



אוניברסיטת בן-גוריון בנגב  
מדור בחינות

תאריך: 30/9/2020  
שם המרצה: פרופ' שאול מרדכי  
שנה: תש"ף סמס קיץ מועד: א  
מס' הקורס: 203.1.1431  
משך המבחן: 4 שעות  
חומר עזר: מחשבון ודף נוסחאות  
(מצורף)

**מבחן בפיסיקה 2**  
**לתלמידי מדעי החיים, מדעי הגיאולוגיה והסביבה, מדעי המעבדה**  
**הרפואית**

**הוראות: ענו על 4 מתוך 5 השאלות הבאות, כל השאלות שוות בערךן, בטאו את תשובותיכם באמצעות נתוני השאלות בלבד.**

**שאלה 1 (25 נקודות)**

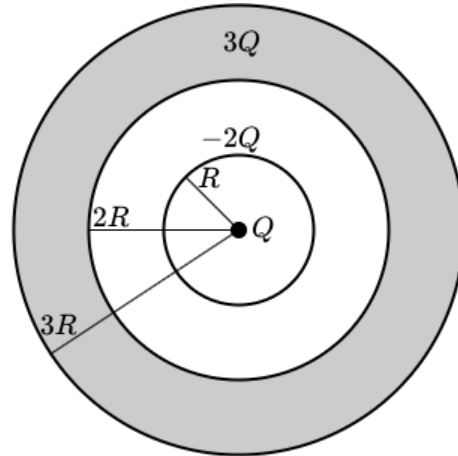
נתונה המערכת הבאה המורכבת משכבה כדורית מוליכה עם רדיוס חיצוני  $3R$  ורדיוס פנימי  $2R$  הטעונה במטען כללי  $3Q$ , קליפה כדורית דקה מוליכה ברדיוס  $R$  ומטען  $-2Q$ , ובמרכז המערכת נמצא מטען נקודתי  $Q$  כמתואר באיור (1).

א. חשבו את התפלגות המטען בשכבה הכדורית המוליכה (דופן פנימית ודופן חיצונית של השכבה). (5 נקודות)

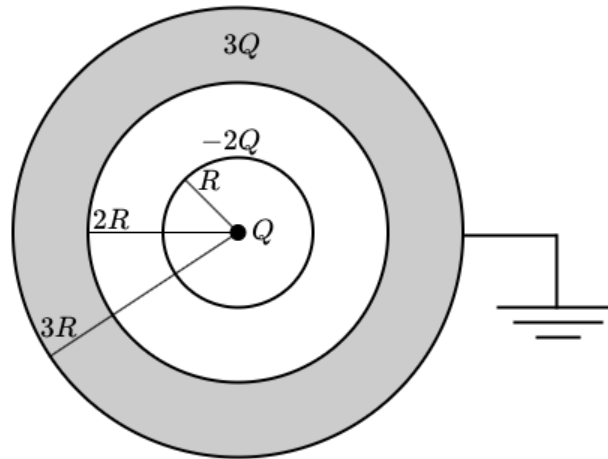
ב. חשבו את השדה החשמלי בכל המרחב כפונקציה של  $r$  (המרחק הרדיאלי בקואורדינטות), וציירו גרף המתאר את השדה החשמלי כפונקציה של  $r$ . (10 נקודות)

ג. כמה עבודה צריך להשקיע כדי להזיז מטען נקודתי  $+q_0$  מקואורדינטה  $R$  ל-  $3R$ ? (5 נקודות)

ד. כעת מאריקים את השכבה הכדורית המוליכה, כמתואר באיור (2). מה תהיה התפלגות המטען על השכבה המוליכה לאחר ההארקה? כמה מטען עבר לאדמה? (5 נקודות)



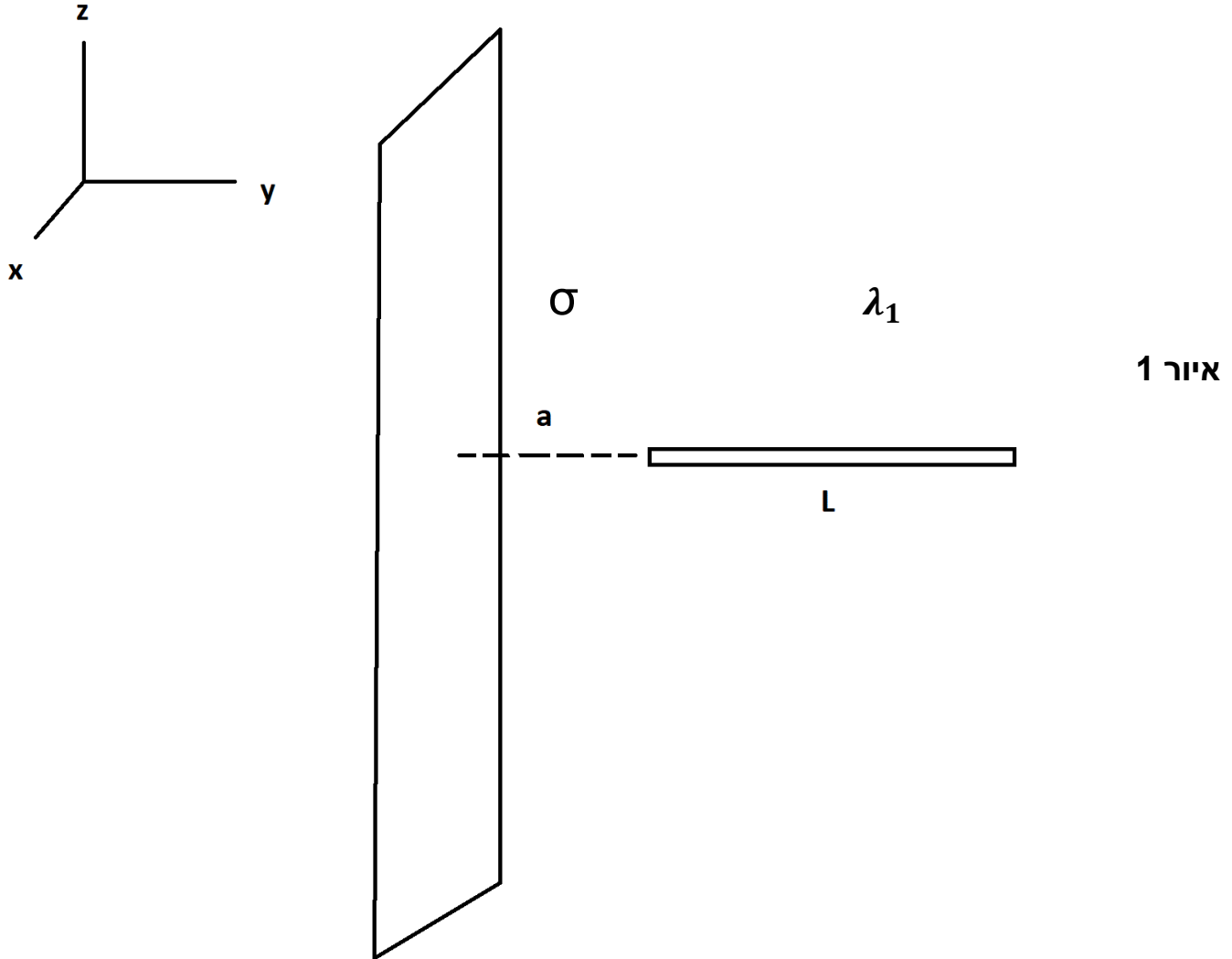
(1)



(2)

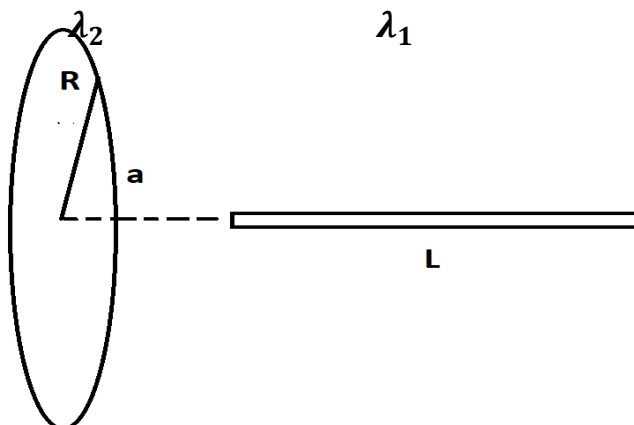
**שאלה 2 (25 נקודות)**

נתון משטח אינסופי המונח במישור Z-X עם צפיפות מטען שטחית  $\sigma$ . במרחק  $a$  ממנו מונח קצהו של מוט באורך  $L$  וצפיפות מטען  $\lambda_1$ , כמתואר באיור 1.  
 א. מצאו את הכח שהמשטח האינסופי מפעיל על המוט. (7 נק')



ב. כעת, מחליפים את המישור האינסופי **בטבעת דקה** בעלת רדיוס  $R$  וצפיפות מטען אורכית  $\lambda_2$ , חשב את הכח שהטבעת מפעילה על המוט. (13 נק')

איור 2



ג. בדקו את תשובתכם בחלק ב' עבור המקרה  $a = 0, L \ll R$  (5 נק')

נתון האינטגרל:

$$\int \frac{xdx}{(x^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} = -\frac{1}{\sqrt{x^2 + a^2}} + C$$

### שאלה 3 (25 נקודות)

נתונה מסגרת העשויה מתיל מוליך בצורת טרפז בעל גובה  $h$ , בסיס עליון  $a$  ובסיס תחתון  $b$ . המסגרת נמצאת במישור  $X - Y$  ונתונה בשדה מגנטי אחיד המשתנה בזמן

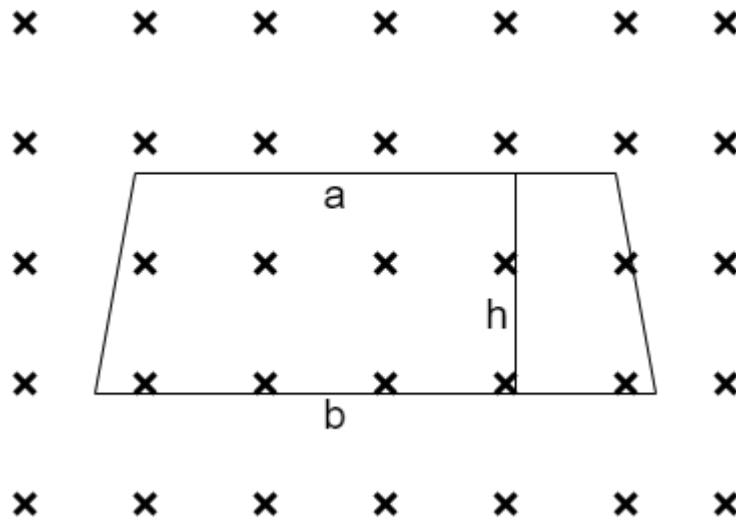
$$\vec{B}(t) = \lambda t^2 \hat{z}$$

א. מה היחידות של  $\lambda$ ? (3 נקודות)

ב. חשב את השטף המגנטי שעובר דרך המסגרת כפונקציה של הזמן. (6 נקודות)

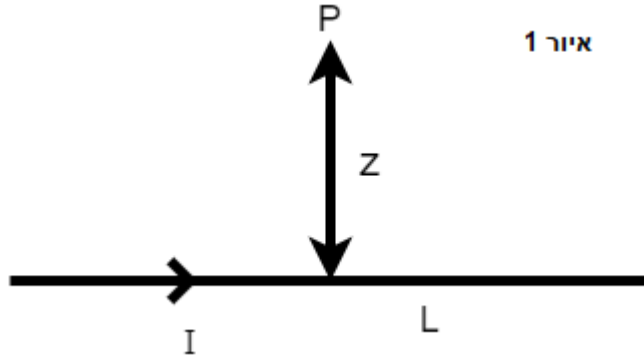
ב. מהו הזרם המושרה (גודל וכיוון) שנוצר במסגרת? (8 נקודות)

ג. מהי כמות המטען שעברה דרך חתך רוחב של התיל בפרק זמן נתון  $T$ ? (8 נקודות)

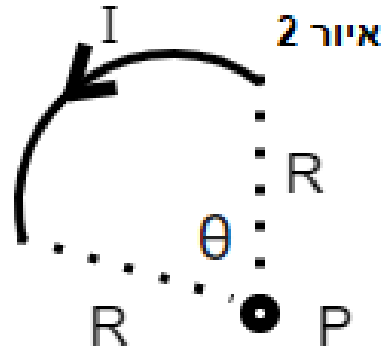


**שאלה 4 (25 נקודות)**

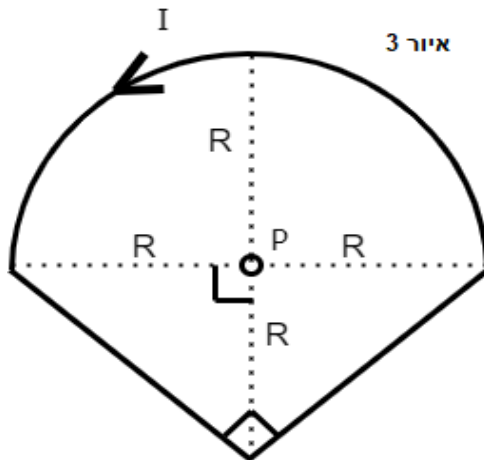
א. חשבו את השדה המגנטי בנקודה  $P$  הנמצאת במרחק  $z$  מעל מרכזו של תיל באורך  $L$  הנושא זרם חשמלי  $I$ . (ראה איור 1) (10 נקודות)



ב. עתה התיל בעל זרם  $I$  מכופף בצורת קשת בעלת רדיוס  $R$  וזווית  $\theta$  (איור 2). מהו השדה המגנטי שהתיל יוצר במרכז  $P$ . (10 נקודות)



ג. תיל הנושא זרם  $I$  מכופף לצורה כמתואר באיור 3, המורכבת מחצי מעגל ומשולש שווה שוקיים. חשבו את השדה המגנטי שהתיל יוצר במרכז  $P$ . (5 נקודות)



נתון האינטגרל:

$$\int \frac{dx}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{R^2} \left( \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right)$$

**שאלה 5 (25 נקודות)**

נתון המעגל החשמלי המתואר בצויר. הנגדים הינם  $R_1 = R$ ,  $R_2 = 2R$ ,  $R_3 = 2R$ ,  $R_4 = R$ , הסוללות  $\epsilon_1 = 2V_0$ ,  $\epsilon_2 = V_0$ , הקבל  $C$  והמפסקים  $S_1, S_2$ .

**בזמן  $t = 0$  המפסק  $S_1$  נסגר ו  $S_2$  נשאר פתוח.**

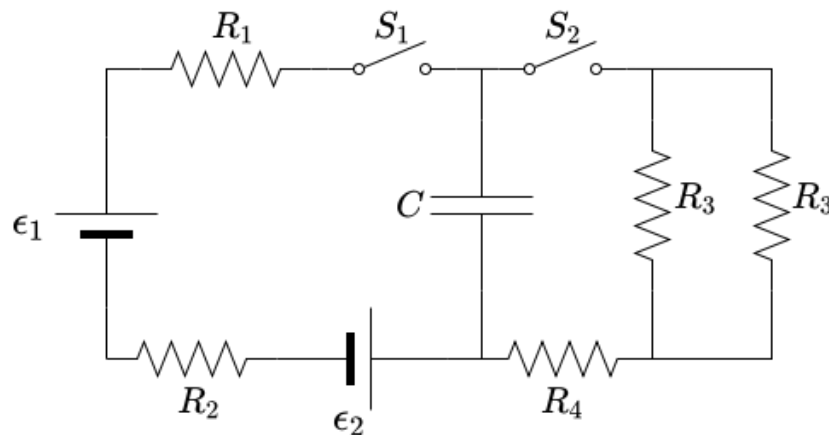
א. מהו הזרם דרך הנגדים  $R_1, R_2$  ברגע סגירת המפסק  $(t = 0)$ ? (8 נקודות)

ב. מחכים זמן רב עם המפסק  $S_1$  סגור ו  $S_2$  פתוח. מהו המטען הסופי על הקבל? מהו קבוע הזמן של המעגל? (8 נקודות)

**כעת פותחים את המפסק  $S_1$  וסוגרים את המפסק  $S_2$ .**

ג. מהו הזרם דרך הנגד  $R_4$  ברגע סגירת המפסק  $S_2$ . (5 נקודות)

ד. תאר גרף סכמתי של המטען על הקבל כפונקציה של הזמן, מהו קבוע הזמן של המעגל כעת? (4 נקודות)



**בהצלחה**

דף נוסחאות

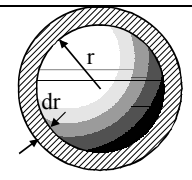
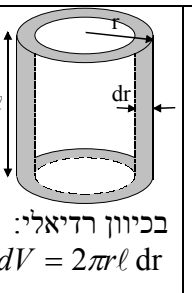
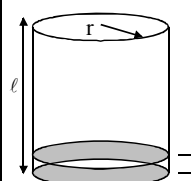
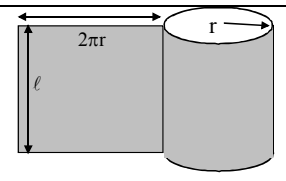
$i = dq/dt$	זרם חשמלי רגעי	$K=1/4\pi\epsilon_0=9\cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{C}^2$ $\epsilon_0 = 8.85\cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N}\cdot\text{m}^2$	קבוע חשמלי חדירות הריק
$V = IR$	חוק אוהם	$\vec{F}_{21} = K \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21}$	חוק קולון
$R = \rho \frac{\ell}{A}$	התנגדות התיל	$\vec{F} = q\vec{E}$	כוח הפועל על מטען נקודתי
$R = \sum_i R_i$	חיבור נגדים בטור	$\vec{E} = K \frac{q}{r^2} \hat{r}$	שדה של מטען נקודתי
$1/R = \sum_i 1/R_i$	חיבור נגדים במקביל	$\oint_A \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q_{encl} / \epsilon_0$	חוק גאוס
$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha(T - T_0))$	תלות התנגדות המוליך בטמפרטורה	$\Phi_e = \oint_A \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$	שטף שדה חשמלי
$i = \int_A \vec{j} \cdot \hat{n} dA, j = di/dA$	צפיפות הזרם	$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i, \varphi = \sum_i \varphi_i$	עיקרון סופרפוזיציה לשדה ולפוטנציאל
$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \vec{E} / \rho$	חוק אוהם דיפרנציאלי	$\lambda = \frac{dq}{dl}, \sigma = \frac{dq}{dA}, \rho = \frac{dq}{dV}$	צפיפות המטען
$W = VIt$	עבודת הזרם החשמלי	$W_{A \rightarrow B} = -q(\varphi_B - \varphi_A) = q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$	עבודה של שדה חשמלי
$P = VI = I^2 R = V^2/R = dW/dt$	הספק הזרם החשמלי	$V = \varphi_B - \varphi_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$	הפרש פוטנציאלים
$\sum i = 0, \sum \epsilon = \sum iR$	חוקי קירכהוף	$V = \frac{U_B - U_A}{q} = -\frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$	
$V_{AB} = \sum iR - \sum \epsilon$	המתח בין שתי נקודות A ו-B	$V = Ed$	הפרש פוטנציאלים בקבל לוחות
$\epsilon = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$ $q = C\epsilon(1 - e^{-t/RC})$	טעינת הקבל	$\varphi = Kq/r$ $E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}, E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$	פוטנציאל של מטען נקודתי שדה חשמלי כפונקצית פוטנציאל
$\oint_i \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum i = \mu_0 \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$	חוק אמפר	$C = q/V$	קיבול
$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$ $B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i(\sin \alpha) dl}{r^2}$	חוק ביו-סבר	$C = \epsilon_0 \epsilon_r A/d$ $1/C = \sum_i 1/C_i$ $C = \sum_i C_i$	קיבול קבל לוחות חיבור קבלים בטור חיבור קבלים במקביל
$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ $F = qvB \sin \alpha$	כוח על מטען בשדה מגנטי	$U = (1/2)CV^2 = Q^2/(2C) = (1/2)QV$ $U = (1/2)Q\varphi$	אנרגיית קבל טעון אנרגיית מוליך טעון
$F = \vec{l}i \times \vec{B}$ $F = i\ell B \sin \alpha$	כוח על תיל נושא זרם בשדה מגנטי	$U = (1/2) \int_V \rho \varphi dV$	אנרגיית מבודד טעון
$\tau = iAB \sin \alpha = \mu B \sin \alpha$	מומנט סיבובי על מסגרת	$U = (\epsilon_0 \epsilon_r / 2) \int_V E^2 dV$	אנרגיית שדה חשמלי
$\mu = iA$	מומנט מגנטי	$\frac{1}{C_T} = \sum \frac{1}{C_i}$	קיבול שקול בחיבור טורי
$B = \mu_0 i / (2\pi r)$	שדה מגנטי של תיל אינסופי	$C_T = \sum C_i$	קיבול שקול בחיבור מקבילי
$B = \mu_0 i / (2R)$	שדה מגנטי במרכז כריכה		

	מעגלית		
$B = \mu_0 i N / \ell = \mu_0 i n$	שדה מגנטי בתוך סליל ארוך		
$\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot \hat{n} dA = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$	שטף השדה המגנטי	$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$	כא"מ מושרה
$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = B \cdot A \cos \alpha$	שטף השדה המגנטי	$\varepsilon = Blv \sin \alpha$	כא"מ מושרה בתייל מוליך
$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_1 i_2}{d}$	הכוח ליחידת אורך בין שני תיילים ארוכים מקבילים	$\varepsilon = -L \frac{di}{dt}$	כא"מ מושרה עצמית
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$	קבוע מגנטי	$\varepsilon = NBA\omega \sin \omega t$	כא"מ מושרה במחולל
		$U = \frac{1}{2} Li^2$	האנרגיה האגורה במשרן
		$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}$	יחס ההשנאה של שנאי אידאלי
		$F = \frac{B^2 L^2 v \sin \alpha \sin \beta}{R}$	הכוח המושרה במוט הנע בזווית $\alpha$ לשדה מגנטי
$R = \frac{Mv_{\perp}}{qB}$	רדיוס הסיבוב בשדה המגנטי	$F = \frac{B^2 L^2 v}{R}$	הכוח המושרה על המוט הנע במאונך לשדה
$f = \frac{1}{2\pi} \frac{qB}{m}$	תדירות הסיבוב בשדה מגנטי	$\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin(\omega t)$	הכא"מ במסגרת המסתובבת במהירות זוויתית קבועה
$L = N \frac{\Phi}{i}$	השראות	$U = \frac{1}{2\mu_0} \int_V B^2 dV$	אנרגיה של שדה מגנטי
$L = \mu_0 N^2 V / \ell^2$	השראות של סליל ישר		

$$\int \frac{xdx}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \sqrt{a^2 + x^2} + C, \int \frac{dx}{(a^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2 \sqrt{a^2 + x^2}} + C, \int \frac{dx}{a^2 + x^2} = \frac{1}{a} \arctg \frac{x}{a} + C,$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln|x| + C, \int e^{ax} dx = \frac{1}{a} e^{ax} + C, \int \frac{xdx}{(a^2 + x^2)^{3/2}} = -\frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} + C,$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \ln|x + \sqrt{a^2 + x^2}| + C, \int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C; (n \neq -1)$$

אלמנט נפח dV	נפח V	אלמנט שטח dA	שטח A	כדור
 $dV = 4\pi r^2 dr$	$V = 4\pi R^3 / 3$ נפח הכדור		$A = 4\pi R^2$	
 בכיוון רדיאלי: $dV = 2\pi r \ell dr$ בכיוון הציר: $dV = \pi r^2 dl$	$V = \pi r^2 \ell$ נפח הגליל	$dA = 2\pi r dl$ 	 שפה חיצונית: $A = 2\pi R \ell$ בסיס: $A = \pi R^2$	גליל



## מכניקה

עבודה ואנרגיה		קינמטיקה	
$W_{\vec{F}} =  \vec{F}  \cos \alpha \cdot S$	עבודת כוח F	$x(t) = x_0 + v_0(t-t_0) + \frac{a}{2}(t-t_0)^2$	משוואת התנועה
$\bar{P}_{\vec{F}} = W_{\vec{F}} / \Delta t$	הספק ממוצע	$v(t) = v_0 + a(t-t_0)$	משוואת המהירות
$E_K = mv^2 / 2$	אנרגיה קינטית	$v^2(t) = v_0^2 + 2a(x-x_0)$	מהירות והעתק
$E_p = mgh$	אנרגיה פוטנציאלית	$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$	חוק שני של ניוטון
$E_S = kx^2 / 2$	אנרגיית קפיץ	$f_k = \mu_k N$	כוח חיכוך קינטי
$E = E_K + E_p + E_S$	אנרגיה מכנית כללית	$f_s \leq f_{s \max} = \mu_s N$	כוח חיכוך סטטי
$\Delta E = E_{\text{סופית}} - E_{\text{התחלתית}}$	שינוי באנרגיה	$\vec{F}_{\text{קפיץ}} = -k\vec{x}$	חוק הוק (כוח קפיץ)
$W = W_{fk} + W_{\Sigma F}$ <small>חיצוניים ΣF</small>	עבודה כוללת	$\vec{W} = m\vec{g}$	כוח הכובד
$W = \Delta E$	משוואת עבודה-אנרגיה	$v = \omega R$	מהירות קווית
<b>תנועה הרמונית פשוטה</b>		$\omega = 2\pi f = 2\pi / T$	מהירות זוויתית
$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$	משוואת התנועה	$T = 2\pi R / v = 1 / f$	זמן מחזור
$v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$	משוואת המהירות	$a_R = v^2 / R = \omega^2 R = 4\pi^2 f^2 R$	תאוצה מרכזית (צנטריפטלית)
$a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$	משוואת התאוצה		
$v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$	מהירות קווית		
$\omega = \sqrt{k/m}, \omega = \sqrt{g/l}$	מהירות זוויתית		

### נוסחאות זרם חילופין:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \text{עכבה: } z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} \quad \text{תדירות תהודה: } \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$x_L = \omega L \quad \text{היגבים: } x_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$i(t) = i_m \cos(\omega t) \quad \text{זרם:}$$

$$V_C(t) = i_m x_C \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{מתח הקבל: } V_R(t) = i_m R \cos(\omega t) \quad \text{מתח הנגד:}$$

$$V_{in}(t) = V_m \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{מתח המקור: } V_L(t) = i_m x_L \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{מתח הסליל:}$$

$$\tan(\varphi) = \frac{x_L - x_C}{R} \quad \text{זווית הפאזה בין מתח המקור לזרם המעגל:}$$

$$i_{eff} = \frac{i_m}{\sqrt{2}} \quad \text{זרם ומתח אפקטיביים:}$$

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

נוסחאות נוספות:

$$\bar{P} = q\bar{d} \quad \text{דיפול חשמלי:}$$

$$\bar{\tau} = [\bar{p} \times \bar{E}] \quad \text{מומנט כוח על דיפול חשמלי:}$$

$$U = (\bar{p} \cdot \bar{E}) \quad \text{אנרגיה של דיפול בשדה חשמלי:}$$

$$q(t) = q_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{פריקה של קבל:}$$

$$\tau = RC \quad \text{קבוע הזמן במעגל RC:}$$

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \text{טעינה במעגל RL:}$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \text{קבוע הזמן במעגל RL:}$$

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{זרם בפריקת מעגל RL:}$$

**אלמנטי אורך, שטח ונפח בקואורדינטות גליליות וכדוריות:**

$$dV = r^2 dr \sin\theta d\theta d\phi - \text{אלמנט נפח כדורי}$$

$$dV = r dr d\phi dz - \text{אלמנט נפח גלילי}$$

$$dS = r dr d\phi - \text{אלמנט שטח דיסקה}$$

$$dS = R d\phi dz - \text{אלמנט שטח מעטפת גלילית}$$

$$dS = R^2 \sin\theta d\theta d\phi - \text{אלמנט שטח קליפה כדורית}$$

$$dl = R d\phi - \text{אלמנט אורך טבעת}$$

### RC circuit -

#### טעינת קבל:

$$V_c(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) - \text{מתח טעינה}$$
$$Q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) - \text{מטען טעינה}$$
$$I_c(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \text{זרם טעינה}$$

#### פריקת קבל:

$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \text{מתח פריקה}$$
$$Q_c(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \text{מטען פריקה}$$
$$I_c(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \text{זרם פריקה}$$

$$[\tau = RC - \text{קבוע זמן}]$$

### RL circuit -

#### טעינת משרן:

$$I_L(t) = I_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau_L}}) - \text{זרם טעינה}$$
$$V_L(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \text{מתח טעינה}$$

#### פריקת משרן:

$$I_L(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau_L}} - \text{זרם פריקה}$$
$$V_L(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \text{מתח פריקה}$$

$$[\tau_L = L/R - \text{קבוע זמן}]$$