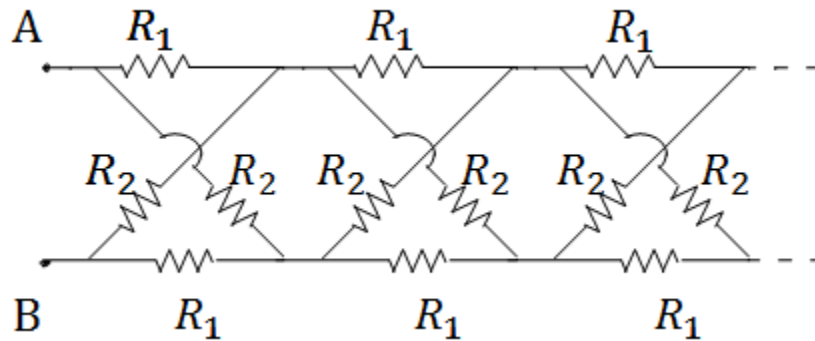


11.0-7.1 מתח זרם בטור אינסופי

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

11.0-102 טור אינסופי של נגדים בהצלבה

חשב את ההתנגדות הכוללת במעגל האינסופי הבא (ההתנגדות בין A ל B). מצא את הזרם בכל נגד במקרה בו $R_1 = R_2$.

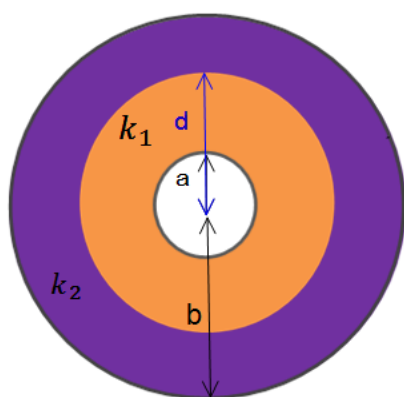


קבלים

הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול

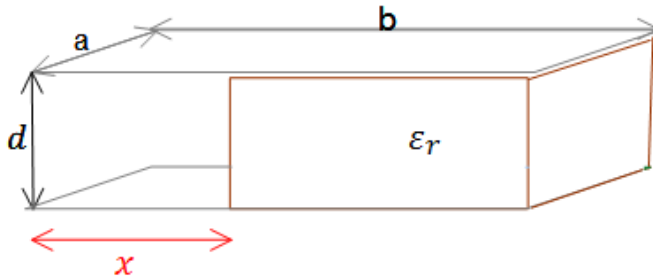
10-3 תרגיל, קבל גילי

- קבל גילי 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).



10-4 דרך שניה לחשוב 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 .



$$d \ll a, b$$

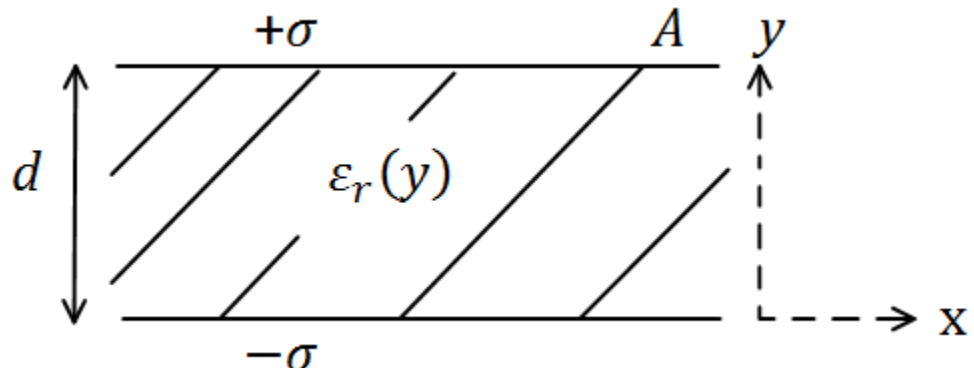
- מצא את הקיבול של הקבל כתלות ב x .
- מחברים את הקבל למקור מתח v , מה תהיה התפלגות המטען החופשי על הלוחות? ומהי צפיפות המטען המושרה בחומר?
- טוענים את הקבל לפני כניסת החומר הדיאלקטרי, מהי האנרגיה כתלות ב x אם נתון שמכניסים את החומר הדיאלקטרי במהירות קבועה. (מופיע בסרטון 10-8 אנרגיה של קבל)
- כעת משאירים את הקבל מחובר למקור מתח v נתון בזמן הכנסת החומר הדיאלקטרי. מצא שוב את האנרגיה כפונקציה של x של הקבל.
- מהו הכוח החיצוני הפועל על הקבל על מנת שיכנס במהירות קבועה? (מופיע בסרטון 10-9 כוח על חומר דיאלקטרי)
- מצא את ההספק של הכוח.

10-113 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

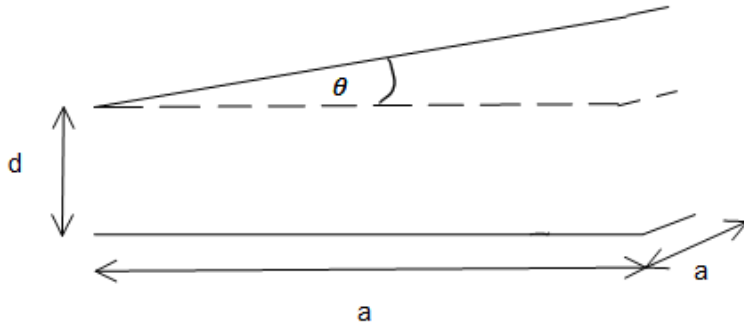
$$\epsilon_r(y) = 1 + \left(\frac{y}{d}\right)^2$$

כאשר הלוח התחתון נמצא ב $y=0$. מצא את הקיבול של הקבל.



10-5 תרגיל, 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.



מעגלי RC פריקה וטעינה

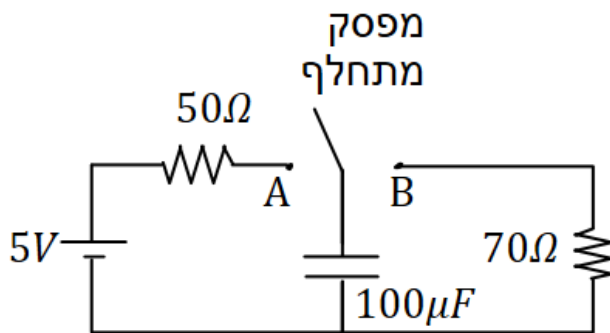
11.0-103 תרגיל- מתג מתחלף

במעגל הבא מחברים את המפסק המתחלף לנקודה A ומחכים זמן רב.

א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן מהו "זמן רב"?

לאחר מכן מעבירים את המפסק לנקודה B.

ב. רשום שוב את המתח על הקבל כתלות בזמן?

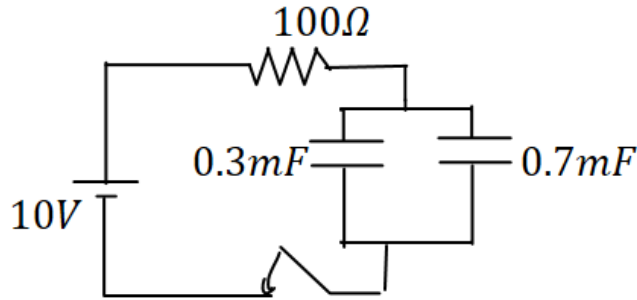


11.0-104 תרגיל- טעינה של שני קבלים

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב $t=0$

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

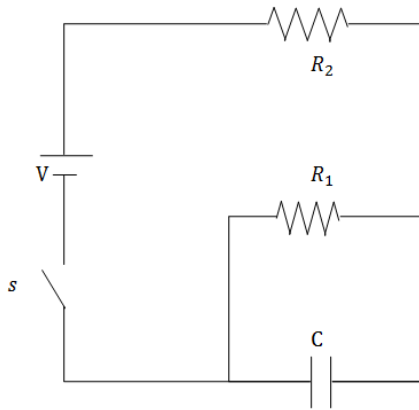
ב. מצא את המתח והמטען בכל קבל בזמנים $t=0.2, 0.8$ sec



11.0-105 תרגיל- מטען על קבל במקביל לפי זמן

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



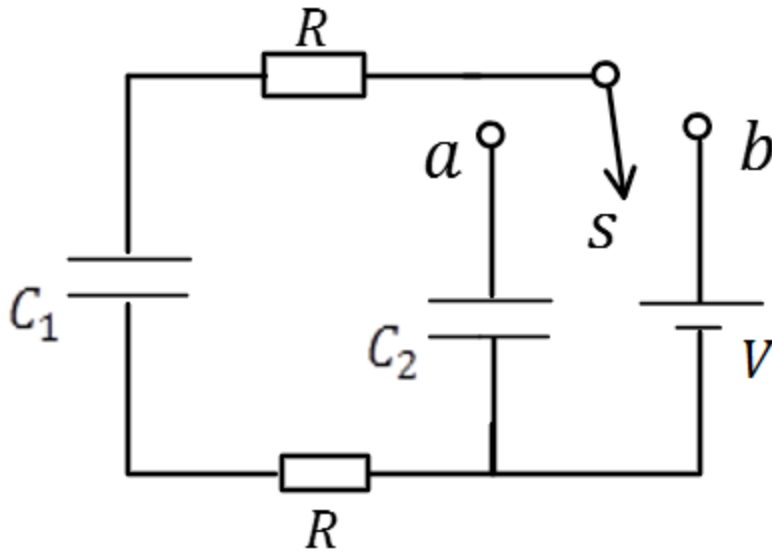
תרגיל-פריקה בין שני קבלים

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.

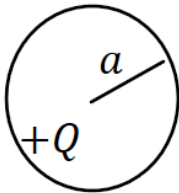
ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?



קיבול של שני כדורים

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

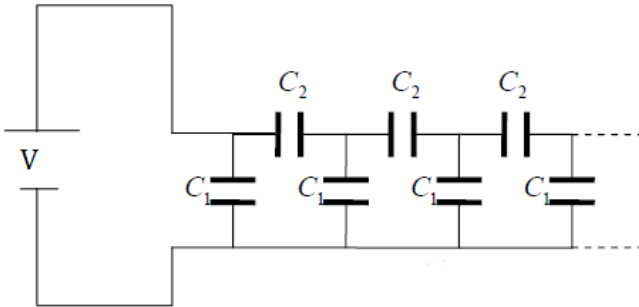
1. חשב את האנרגיה האלקטרוסטטית הכוללת של המערכת.
2. חשב את הקיבול של המערכת דרך התוצאה שקיבלת עבור האנרגיה.
3. אם מחברים את הכדורים בחוט ארוך מאוד עם התנגדות כוללת R , מה זמן הפריקה האופייני של המערכת.



טור אינסופי של קבלים

10-12 תרגיל 1 והסבר

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



10-12-2 טור אינסופי של קבלים זהים

במערכת הבאה הקיבול של כל הקבלים זהה ונתון.

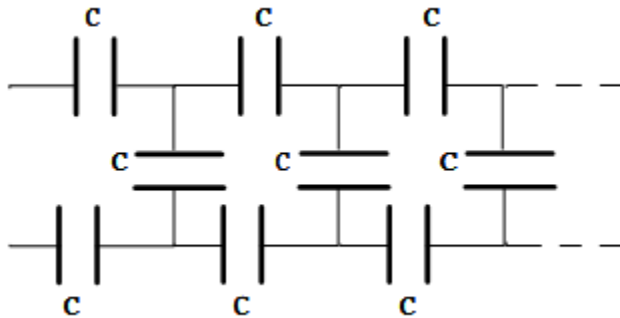
א. מצא את קיבול כל הטור.

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 מכאן השתמש במתח

הנתון למציאת Q_1



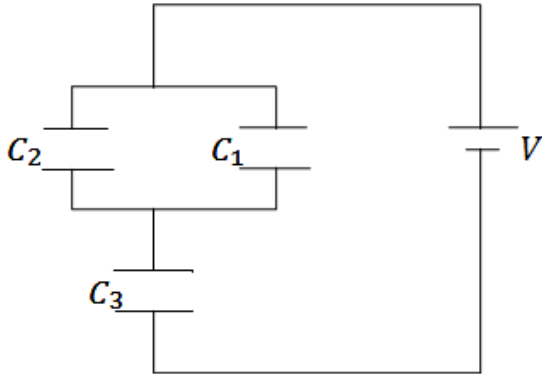
תרגילים נוספים

10-106 שלושה קבלים

במעגל הבא נתון מתח הסוללה $V=3V$ והקיבול של כל קבל

$$C_1 = 2\mu F, C_2 = 3\mu F, C_3 = 5\mu F$$

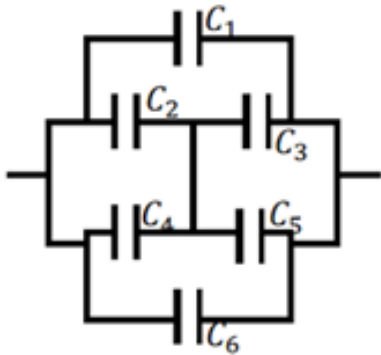
מצא את המטען על כל קבל.



10-100-1 חיבור קונפיגורצית קבלים

נתונה מערכת קבלים המחוברים על פי השרטוט.

מצא את הקיבול השקול של המערכת.



10-100-2 קבלים עם מפסק

במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע ונתון V_0

הקצה התחתון מוארק.

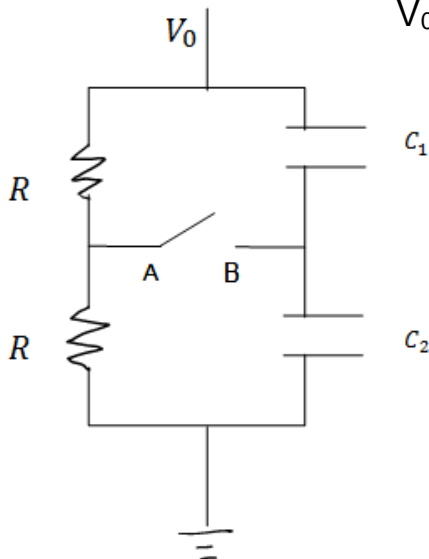
נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזזה של הנגדים.

א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין

הנקודה A לנקודה B.

ב. סוגרים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק

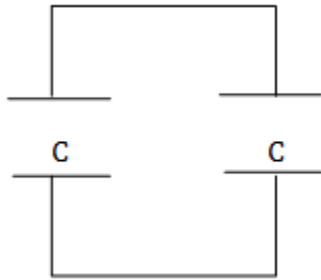
עד שהמערכת התייצבה?



לפתרון מלא בסרטון וידאו היכנסו ל- www.gool.co.il

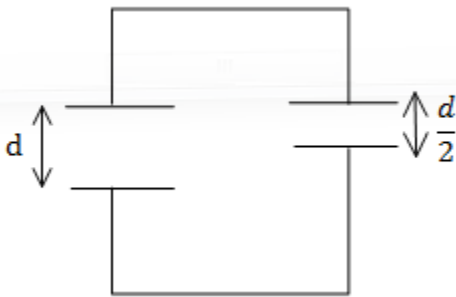
10-100-3 שני קבלים טעונים מחוברים אחד לשני

טעונים בנפרד שני קבלי לוחות זהים ע"י מקור מתח V_0 . לאחר הטעינה מנתקים את הקבלים ומחברים אותם אחד לשני, הדק חיובי לחיובי ושליילי לשליילי.



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?

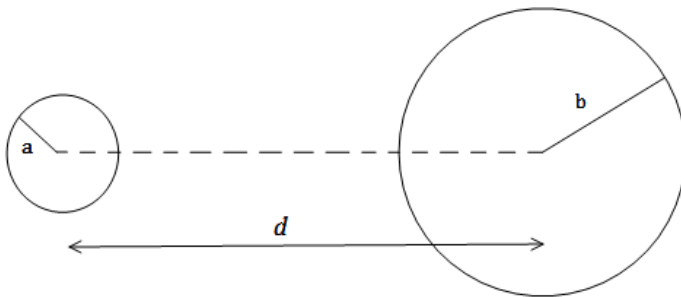
10-100-8 שני כדורים מרוחקים

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.

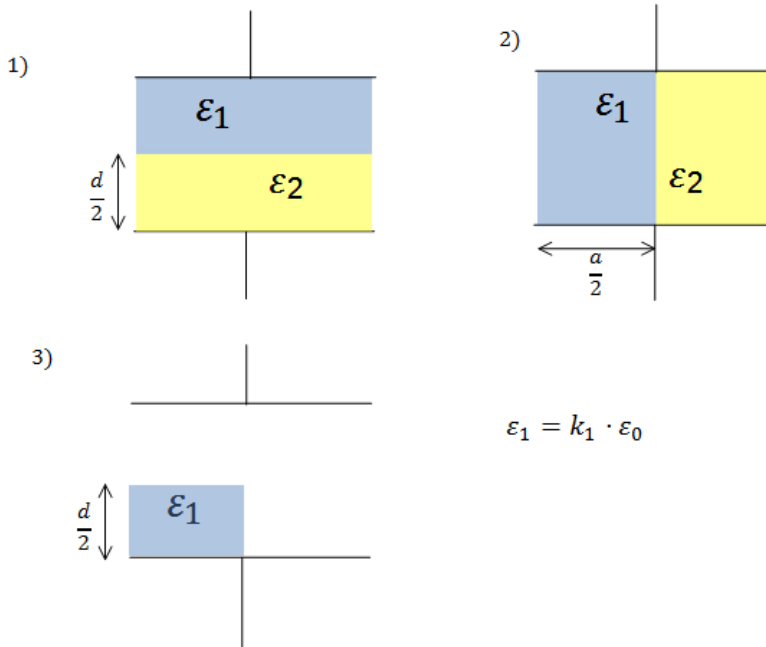
ג. הראה כי קיבול המערכת הוא: $C \approx \frac{4\pi\epsilon_0}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{2}{d}}$



10-100-5 חומרים דיאלקטרים בתוך קבל

נתון קבל לוחות ריבועיים בעל צלע a ומרחק בין הלוחות d . אל הקבל מכניסים חומרים דיאלקטרים שונים עם מקדמים נתונים. החומרים מוכנסים בשלוש צורות שונות כפי שמוצג בציור (במצב השלישי מוכנס רק חומר אחד, החומרים ממלאים את כל הצלע שנכנסת ללוח)

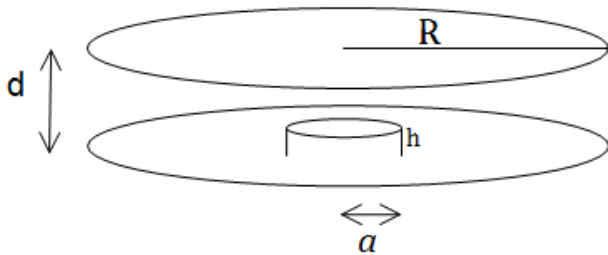
- מצא עבור כל מצב את הקיבול של הקבל.
- מחברים את הקבל למקור מתח V נתון, מהו השדה החשמלי בתוך הקבל בכל אחד מהמצבים?
- מצא את התפלגות המטען החופשית והמושרית בכל אחד מהמצבים.



10-100-4 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 ועובי h . מרכז הבליטה במרכז הלוח התחתון.

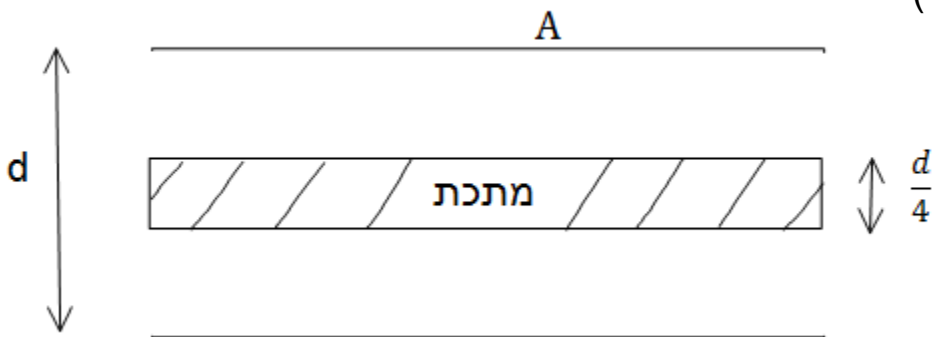
- מצא את הקיבול של הקבל.
- מהו השדה בכל מקום בתוך הקבל אם נתון שהקבל מחובר למקור מתח V .
- מצא את התפלגות המטען על הלוחות.



10-107 קבל לוחות עם פיסת מתכת

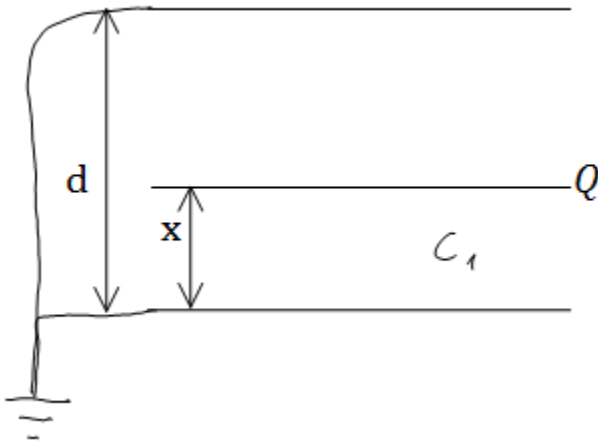
קבל לוחות מחובר למקור מתח V . שטח כל לוח בקבל הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d ($d \ll \sqrt{A}$).

- מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.
- כעת מכניסים לקבל פיסת מתכת בעובי $\frac{d}{4}$ עם שטח A ממרכז הקבל. חזור על סעיף א.
- 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')



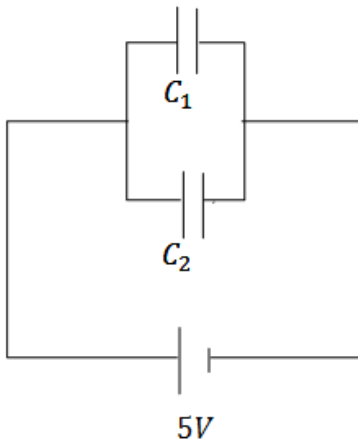
910-10 שלושה לוחות

- נתונה מערכת המורכבת משני לוחות מוארקים במרחק d . בין הלוחות, במרחק x מהלוח התחתון, מכניסים לוח נוסף זהה עם מטען Q . שטח הלוחות הוא $A \gg d^2$.
- מצא את הקיבול של המערכת.
 - מצא את המטען על כל לוח.
 - מצא את האנרגיה של המערכת כפונקציה של x .
 - מהו הכוח הפועל על הלוח.



10-110 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 שהערכת מתייצבת.

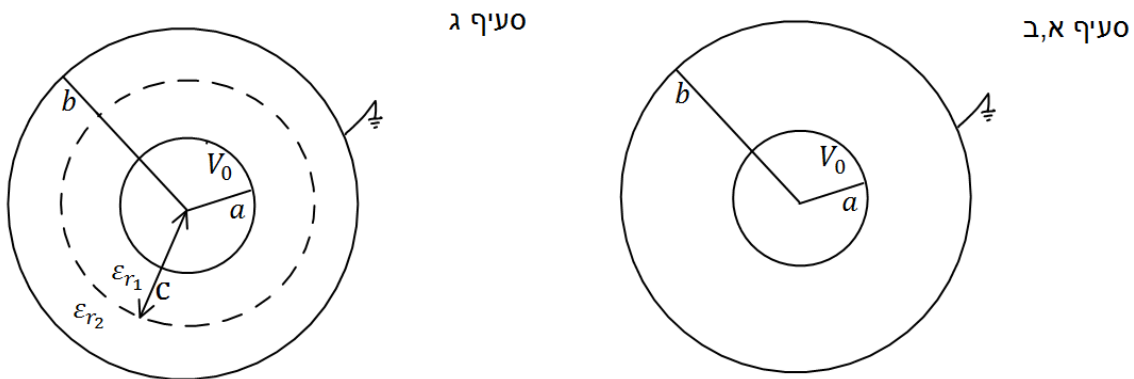


10-111 תרגיל- קבל כדורי עם חומר דיאלקטרי מפוצל

קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות דקות ברדיוסים a, b . הקליפה הפנימית מוחזקת במתח V_0 והקליפה החיצונית מוארקת. א. חשב את המטען על כל קליפה. ב. חשב את הקיבול של הקבל.

ממלאים את הקבל בשני חומרים דיאלקטריים. חומר אחד בעל מקדם ϵ_{r1} הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל c וחומר שני בעל מקדם ϵ_{r2} הממלא את החלל בין הרדיוסים b ל c

ג. חשב את הקיבול החדש

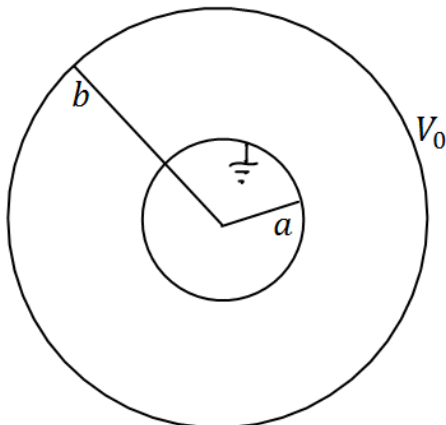


10-112 תרגיל-קבל לא אידיאלי

קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות דקות ברדיוסים a, b . הקליפה החיצונית מוחזקת במתח V_0 והקליפה הפנימית מוארקת. א. חשב את המטען על כל קליפה, שים לב שיש שדה מחוץ לקבל! ב. חשב את הקיבול של הקבל.

מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם ϵ_r הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל b

ג. חשב את הקיבול החדש וחשב את המטען החופשי על הקליפה המוארקת



לפתרון מלא בסרטון וידאו היכנסו ל-

כתב ופתר - מני גבאי ©

10-114 תרגיל- מרחיקים לוחות בקבל לוחות

קבל לוחות בעל אורך צלע $a = 2 \text{ c.m.}$ ומרחק בין הלוחות $d = 1 \text{ mm}$ נטען ע"י סוללה במתח $3V$. אחר 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.

10-115 תרגיל- מושכים לוח מקבל גלילי

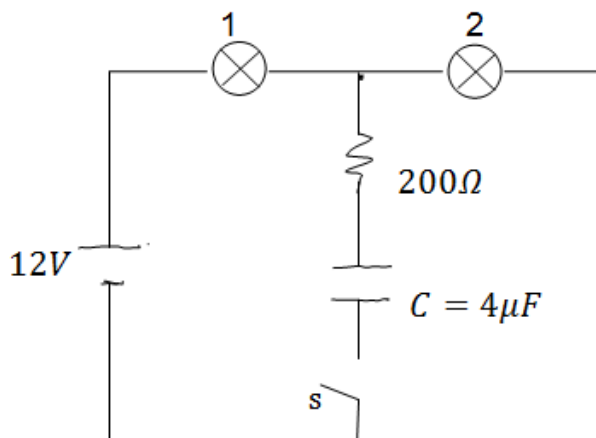
קבל גלילי עשוי משני קליפות גליליות באורך L ורדיוסים $a < b \ll L$. נתון כי הגליל הפנימי טעון במטען Q והחיצוני ב $-Q$.

- מצא את הקיבול של הקבל.
- מושכים את הגליל הפנימי כלפי מעלה לאורך הציר המשותף כך שהוא בולט בשיעור $\Delta L \ll L$ בחלקו העליון. מהו הכוח החשמלי הפועל על הגליל הפנימי (ניתן להניח כי השדה החשמלי מתאפס באזורים בהם אין חפיפה בין הגלילים)

11-0.1-2 תרגיל, 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 .

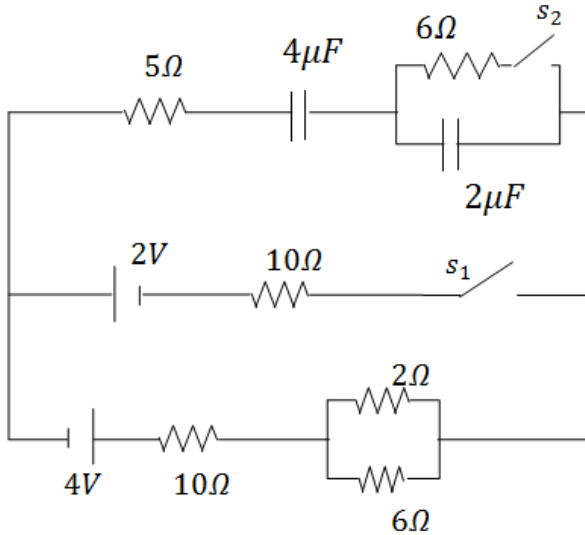
- חשב את ההתנגדות המתח וההספק החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.
- חשב את המתח על הקבל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.



תרגיל-מעגל עם קבלים

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

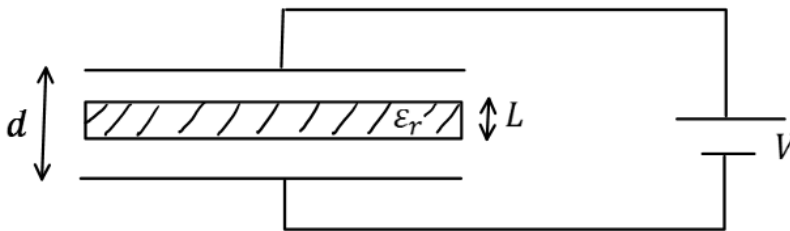
- פתוח S_1 ו- S_2 סגור.
- פתוח S_2 ו- S_1 סגור.
- שני המפסקים סגורים.



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 .

- מהו השדה החשמלי באזור ללא החומר הדיאלקטרי?
- מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי?
- מהו המטען המושרה על השפה של החומר הדיאלקטרי?



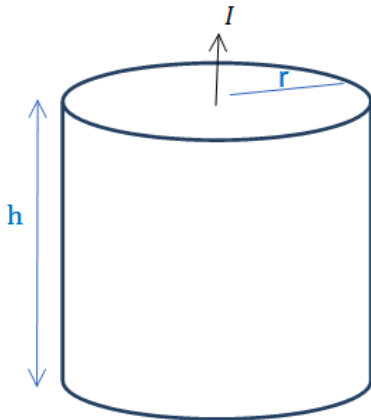
נגדים זרם וצפיפות זרם

הרצאות ותרגילים

11-1 נוסחה לחישוב והתנגדות ודוגמה עבור נגד גלילי

גליל מלא בעל רדיוס r וגובה h עשוי מחומר בל התנגדות סגולית משתנה $\rho = \rho_0 \frac{z}{h}$ כאשר ρ_0 נתון ו z הוא המרחק מבסיס הגליל.

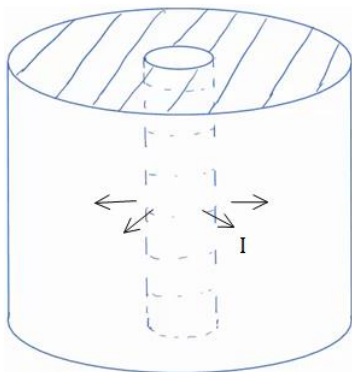
- חשב את ההתנגדות השקולה נתון שהזרם עובר בין הבסיסים (לאורך z) מחברים את הגליל למקור מתח נתון V_0 (המתח הוא בין בסיס אחד לבסיס שני).
- מצא את הזרם הכולל בגליל.
- מצא את צפיפות הזרם והשדה החשמלי בגליל (פתרון בסרטון הבא).



11-3 תרגיל 1 זרם רדיאלי

קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה ונתונה.

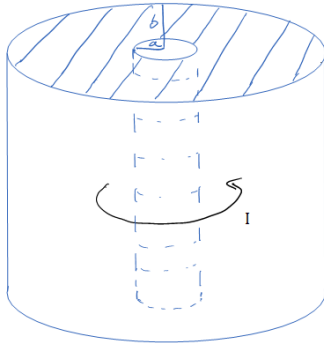
- מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה אם הזרם זורם בכיוון הרדיאלי.
- מחברים מקור מתח V_0 בין המעטפת הפנימית למעטפת החיצונית של הקליפה. מצא את צפיפות הזרם בקליפה
- מצא את השדה החשמלי בתוך הקליפה.



11-4 תרגיל, זרם מעגלי בגליל

קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה ונתונה.

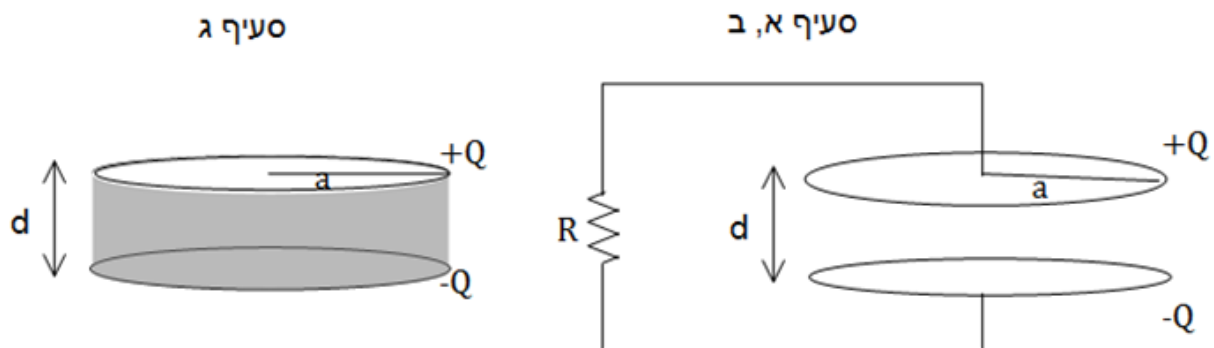
- מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה אם הזרם זורם בכיוון טטה (ז"א זרם מעגלי).
- נתון הזרם הכולל הזורם בנגד. מצא את צפיפות כתלות במרחק ממרכז הנגד.
- מצא את השדה החשמלי בתוך הקליפה.



11-6 תרגיל צפיפות זרם בתוך לוח של קבל לוחות

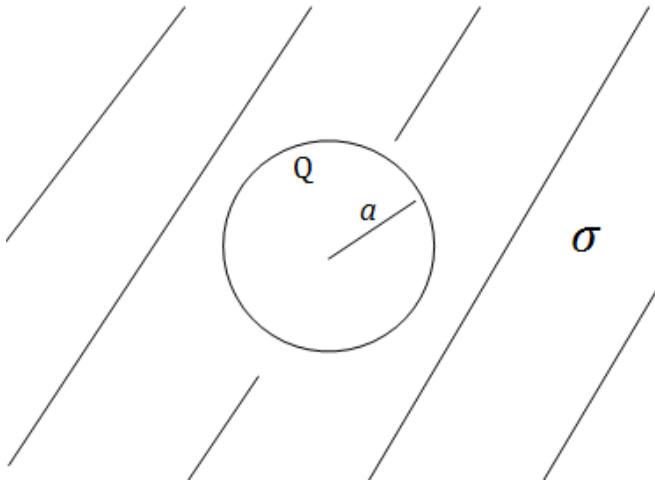
קבל לוחות עגולים טעון במטען Q ומחובר לנגד. רדיוס הלוחות הוא a והמרחק בין הלוחות הוא $d \ll a$, התנגדות הנגד היא R .

- מצא את הזרם במעגל.
- מצא את צפיפות הזרם על פני לוח הקבל הדרכה: הנח כי צפיפות המטען על הקבל תמיד אחידה. חשב את הזרם שיוצא מחלק הלוח בין z כלשהו ל a . חשוב איזו סוג של צפיפות ישנה על הלוח. מצא את הצפיפות ע"י חלוקה של הזרם בחתך.
- בסעיף זה הנגד לא קיים, במקומו ממלאים את הקבל בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה. חזור על סעיפים א ו ב.



11-101 קליפה טעונה מוליכה בתוך נגד

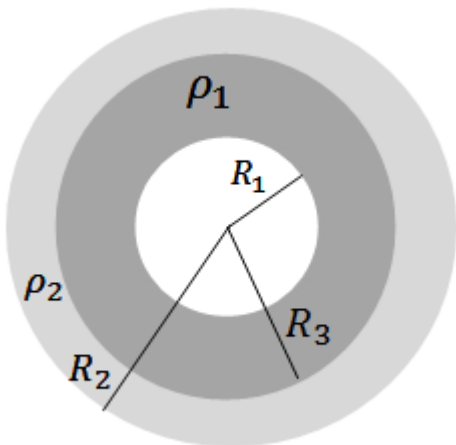
קליפה מוליכה (מוליכות אידיאלית) ברדיוס a נמצאת בתוך חומר אינסופי עם מוליכות סגולית σ . נתון כי המטען על הקליפה ב $t=0$ הוא Q .
 א. מצא את המטען על הקליפה כפונקציה של הזמן.
 ב. מצא את צפיפות הזרם ואת השדה החשמלי בנגד.



11-8 נגד כדורי מחולק לשני חומרים שונים

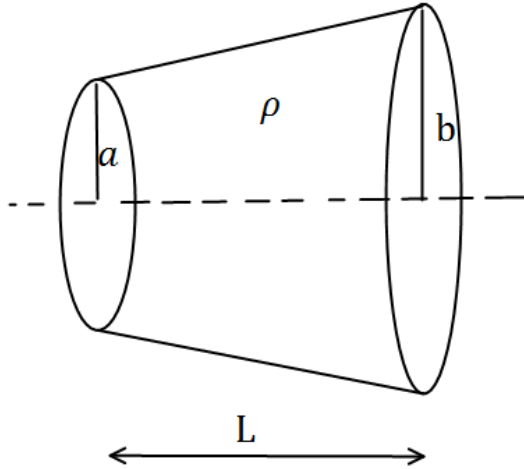
נגד בצורת קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2 מורכב מחומר בעל התנגדות סגולית ρ_1 בתחום $R_1 < r < R_2$ והתנגדות סגולית ρ_2 בתחום $R_3 < R_2$.
 $R_3 < r < R_2$.

- 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.



11-9 תרגיל-חרוט קטום

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

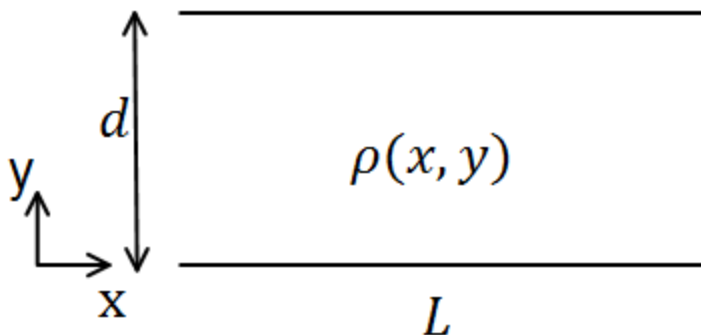


1-10 תרגיל-התנגדות תלויה באורך וברוחב

נתונים שני לוחות מקבילים בעלי מימדים $L \times L$, המרוחקים זה מזה מרחק d , אשר ביניהם הפרש פוטנציאליים ($L \gg d$). בין שני הלוחות ישנו חומר מוליך בעל התנגדות סגולית $\rho(x, y)$. חשבו את ההתנגדות בשני המקרים הבאים:

א. $\rho = \rho_0 \sin\left(\frac{\pi y}{d}\right)$ (תשובה: $R = \frac{2}{\pi} \frac{\rho_0 d}{L^2}$)

ב. $\rho = \rho_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi y}{d}\right)}{\sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)}$ (התשובה: $R = \frac{\rho_0 d}{L^2}$)



חוק לורנץ וכוח על תיל נושא זרם

חוק לורנץ

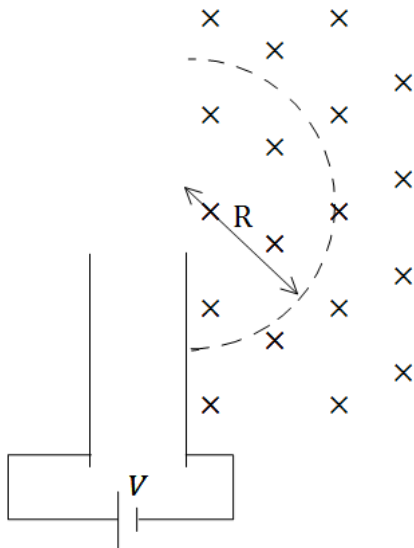
12-1.1 תרגיל, חלקיק זז בשדה

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 $q = -1\mu C$

12-1.2 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



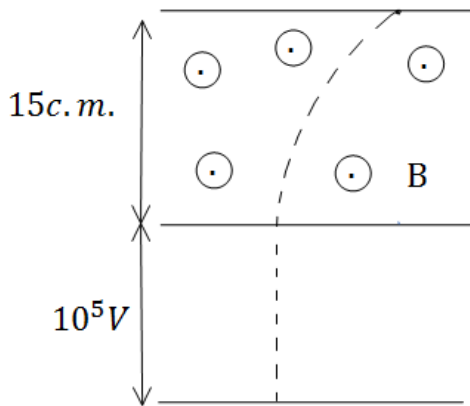
12-101 פרוטון בזווית

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

12-102 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 $0.2T$.

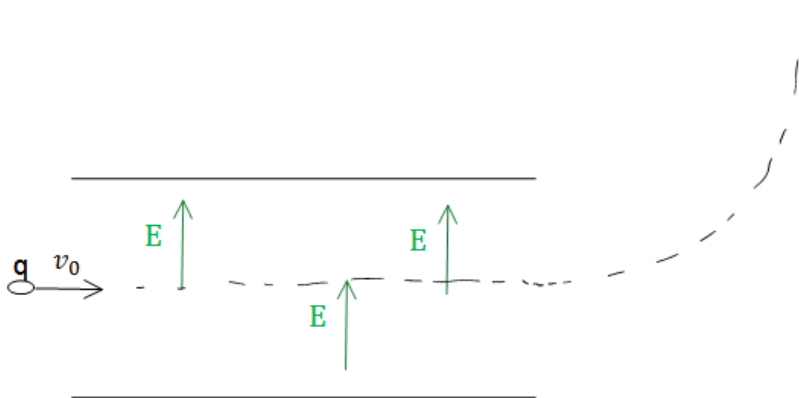
- מצא את המרחק האופקי שעבר הפרוטון עד לפגיעתו במסך.
- מצא את הזמן עד לפגיעה במסך.
- מהו המתח המינימלי הדרוש על מנת שהפרוטון יפגע במסך.



12-2 תרגיל, מטען עובר בקבל

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.

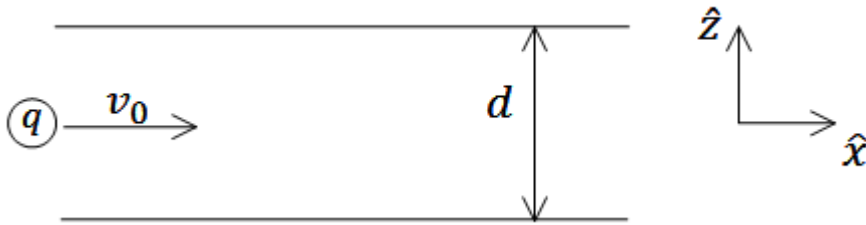
- מה הסימן של המטען?
- מצא את כיוון וגודל השדה המגנטי.



11-5 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 הגבוהה.

- 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

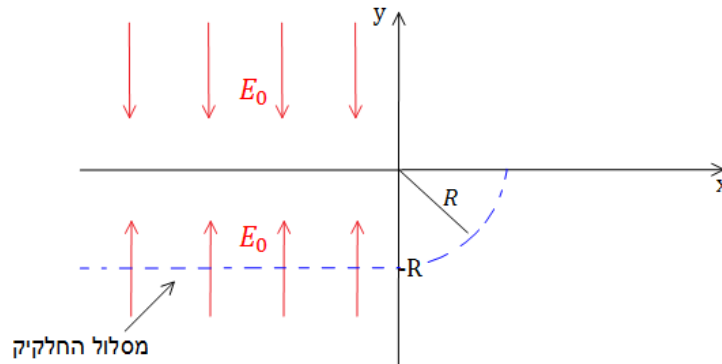


12-104 מטען בשדה מגנטי וחשמלי

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: $E_0, |q|, m, R$.

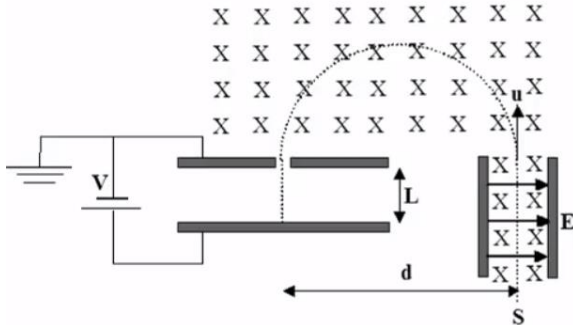
- שרטט את המשך מסלול המטען.
- מה סימן המטען?
- מצא את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.
- מצא את המסה הדרושה על מנת לבצע אותו מסלול בשדה מגנטי הגדול פי 3 מהשדה הקיים, כאשר שאר התנאים אינם משתנים.



10-120 תרגיל- 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, כמראה 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 קבל השני אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקבל השני מופעל מתח עצירה V . ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני היינו L . ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על חלקיקים.



נתונים: $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$

- א. באיזו מהירות u יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון? (E/B)
- ב. מהו המרחק d (ראה ציור): $(2mE/qB^2)$
- ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב? $(\pi m/qB)$
- ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V המופעל על הקבל השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין? $(mE^2/2qB^2)$
- 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? $(2BL/E)$

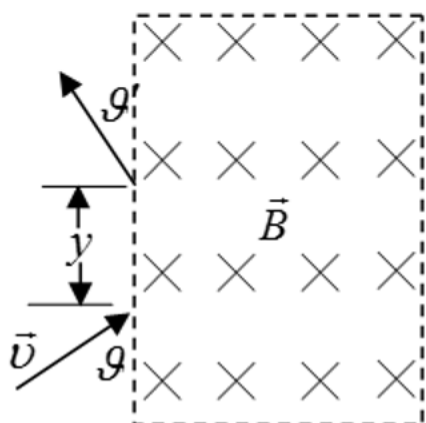
12-105 מטען נכנס ויוצא לשדה בזווית

אלומת חלקיקים בעלי מסה m ומטען q נקלעת 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 באיור.

א. חשבו את המרחק האנכי y אותו יעברו החלקים מנקודת כניסתם לאזור המגנטי

$$(y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \vartheta}{Bq})$$

ב. חשבו את הזווית היציאה ϑ' (ראו איור משמאל). ($\vartheta' = \vartheta$).



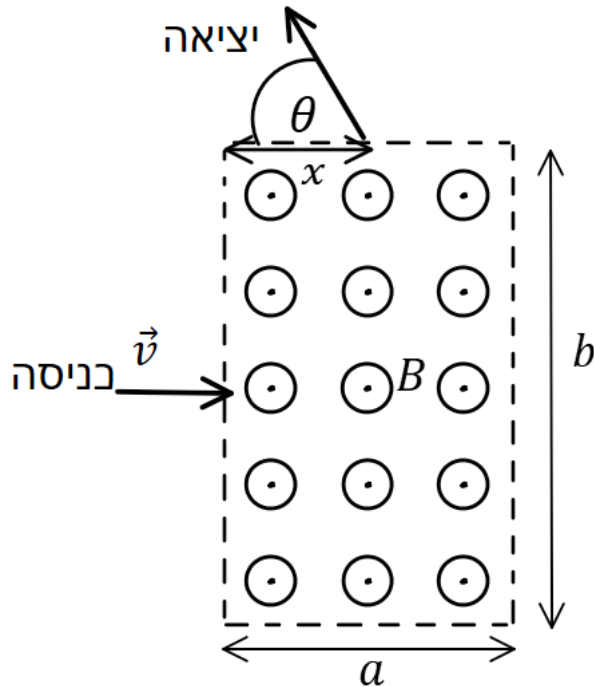
12-107 תרגיל- עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי

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.

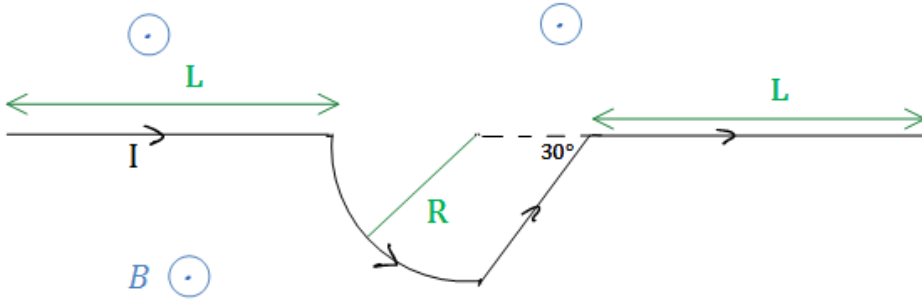
ג. מהי הזווית θ של וקטור המהירות ביציאה ביחס לצלע המלבן?



כוח על תיל נושא זרם

12-4 תרגיל 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 נתונים L, I, B, R

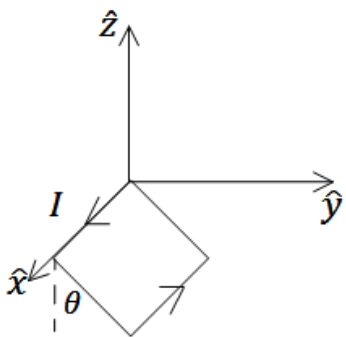


12-102 לולאה תלויה

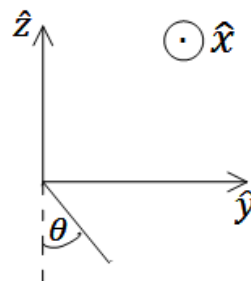
לולאה ריבועית בעלת צלע a ומסה m תלויה על ציר ה x (הצלע שנמצאת על הציר מקובעת לציר) ויכולה להסתובב סביבו. בלולאה זורם זרם I כך שהזרם בצלע שנמצאת על ציר ה x חייובי (זורם בכיוון ציר ה x).

א. מצא את גודל השדה המגנטי שדרוש להפעיל בכיוון ציר ה z על מנת שהלולאה תתיצב במנוחה בזווית θ ביחס לצר ה z .

ב. מצא את גודל השדה המגנטי שדרוש להפעיל בכיוון ציר ה y על מנת שהלולאה תתיצב במנוחה בזווית θ ביחס לצר ה z .



מבט תלת מימדי



מבט דו-מימדי

12-104 תרגיל- כוח על לולאה סגורה

הראו כי:

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

תרגילים נוספים

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: $\alpha > \frac{q}{m} B_0^2$, $\alpha = \frac{q}{m} B_0^2$, $\alpha < \frac{q}{m} B_0^2$.

כעת השדה החשמלי הוא $\vec{E} = \alpha(x\hat{x} + y\hat{y})$. שאר הנתונים ללא שינוי.
 ב. מצא את מיקום החלקיק כתלות בזמן.

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.

מוט נע על מסילה עם חיכוך וסוללה

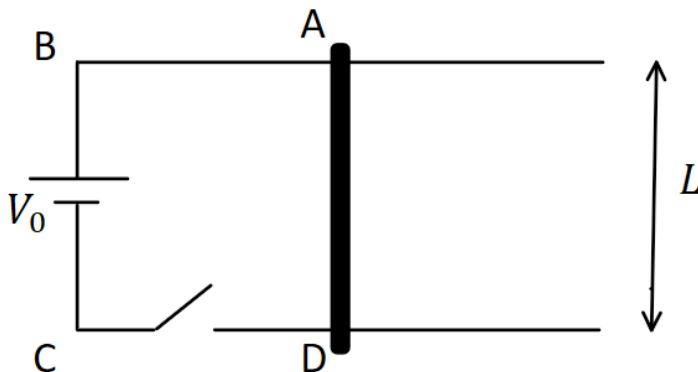
מקור מתח V_0 מחובר לשני תילים מוליכים ומקבילים במרחק L אחד מהשני. לתילים התנגדות ליחידת אורך r . על התילים מניחים מוט מוליך בעל מסה m וחסר התנגדות המחבר בין הנקודות A ו D באיור. המערכת נמצאת בתוך שדה מגנטי B המאונך לדף אך לא ידוע האם הוא לתוך או החוצה מהדף. ברגע $t = 0$ סוגרים את ה המתג והמוט מתחיל לנוע ימינה. על המוט פועל חיכוך קינטי ומקדם החיכוך הוא μ . התנגדות הקטע ABCD (כולל המקור) היא R_0 . ניתן להזניח השפעות של השראות מגנטית.

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.



חוק ביו – סבר

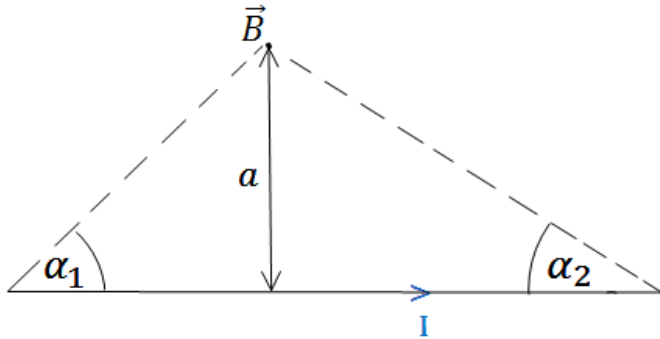
הרצאות ותרגילים

2-13b שדה של תיל סופי לפי זוויות

הראה כי גודלו של השדה המגנטי שיוצר תיל סופי 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



3-13 שדה של טבעת

חשב את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה של טבעת ברדיוס R כאשר בטבעת זרם I .

4-13 שדה של דיסקה

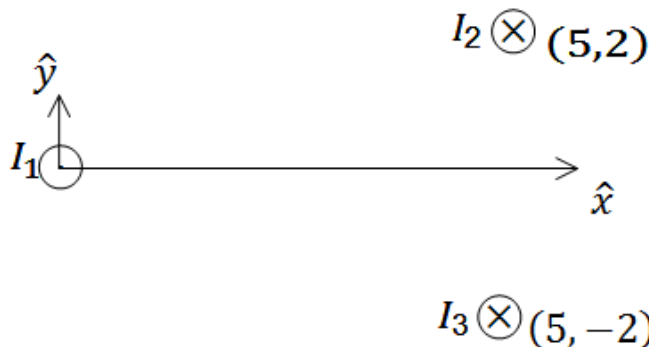
דיסקה ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משטחית σ . הדסקה מסתובבת במהירות זוויתית ω סביב ציר הסימטריה שלה. מצא את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה.

101-13 תרגיל, שדה של שלושה תילים אינסופיים

שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה z מונחים במיקומים הבאים:

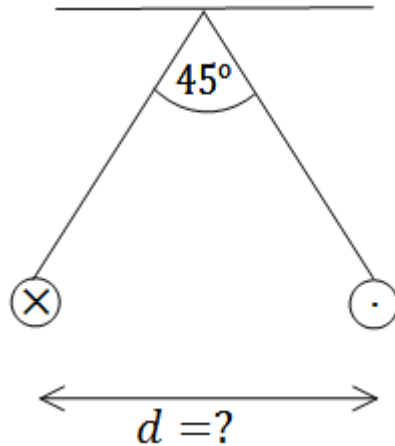
$$\vec{r}_1(0,0), \vec{r}_2(5,2), \vec{r}_3(5,-2)$$

הזרמים בתילים הם $I_1 = 3A$ החוצה מהדף $I_2 = 5A$ לתוך הדף, $I_3 = 4A$ גם כן לתוך הדף. מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה x מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון y ?



13-102 תרגיל - שני תילים תלויים

שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקרה באורך זהה ולא ידוע. בתילים זרם 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.

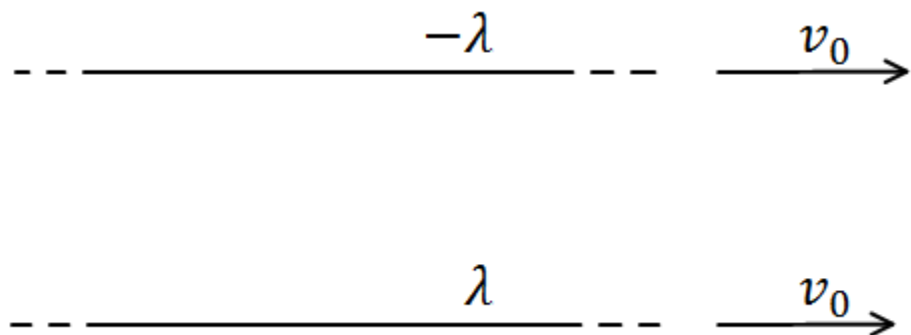


13-103 תרגיל- מצולע עם אן צלעות

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

13-104 תרגיל- 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?



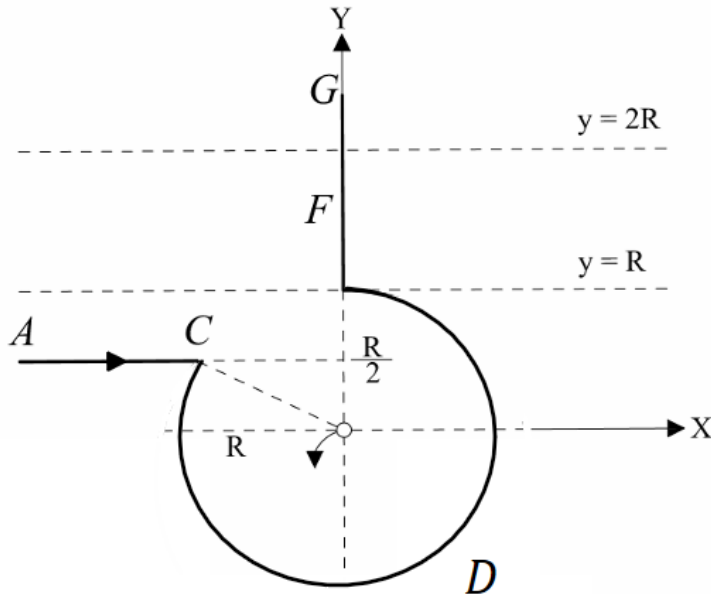
חישוב שדה של תיל מיוחד

תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים. המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט). בתיל 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?



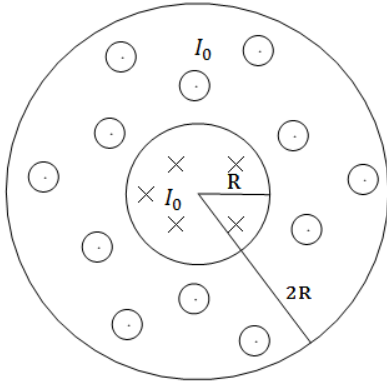
חוק אמפר

הרצאות ותרגילים

14-3 תרגיל, כבל קו - אקסיאלי

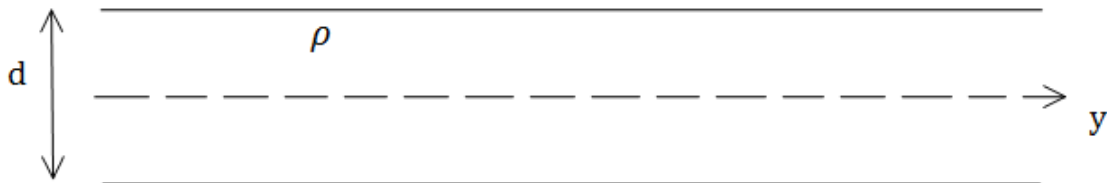
קבל קו-אקסיאלי מורכב מגליל מוליך בעל רדיוס R ומעטפת מוליכה עבה בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני $2R$ (ניתן להניח כי קיים מבודד דק בין הגליל הפנימי למעטפת). בגליל הפנימי זורם זרם I_0 בצפיפות זרם אחידה לתוך הדף. במעטפת זורם גם כן זרם I_0 בצפיפות אחידה החוצה מהדף.

- א. מצא את צפיפות הזרם בגליל ובמעטפת.
 ב. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?



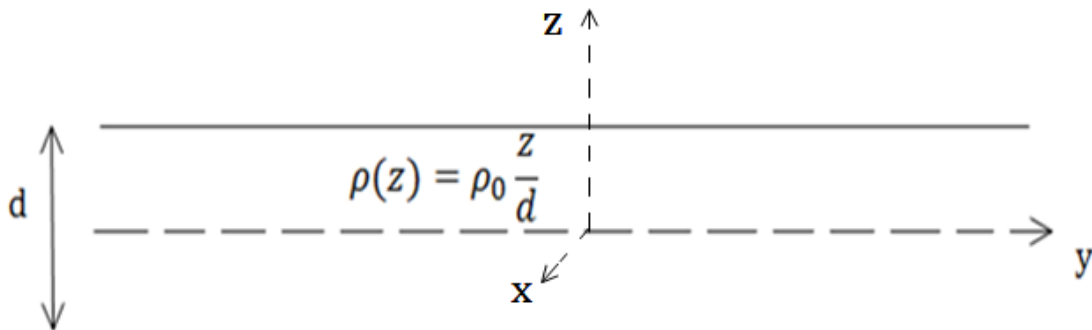
14-5 שדה של מישור עבה

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.



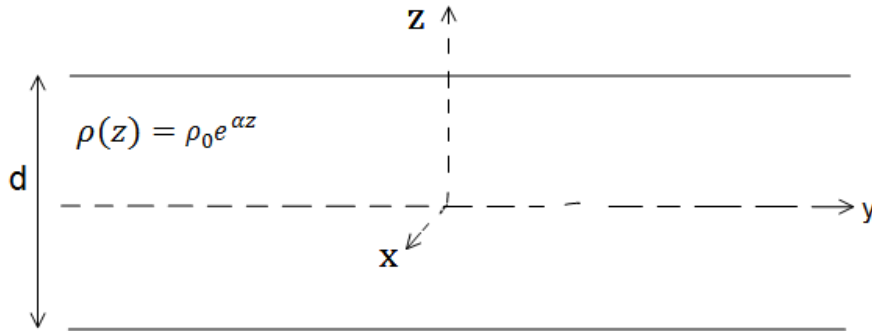
14-8 תרגיל, מישור עם צפיפות מטען משתנה

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



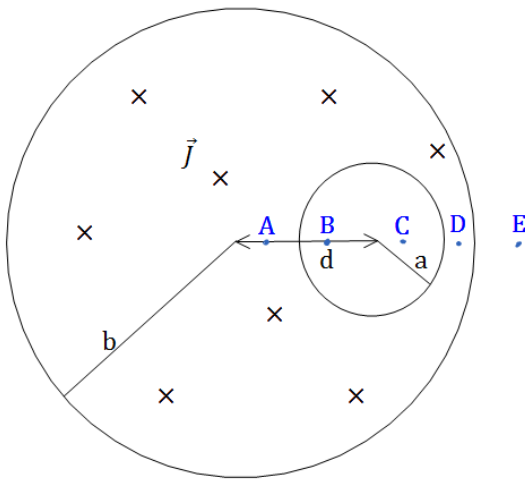
14-102 מישור אינסופי עם צפיפות אקספוננציאלית

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



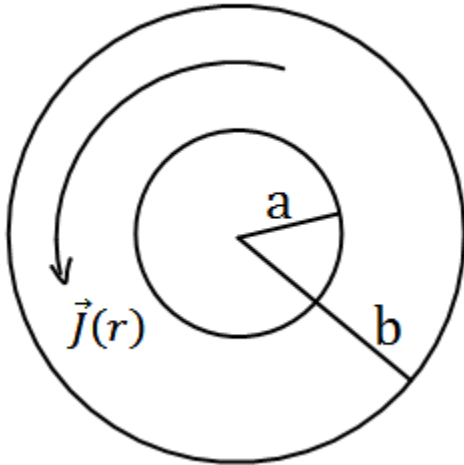
14-101 תרגיל, חור בגליל

בגליל אינסופי ברדיוס a קודחים חור גלילי ברדיוס b . מרכז החור נמצא במרחק d ממרכז הגליל. בגליל זורם זרם לתוך הדף בצפיפות זרם אחידה ונתונה J .
 א. מצא את השדה המגנטי בנקודות A, B, C, D, E המסומנות בסרטוט, הנח כי מרחק הנקודות מהמרכז ידוע וכי כל הנקודות נמצאות על הציר העובר בשני מרכזי הגלילים.
 ב. מצא את השדה המגנטי בכל נקודה בתוך החור. רמז: $\hat{\theta} = \hat{z} \times \hat{r}$ והשדה בתוך החור אחיד.



14-102 תרגיל- שדה מגנטי של זרם היקפי

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

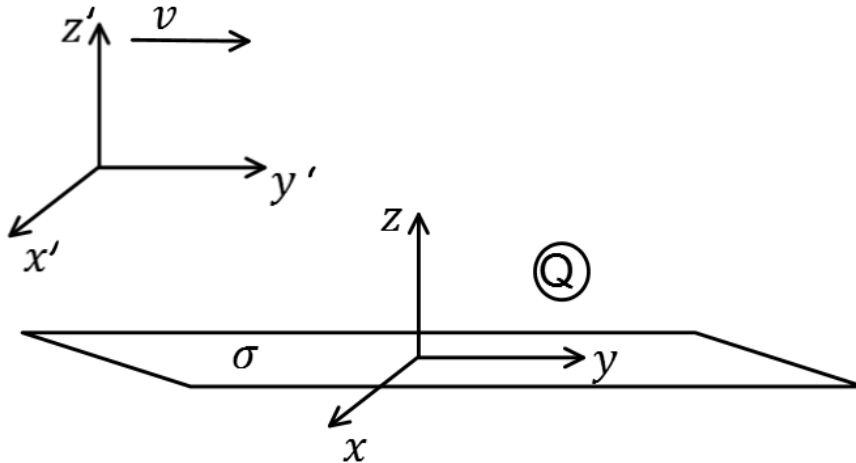


טרנספורמציה יחסותית של השדות

הסבר ותרגילים

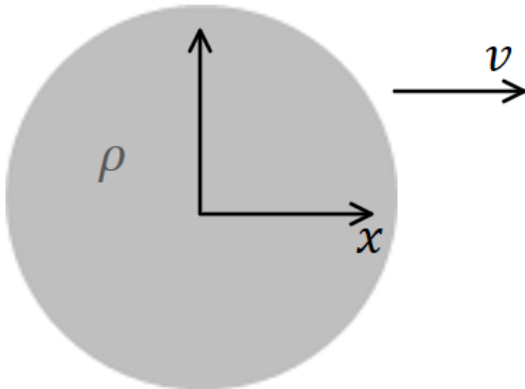
דוגמה 1

מטען Q מונח מעל מישור אינסופי הטעון בצפיפות מטען אחידה ליחידה שטח σ . נבחר את הצירים כך שהמישור יהיה על פני מישור xy . מצא את הכוח, גודל וכיוון, הפועל על המטען ביחס לצופה הנע במהירות v בכיוון y באותו הרגע שהמטען מונח (כלומר ברגע שבו המטען עדיין במנוחה ביחס למישור).



תרגיל- שדה של כדור טעון נע

כדור מבודד טעון בצפיפות מטען אחידה ρ . הכדור נע במהירות v בכיוון ציר ה x . מצא את השדה החשמלי והמגנטי בתוך הכדור וביחס למעבדה, בדיוק ברגע שבו מרכז הכדור עובר את ראשית הצירים במערכת המעבדה.



מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון

חוק אמפר הדיפרנציאלי

15-1 נוסחאות ודוגמה למציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון
מצא את צפיפות הזרם (משטחית וקוויית) היוצרת את השדה המגנטי הבא:

$$B_{\theta} = \begin{cases} Ar + \frac{C}{r} & r < a \\ \frac{D}{r} + \frac{C}{r} & a < r \end{cases}$$

r הוא המרחק מציר ה z (קואורדינטות גליליות)

15-2 תרגיל, שדה בכיוון z

מצא את צפיפות הזרם (משטחית וקוויית) היוצרת את השדה המגנטי הבא:

$$\vec{B} = \begin{cases} (Ar + C)\hat{z} & r < a \\ 0 & r > a \end{cases}$$

r הוא המרחק מציר ה z (קואורדינטות גליליות)

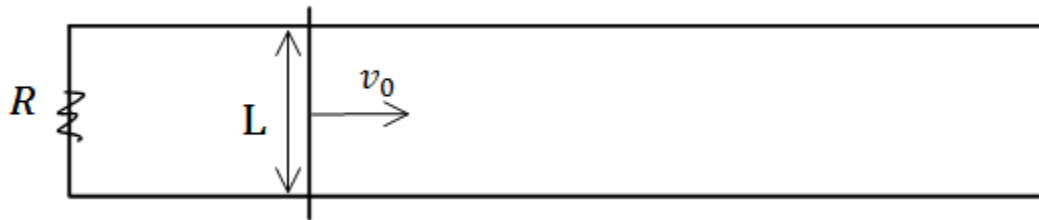
חוק פאראדיי

הרצאות ותרגילים

הסבר בסיסי ודוגמה, מוט שזז על מסילה

בערכת 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 קבוע V_0 .

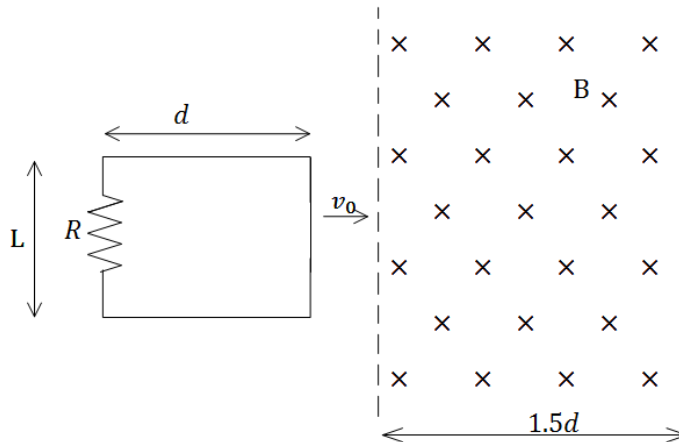
- מצא את הכא"מ הזורם במעגל.
- מצא את הזרם במעגל.
- מצא את הכוח החיצוני הדרוש להפעיל על המוט על מנת שינוע במהירות קבועה.
- מהו הספק הכוח החיצוני.



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.

- מצא את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).
- מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון (כתלות בזמן).
- מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת על מנת שתנוע במהירות קבועה.
- מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?



מסגרת נעה ליד תיל אינסופי

מסגרת ריבועית מוליכה עם צלע a נמצאת על מישור xy ונעה במהירות קבועה V_0 בכיוון ציר ה- x . מיקום המסגרת ב $t=0$ הוא x_0 . תיל אינסופי מונח לאורך ציר ה- y וזורם בזרם I_0 בכיוון החיובי של ציר ה- y .

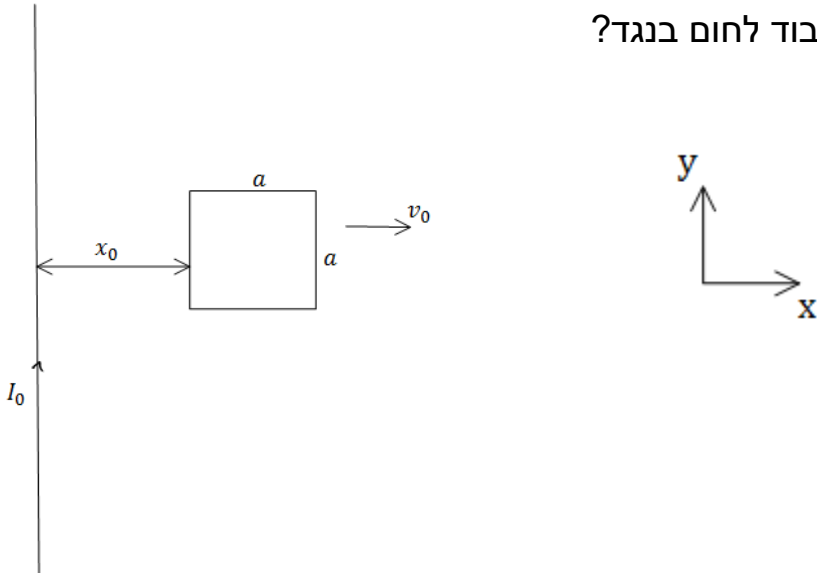
א. מצא את הכא"מ במסגרת.

ב. מצא את הזרם במסגרת אם יודע שההתנגדות הכללית שלה היא R .

ג. מצא את הכוח הדרוש על מנת להזיז את המסגרת במהירות קבועה.

ד. מהו הספק הכוח?

ה. מה ההספק ההולך לאיבוד לחום בנגד?



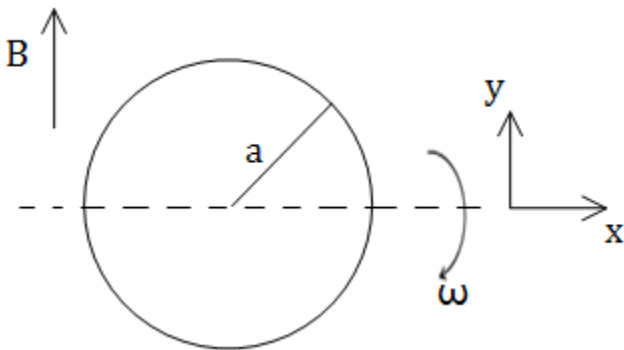
טבעת מסתובבת

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

$$B(t) = B_0 \cos(\omega t)$$

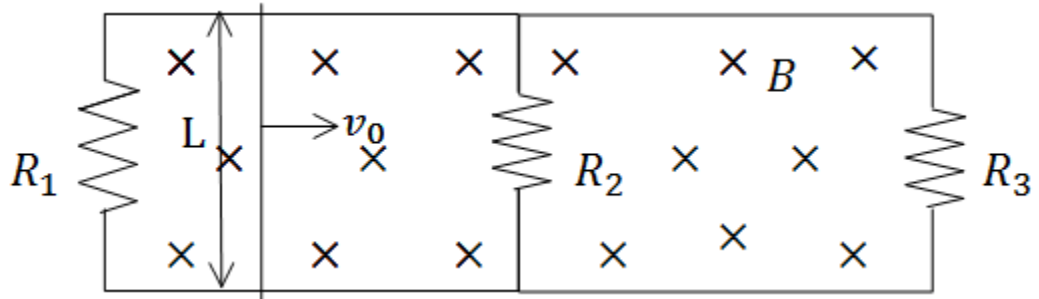


מוט זז בתוך מעגל

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.



מוט נע על מסגרת עם מקור מתח

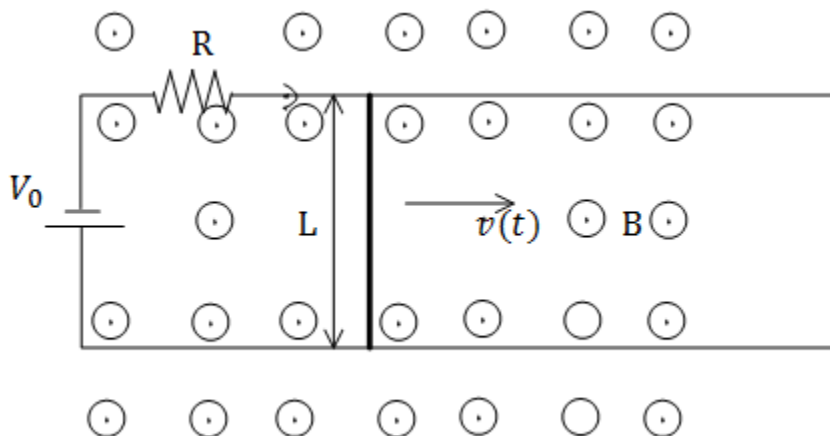
מוט מוליך באורך L ומסה M נע על גבי מסילה מוליכה במהירות שאינה קבועה בזמן. למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R ומקור מתח V_0 . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

א. מצא את הכא"מ במוט כתלות במהירות המוט, ומצא את הזרם במעגל גודל וכיוון.

ב. רשום משוואת תנועה עבור המוט, מהי מהירותו הסופית.

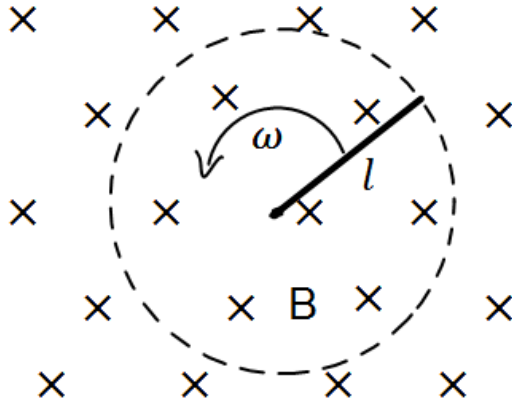
ג. מצא את מהירות המוט כתלות בזמן אם התחיל ממנוחה.

ד. מהו הספק החום בנגד?



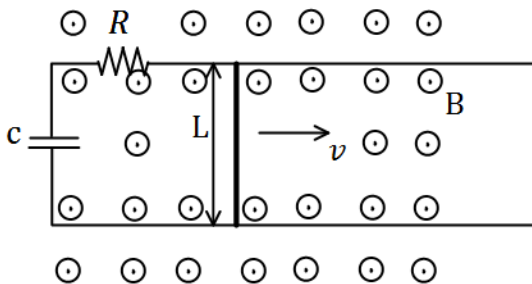
מוט מסתובב

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 פארדיי.

**פארדיי 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.

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



טבעת בתוך טבעת רחבה

טבעת מבודדת בעלת רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b טעונה בצפיפות מטען משטחית חיובית ולא אחידה.

$$\sigma(r) = \begin{cases} 0 & r < a \\ \sigma_0 \frac{a}{r} & a \leq r \leq b \\ 0 & b < r \end{cases}$$

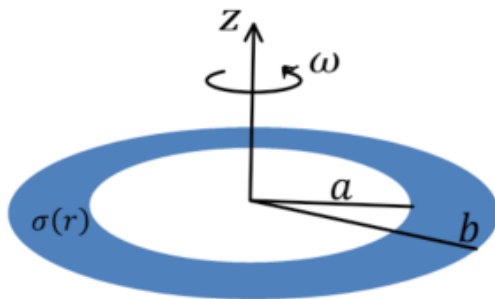
הטבעת מונחת במישור xy כך שמרכזה מתלכד עם ראשית הצירים וציר z עובר דרך מרכז הטבעת ומאונך לפני הטבעת. מסובבים את הטבעת סביב ציר z (המאונך למישור הטבעת) במהירות זוויתית

שהולכת וגדלה עם הזמן לפי הנוסחה $\omega = \alpha t^3$

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 שיווצר בטבעת הקטנה אם התנגדותה R .



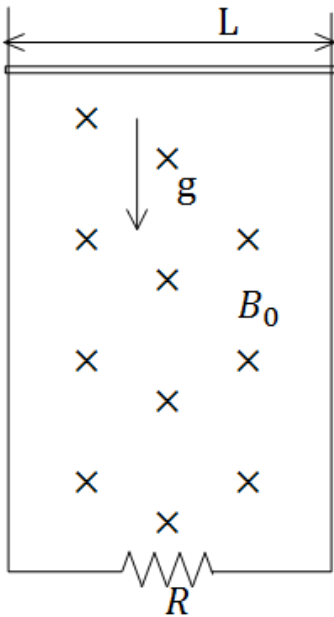
תשובות

$$\vec{B} = \mu_0 \sigma_0 a \omega \cdot \frac{1}{2} \ln \frac{b}{a} \hat{z}$$

$$\Phi = \mu_0 \sigma_0 a \omega \frac{1}{2} \ln \frac{b}{a} \pi r_0^2$$

$$I = \frac{3 \mu_0 \sigma_0 a \pi r_0^2 \alpha \ln \frac{b}{a}}{2 R}$$

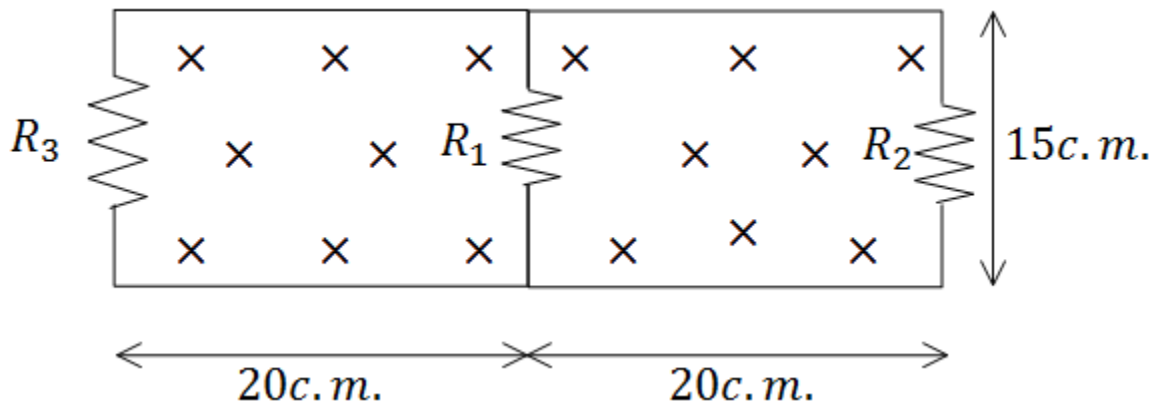
מוט נופל מחובר למסילה



- 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
- מצא את הכא"מ במעגל כתלות במהירות המוט v
 - מצא את כיוון השדה המושרה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.
 - מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדיין כתלות במהירות)
 - רשום משוואת כוחות על המוט. מהי המהירות הסופית של המוט?
 - מצא את המהירות והזרם כפונקציה של הזמן

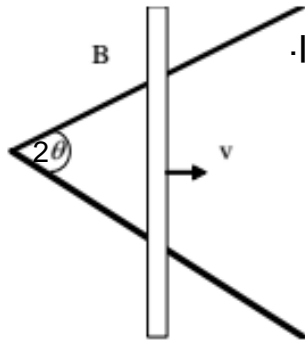
כא"מ בשני מעגלים

- במעגל הבא התנגדות הנגדים היא $R_1 = 1\Omega, R_2 = 2\Omega, R_3 = 3\Omega$. במרחב קיים שדה מגנטי $B = 2 \frac{T}{sec} \cdot t$ אחיד לתוך הדף. ממדי המעגל נתונים בשרטוט. מצא את הזרם בכל נגד.



מוט נע על מסילות בזווית

שתי מסילות מוליכות יוצרות זווית 2θ ביניהן. מוט מוליך מונך 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.



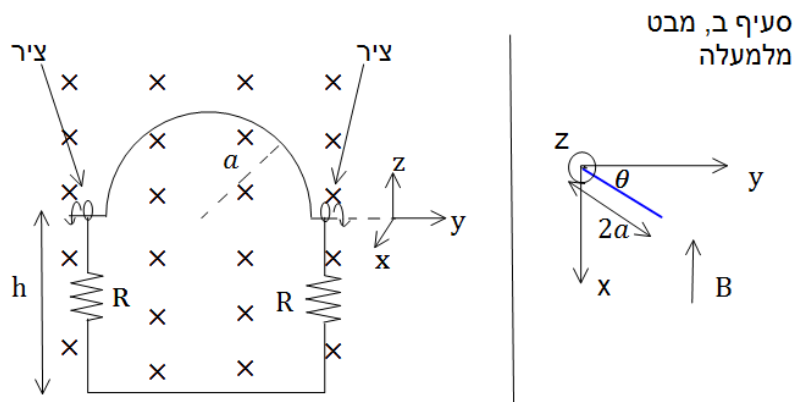
- מצא את הכא"מ המושרה כפונקציה של הזמן.
- אם התנגדותו של המוט ליחידת אורך היא R_1 , והמסילות חסרות התנגדות, חשב את הזרם המושרה כפונקציה של הזמן.
- חשב את ההספק שמועבר למערכת ליצירת הזרם.

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 בציור). 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 בציור ומתחילים לסובבו סביב הצירים (ציר ה- Y) במהירות זוויתית ω (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל מתקדמות אלינו).

א. מהו הזרם בכבל?
 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
- מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שההספק יקטן פי 2

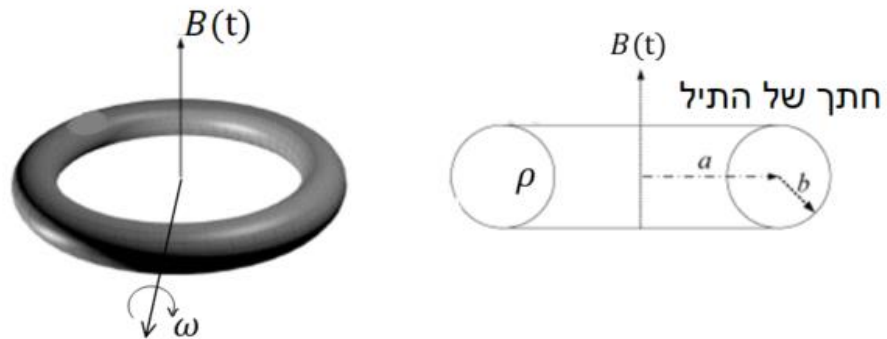


גוש נחושת מעוצב לטבעת

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. קצב השינוי של השדה הוא $\beta = \frac{dB}{dt}$.

- 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)

- כעת מתחילים לסובב את הטבעת במהירות זוויתית ω סביב ציר העובר במרכזה ומאונך לשדה המגנטי.
 ג. חשב את הזרם הנוצר בטבעת כתלות בזמן. האם כעת הוא תלוי במימדי התיל?



תשובות:

$$1.) I = \frac{\beta \pi b^2 a}{2\rho}$$

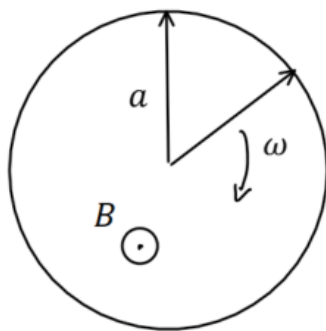
$$2.) I = \frac{\beta m}{4\pi\rho\alpha}$$

$$3.) I = \frac{m(\beta \cos\theta - B \sin\theta \omega)}{2\rho\alpha\pi}$$

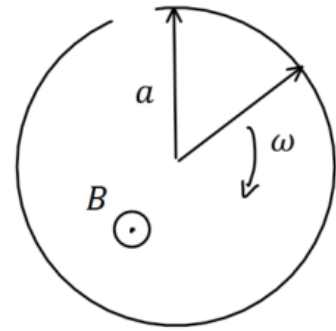
שעון פארדיי

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.

סעיפים א ו ב



סעיף ג



תשובות

$$1) R_T = 2R + \frac{ar\theta(2\pi - \theta)}{2\pi}$$

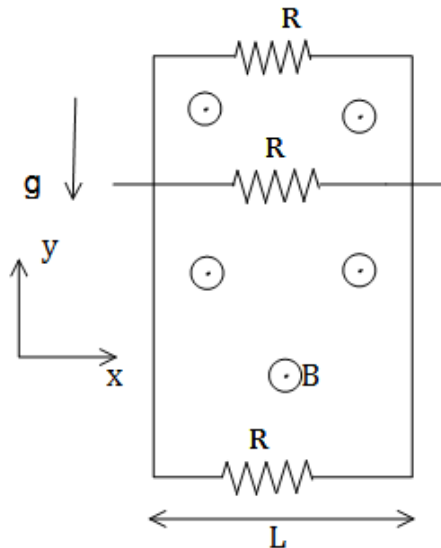
$$2) I_T = \frac{B\omega a^2 \pi}{4\pi R + ar\omega t(2\pi - \omega t)}$$

במחוג העומד בכיוון הרדיאלי ובמחוג שנע בכיוון \hat{r}

$$3) I(t) = \frac{B\omega \frac{a^2}{2}}{2R + r\omega a t}$$

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.

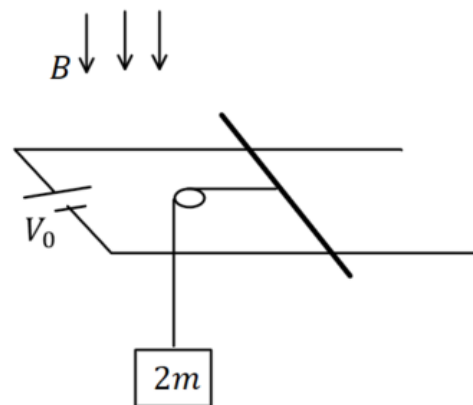
מוט על מסילה מחובר למשקולת

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.



תשובות

$$1) v_0 = \frac{2mgR}{B^2L}$$

$$2) \frac{B^2L}{R} (v_0 - B^2Lv) = ma, \quad v_{max} = \frac{v_0}{B^2L}$$

$$3) v(t) = \frac{v_0}{B^2L} \left(1 - e^{-\frac{B^2L^2}{mR}t} \right)$$

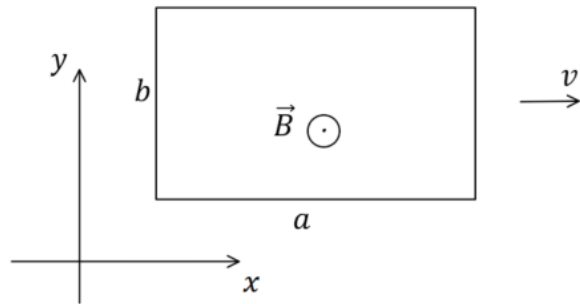
מסגרת נעה בשדה מגנטי משתנה לינארית

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?



תשובות

$$1) |\mathcal{E}| = \alpha b a v$$

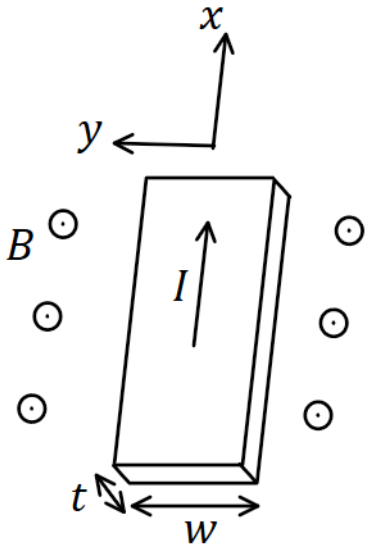
$$2) v(t) = v_0 e^{-kt}$$

$$3) \Delta x = \frac{v_0}{k}$$

אפקט הול
הסבר ודוגמה

1.2 דוגמה – חישוב המתח במוליך מלבני

במוליך מלבני זורם זרם I לאורך המוליך ובמקביל לציר ה x . רוחב המוליך הוא w והוא מקביל לציר ה y . העובי של המוליך הוא t והוא מקביל לציר ה z (ראה איור). במרחב קיים שדה מגנטי אחיד בגודל B ובכיוון z . מצא את גודל וכיוון המתח בין קצוות המוליך. (הנח שצפיפות האלקטרונים ליחידית נפח נתונה)



טרנספורמציה יחסותית לשדות (נוסחאות מלאות)

הסברים ודוגמאות

דוגמה 1- שדה בכיוון Z במערכת הצופה שנוע

צופה הנע במהירות v בכיוון ציר x ביחס למעבדה מודד שדה חשמלי E_0 בכיוון ציר z , ושדה מגנטי אפס.

מהם השדות המגנטי והחשמלי שימדוד הצופה במעבדה?

תרגיל- חישוב שדות וצפיפויות בשתי שרכים

מישור אינסופי טעון בצפיפות מטען ליחידת שטח σ . המישור מתחיל לנוע במהירות קבועה $\vec{v} = v\hat{x}$ ביחס למעבדה. בתרגיל זה נמצא את השדות והצפיפויות במערכת המעבדה בשתי דרכים.

דרך ראשונה

א. מצא את השדה החשמלי והמגנטי במערכת המישור תוך שימוש בצפיפות המטען של המישור.

ב. מצא את השדה החשמלי והמגנטי במערכת המעבדה באמצעות טרנספורמציה של השדות שמצאת בסעיף א.

ג. מצא את צפיפות המטען וצפיפות הזרם במערכת המעבדה באמצעות השדות שמצאת בסעיף ב.

דרך שניה

ד. מצא את צפיפות המטען וצפיפות הזרם במערכת המעבדה תוך שימוש בצפיפות המטען במערכת המישור בלבד. השווה לסעיף ג.

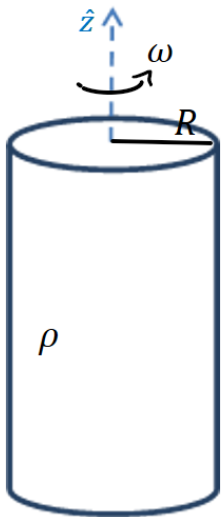
ה. מצא את השדה החשמלי והמגנטי במערכת המעבדה, מצפיפויות המטען שמצאת בסעיף ד. השווה לסעיף ב.

שדות משתנים בזמן

הסברים ותרגילים

19-1 גליל טעון מסתובב בתאוצה

גליל אינסופי מלא ברדיוס R טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח ρ . הגליל מסתובב סביב ציר הסימטריה שלו במהירות זוויתית המשתנה בזמן $\omega = \alpha t$ כאשר α קבועה ונתונה.
 א. מה השדה המגנטי בכל המרחב?
 ב. מה השדה החשמלי בכל המרחב?



19-2 שדה חשמלי תלוי בזמן בתוך קבל לוחות ווקטור פויינטינג על השפה

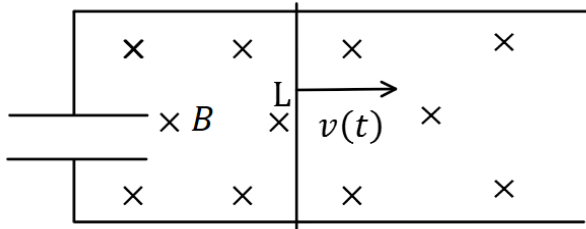
קבל לוחות מורכב משני לוחות עגולים ברדיוס R המקבילים זה לזה ונמצאים במרחק d אחד מהשני $d \ll R$. הקבל מחובר למעגל חשמלי המספק לקבל זרם I קבוע (ונתון).
 א. מצא את המטען על הקבל כפונקציה של הזמן אם נתון ש $q(t=0) = 0$.
 ב. מצא את השדה החשמלי כפונקציה של הזמן.
 ג. מצא את השדה המגנטי כפונקציה של הזמן והמיקום, בתוך הקבל ומחוץ לו.
 ד. מצא את האנרגיה האגורה בין הלוחות.
 ה. מצא את הווקטור פויינטינג על שפת הקבל וחשב את השטף שלו על מעטפת העוטפת

את הקבל. הראה ש $\phi_{\vec{s}} = -\frac{dU}{dt}$

19-101 פארדיי עם קבל

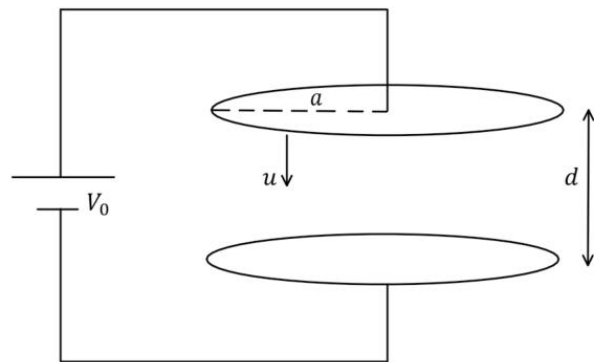
קבל לוחות מעגלי ברדיוס a ומרחק בין הלוחות ($d \ll a$) מחובר למסילה מוליכה חסרת התנגדות. על המסילה מונח מוט חסר התנגדות באורך L . מושכים את המוט כך שהוא מתרחק מהקבל במהירות $v(t) = At$. במרחב קיים שדה מגנטי B אחיד וקבוע לתוך הדף.

- מהו המטען על הקבל? על איזה לוח המטען החיובי?
- מהו השדה החשמלי בתוך הקבל?
- מהו השדה המגנטי בתוך הקבל ומחוץ לו, גודל וכיוון (התעלם מהשדה שנוצר ע"י התיילים והמוט)
- מהו הכוח שיש להפעיל על המוט על מנת שינוע במהירות הנתונה אם מסת המוט היא M ?



לוחות בקבל מתקרבים בזמן

- קבל לוחות מורכב משני לוחות מעגליים ברדיוס a ומרחק $d \ll a$ ביניהם. הקבל מחובר למקור מתח קבוע V_0 . בזמן $t = 0$ מתחילים לקרב את הלוח העליון אל התחתון במהירות קבועה ונמוכה u .
- א. מהו המתח בין לוחות הקבל כתלות בזמן?
 ב. מהו השדה החשמלי בין לוחות הקבל כתלות בזמן?
 ג. מהו השדה המגנטי בין לוחות הקבל ומחוץ להן כתלות בזמן?
 ד. חזור על כל הסעיפים אם ניתקו את הקבל מהמקור רגע לפני תחילת ההזזה של הלוח.



תשובות סופיות:

$$1. \text{c) } V_c(t) = V_0$$

$$2) \vec{E} = -\frac{V_0}{d-ut} \hat{z}$$

$$3) \vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 V_0 u \hat{\theta}}{2(d-ut)^2} \begin{cases} r & r < a \\ \frac{a^2}{r} & a < r \end{cases}$$

$$3. \text{k) } V_c(t) = \frac{d-ut}{d} \cdot V_0$$

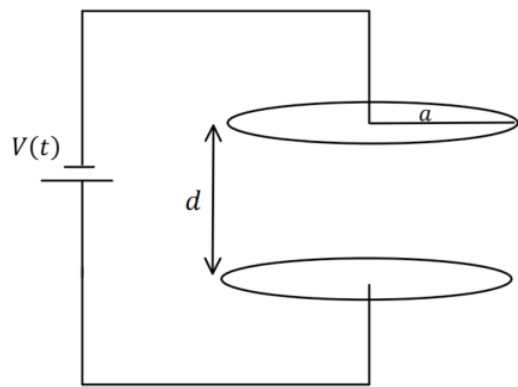
$$3. \text{b) } \vec{E} = \frac{-V_0}{d} \hat{z}$$

$$3. \text{g) } \vec{B} = 0$$

וקטור פויינטינג והאנרגיה האגורה בשדות

תרגיל- קבל לוחות עם מתח לינארי בזמן

- קבל לוחות מורכב משני לוחות מעגליים ברדיוס a הנמצאים במרחק $d \ll a$ זה מזה. הקבל מחובר למקור מתח התלוי לינארית בזמן $V(t) = A \cdot t$, כאשר A קבוע נתון.
- מצא את השדה החשמלי בקבל כתלות בזמן.
 - מצא את השדה המגנטי בתוך הקבל ומחוץ לו.
 - מצא את האנרגיה האגורה בתוך משטח סגור העוטף את הקבל.
 - מצא את הוקטור פויינטינג על השפה של המשטח מסעיף ג'.
 - חשב את השתף של הוקטור פויינטינג על המשטח והראה כי הוא שווה למינוס השינוי בזמן של האנרגיה מסעיף ג'.



תשובות

$$1) \quad \vec{E} = \frac{At}{d} \hat{z} \quad 2) \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 A}{2d} \begin{cases} r \hat{\theta} & r \leq a \\ \frac{a^2}{r} \hat{\theta} & a \leq r \end{cases}$$

$$2) \quad U_{em} = \frac{\epsilon_0 A^2 \pi a^2}{2d} \left(t^2 + \frac{\mu_0 \epsilon_0 a^2}{2} \right)$$

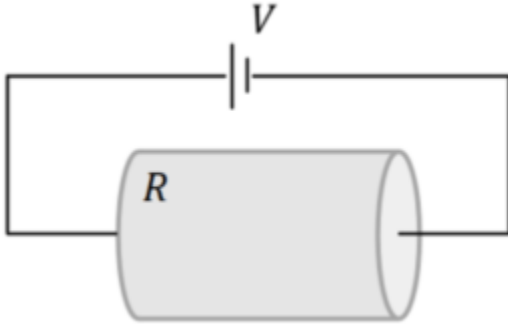
$$3) \quad \vec{S} = \frac{A^2 \epsilon_0 t a}{2d^2} (-\hat{r}) \quad 4) \quad \Phi_{\vec{S}} = -\frac{A^2 \epsilon_0 t a^2 \pi}{d}$$

תרגיל-משפט פויינטינג בנגד גלילי

נגד גלילי בעל אורך L ורדיוס בסיס a והתנגדות R מחובר למקור מתח V .

לפתרון מלא בסרטון וידאו היכנסו ל- www.GooL.co.il

- א. חשב את השדה החשמלי והמגנטי בנגד.
 ב. חשב את הוקטור פויינטינג על השפה של הנגד.
 ג. חשב את האנרגיה האלקטרומגנטית בנגד והראה כי משפט פויינטינג מתקיים.
 ד. הראה כי המשפט מתקיים גם בצורה הדיפרנציאלית שלו.



תשובות

$$1) \vec{E} = \frac{V}{L} \hat{z} \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 V r}{2\pi a^2 R} \hat{\theta}$$

$$2) \vec{S}(r=a) = \frac{v^2 (-\hat{r})}{2\pi a L R}$$

$$3) U_{em} = \frac{\epsilon_0 V^2 \pi a^2}{2L} + \frac{V^2 L}{16\pi R^2}$$

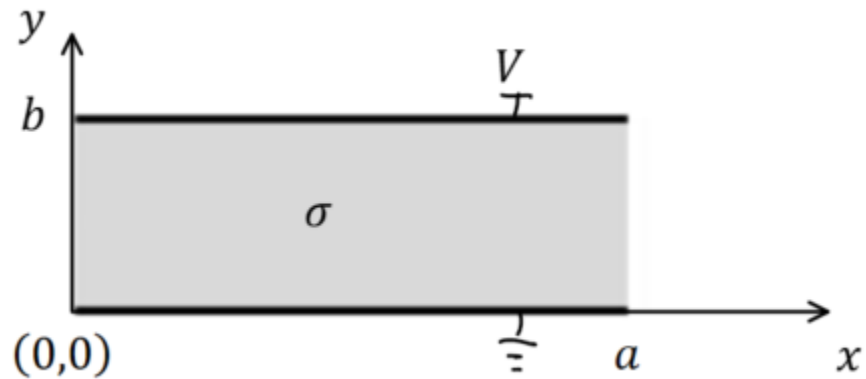
מישור אינסופי במתח קבוע

נתון מוליך בגודל $a \times b \times W$ כאשר $W \gg a, b$ נבחר את מערכת הצירים כך שהראשית בפינת המוליך הרחוב a מקביל לציר x הגובה b מקביל לציר y והאורך W מקביל לציר z ראה איור. המוליכות של החומר היא σ והוא מוחזק בהפרש פוטנציאלים V .

א. מה השדה החשמלי והזרם במוליך?

ב. מהו \vec{H} במרחב?

ג. מהו ההספק ליחידת נפח שמתבזבז? חשב בדרך ישירה ודרך משפט פויינטינג.



תשובות

$$1) \quad \vec{E} = -\frac{V}{b} \hat{y} \quad \vec{J} = -\frac{\sigma V}{b} \hat{y}$$

$$2) \quad \vec{H} = \frac{\sigma V}{b} \left(x - \frac{a}{2}\right) \hat{z}$$

$$3) \quad \rho = \frac{\sigma V^2}{b^2}$$

חישוב הספק נפחי משדה חשמלי תלוי בזמן

באזור $-d < x < d$ קיים שדה חשמלי הנתון לפי הפונקציה הבאה $\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \frac{x}{d} e^{-\frac{t}{\tau}} \hat{y}$ השדה המגנטי במרחב מקיים $\vec{B}(\vec{r}, 0) = 0$. מצא את צפיפות הזרם האמיתי באזור וחשב את ההספק האוהמי הרגעי ליחידת נפח.

מומנט דיפול מגנטי

הסברים ותרגילים

17-2 תרגיל, מטען מסתובב סביב דיפול בראשית

נתון דיפול מגנטי הממוקם בראשית $(\mu, 0, 0)$.
מצא את μ כך שאלקטרון הממוקם בנקודה $(0, -a, 0)$ עם מהירות $(0, 0, v)$ יבצע תנועה מעגלית.

17-3 תרגיל, חצי קליפה כדורית מסתובבת

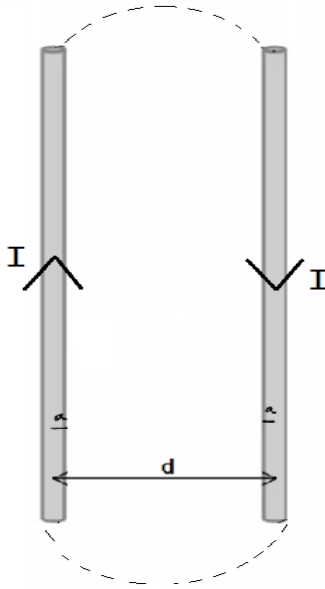
חצי קליפה כדורית, טעונה בצפיפות מטען משטחית σ ומסתובבת סביב ציר z .
מצא את מומנט הדיפול המגנטי של הקליפה.

השראות

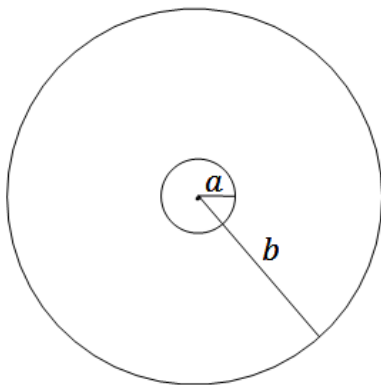
השראות עצמית

18-2 תרגיל, שני תיילים ארוכים

נתונים של תיילים מאוד ארוכים שהמרחק ביניהם הוא d .
 רדיוס כל אחד מהתיילים הוא a ונתון שהתיילים מחוברים באינסוף.
 נתון זרם I במערכת. הנח כי $d \gg a$ והתיילים אינם משפיעים אחד על השני.
 חשב השראות של המערכת.

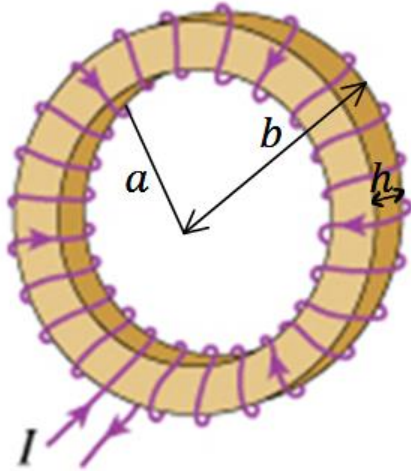
**18-101 השראות בכבל קו-אקסיאלי**

כבל קו אקסיאלי מורכב מתיל פנימי ברדיוס a ומעטפת דקה ברדיוס b . התיל והמעטפת באורך $l \gg a, b$. בתיל הפנימי זרם I נתון, ובמעטפת זרם זהה בכיוון ההפוך. מצא את השראות העצמית ליחידת אורך של המערכת. הזנח את השדה המגנטי בתוך התיל הפנימי.



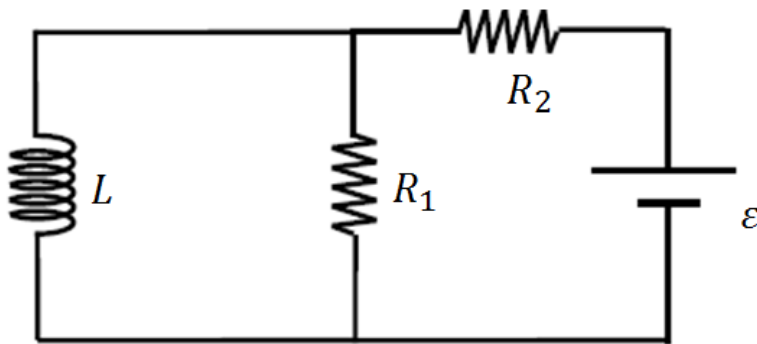
18-102 השראות בטורואיד

בתמונה נתון טורואיד. הרדיוס הפנימי של הטורואיד הוא a והחיצוני b . גובה (או עובי) הטורואיד הוא h ומספר הליפופים N .
 א. מצא את ההשראות של הטורואיד
 ב. מצא את האנרגיה האגורה בטורואיד אם זורם בו זרם I



18-103 סליל במעגל במקביל לנגד

במעגל הבא נתון כא"מ המקור, התנגדות הנגדים והשראות הסליל. מצא את הזרם בסליל כפונקציה של הזמן אם נתון שהזרם בו שווה לאפס ב $t=0$



השראות הדדית

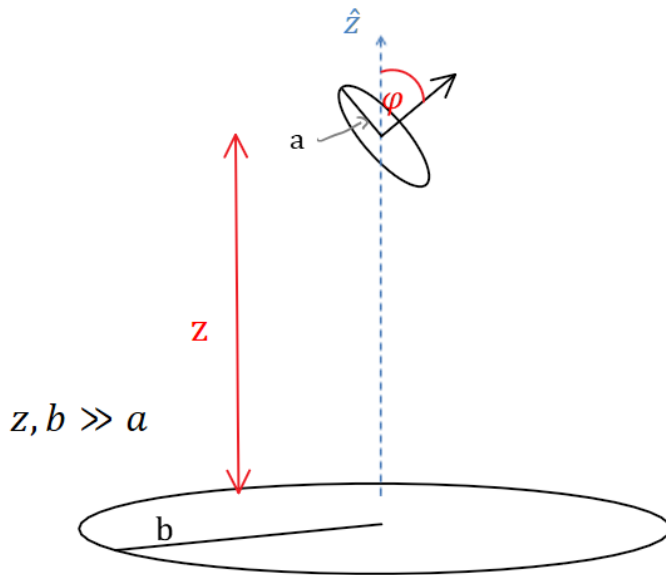
18-4 תרגיל, טבעת בזווית מעל טבעת גדולה

טבעת ברדיוס b מונחת על מישור $x - y$ במקביל לקרקע. טבעת נוספת ברדיוס a שקטן מאוד ביחס ל b מונחת בגובה z מעל מישור $x - y$. מרכזי הטבעות נמצאים על ציר ה z אחד מעל השני. הטבעת הקטנה גם מוטת ביחס למישור $x - y$ כך שהקטור המאונך למישור הטבעת יוצר זווית φ עם ציר ה z .

2. מצא את $M_{1,2}$.

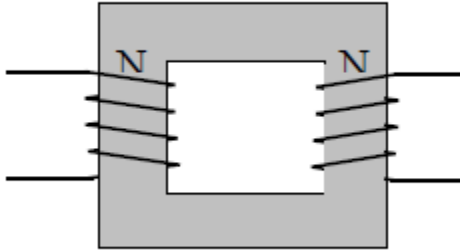
התנגדות הטבעת הקטנה נתונה ומסומנת ב R_a . כמו כן ידוע הזרם כתלות בזמן בטבעת הגדולה והוא שווה ל $I_b = I_0 \cos(\omega t)$. I_0 ו ω קבועים נתונים.

1. מצא את הזרם בטבעת הקטנה.
2. מהו מומנט הכוח הפועל על הטבעת הגדולה?



18-5 שני

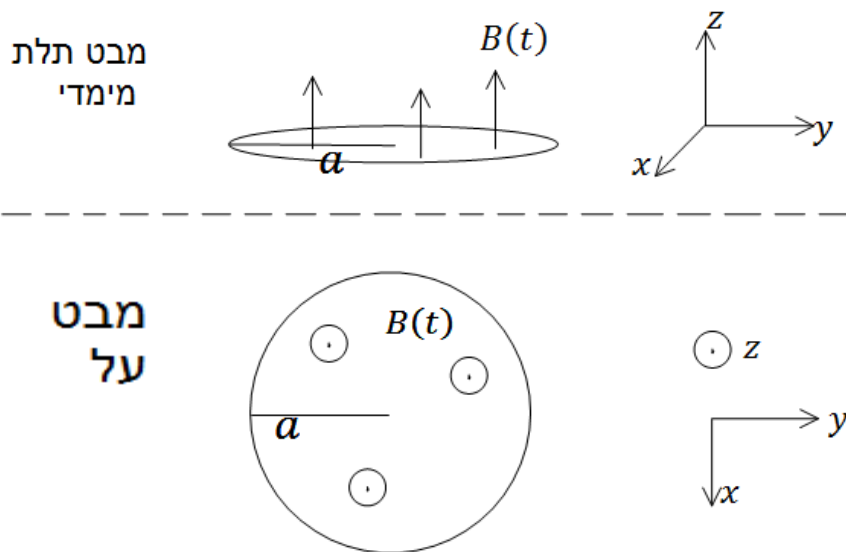
שני מורכב משני סלילים בעלי מספר ליפופים שונה המקיפים ליבה מגנטית מלבנית משני צידי הליבה. הנח כי ליבה מגנטית שומרת את כל קווי השדה המגנטי בתוכה, או לחלופין, כי השטף המגנטי אחד בכל חתך של הליבה. נתון כי המתח על הסליל השמאלי הוא מתח חילופין (מתח מהצורה $V(t) = V_0 \sin \omega t$) מצא את המתח על הסליל הימני כתלות במתח של הסליל השמאלי. נתון N_1, N_2 מספר הליפופים בכל סליל.



18-104 תרגיל אינטגרטיבי, שטף חיצוני השראות ונגד בטבעת

טבעת מוליכה ברדיוס a והתנגדות R נמצאת בתוך שדה מגנטי אחידה במרחב ומשתנה בזמן $B(t) = At$ כאשר A קבוע חיובי. כיוון השדה בניצב למישור בו נמצאת הטבעת (השטף מקסימאלי).

- מצא את סך הכא"מ הפועל על הטבעת כתלות בזמן, אם ההשראות העצמית של הטבעת L נתונה.
- מצא משוואה על הזרם כתלות בזמן ופתור אותה למציאת הזרם כתלות בזמן. (היעזר בפתרון של סליל במעגל טעינה).
- מצא את הזרם והשטף הכולל כתלות בזמן בקירוב $R \rightarrow 0$, התעלם מהרגעים הראשונים.



מעגלי זרם חליפין

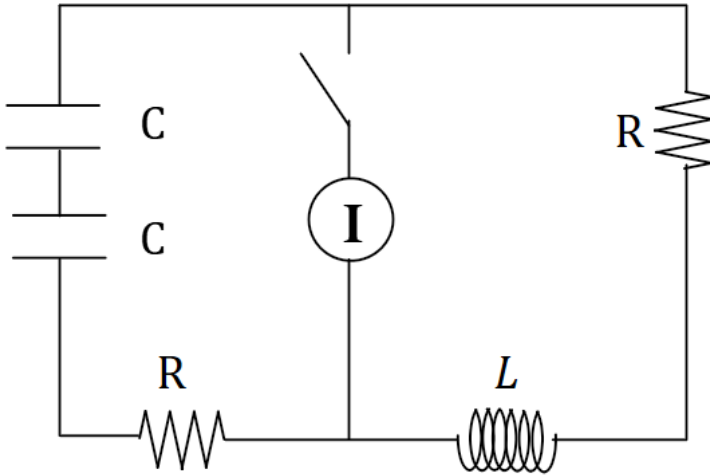
מעגלי זרם חילופין

תרגיל- RLC עם מקור זרם

במעגל הבא ישנו מקור המספק זרם קבוע. ברגע $t=0$ סוגרים את המפסק.

א. מהם הזרמים במעגל כתלות בזמן אם ידוע ש $R^2C < 2L$

ב. מצא את המתח כתלות בזמן של המקור.



תרגיל- מעגל RLC יהלום

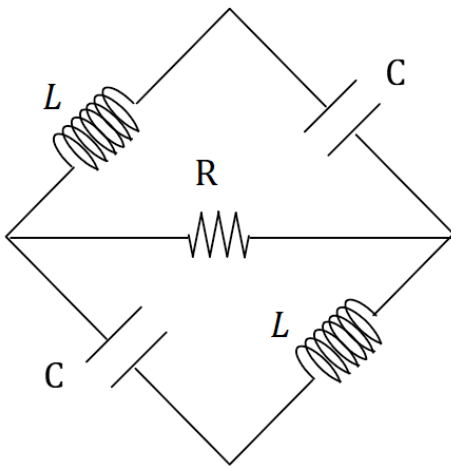
במעגל הבא הקבל העליון טעון ב $t=0$ במטען Q והקבל התחתון פרוק. באותו הזמן גם אין זרם במעגל.

א. כתוב את המשוואות הדיפרנציאליות עבור ההתפתחות בזמן של המטען על כל אחד מהקבלים.

ב. פתור את המשוואות בצורה כללית (אין צורך להציב את תנאי ההתחלה). הדרכה:

$$q_+ = q_1 + q_2 \quad | \quad q_- = q_1 - q_2$$

ג. מהם הזרמים בנגד ובקבל לאחר זמן רב? כמה אנרגיה תהפוך לחום מ $t=0$ ועד זמן רב מאוד.



תרגיל- מעגל טורי זרם חליפין
במעגל הבא נתון:

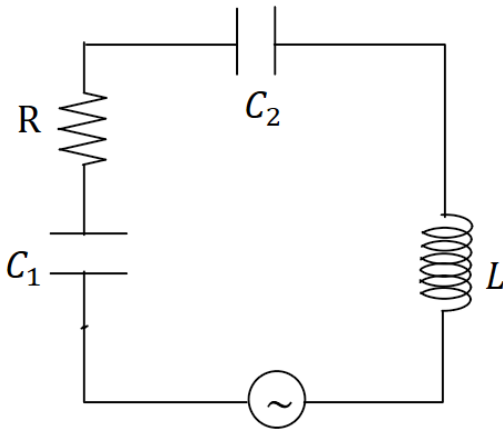
$$V_s(t) = 200 \cos(2000t)$$

$$I(t) = 4 \cos(2000t + \varphi)$$

$$C_1 = 100 \mu\text{F}$$

$$L = 10 \text{mH}$$

$$R = 10 \Omega$$

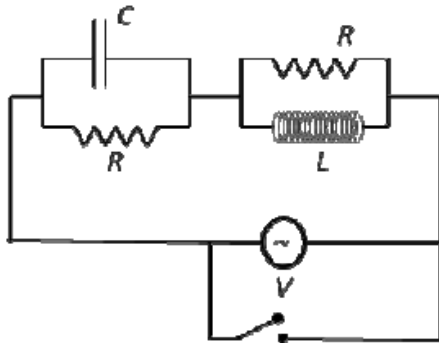


- א. מצא את הקיבול C_2
 ב. מצא את הפאזה של הזרם.
 ג. מצא את ההספק הממוצע של המקור.

תרגיל- מקור, סליל ונגד בטור עם קבל ונגד

במעגל הבא נתונים R, C, L ומתח המקור שווה ל $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

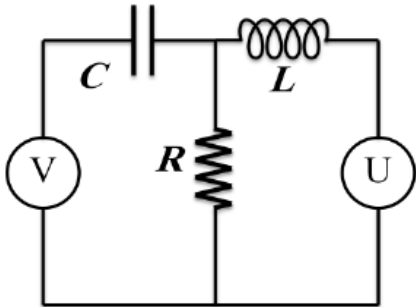
- א. מהי העכבה הכוללת של המעגל?
 ב. עבור איזה תדר של המקור אין הפרש מופע בין הזרם למתח?
 ג. מקצרים את המקור, ונתון המטען ההתחלתי על הקבל Q_0 .
 1. עבור אילו ערכים של R תהיה דעיכה ללא תנודות?
 2. מה הזמן האופייני לאיבוד אנרגיה?



תרגיל- שני מקורות סליל וקבל במקביל לנגד

במעגל הבא U ו V הם שני מקורות מתח חילופין.

נתון: R, L, C והמתחים: $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$, $U(t) = U_0 \cos(\omega t)$



- מצא את הזרם בנגד במצב העמיד.
- מה התנאי לכך שהזרם יתאפס?

תרגיל- מעגל זרם חילופין

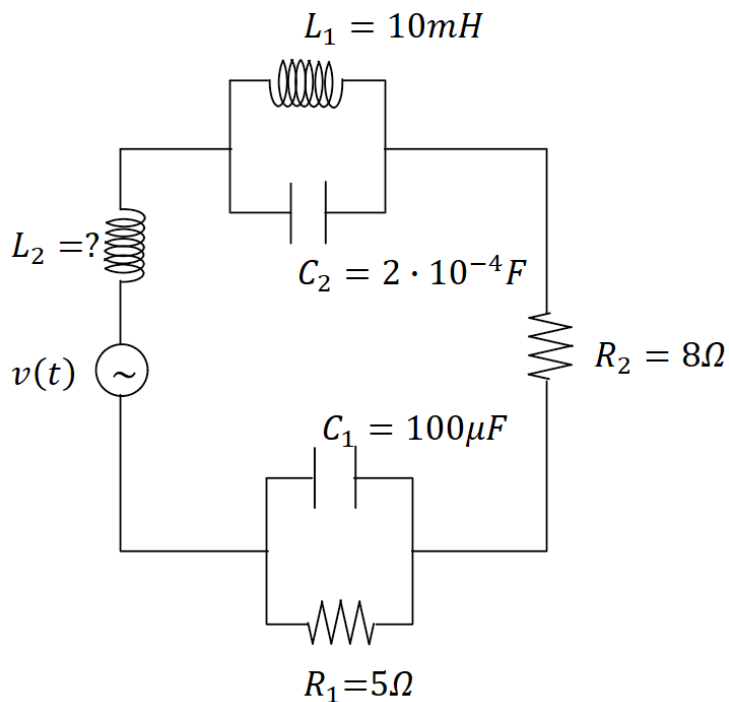
במעגל הבא נתון כי מתח המקור הוא

$$v(t) = 50 \cos(1000t) \text{ כמו כן הזרם העובר בנגד } R_2 \text{ הוא } I_2(t) = I_0 \cos\left(1000t - \frac{\pi}{4}\right)$$

א. מצא את השראות הסליל L_2 ואת I_0

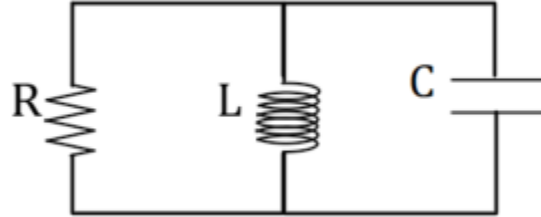
ב. מצא את הזרם בקבל C_1 ב $t = 2$

ג. חשב את ההספק הממוצע של מקור המתח.



סליל נגד וקבל במקביל

קבל בעל קיבול C , סליל בעל השראות L ונגד R מחוברים במקביל.



- א. נתון כי ב $t = 0$ המטען על הקבל הוא q_0 . הראו כי המטען על הקבל כתלות בזמן מקיים את המשוואה $\ddot{q} + \frac{\dot{q}}{RC} + \frac{q}{LC} = 0$
- ב. הראו כי $q(t) = q_0 e^{-\alpha t} \cos(\omega t)$ הוא פתרון למשוואה ומצאו מה הערכים של α ו- ω כפונקציה של L, R ו- C
- ג. הראו כי אם אמפליטודת המטען במעגל יורדת לחצי לאחר n מחזורים אז:
- $$\frac{\sqrt{\omega_0^2 - \omega}}{\omega} = \frac{\ln 2}{2\pi n}$$
- כאשר ω_0 היא תדירות התהודה של המעגל.

הפוטנציאל הוקטורי

הרצאות ותרגילים

1.2 דוגמה 1- מצא צפיפות מפוטנציאל

מצא את צפיפות הזרם שיצרה את הפוטנציאל הוקטורי $\vec{A} = C\hat{\phi}$ בקואורדינטות גליליות, כאשר C קבוע.

1.4 תרגיל - פוטנציאל וקטורי של תיל סופי

תיל סופי באורך L נושא זרם I מונח לאורך ציר ה z
 א. מצא את הפוטנציאל הוקטורי בכל המרחב שיוצר התיל.
 ב. מצא את השדה המגנטי בנקודה מעל אמצע התיל.

נתון סליל אינסופי עם צפיפות ליפופים ליחידת אורך n
 ורדיוס a . מצא את הפוטנציאל הוקטורי בכל המרחב אם בסליל זרם I .

1.6 דוגמה 2- סליל אינסופי

נתון סליל אינסופי עם צפיפות ליפופים ליחידת אורך n
 ורדיוס a . מצא את הפוטנציאל הוקטורי בכל המרחב אם בסליל זרם I .

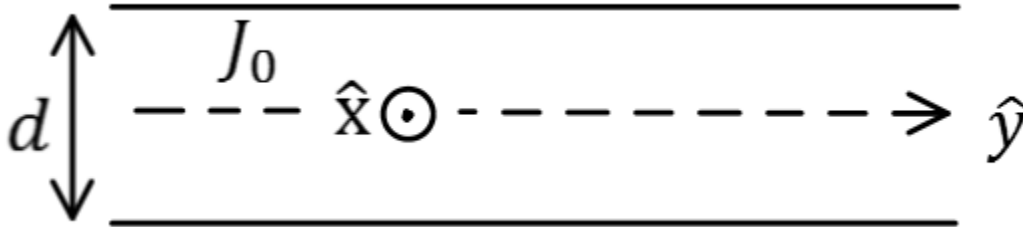
1.7 דוגמה 3-גליל אינסופי

מצא את הפוטנציאל הוקטורי שיוצר גליל אינסופי ברדיוס a הנושא זרם I , אם צפיפות הזרם בגליל אחידה.

1.10 תרגיל- מישור עבה עם צפיפות זרם אחידה

מישור אינסופי נמצא במקביל למישור $x - y$ כאשר המישור $x - y$ נמצא במרכזו. במישור צפיפות זרם אחידה $\vec{J} = J_0 \hat{x}$. עובי המישור הוא d .

א. מצא את כיוון הפוטנציאל הוקטורי במרחב.
 ב. מצא את פונקציית הפוטנציאל הוקטורי בכל המרחב.



חומרים מגנטיים

הרצאות ותרגילים

2.5 דוגמה 1-תיבה דקה ממוגנטת

נתונה תיבה בעלת אורך ורוחב a ועובי $b \ll a$. לתיבה מגנטיזציה "קפואה" (התיבה ממוגנטת כאשר היא לא בתוך שדה מגנטי חיצוני) ואחידה \vec{M} . כיוון המגנטיזציה בכיוון מקביל לצלע b .

א. מצא את השדה המגנטי במרכז התיבה.

ב. מצא את השדה המגנטי רחוק מאוד מהתיבה.

2.6 דוגמה 2-גליל אינסופי ממוגנט

גליל אינסופי ברדיוס R מקוטב בצורה אחידה $\vec{M} = M_0 \hat{z}$. מצא את השדה המגנטי בכל המרחב.

3.2 דוגמה 3- גליל ממוגנט נוסף

גליל אינסופי ברדיוס R מקוטב בצורה $\vec{M} = Ar\hat{\phi}$. כאשר A קבוע כלשהו ו- r הוא המרחק ממרכז הגליל.
 א. מצא את הזרמים הקשורים בגליל ומצא את השדה המגנטי במרחב.
 ב. מצא את השדה המגנטי בכל המרחב ע"י שימוש בוקטור השדה H וללא שימוש בזרמים קשורים.

3.5 דוגמה 4- סליל עם ליבה מגנטית

נתון סליל אינסופי עם צפיפות ליפופים ליחידת אורך n . מכניסים לסליל ליבה מגנטית בעל סוספטביליות נתונה χ_m הממלאת את כל הנפח הכלוא בסליל. מצא את השדה המגנטי בתוך הסליל אם בסליל זורם זרם I .

4.1 תרגיל- אנרגיה להאט גליל מסתובב-טכניון

גליל אינסופי ברדיוס R בעל מקדם פראמביליות יחסי $\mu_r = \alpha r$ טעון בצפיפות מטען אחידה ליח' נפח ρ . הגליל מסתובב סביב ציר הסימטריה שלו במהירות זוויתית ω .
 א. מהו השדה המגנטי בתוך הגליל?
 ב. כמה אנרגיה ליחידת אורך יש להשקיע על מנת להאט את המהירות הזוויתית של הגליל לרבע ממהירותו הנוכחית?

4.2 תרגיל- חומר ממלא חצי מרחב-טכניון

- חומר בעל צפיפות אטומים של $n = 2 \cdot 10^{28} \left[\frac{1}{m^3} \right]$ נמצא תחת שדה מגנטי חיצוני אחיד. החומר מתמגנט כך שבכל אטום מתקבל בממוצע דיפול מגנטי של $\vec{m} = 1.2 \cdot 10^{-24} [A \cdot m^2] \hat{x}$. השדה המגנטי הנמדד בתוך החומר הוא $\vec{B} = 0.04 [T] \hat{x}$.
- א. מצא את המגנטיזציה \vec{M} בחומר, את הסוספטביליות המגנטית χ_m ואת הפאראמביליות μ של החומר.
- ב. הנח שהחומר ממלא את חצי המרחב $x < 0$ וחצי המרחב השני הוא ריק. מהן הזרמים המושרים במרחב.
- ג. מצא את השדה החיצוני \vec{H} אשר יצר את המגנטיזציה.
- ד. מה יהיה השדה המגנטי \vec{B} בריק, סמוך מאוד לגבול בין הריק לחומר? כיצד תשתנה התוצאה אם החומר ממלא את חצי המרחב $y < 0$?

גלים אלקטרומגנטיים

הסברים ותרגילים

23-2 תרגיל 1 בגלים

נתון השדה המגנטי $\vec{B} = B_0 \cos(Ax - 2Ay - \omega t)\hat{z}$

א. מצא את וקטור הגל של השדה.

ב. הבא את התדירות באמצעות הפרמטר A.

ג. מצא את השדה החשמלי.

ד. מהו הכוח הפועל על מטען Q הנמצא בראשית עם מהירות $\vec{v} = v_0\hat{x}$ ב $t=0$.

ה. מצא את הוקטור פוינטינג בכל המרחב.

23-101 מצא שדה מגנטי, תרגיל ונוסחה נוספת

השדה החשמלי בגל אלקטרו מגנטי נתון לפי

$$\vec{E} = E_0(1,1,2)e^{i(2x-z-\omega t)}$$

מצא את השדה המגנטי.

23-102 תרגיל- גל עומד

משוואת הגלים בצורה כללית היא: $\nabla^2\phi = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2}$

כאשר ϕ היא פונקציית הגל במרחב ו v היא מהירות הגל $(v = \frac{\omega}{k})$. במקרה של גלים

אלקטרו מגנטיים ϕ תהיה הפונקציה של השדה החשמלי או המגנטי, $v = c$.

א. הראה שהפונקציה $\phi(x, t) = A \cos(kx) \sin(\omega t)$

מקיימת את משוואת הגלים ולכן היא פתרון אפשרי למשוואה.

ב. פתרון דלמבר למשוואת הגלים אומר שכל פתרון צריך להיות מהצורה

$\phi(x, t) = f(x - vt) + g(x + vt)$, כאשר f ו g הן פונקציות כלשהן. הראה

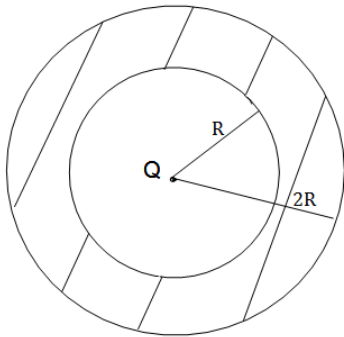
שהפונקציה מסעיף א' היא גם פתרון מהצורה הכללית של הפתרון של דלמבר.

רמז: השתמש בזהויות טריגונומטריות.

תרגילים ברמת מבחן

מטען במרכז קליפה

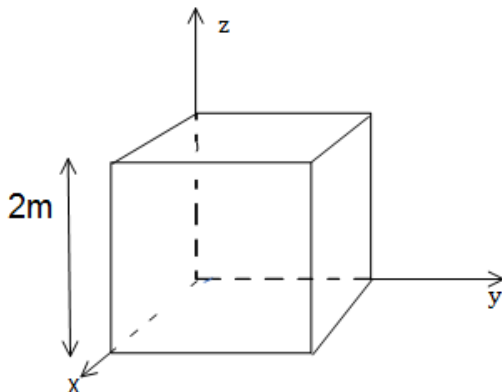
- מטען נקודתי Q נמצא במרכז של קליפה כדורית עבה. רדיוס הקליפה הפנימי הוא R ורדיוס החיצוני הוא $2R$. הקליפה מוליכה ואינה טעונה.
- א. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודה הנמצאת ב $r = \frac{R}{3}$ לבין הנקודה הנמצאת ב $r = 3R$
- ב. חזור על סעיף א' עבור המקרה בו הקליפה טעונה במטען כולל $2Q$.

**מטען אנרגיה ופוטנציאל בקובייה**

נתון שדה במרחב :

$$\vec{E} = 2y\hat{x} + 3y\hat{y}$$

- קובייה בעלת צלע של $2m$ נמצאת ברביע הראשון כך שאחד מקדקודיה נמצא על הראשית (ראה ציור).
- א. חשב את סך המטען הכלוא בתוך קובייה.
- ב. מהי האנרגיה האלקטרוסטטית בתוך הקובייה?
- ג. מצא מהו הפרש הפוטנציאלים בין ראשית הצירים והקדקוד הנמצא בנקודה $(0,2,0)$



גליל וקליפה טעונים ונעים

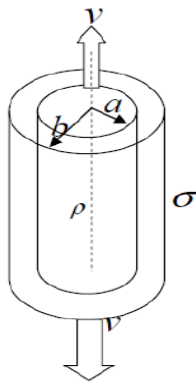
במערכת הבאה ישנו גליל מבודד מלא ואינסופי ברדיוס a . מסביב לגליל ישנה קליפה גלילית מבודדת דקה ברדיוס b (לגליל ולקליפה ציר מרכזי משותף). צפיפות המטען ליחידת נפח בתוך הגליל היא ρ והיא אחידה, וצפיפות המטען ליחידת שטח בקליפה היא σ והיא אחידה גם כן.

א. מצא מהו היחס $\frac{\rho}{\sigma}$ כך שהשדה מחוץ לקליפה יתאפס.

ב. מהו השדה החשמלי בכל המרחב?

ג. מהו הפוטנציאל החשמלי בכל המרחב ומהו הפרש הפוטנציאל בין הגליל לקליפה?

כעט מזיזים את הגליל במהירות קבועה v כלפי מעלה ואת הקליפה באותה המהירות כלפי מטה.



ד. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?

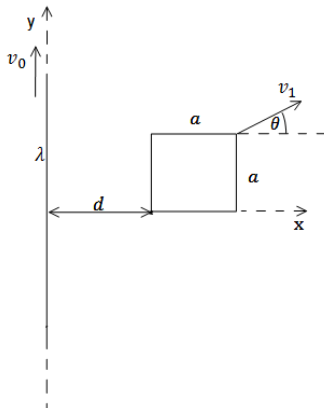
מסגרת נעה באלכסון ליד תיל נע

תיל אינסופי נמצא לאורך ציר ה- y . התיל טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת אורך λ ונע בכיוון ציר ה- y במהירות קבועה v_0 . מסגרת מלבנית בעלת צלע a נמצאת ב- $t = 0$ במישור $x-y$ כך שהפינה השמאלית שלה מרוחקת מרחק d מהתיל (ראה סרטוט). התנגדות המסגרת היא R . המסגרת נעה במהירות קבועה v_1 ובזווית טטה ביחס לציר ה- x .

א. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון.

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

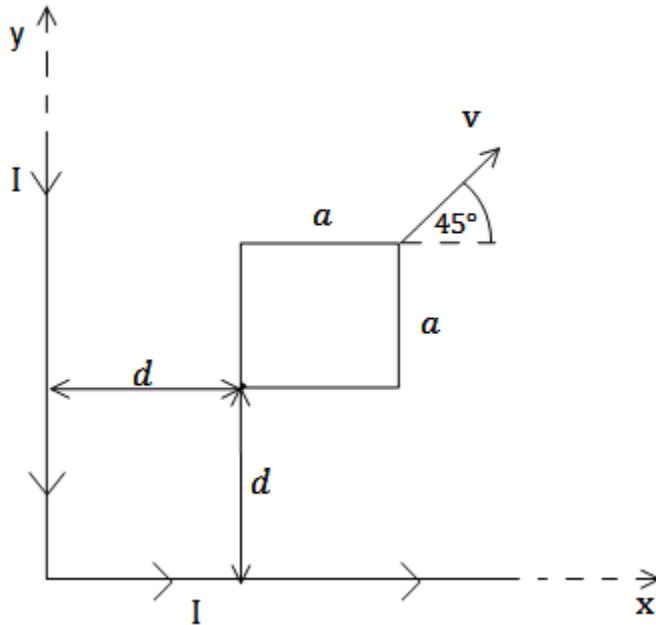
ג. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהולך לאיבוד כחום בנגד?



מסגרת נעה בין שני תילים

תיל אינסופי מכופף בזווית של 90° כך שחלק אחד של התיל נמצא על החלק החיובי של ציר ה- x והחלק השני על החלק החיובי של ציר ה- y (ראה שרטוט). בתיל זרם I_0 קבוע, נגד השעון. מסגרת מלבנית בעלת צלע a נמצאת ב- $t = 0$ במישור $x-y$ כך שהפינה השמאלית התחתונה שלה מרוחקת מרחק d מכל חלק של התיל (ראה שרטוט). התנגדות המסגרת היא R . המסגרת נעה במהירות קבועה v בזווית של 45° ביחס לציר ה- x .

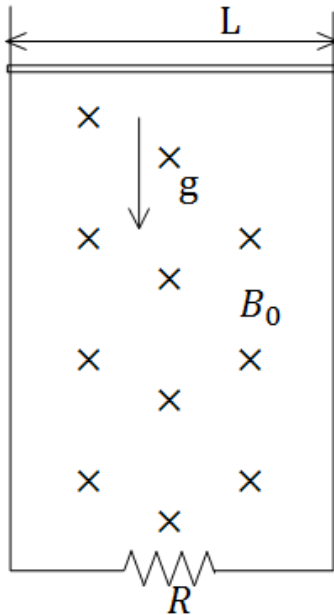
- מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון.
- מהו הכוח הפועל על המסגרת על מנת למשוך אותה במהירות קבועה?
- מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהולך לאיבוד כחום בנגד?



מוט נופל מחובר למסילה (הופיע גם בפרק של חוק פארדיי)

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

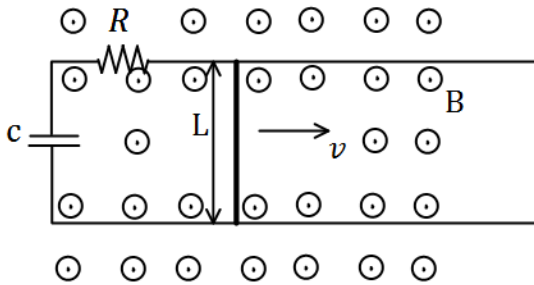
- ו. מצא את הכא"מ במעגל כתלות במהירות המוט v
- ז. מצא את כיוון השדה המושרה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.
- ח. מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדיין כתלות במהירות)
- ט. רשום משוואת כוחות על המוט. מהי המהירות הסופית של המוט?
- י. מצא את המהירות והזרם כפונקציה של הזמן



פאראדיי עם קבל ונגד ביחד (הופיע גם בפרק חוק פארדיי)

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.

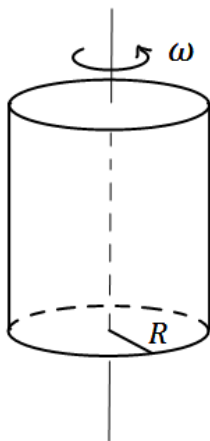
- מצא את הזרם במעגל גודל וכיוון (כתלות בזמן).
- מה הכוח בו צריך למשוך את המוט על מנת שיישאר במהירות קבועה?
- מצא מהו ההספק של הכוח הנ"ל (כתלות בזמן).
- מצא מהו ההספק בנגד ובקבל (כתלות בזמן).
- הראה כי ההספק של הכוח החיצוני שווה להספק של הקבל והנגד. הסבר מדוע ההספקים שווים.



גליל טעון מסתובב

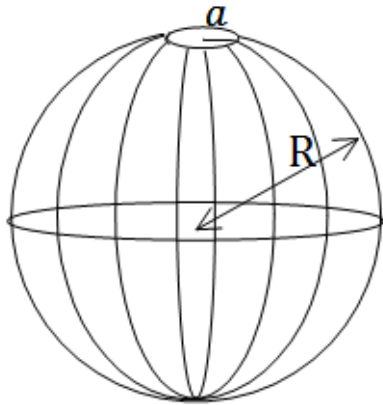
- קליפה גלילית דקה ואינסופית בעלת רדיוס R טעונה בצפיפות מטען ליחידת שטח σ . הקליפה מסתובבת במהירות זוויתית ω סביב ציר הסימטריה שלה.

- מצא את השדה המגנטי בכל המרחב.
- מצא את השדה המגנטי בכל המרחב אם במקום הקליפה היה גליל מלא עם צפיפות מטען אחידה ליחידת נפח ρ .



חור בקליפה כדורית

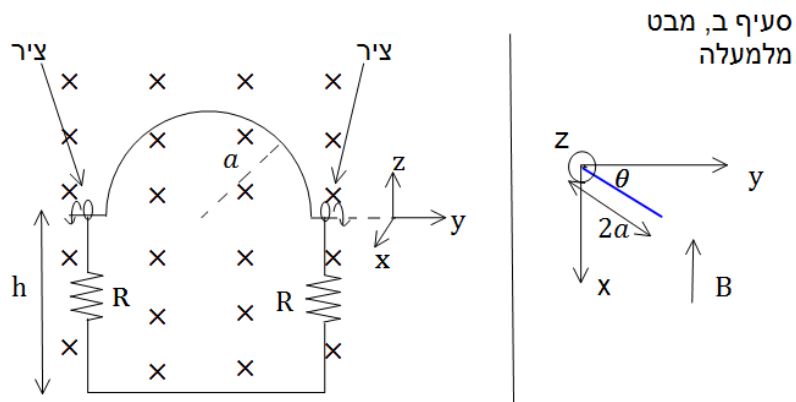
- בקליפה כדורית ברדיוס R יש מטען כולל Q המפולג בצורה אחידה על הקליפה. בחלקה העליון של הקליפה ישנו חור ברדיוס a כך ש $a \ll R$.
- מצא את השדה טיפה מעל החור וטיפה מתחתיו.
 - מצא את השדה במרחק a מעל החור.
 - מצא את השדה והפוטנציאל במרכז הקליפה.



כבל מסתובב (הופיע גם בפרק של חוק פארדיי)

- 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 בציור). 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 בציור ומתחילים לסובבו סביב הצירים (ציר ה Y) במהירות זוויתית ω (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל מתקדמות אלינו). מהו הזרם בכבל?
- ד. מהו הזרם במעגל?
- 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.
- מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שההספק יקטן פי 2.

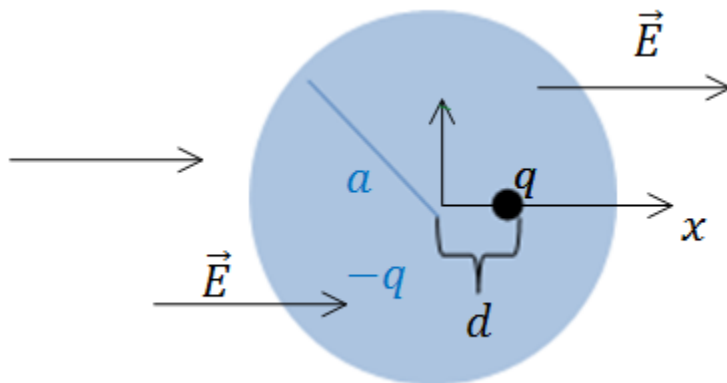


אטום בשדה

מטען נקודתי q נמצא במרכז כדור הטעון במטען כולל $-q$ וצפיפות אחידה ליחידת נפח. רדיוס הכדור הוא a . (מבנה זה הוא מודל פשוט לאטום כאשר המטען הנקודתי הוא סך המטען בגרעין והכדור הטעון מסמל "ענן אלקטרונים"). מכניסים את המערכת לשדה

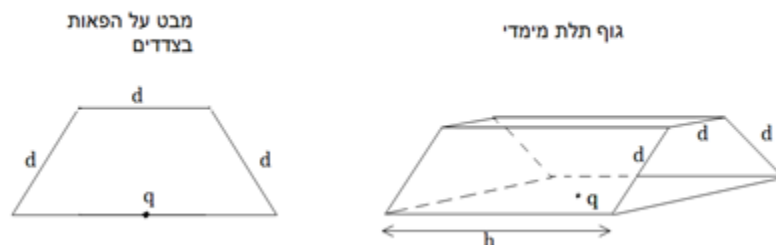
$$\vec{E} = E_0 \hat{x}$$

- מצא את המרחק הנוצר בין מיקום המטען הנקודתי למרכז הכדור במצב שיווי משקל. (סמן את המרחק ב d והנח כי $d \ll a$).
- חשב את העבודה הכוללת שמבצע השדה החשמלי על המערכת בזמן ההכנסה לשדה. חלק לשני מקרים: 1- כאשר השדה מופעל על המערכת וגדל מאפס עד ל E_0 בצורה איטית. ו 2- כאשר המערכת נכנסת בפתאומיות לשדה
- חשב את השדה שיוצרת המערכת מחוץ לכדור לאורך ציר ה x לפי סופרפוזיציה של מטען נקודתי וכדור. השתמש בקירוב ש $d \ll a$ ופשט את הביטוי לסדר ראשון.
- השווה את התשובה שבסעיף הקודם לשדה של דיפול, מהו מומנט הדיפול היוצא מהשוואה זו (גודל וכיוון)?



שטף דרך משושה

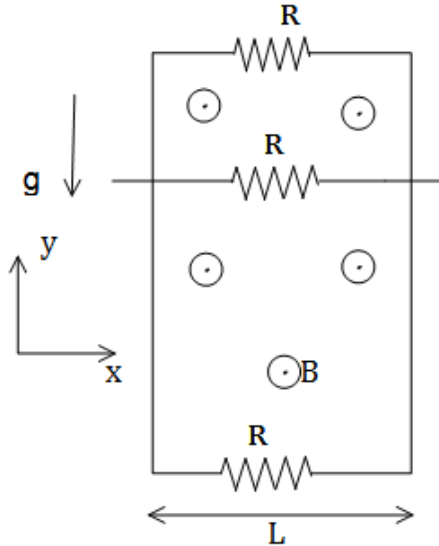
בציור ישנו גוף תלת מימדי שפאותיו בצדדים הם חצאי משושה שווה צלעות עם אורך צלע d . המרחק בין הפאות הוא h וידוע ש $h \gg d$. מטען נקודתי q נמצא במרכז הבסיס של הגוף. מצא את השטף דרך אחת הפאות המלבניות (באורך h ורוחב d).



נגד נופל במסגרת (הופיע גם בפרק של חוק פארדיי)

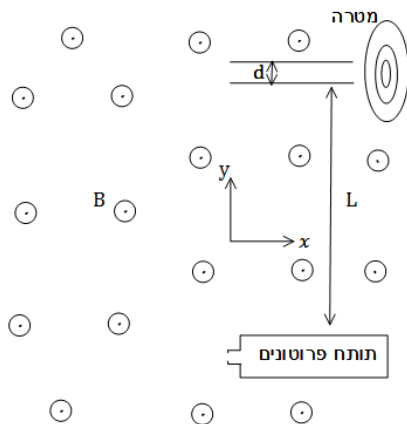
מסגרת מלבנית מוליכה, ארוכה מאוד ובעלת רוחב L , נמצאת בשדה הכובד. אורכה נמצא על ציר ה- Y ורוחבה על ציר ה- X . בצלע העליונה ובצלע התחתונה של המסגרת קיימים נגדים עם התנגדות זהה R . מוט מוליך בעל התנגדות זהה R מחליק לאורך ציר ה- Y על המסגרת.

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



תותח פרוטונים

תותח פרוטונים יורה פרוטונים במהירויות שונות בכיוון מינוס ציר ה- x . במרחק L מעל התותח נמצא קבל לוחות כאשר המרחק בין הלוחות הוא $d \ll L$. בסוף הקבל נמצאת מטרה. במרחב קיים שדה מגנטי B אחיד ובכיוון z . מצא את המתח שצריך להפעיל על הקבל על מנת שהפרוטונים יפגעו במרכז המטרה.

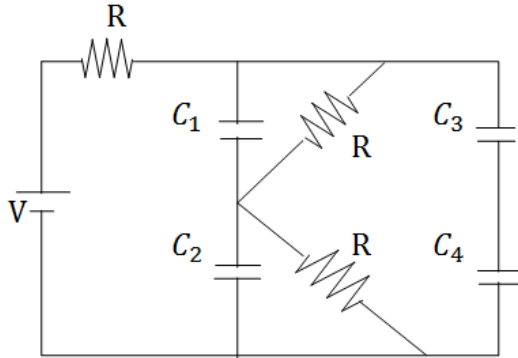


אנרגיה של קבלים

במעגל הבא נתון מתח המקור והתנגדות הנגדים (זהה לכל הנגדים)
 א. מצא את האנרגיה האגורה בקבלים במצב העמיד אם נתון ש-

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

ב. כעת נתון שהגדילו את המרווח בין הלוחות של קבל C_3 פי 2 ולקבל C_2 הכניסו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי ϵ_r הממלא את כל הנפח בתוך הקבל. מצא שוב את האנרגיה האגורה בקבלים.

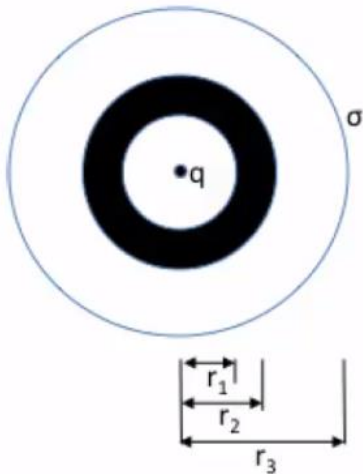


מבחן של הנדסת חשמל באוניברסיטת תא, 2014 מועד א סמסטר א

שאלה 1

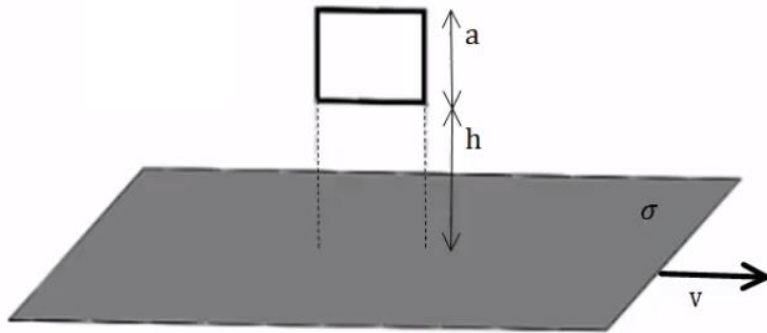
נתונה המערכת הבאה, המתוארת בקואורדינטות כדוריות: בראשית הצירים נמצא מטען נקודתי q . בתחום הרדיאלי $r_1 < r < r_2$ ישנה קליפה כדורית עבה, מוליכה ובלתי טעונה. ברדיוס r_3 (כאשר $r_2 < r_3$) ישנה קליפה כדורית דקה, מבודדת וטעונה בצפיפות מטען שטחית σ .

- מהו וקטור השדה החשמלי בכל המרחב?
- מהי פונקציית הפוטנציאל בכל המרחב? (קחו את הפוטנציאל להיות 0 ב- $x = \infty$).
- רשמו את מיקומיהן וגדליהן של כל צפיפויות המטען המשטחיות במערכת, פרט לזו שב- r_3 .
- מזיזים את המטען הנקודתי למיקום $(\frac{r_1}{2}, 0, 0)$. בכמה משתנה הפוטנציאל בנקודה $(2r_3, 0, 0)$?



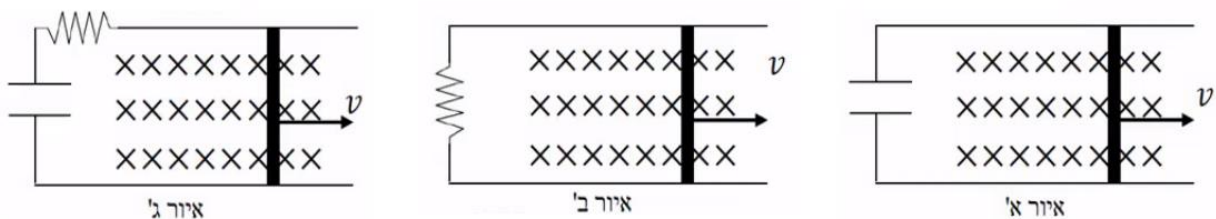
שאלה 2

- במישור xy נמצא משטח אינסופי דק, הטעון בצפיפות מטען משטחית אחידה σ . המשטח נע במהירות $\beta t \hat{x}$ כאשר β קבוע. בגובה h מעל המשטח, במישור xz , נמצאת לולאה ריבועית ניידת בעלת צלע a (ראו איור). ענו על כל הסעיפים כפונקציה של הזמן.
- מהי צפיפות הזרם הקווית הנובעת מתנועת המשטח?
 - מהו השדה המגנטי בכל המרחב?
 - מהו שטף השדה המגנטי דרך הלולאה?
 - נתון שלמסגרת התנגדות R . מהו גודל הזרם במסגרת ומהו כיוונו (ציירו את הכיוון לפי האיור)?



שאלה 3

- קבל שקיבולו C מחובר לשני מוטות חצי אינסופיים וחסרי התנגדות. מוט שלישי, בעל אורך H וחסר התנגדות, נוגע בקצותיו במוטות החצי אינסופיים ומתרחק מהקבל המהירות קבועה v (ראו איור א'). באזור המוט הנע פועל שדה מגנטי B_0 הניצב למישור המעגל (השדה נכנס לדף). שדה זה אינו קיים באזור הקבל. הזניחו את התנגדות התילים ואת השדה המגנטי שיוצא הזרם המושרה.
- מהו הכא"מ המושרה במעגל?
 - מהו המטען על הקבל?
 - מחליפים את הקבל בנגד שהתנגדותו R (ראו איור ב'). מהו הזרם במעגל? (גודל וכיוון – ציינו את הכיוון באופן ברור).
 - מחזירים את הקבל למעגל, כך שהוא מחובר בטור עם הנגד (ראו איור ג'). כתבו את משוואת המתחים של המעגל ומצאו את הזרם כפונקציה של הזמן, כאשר נתון שהקבל אינו טעון בזמן $t = 0$.



לולאה דמיונית בתוך כדור טעון נע

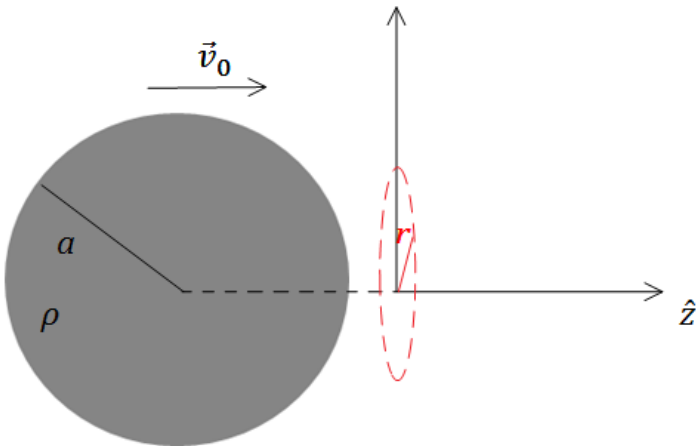
כדור ברדיוס a טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח ρ . מרכז הכדור נמצא על ציר ה- z ונתון כי הכדור נע במהירות קבועה $\vec{v} = v_0 \hat{z}$. טבעת דמיונית ברדיוס $r < a$ נמצאת על מישור x - y ומרכזה בראשית הצירים. פתור את סעיפי השאלה רק עבור הרגע בו מרכז הכדור נמצא על ראשית הצירים (הכדור עדיין נע).

א. מה השדה החשמלי במרחב?

ב. מהו זרם ההעתקה העובר דרך הטבעת?

ג. מהו הזרם האמיתי העובר דרך הטבעת?

ד. מצא את השדה המגנטי על נקודה בטבעת.

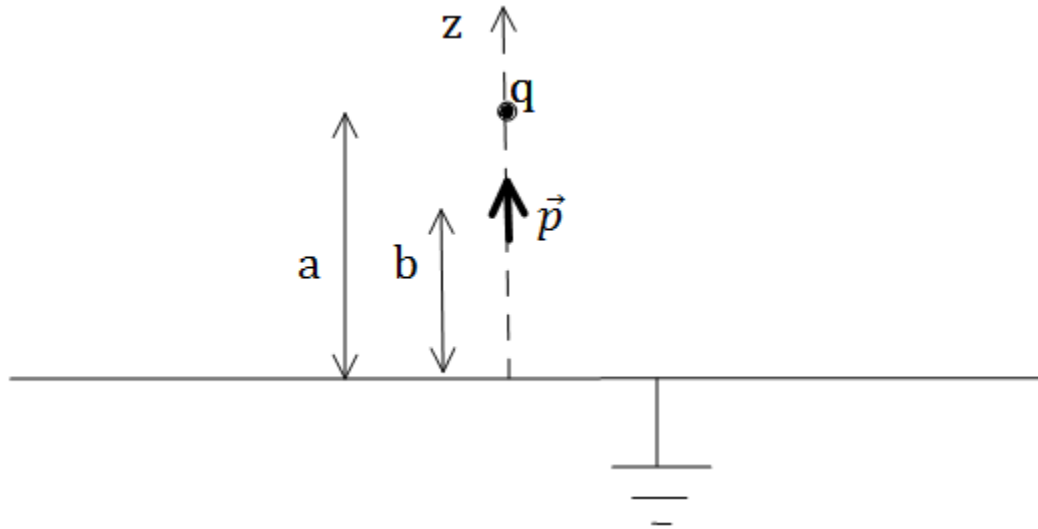


מטען נקודתי ודיפול מעל מישור

מטען נקודתי q נמצא על ציר ה- z במרחק a מהראשית. דיפול חשמלי $\vec{p} = (0, 0, p)$ נמצא גם כן על ציר ה- z במרחק b מהראשית. לאורכו ורוחבו של מישור xy מונח מישור אינסופי מוארק.

א. מצא את הכוח הפועל על המטען q .

ב. מצא את העבודה הדרושה להביא את המטען מאינסוף לנקודה בה הוא נמצא.



גליל טעון נע

נתון גליל אינסופי בעל רדיוס L הטעון בצפיפות מטען נפחית $\rho(r) = \rho_0 \left(\frac{r}{L}\right)^2$. כאשר r מייצג את המרחק מציר הסימטריה של הגליל (ציר z).

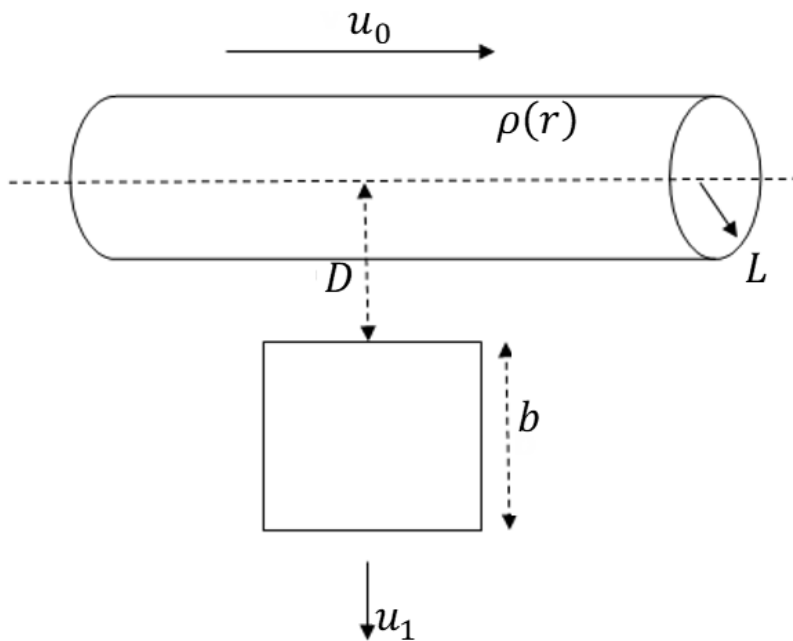
א. קבל ביטוי לווקטור השדה החשמלי בכל המרחב.

ב. קבל ביטוי לפוטנציאל החשמלי בכל המרחב. הניחו כי $V(r=0) = V_0$.

ג. בשלב זה הגליל נע במהירות קבועה u_0 בכיוון z . מה וקטור השדה המגנטי בכל המרחב.

ד. במרחק D ממרכז הגליל נמצאת לולאה ריבועית בעלת צלע b והתנגדות חשמלית R . נתון ש $D > L$ והלולאה וציר הגליל נמצאים באותו מישור, ושתיים מצלעות הלולאה ניצבות לציר הגליל. הלולאה מתחילה לנוע

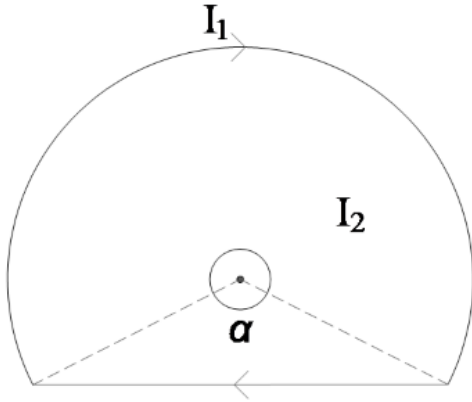
ב $t = 0$ במהירות קבועה u_1 בכיוון הרדיאלי. מהן הזרם הזורם בלולאה ומה כוונת עבוד צפיפות מטען חיובית. במידה ולא פתרת סעיף ג' אתה רשאי להניח זרם חשמלי I בגליל הנע.



מומנט כוח של תיל העובר בתוך גלגל עם פנצ'ר

בלולאה טבעתית ברדיוס R הוחלפה קשת בזווית α במיתר ישר. בלולאה זורם זרם I_1 . מוליך ישר אינסופי ניצב למישור הלולאה וחוצה אותו במרכזה של הטבעת. במוליך זורם זרם I_2 .

מהם הכוח ומומנט הכוח הפועלים על הלולאה?



חור בתוך כדור

כדור שרדיוסו R טעון בצפיפות נתונה אשר שווה ל-

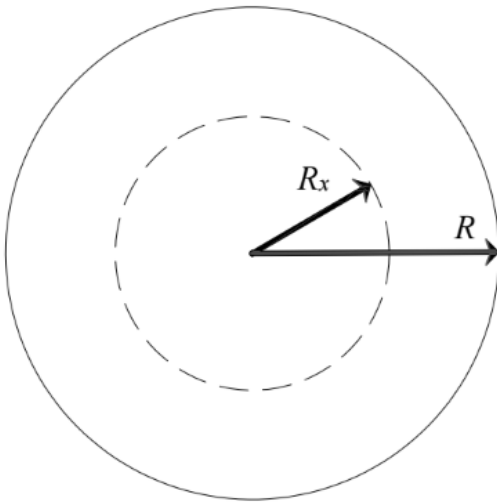
$$\rho(r) = Cr^3 \quad \text{ידוע כי המטען הכולל של הכדור שווה } Q$$

א. מצא את הפרמטר C

ב. מהי עוצמת השדה החשמלי בכל המרחב?

ג. מוציאים מהכדור ליבה כדורית שרדיוסה R_x אשר יוצר חלל פנימי אך שאר החומר עדיין טעון כמו קודם. הפרמטר R_x אינו ידוע. במצב החדש עוצמת השדה החשמלי בכל התחום $r > R$ נחלשה פי 2.

מצא את עוצמת השדה החשמלי בתחום $R_x \leq r \leq R$ (אפשר אך אין חובה למצוא את R_x)



קבל לא סטנדרטי

בתרשים שלפנינו מתואר קבל הבנוי משני גופים מוליכים שצורתם איננה סטנדרטית. הצירים X, Y מוגדרים בשרטוט. נתונות קואורדינטות של הנקודות A, B :

$$x_A = a, \quad x_B = b$$

ידוע כי כאשר קבל זה טעון במטען q הפוטנציאל על ציר ה- X בין הנקודות A ו- B ניתן לפי הנוסחה

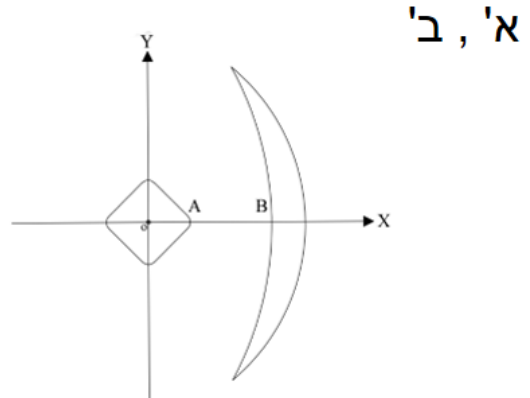
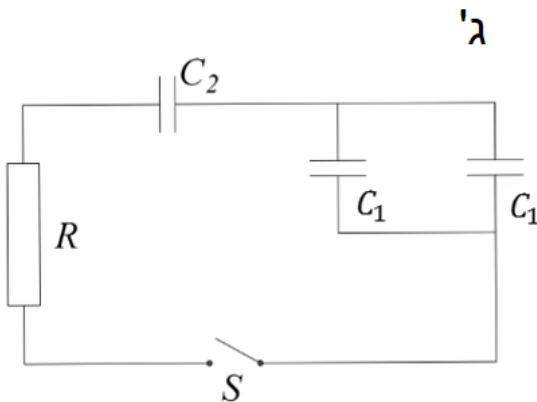
$$\varphi = \gamma q(x^2 + ax + bx)$$

א. מהו קיבולו של הקבל?

ב. ממלאים את הרווח שבין שני גופי הקבל בחומר דיאלקטרי, בעקבות זאת השדה בתוך הקבל משתנה ווקטור השדה בנקודות של ציר ה- X נתון לפי הנוסחה הבאה: $\vec{E} = -\frac{\gamma q}{3a}$

מצא את קיבול הקבל במקרה זה. $(ax + 2xy, x^2 + z^2, 2yz)$

ג. טוענים את הקבל של סעיף א' ונותנים לו להתפרק דרך נגד R . כעבור 7 שניות לאחר תחילת הפריקה נתון כי עוצמת הזרם במעגל ירדה פי 100. בניסוי נוסף מחברים מעגל משלושה קבלים כפי שהשרטוט 2 מראה, המעגל כולל 2 קבלים של סעיף א' (C_1) ועוד קבל של הסעיף ב' (C_2). טוענים את הקבלים ונותנים להם להתפרק דרך אותו הנגד R . כמה זמן יעבור כעת מרגע סגירת המפסק ועד שהזרם יקטן פי 100.



מוליך לא סטנדרטי

נתונה קליפה גלילית דקה שאינה מוליכה באורך אין סופי. בתוך הקליפה נמצא גוף נוסף, מוליך שאורכו גם אין סופי.

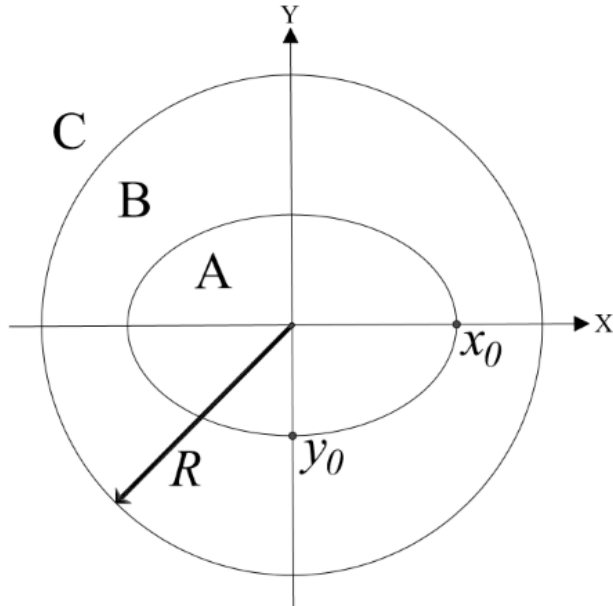
באיור מוצג חתך של המערכת, נסמן ב- A את שטח חתך המוליך, ב- B את התחום בין המוליך לקליפה וב- C את התחום שמחוץ למערכת.

R הוא רדיוס הקליפה הגלילית אשר טעונה בצפיפות מטען אחידה σ . מערכת הצירים נבחרה כך שציר Z מתלכד עם ציר הסימטריה של הקליפה (שימו לב כי צורת החתך המוצגת באיור הינה להמחשה בלבד). נתונה נקודות החיתוך $(x_0, 0, 0)$ של שפת המוליך עם ציר ה- x ראו איור. ידוע גם השדה השקול של המערכת בתחום C :

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

א. מצאו את תרומתה של הקליפה הגלילית לזוקטור השדה החשמלי בכל מקום במרחב. (כפונקציה של x ו- y)

ב. קבלו ביטוי עבור זוקטור השדה החשמלי בתחום A ובתחום B . הנמצאת אף היא על שפת $(0, y_0, z_0)$ בין הנקודות $\Delta\varphi$. חשבו את הפרש הפוטנציאל שעל הקליפה הגלילית. $(R, 0, 0)$ המוליך לבין הנקודה



טורואיד מסביב לגליל עם זרם

נתון גליל מוליך אינסופי שרדיוסו a הנושא את הזרם $\vec{j}(r, t) = crt^2 \hat{z}$ הקבוע c חיובי. א. מצא את וקטור השדה המגנטי בסביבתו החיצונית ($a < r$).

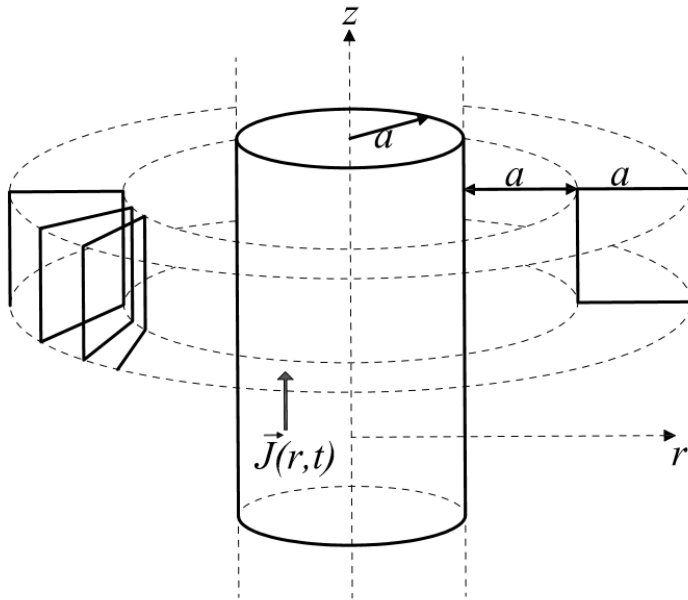
מקיפים את הגליל בסליל סגור בעל כריכות שצורתן ריבוע שאורך צלעותיו a כנראה בשרטוט.

בעלת חתך ריבועי כמתואר על ידי הקווים המנוקדים. הדופן הפנימית של הסליל מרוחקת מרחק a ממעטפת הגליל.

בנוסף נתון שהסליל הוא תייל בעל רדיוס חתך $a/100$ והתנגדות סגולית ρ .

ב. חשבו את השטף המגנטי דרך כריכה בודדת בסליל.

ג. חשבו את הזרם המושרה בסליל כפונקציה של הזמן וציינו את כיוונו.



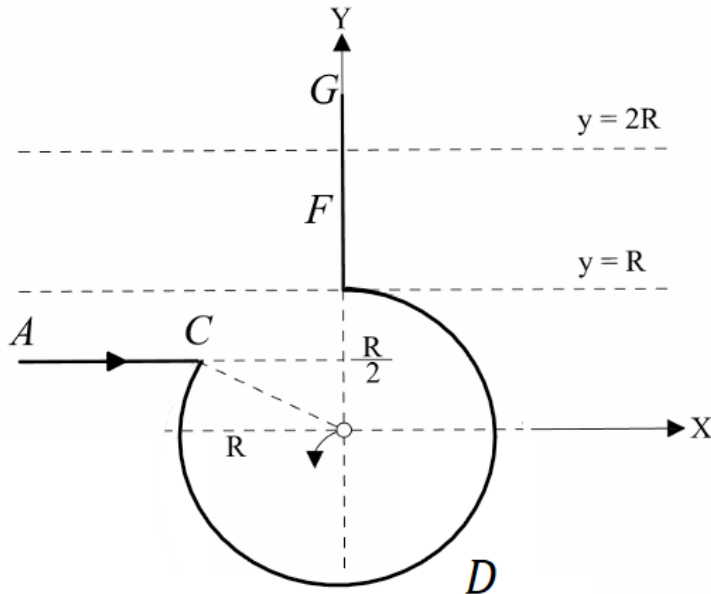
חישוב שדה של תיל מיוחד (הופיע גם בפרק של חוק ביו סבר)

תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים. המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט). 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?

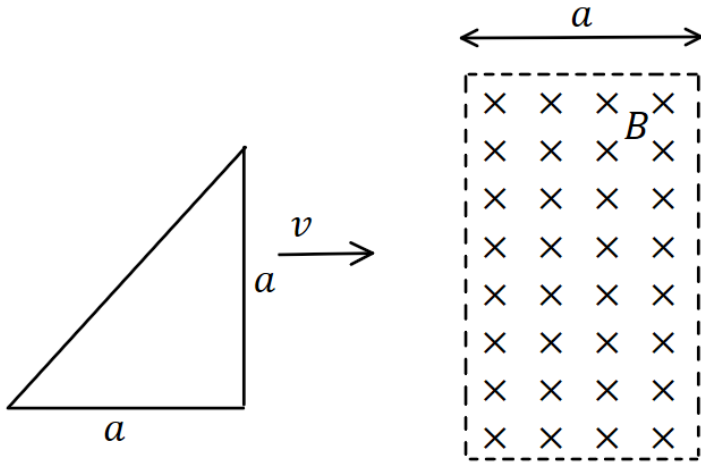
ג. בניסוי נוסף יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחום $R < y < 2R$. חלק של התיל FG נמצא בתוך תחום זה (ראו בשרטוט).

נתון וקטור השדה $\vec{B}(0,0, ay^2)$, כאשר הקבוע a נתון. מהו הכוח המגנטי ששדה זה מפעיל על התיל?



משולש נכנס הפוך לשדה מגנטי

- משולש מתכתי נכנס לאזור ברוחב a בו קיים שדה מגנטי אחיד B . מהירות המשולש קבועה בזמן ונתונה כ v . נתון כי הצלע הימנית של המשולש נכנסת לשדה ב $t = 0$. המשולש שווה שוקיים ואורך כל שוק הוא a . התנגדות המשולש היא R .
- א. חשב את הכא"מ במסגרת כתלות בזמן וצייר גרף $\varepsilon(t)$.
- ב. מהו הספק איבוד האנרגיה?
- ג. חשב את הכוח הדרוש כדי שהמסגרת תנועה במהירות קבועה.



מסגרת נעה בשדה שקטן

מסגרת מלבנית בעלת אורך $2d$ ורוחב L מונחת כך שרק חציה הימני נמצא בתוך שדה מגנטי (ראה איור). כיוון השדה הוא לתוך הדף וגודלו משתנה באופן הבא. ב $0 < t < t_0$ גודל השדה קבוע ושווה ל B , ב $t_0 < t < 2t_0$ גודל השדה יורד בקצב קבוע עד שהוא מגיע לערך 0 בזמן $2t_0$. לאחר מכן גודל השדה נשאר אפס. התנגדות המסגרת היא R .

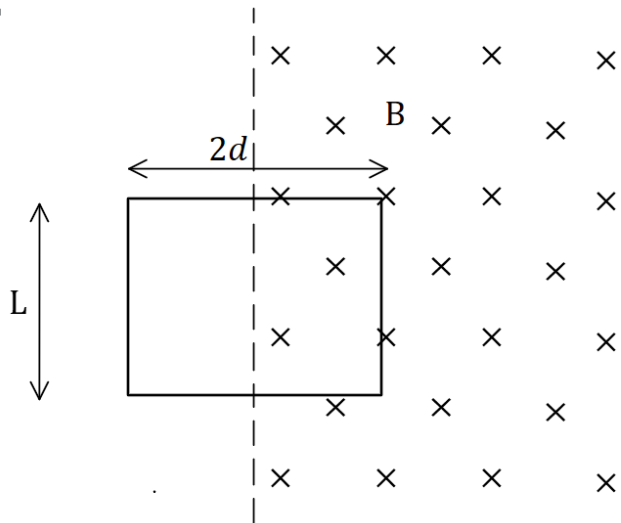
א. חשב את הכא"מ המושרה מרגע $t = 0$ ועד רגע $4t_0$ בהנחה שהמסגרת מקובעת במקומה.

ב. שרטט את הזרם כתלות בזמן. מה כיוון הזרם במסגרת?

כעת נניח כי מהרגע t_0 מושכים את המסגרת ימינה במהירות קבועה $v = \frac{d}{t_0}$.

ג. חשב את הזרם המושרה במסגרת בפרק הזמן $t_0 < t < 2t_0$.

ד. חשב את העבודה שביצע הכוח שמשך את המסגרת בפרק הזמן של סעיף ג.



תרגיל-קבל מארבעה לוחות

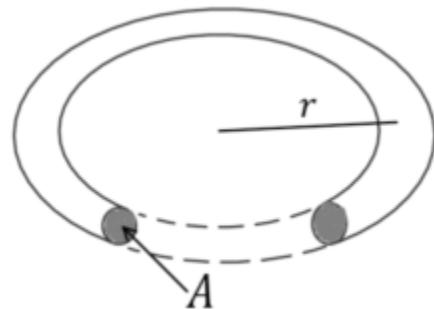
קבל מורכב מארבעה לוחות מוליכים ומקבילים בעלי שטח A , הממוקמים כך שהמרחק בין לוח ללוח הוא d ($d \ll A$). הלוח הראשון מחובר בחוט אידיאלי ללוח השלישי והלוח השני לרביעי. חשב את קיבול המערכת. שים לב שמטעמי סימטריה צפיפות המטען על הלוחות הראשון והרביעי שווה והפוכה בסימן, כנ"ל גם עבור הלוח השני והשלישי.

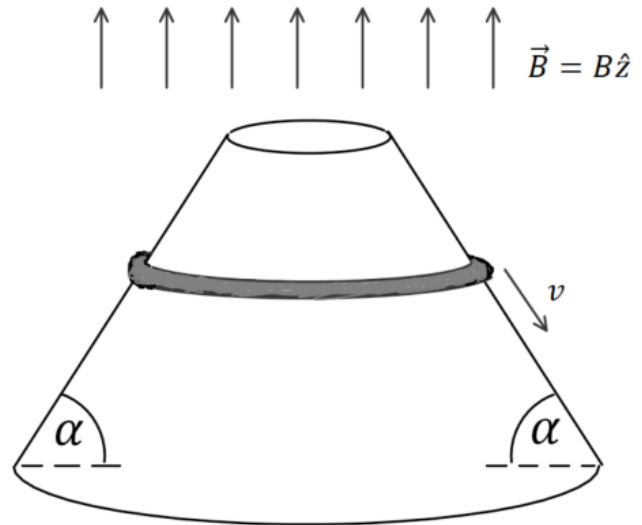


תשובה: $c = \frac{3\epsilon_0 A}{d}$

תרגיל-טבעת אלסטית

- נתונה טבעת מוליכה בעלת רדיוס r ושטח חתך A כך שנפח הטבעת הוא $V = 2\pi r A$. הטבעת עשויה מחומר גמיש במיוחד כך שבכל רגע נתון ניתן לשנות את רדיוס הטבעת ושטח החתך שלה (ללא הפעלת כוח או השקעת אנרגיה בקירוב), כל עוד נפח הטבעת נשאר קבוע. מוליכות הטבעת היא σ ומסתה היא m .
- א. מצא את ההתנגדות הכוללת של הטבעת R באמצעות σ, V, r .
- ב. מניחים את הטבעת על חרוט מעגלי חסר חיכוך בעל זווית בסיס α , ונותנים לה להחליק כלפי מטה בהשפעת כוח הכובד. נתון כי קיים בכל המרחב שדה מגנטי אחיד B בכיוון ציר החרוט. חשב את הכא"מ והזרם בטבעת כתלות ב r ו v המהירות הרגעית של הטבעת. מהו כיוון הזרם ביחס לשדה המגנטי?
- ג. מצאו את הכוח המגנטי (גודל וכיוון) הפועל על אלמנט אורך של הטבעת Δl .
- ד. הראו כי קיימת מהירות שאינה תלויה ב r בה שקול הכוחות על האלמנט אורך Δl בכיוון מקביל למהירות מתאפס. בטאו את המהירות באמצעות V, m, g, α, B .





תשובות

$$1) R = \frac{(2\pi r)^2}{\sigma V}$$

$$2) \mathcal{E} = B \cdot 2\pi r v \cos\alpha \quad I = \frac{B\sigma V v \cos\alpha}{2\pi r} \quad \text{כיוון } \hat{\theta}$$

$$3) d\vec{F} = \frac{B^2 \sigma V v \cos\alpha}{2\pi r} (-\hat{r}) dl$$

$$3) V = \frac{mg \sin\alpha}{B^2 \sigma V \cos^2\alpha}$$