

פיזיקה 2 חשמל ומגנטיות 41101020

פרק 10 - קבלים

תוכן העניינים

- 1..... הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול
- 3..... אנרגיה האגורה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי
- 6..... תרגילים נוספים בקבלים

הסבר על קיבול ושיטות לחישוב קיבול:

שאלות:

1) קובל גליילי

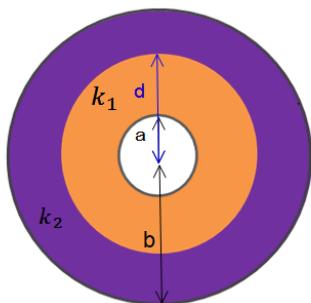
קובל גליילי מורכב משתי קליפות גליילות מוליכות באורך L ורדיויסים a , b .

א. מצא את הקיבול של הקובל $b >> a$.

ב. כתע מלאים את הקובל בחומר דיאלקטרי בעל קבוע משנה.

ג. כאשר $a < r < b$ ו- $k_1 < r < k_2$ מצא את קבוע המשנה.

ד. טוענים את הקובל במתען Q , מצא את התפלגות המטען במרחב (חופשי ומושרה).

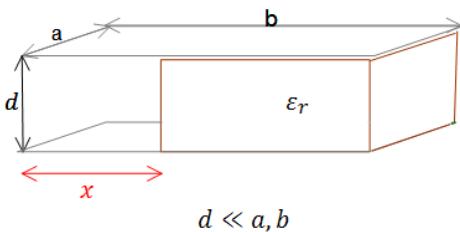


2) דרך שנייה לחישוב קיבול וחיבור קובלים

קובל לוחות מורכב משני לוחות מלכינים בעלי אורך a ורוחב d . המרחק בין הלוחות הוא a .

لتוך הקובל מכנים חומר דיאלקטרי הממלא את כל החלל בין הלוחות עד למרחק x מקצה הלוחות. הקבוע הדיאלקטרי של החומר נתון ϵ_r .

א. מצא את הקיבול של הקובל כתלות ב- x .



$$d \ll a, b$$

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

3) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי תלוי בגובה

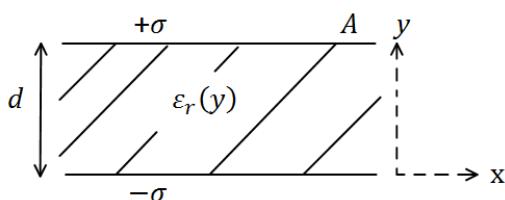
קובל לוחות טוון בצפיפות מטען $\sigma \pm$.

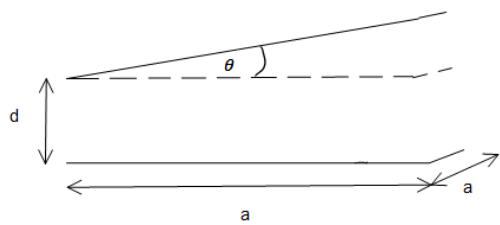
שטח הלוחות הוא A וה מרחק בין הלוחות הוא d . בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק

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

כאשר הלוֹחַ התחצּוֹן נמצא ב- $y=0$.

מצא את הקיבול של הקובל.



**(4) קובל לוחות בזווית**

נתון קובל לוחות בעל שטח A ומטען Q.

אורך כל צלע בלוחות הקובל הינה a.

עקב טעות בייצור נוצרה זווית θ קטנה מאוד בין הלוחות.

א. חשב את קיבולו של הקובל כפונקציה של θ .

ב. מחברים את הקובל למקור מתח V, מצא את התפלגות המטען המשטחית על לוחות הקובל.

תשובות סופיות:

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

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

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

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

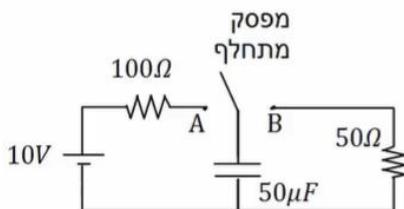
$$\sigma_{(x)} = \frac{\epsilon_0 V_0}{d + x t y \theta} . \text{ב} \quad \frac{\epsilon_0 a}{\theta} \ln \left(1 + \frac{a}{b} \theta \right) . \text{ג} \quad (4)$$

אנרגיה האgorה בקבל וכוח על חומר דיאלקטרי:

שאלות:

1) מתג מתחלף

במעגל הבא מחברים ב- $t=0$ את המפסק המתחלף לנקודה A. ב- $t=0.01$ מעבירים את המפסק לנקודה B.



א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.

ב. מה המטען על הקבל ב- $t=0.02$.

ג. רשום שוב את הזרם כתלות בזמן.

ד. צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

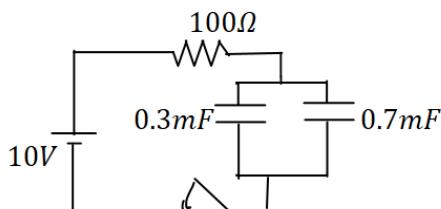
2) טעינה של שני קבליים

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$.

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והטען בכל

קבלי בזמןים: $t=0.2\text{ sec}$, 0.8 sec .



3) קבליים בהתחלה ובסיוף

במעגל הבא הקיבול של הקבליים זהה

ושווה ל-C התנגדות הנגדים זהה ושווה

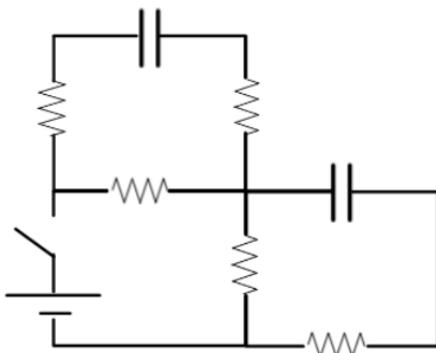
$L-R$ ומתח הסוללה הוא V.

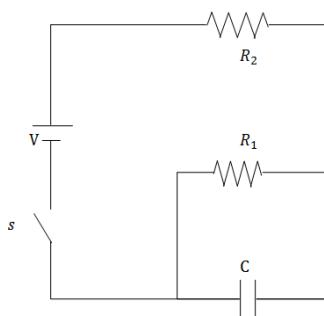
הקבליים אינם טעוניים כאשר המפסק פתוח.

א. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג.

ב. מצאו את הזרם בסוללה והמתח על כל קבל לאחר זמן רב.

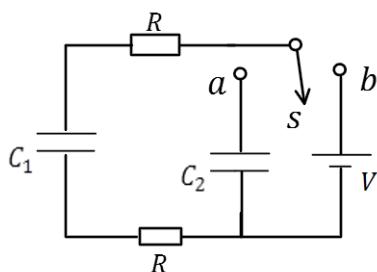
ג. מהו המטען על כל קבל לאחר זמן רב?



**4) מטען על קובל במקביל לפי הזמן**במעגל הבא סורגים את המפסק ב- $t=0$

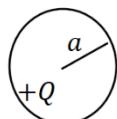
כאשר הקובל אינו טעון.

מצא את המטען על הקובל והזרם בכל נגד כפונקציה של הזמן.

נתון : V, R_1, R_2, C .**5) פריקה בין שני קבליים**במעגל הבא הקובל C_1 טעון בטען Q_0 לפניסגירת המפסק s נקודת a.א. רשם את המשוואה ממנה ניתן לקבל את המטען על הקובל C_1 כתלות בזמן.

ב. פטור את המשוואה ומצא את המטען על כל קובל כתלות בזמן.

ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?

**6) קובל של שני כדורים**שני כדורים בעלי רדיוסים a ו- b מרוחקים
מאוד זה מזה.טוענים את הcadורים בטען Q ו- $-Q$
בהתאם.א. חשב את האנרגיה האלקטרוSTATICית
הכלולת של המערכת.ב. חשב את הקיבול של המערכת דרך
התוצאה שקיבלה עבור האנרגיה.ג. אם לחברים את הcadורים בחות אורך מאוד עם התנגדות כוללת R,
מה זמן הבדיקה האופייני של המערכת?

תשובות סופיות:

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

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

ד. ראה סרטון

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

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

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

ב. זרם סוללה : $\frac{V}{2R}$, מתח קבלים : $\frac{V}{2R}$ א.

ג. מטען קבלים : $\frac{CV}{2}$

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

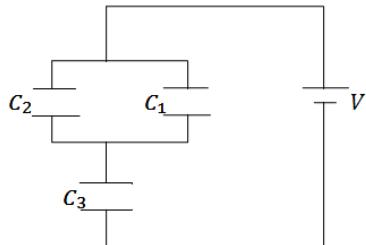
$$, q_1(t) = (\tau \cdot A - Q_0) e^{-\frac{t}{\tau}} . \quad \text{ב.} \quad \frac{C_1 + C_2}{2RC_1 C_2} \cdot q_1 + q_1 - \frac{Q_0}{2RC_2} = 0 . \quad \text{א. (5)}$$

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

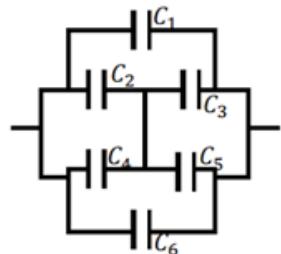
$$\tau = RC = \frac{Rab}{K(a+b)} . \lambda \quad C = \frac{a \cdot b}{K(a+b)} . \quad B \quad U = \frac{KQ^2}{2} \left(\frac{b+a}{a \cdot b}\right) . \quad \text{א. (6)}$$

תרגילים נוספים בקבלים:

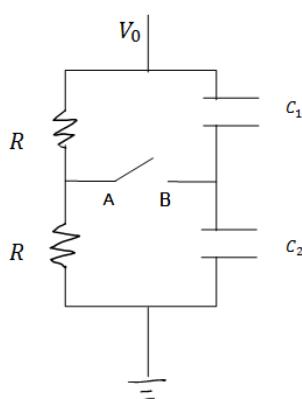
שאלות:



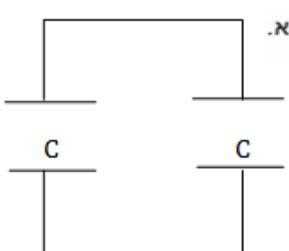
- 1) שלושה קבלים**
 במעגל הבא נתון מתח הסוללה $V = 3V$. והקיבול של כל קבל $C_1 = 2\mu F$, $C_2 = 3\mu F$, $C_3 = 5\mu F$.
 מצא את המטען על כל קבל.



- 2) חיבור קונפיגורטיבי קבלים**
 נתונה מערכת קבלים המחברים על פי הشرطוט.
 מצא את הקיבול השקול של המערכת.

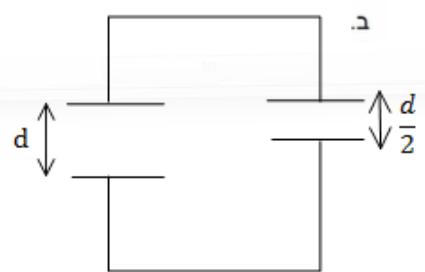


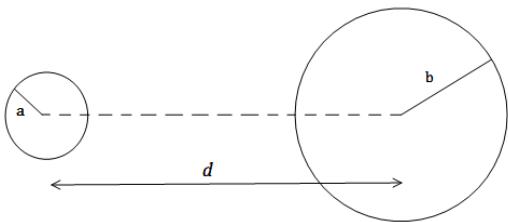
- 3) קבלים עם מפסק**
 במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע ונתנו V_0 . הקצה התיכון מוארך.
 נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזזה של הנגדים.
 א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאליים) בין הנקודה A לנקודה B.
 ב. סגורים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת תהייצבה?



- 4) שני קבלים טעוניים מחוברים אחד לשני**
 טעוניים בנפרד שני קibili לוחות זהים עיי' מקור מתח V_0 . לאחר הטעינה מנטקים את הקבלים ומחברים אותם אחד לשני, הדק חיובי ושלילי לשלייל.
 א. מצא את האנרגיה של המערכת אם קיבול הקבלים הוא C.

- כעת מקטינים את המרחק בין אחד הקבלים פ"2.
 ב. מצא את המתח על כל קבל לאחר זמן רב,
 ואת האנרגיה של המערכת.
 ג. חשב את שינוי האנרגיה והסביר לאן עברה?

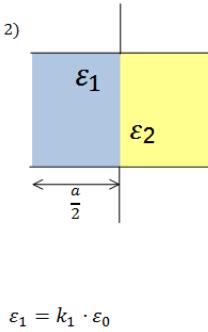
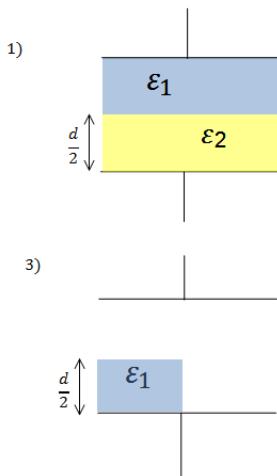


**5) שני כדורים מרוחקים**

שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים שונים ונתוני $b > a$, טעונים בטען שווים ומנוגדים $q_+ - q_-$. המרחק בין מרכזי הconductors הוא d . נתון כי $b \gg d$

- מהו השדה החשמלי לאורץ הציר המחבר בין הconductors (ומחוצה להם)?
- מצא את הפרש הפוטנציאלים בין משטחי הconductors.

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



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

6) חומרים דיאלקטריים בתוך קובל

נתון קובל לוחות ריבועיים בעל צלע a ומרחק בין הלוחות d . אל הקובל מכנים חומרים דיאלקטריים שונים עם מקדמים נתוניים. החומרים מוכנסים בשלוש צורות שונות כפי שצויר בציור (במצב השלישי מוכנס רק חומר אחד, החומרים ממלאים את כל הצלע שנכנתה ללוח).

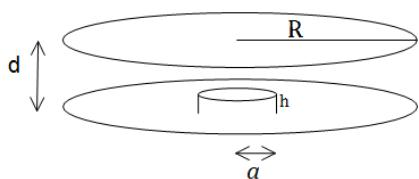
- מצא עבור כל מצב את הקיבול של הקובל.
- מחברים את הקובל למקור מתח V נתון, מהו השדה החשמלי בתוך הקובל בכל אחד מהמצבים?
- מצא את התפלגות המטען החופשית והמושנית בכל אחד מהמצבים.

7) קובל לוחות עם בליטה

במערכת הבאה ישנו קובל לוחות עם לוחות

מעגליים ברדיוס R , ומרחק בין הלוחות d ($R \ll d$).

בלוח התחתון ישנה בליטה בצורה גלילית



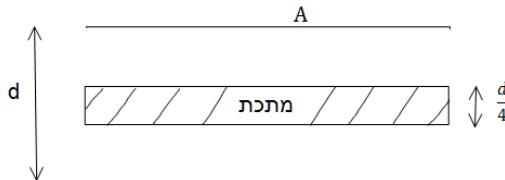
ברדיוס a ($d \gg a$) ועובי h .

מרכז הבליטה במרכז הלוח התחתון.

- מצא את הקיבול של הקובל.

- מהו השדה בכל מקום בתוך הקובל אם נתון שהקובל מחובר למקור מתח V .

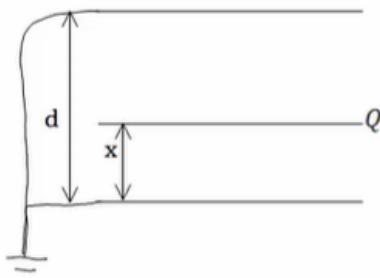
- מצא את התפלגות המטען על הלוחות.

8) קבל עם פיסת מתכת

קבל לוחות מחובר למקור מתח 7.

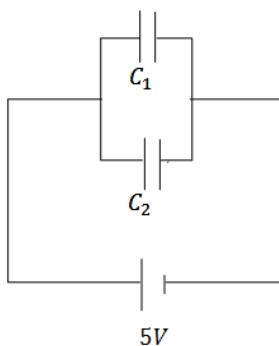
שטח כל לוח בקבל הוא A וה מרחק בין הלוחות הוא d , ($\sqrt{A} \ll d$).

- מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.
- כעת מכניםים לקבל פיסת מתכת בעובי $\frac{d}{4}$ עם שטח A ממרכז הקבל. חוזור על סעיף א.
- כעת מוצאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את מקור המתח. לאחר הניתוק מכניםים את המתכת חזרה פעם שנייה. חוזור על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').

9) שלושה לוחות

נתונה מערכת המורכבת משני לוחות מוארכים במרחק d . בין הלוחות, במרחק x מהלוות התחתון, מכניםים לוח נוסף זהה עם מטען Q . שטח הלוחות הוא d^2 ($d^2 \gg x^2$).

- מצא את הקיבול של המערכת.
- מצא את המטען על כל לוח.
- מצא את האנרגיה של המערכת כפונקציה של x .
- מהו החוכם הפועל על הלוח?

**10) שני קבליים טעוניים מחוברים לקבל שלישי**

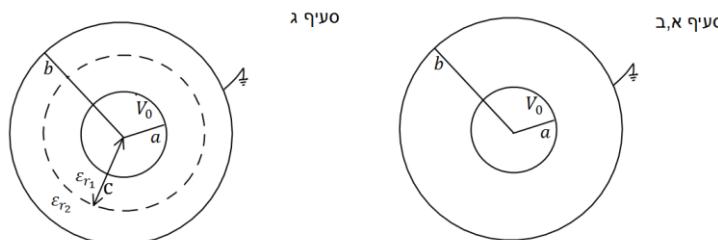
במעגל הבא קיבול הקבליים הוא: $C_1 = 3\mu F$, $C_2 = 2\mu F$ והמתח בסוללה הוא 5V.

לאחר שהקבליים נטענים מנתקים את המקור ומחליפים אותו בקבל של $C_3 = 5\mu F$.

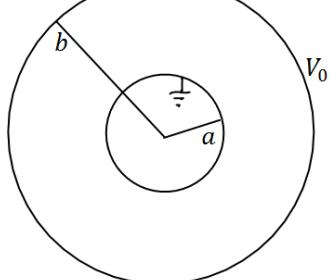
מצא את המטען, המתח והאנרגיה של הקבל החדש לאחר שהמערכת מתיצבת.

11) קבל כדורי עם חומר דיאלקטרי מפוצל

- קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות דקוטר ברדיוסים b , a .
 הקליפה הפנימית מוחזקת במתח V_0 והקליפה החיצונית מוארקט.
 א. חשב את המטען על כל קליפה.
 ב. חשב את הקיבול של הקובל.
 ממלאים את הקובל בשני חומרים דיאלקטריים.
 חומר אחד בעל מקדם ϵ_{r_1} הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל- c
 וחומר שני בעל מקדם ϵ_{r_2} הממלא את החלל בין הרדיוסים c ל- b .
 ג. חשב את הקיבול החדש.

**12) קובל לא אידיאלי**

- קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מולicates דקוטר ברדיוסים a , b .
 הקליפה החיצונית מוחזקת במתח V_0 והקליפה הפנימית מוארקט.
 א. חשב את המטען על כל קליפה, שים לב שיש שדה מחוץ לקובל!
 ב. חשב את הקיבול של הקובל.
 מכנים לקובל חומר דיאלקטרי בעל מקדם ϵ הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל- b .
 ג. חשב את הקיבול החדש וחשב את המטען החופשי על הקליפה המוארקט.

**13) מרחקים לוחות בקובל לוחות**

- קובל לוחות בעל אורך צלע c mm ומרחק בין הלוחות $1 = d$ mm ע"י סוללה במתח V_3 . לאחר שהקובל נתען במלואו מנטקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק pd .

- א. מצא את הפרש הפוטנציאלי החדש על הקובל.
 ב. מצא את האנרגיה ההתחלתיות והסופית האגורה בקובל.
 ג. מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.

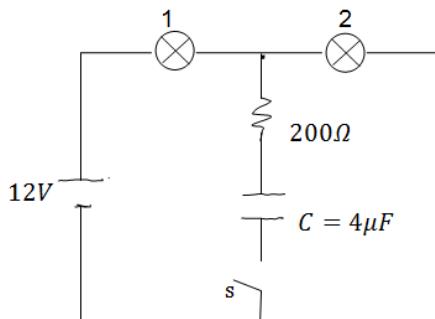
14) מושכים לוח מקובל גליילי

קובל גליילי עשוי משני קליפות גלייליות באורך L ורדיויסים $a < b$. נתון כי הגליל הפנימי טען במתען Q והחיצוני ב- $-Q$.

א. מצא את הקיבול של הקובל.

ב. מושכים את הגליל הפנימי כלפי מעלה לאורך הציר המשותף כך שהוא בולט בשיעור $L \ll \Delta L$ בחלקו העליון.

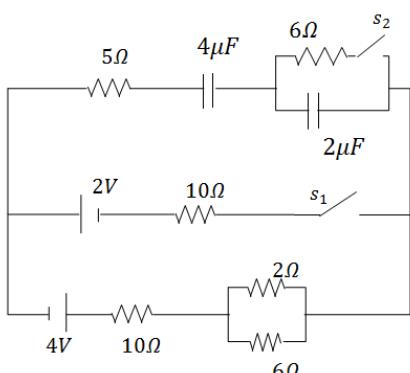
מהו החשמלי הפועל על הגליל הפנימי? (נתון להניה כי השדה החשמלי מתאפס באזוריים בהם אין חפיפה בין הגלילים).

**15) שתי נורות**

במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של 10V הוא 0.5W . ההספק של נורה מס' 2 באותו המתח הוא 0.4W . התנגדות הנגד היא 200Ω .

א. חשב את התנגדות, המתח וההספק החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.

ב. חשב את המתח על הקובל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.

**16) מעגל עם קבלים**

חשב את כל הזרים במעגל ואת המטען על כל קובל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

א. s_1 פתוח ו- s_2 סגור.

ב. s_2 פתוח ו- s_1 סגור.

ג. שני המפסקים סגורים.

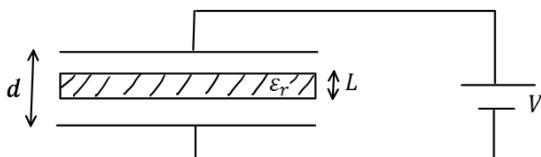
17) קובל לוחות עם חומר דיאלקטרי ממלא רק חלק מהקובל

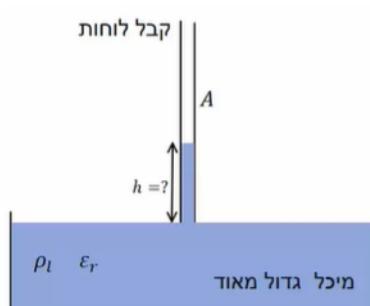
קובל לוחות בניוי משני לוחות ריבועיים בעלי צלעות a המרוחקים מרחק d זה מזה. בין לוחות הקובל הוכנס חומר דיאלקטרי בעובי $d < L$ ומקדם דיאלקטרי ϵ_r . מחברים את הקובל למקור מתח V .

א. מהו השדה החשמלי באזורי ללא החומר הדיאלקטרי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי?

ג. מהו המטען המושרה על השפה של החומר הדיאלקטרי?



**18) גובה נוזל בתוך קובל**

קובל לוחות ריבועיים מחובר למקור מתח 7. שטח כל לוח הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d . מחזיקים את הקובל כך שקצתו טבול במיכל גדול מאוד המכיל נוזל בעל מקדם דיאלקטרי ϵ_r וצפיפות מסה יחידת נפח ρ_l .

המטרה היא למצאו עד איזה גובה עולה הנוזל בקובל.

א. הניח שהגובה ידוע וממצא את האנרגיה כובדית של המים והאנרגיה הפוטנציאלית של הקובל.

ב. מצא מה השינוי באנרגיה של הסוללה ע"י חישוב העבודה שביצעה הסוללה (התיחס לגובה הנוכחי עדיין).

ג. מצא באיזה גובה המערכת תהייצב? השתמש בשיקול שמערכת שואפת להתייצב במינימום של האנרגיה שלה.

19) קובל לוחות עם חומר לא אחיד

בקובל לוחות שטח הלוחות הוא A והמרחק ביניהם הוא d . בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק בין הלוחות $\epsilon_r(y) = \frac{2d}{y+d}$ כאשר הלוח התיכון נמצא ב- $y=0$. הקובל מחובר למקור מתח 7.

א. מצאו את הקיבול של הקובל.

ב. חשבו את צפיפות המטען על לוחות הקובל.

ג. חשבו את השدة החשמלי בין לוחות הקובל, גודל וכיוון.

ד. מהי האנרגיה האגורה בקובל.

תשובות סופיות:

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

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

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

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

ג. האנרגיה ירדה ועברה לכוח שהזיז את הלוחות.

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

מצב 1 :

$$E_1 = E_2 = \frac{V}{d} \text{ . ב.} \quad C_T = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)a^2}{2d} \text{ . נ.}$$

$$\sigma_{free_1} = \frac{\varepsilon_1}{d}V, \sigma_{i_1} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_1)\frac{V}{d}, \sigma_{free_2} = \frac{\varepsilon_2}{d}V, \sigma_{i_2} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_2)\frac{V}{d} \text{ . ג.}$$

מצב 2 :

$$E_1 = \frac{2\varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V, E_2 = \frac{2\varepsilon_1}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V \text{ . ב.} \quad C_T = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 a^2 \cdot 2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \text{ . נ.}$$

$$\sigma_{free_1} = \frac{2\varepsilon_1 \varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V, \sigma_{i_1} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_1)\frac{2\varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V \text{ . ג. לוח עליון -}$$

$$\sigma_{free_2} = \frac{-2\varepsilon_1 \varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V, \sigma_{i_2} = -(\varepsilon_0 - \varepsilon_2)\frac{2\varepsilon_1}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}V \text{ . לוח תחתון -}$$

$$\sigma_{free_3} = 0, \sigma_{i_3} = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)2\varepsilon_0}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \text{ . בין החומרים -}$$

מצב 3 :

$$E_1 = \frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)}, E_2 = \frac{2\varepsilon_1 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)}, E_3 = \frac{V}{d} \text{ . ב.} \quad C_T = \frac{\varepsilon_0 a^2}{a} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_0} + \frac{1}{2} \right) \text{ . נ.}$$

$$\sigma_T = \sigma_{free} = \varepsilon_0 \frac{V}{d} \text{ . ג. לוח עליון צד ימין -}$$

$$\sigma_T = \sigma_{free} = \varepsilon_0 \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon_1 V}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_0)} \text{ . לוח עליון צד שמאל -}$$

$$\sigma_{T_{down}} = -\varepsilon_0 \frac{V}{d} \text{ . לוח תחתון צד ימין -}$$

$$\sigma_i = \frac{2\epsilon_0 V}{d(\epsilon_1 + \epsilon_0)} (\epsilon_1 - \epsilon_0) \quad \text{לוח תחתון צד שמאל}$$

$$\sigma_T = \frac{2\epsilon_0 V}{d(\epsilon_1 + \epsilon_0)} (\epsilon_0 - \epsilon_1), \sigma_{free} = 0 \quad \text{באמצע}$$

$$E_1 = \frac{V}{d-h}, E_2 = \frac{V}{d} \quad \text{.ב} \quad C_T = \epsilon_0 \pi \left(\frac{a^2}{d-h} + \frac{R^2 - a^2}{d} \right) \quad \text{.ג} \quad (7)$$

$$\sigma_1 = \epsilon_0 \frac{V}{d-h}, \sigma_2 = \epsilon_0 \frac{V}{d} \quad \text{.ה}$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} V^2, E = \frac{V}{d}, q = \frac{\epsilon_0 A}{d} V \quad \text{.ו} \quad (8)$$

$$U = \frac{2\epsilon_0 A}{3d} V^2, E_1 = E_2 = \frac{4V}{3d}, q_T = \frac{4\epsilon_0 A V}{3d} \quad \text{.ז}$$

$$U = \frac{3\epsilon_0 A V^2}{8d}, E_1 = E_2 = \frac{V}{d}, q_T = \frac{\epsilon_0 A}{d} V \quad \text{.ח}$$

$$q_1 = Q \frac{d-x}{d}, q_2 = Q \left(\frac{x}{d} \right) \quad \text{.ט} \quad C_T = \epsilon_0 A \left(\frac{d}{x(d-x)} \right) \quad \text{.ו} \quad (9)$$

$$\vec{F} = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 A d} (d-2x) \quad \text{.י} \quad U(x) = \frac{Q^2 \cdot x (d-x)}{2\epsilon_0 A d} \quad \text{.ז}$$

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

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

$$C = \frac{q}{\left| kq \left(\frac{1}{\epsilon_r} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{a} \right) + \frac{1}{\epsilon_r} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} \right) \right) \right|} \quad \text{.ז}$$

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

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

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

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

$$|F| = \frac{q^2 \ln \frac{b}{a}}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{(L-x)^2} \quad \text{ב.} \quad C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} \quad \text{א. (14)}$$

$R_1 = 200\Omega$, $V_1 = 5.34V$, $P_1 = 0.143W$ א. (15)

$R_2 = 250\Omega$, $V_2 = 6.68V$, $P_2 = 0.178W$

$$V_0 = V_2 = 6.68V \quad \text{ב.}$$

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

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

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

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

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

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

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