

הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה!

את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמות אישית ברוחב 0.5 בכל צד.

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השוליים, לבחור שוליים מותאמים אישית ולשנות ל 0.5 בכל הכיוונים

עריכה:

בדף הכנסנו כמה שיותר הסברים, נוסחאות ותמונות. אם מספר העמודים חורג ממספר העמודים המותר בבחינה ניתן לערוך את קובץ ה WORD ולהוריד הסברים מורחבים, תמונות או נוסחאות טריוויאליות. ניתן גם כמובן להוסיף הסברים שלכם או נוסחאות.

בכל מקרה מומלץ מאוד לעבור על הדף לפני המבחן!! הוא גם סיכום של החומר.

אין להוריד את הסמל של GOOL או כל סימן מסחרי אחר!!

מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא.

ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

הדף מיועד לכל שימוש שאינו מסחרי ובפרט לשימוש מרצים, מורים, סטודנטים ותלמידים בקורסים שונים, ניתן לערוך את הדף אך יש להשאיר סימונים של אתר גול.

GOOL

תנועה הרמונית פשוטה

משוואת התנועה:
 $-k(x - x_0) = m\ddot{x}$
 k ו- m הם קבועים **חיוביים** כלשהם.
 x_0 - קבוע שיכול להיות חיובי או שלילי.
 x - משתנה כלשהו, יכול להיות גם זווית או משתנה אחר.
 $\ddot{x}$ - נגזרת שנייה של המשתנה.
 חייב להיות מינוס לפני k .

פתרון המשוואה:
 $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi) + x_0$
 x_0 - נקודת שיווי המשקל, הנקודה שבה $\vec{F} = 0$.
 A - אמפליטודה, המרחק המקסימאלי משיווי המשקל.
 $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ - תדירות זוויתית.
 φ - פאזה.

מציאת הקבועים בפתרון:
 x_0 - אפשר למצוא ישירות מהקבוע שבמשוואה או למצוא אותו מסכום הכוחות שווה לאפס.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{\text{של המקדם } x}{\text{של המקדם } \ddot{x}}}$$

φ , A מוצאים מתנאי התחלה $x(0)$ ו- $\dot{x}(0)$.

נוסחה למהירות המקסימאלית:
 $v_{\max} = \omega A$
האנרגיה:
 $E = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k (x - x_0)^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$
 - האנרגיה הכוללת קבועה ואפשר לחשב אותה דרך האמפליטודה.
 - חילופי האנרגיה בין האנרגיה הקינטית לפוטנציאלית, הפוטנציאלית מקסי' בקצוות והקינטית בשיווי משקל.

GOOL

תנועה הרמונית מרוסנת

בנוסף לכוח הקפיץ נוסף **כוח מרסן** מהצורה:
 $F = -\lambda \dot{v}$
 λ - מהירות הגוף ו- λ קבוע.

משוואת התנועה:
 $\ddot{z} + \Gamma \dot{z} + \omega_0^2 z = 0$

כאשר $z = x - x_0$, $\Gamma = \frac{\lambda}{m}$, $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$
פתרון המשוואה מתחלק לשלושה מקרים:

מקרה (I) - ריסון חזק: $\frac{\Gamma}{2} > \omega_0$
 אין תנודות

$$z(t) = e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \left(A e^{\sqrt{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2 - \omega_0^2} t} + B e^{-\sqrt{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2 - \omega_0^2} t} \right)$$

מקרה (II) - ריסון קריטי: $\frac{\Gamma}{2} = \omega_0$
 $z(t) = (A + B \cdot t) \cdot e^{-\omega_0 t}$
 דעיכה הכי מהירה לשיווי משקל עם תנודה אחת.

$$z(t) = e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \cos(\tilde{\omega} t + \varphi); \quad \tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}$$

יש תנודות דועכות, $\tilde{\omega}$ היא תדירות התנודות.

$$z(t) = A e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \cos(\tilde{\omega} t + \varphi); \quad \tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}$$

GOOL תנועה הרמונית מרוסנת ומאולצת

בנוסף לכוח הקפיץ והמרסן נוסף **כוח מאלץ** מהצורה:
 $\vec{F}(t) = F_0 \sin(\Omega t)$

F_0 ו- Ω קבועים כלשהם

משוואת התנועה:
 $\ddot{z} + \Gamma \dot{z} + \omega_0^2 z = \frac{F_0}{m} \sin(\Omega t)$

פתרון משוואת התנועה:
 $x(t) = A(\Omega) \sin(\Omega t + \phi) + x_{\text{הומוגני}}(t)$

$x_{\text{הומוגני}}(t)$ - הוא הפתרון של תנועה הרמונית מרוסנת שמתחלק לשלושת המקרים ...
 - במצב עמיד (לאחר זמן רב) נזניח את הפתרון ההומוגני.

$$A(\Omega) = \frac{\frac{F_0}{m}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2}}$$

$$\sin(\phi) = \frac{\Gamma \Omega}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2}}$$

תדירות תהודה: התדירות של הכוח המאלץ עבורה $A(\Omega)$ מקסימאלי. ניתן למצוא אותה ע"י נגזרת של A לפי Ω . אם $\omega_0 \ll \Omega$ אז תדירות התהודה היא בקירוב ω_0 (תדירות התנועה ההרמונית ללא כוח מאלץ ומרסן)

GOOL

מבוא לגלים

גלים רוחביים: ההפרעה בכיוון ניצב להתקדמות (מיתר)

גלים אורכיים: ההפרעה בכיוון מקביל להתקדמות (קול)

תנוד: החומר בו מתקדמת ההפרעה

פונקציית הגל: $f(x \pm vt)$, כאשר v היא מהירות הגל.

אנרגיה של גל: $E, A \propto A^2$ היא האמפליטודה (משרעת)

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

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

התאבכות: סכימה של גלים שנפגשים

חזית גל: אוסף הנקודות המגיעות לשיא באותו זמן

גלים מחזוריים:
 $\lambda = v \cdot T$

λ - אורך הגל; T - זמן המחזור; v - מהירות הגל

תדירות (מספר המחזורים בשנייה):
 $f = \frac{1}{T}$

גל הרמוני:
 $y(x, t) = A \cos(kx \pm \omega t + \varphi)$

מספר הגל:
 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

קשרים בין הגדלים השונים:
 $\omega = vk = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

גל עומד: מורכב משני גלים נעים זהים הנעים בכיוונים מנוגדים

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

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

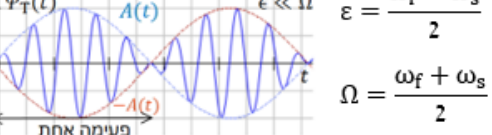
נקודות צומת (node): נקודות שלא זזות. אין מהירות גל.

נקודת טבור (antinode): אמפליטודה מקסימאלית.

פעימות: בפעימות אנחנו מחברים שני גלים בעלי אותה אמפליטודה ומקבלים גל בתוך מעטפת (פעימה).

$$\Psi_1(t) = A \cos(\omega_1 t) \quad \& \quad \Psi_2(t) = A \cos(\omega_2 t)$$

$$\Psi_T(t) = \Psi_1(t) + \Psi_2(t) = 2A \cos(\epsilon t) \cos(\Omega t)$$



תדירות הפעימה היא 2ϵ

גלים רוחביים במיתר

משוואת הגלים:
 $\frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\rho}{T} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial t^2}$

T - המתיחות במיתר, ρ - צפיפות המסה ליחידת אורך, ψ - פונקציית הגל, ההעתק הרוחבי של כל חתיכה במיתר.

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

פתרון המשוואה:

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

- אפשרויות נוספות לפתרון (על ידי שימוש בזוויות טריגונומטריות)

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

שתי האפשרויות האחרונות עדיפות לגלים עומדים.

יחס הדיספרסיה:
 $\omega = v \cdot k$

החזרה והעברה

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

1. רציפות הפונקציה: $\psi_L(0, t) = \psi_R(0, t)$

2. רציפות הכוח: $F_L = F_R$

אם המתיחות אחידה, אז תנאי 2 הופך לרציפות הנגזרת:

$$\frac{\partial \psi_L}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial \psi_R}{\partial x} \Big|_{x=0}$$

$$\psi_L(x, t) = \psi_r(x, t) + \psi(x, t); \quad \psi_R(x, t) = \psi_t(x, t)$$

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

$$\psi_t(x, t) = t\psi\left(\frac{v_1}{v_2}x, t\right); \quad v_1 = \sqrt{\frac{T}{\rho_1}}, \quad v_2 = \sqrt{\frac{T}{\rho_2}}$$

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

מקדם העברה:
 $t = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} = \frac{2\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}}$

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

עכבה

עכבה (impedance):
 $Z = \sqrt{\rho T} = \frac{T}{v}$

T - מתיחות. V - מהירות הגל

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

F_y - הכוח על אלמנט מסה

מקדם החזרה:
 $r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

מקדם העברה:
 $t = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$

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

עכבה

עכבה (impedance):
 $Z = \sqrt{\rho T} = \frac{T}{v}$

T - מתיחות. V - מהירות הגל

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

F_y - הכוח על אלמנט מסה

מקדם החזרה:
 $r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

מקדם העברה:
 $t = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$

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

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

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

$$r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad \text{מקדם החזרה} \quad t = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad \text{מקדם העברה}$$

תאום עכבות: $z_1 = z_2 \Leftrightarrow 1 - \Gamma = 0$

אנרגיה הספק ותנע

אנרגיה ליחידת אורך של גל נע במיתר:

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

אנרגיה ממוצעת בזמן:
 $\bar{\epsilon} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 |A|^2$

הספק רגעי בנקודה, כמה עבודה עושה החלק השמאלי על החלק הימני ביחידת זמן:

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

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

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

הספק הממוצע בזמן:

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

מקדם החזרה של האנרגיה:

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

מקדם העברה של האנרגיה:

$$R + T = 1$$

תנע: התנע הוא אפס.

גלים עומדים

מיתר חצי אינסופי:

$$\Psi(x = 0, t) = 0 \Rightarrow \Psi(x, t) = C \sin(kx) \sin(\omega t + \varphi)$$

קצה קשור:

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

קצה חופשי:

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

2 קצוות קשורות:
 $\lambda_n = \frac{2L}{n}; k_n = \frac{\pi n}{L}; n = 0, 1, 2, 3 \dots; f_n = \frac{vn}{2L}$

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

קצה קשור וקצה חופשי:

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

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

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

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

מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0$$

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

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

גלי קול בצינור

גל אורכי: תנועת המולקולות בכיוון ההתקדמות

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

$p_p(x, t)$ - פונקציית הלחץ העודף access pressure.

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

- נקי צומת בפונקציית ההעתק היא נקי' טבור בפונקציית הצפיפות והלחץ ולהפך.

$$PV^\gamma = \text{const}$$

גז אידיאלי בתהליך אדיאבטי:

P - לחץ. V - נפח. γ - קבוע הקשור לסוג הגז.

הקשר בין פונקציית ההעתק לפונקציית הלחץ:

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

$(P_p - \text{הלחץ בשיווי משקל})$

$$B_a = \gamma P_0$$

מקדם האלסטיות של הגז:

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

משוואת הגלים:

אותה המשוואה מתקיימת גם עבור ψ_p ו- Δp

מהירות הגלים (מהירות הקול, לפעמים כתובה באות c):

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

באוויר בתנאים סטנדרטיים:

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

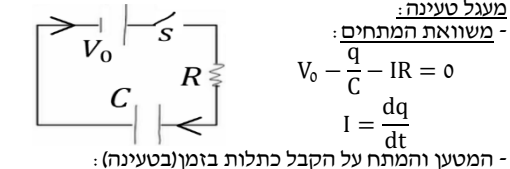
הקשר בין הצפיפות לפונקציית ההעתק:

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

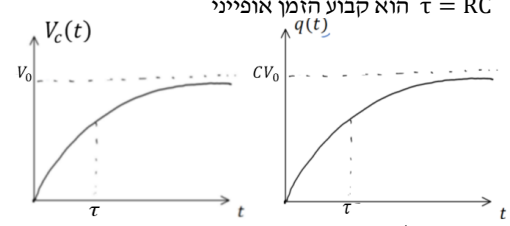
ג. נחשב את השדה בין הלוחות
 ג. נחשב את המתח בין הלוחות
 ד. נציב בנוסחה (בד"ר Q יצטמצם)
 שיטה 2 לחישוב קיבול - פירוק הקבל לקבלים חלקיים:
 א. נפרק את הקבל לקבלים שמחוברים בטור או במקביל
 ב. נחשב את הקיבול של כל אחד
 ג. נחבר חזרה באמצעות הנוסחאות

$U_C = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV$ אנרגיה האגורה בקבל:
 $W_s = \Delta q V_s = -2\Delta U_c$ העבודה שמבצעת הסוללה:
 Δq הוא המטען שעבר דרכה (וזה המטען שקיבל הקבל)
 $F = \left| \frac{dU_c}{dx} \right|$ הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל:
 הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

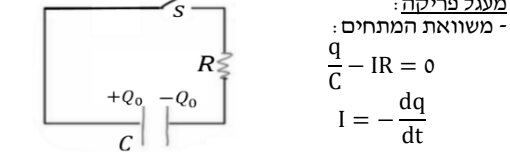
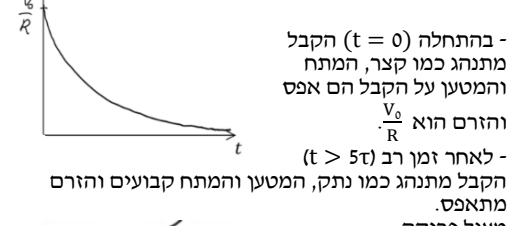
פריקה וטעינה של קבל



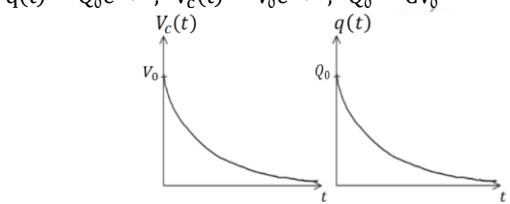
המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בטעינה):
 $q(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$; $V_c(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$
 $\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני



הזרם כתלות בזמן:
 $I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$



המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה):
 $q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$; $V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$; $Q_0 = CV_0$



הזרם כתלות בזמן בפריקה זהה לטעינה:
 $I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$
 מעגלים אינסופיים בקבלים: ראו מעגלים אינסופיים במעגלי זרם ישר.

מבנה הגג וצפיפות זרם

תלות של ההתנגדות במבנה הגג:
 $R = \rho \frac{L}{S}$
 ρ - התנגדות סגולית, תלויה בחומר (לא להתבלבל עם צפיפות מטען נפחית).
 L - אורך הגג, הדרך שהמטענים עושים בנגד.
 S (או A) - שטח החתך, משטח שמאונך לכיוון הזרם. הערה: **שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הגג.** במידה והם לא אחידים צריך לחלק את הגג לחתיכות, לחשב התנגדות של כל חתיכה ולסכום לפי סוג החיבור (במקביל/בטור)

מוליכות (לא לבלבל עם צפיפות מטען משטחית):
 $\sigma = \frac{1}{\rho}$
 $I = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$ - צפיפות הזרם ליחידת שטח:
 כאשר האינטגרל הוא על שטח החתך, שטח שמאונך ל- $\vec{J}$.
 אם $\vec{J}$ אחיד אז: $I = JS$
חוק אוהם הדיפרנציאלי:
 $\vec{J} = \sigma \vec{E}$
 כאשר σ היא המוליכות ו- $\vec{E}$ השדה החשמלי.
חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען נפחית בתנועה:

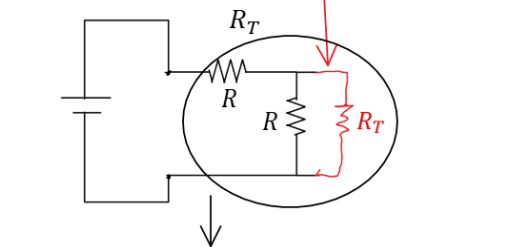
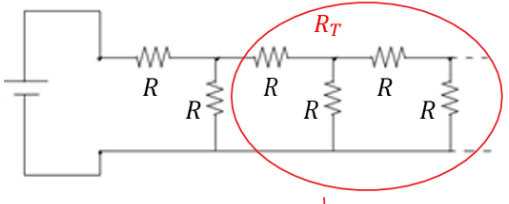
שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות):
 $I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$
 Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא הפרעות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:
 $3I_1 + 4I_2 + 8I_3 = 5$
 $2I_1 - 5I_2 + 9I_3 = 1$
 $4I_1 + 3I_2 - 7I_3 = 3$
 $\Delta = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$
 Δ_i - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה ה- i בעמודת התשובות. לדוגמה, במערכת הנ"ל:
 $\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 8 \\ 2 & 1 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$



$5I_1 + 4 + 4 + 10(I_1 - I_2) - 2 = 0$

3. נפתור את מערכת המשוואות מעגלים אינסופיים:
 נניח שההתנגדות השקולה של המעגל שווה להתנגדות השקולה של המעגל ללא החוליה הראשונה.

- נחליף את החוליות 2 עד אינסוף במעגל ב- R_T
 - נחשב את ההתנגדות של המעגל הסופי שהתקבל ונשווה אותה לאותו R_T



$R_T = R + \frac{R \cdot R_T}{R + R_T}$

חומרים דיאלקטרים

הגדרת הקיבול:
 $C = \frac{|q|}{|V|}$
 הקיבול היא תכונה קבועה ותלויה רק במבנה הגיאומטרי של הגוף (ולא במתח או במטען על הרכיב).
קיבול של קבל לוחות:
 $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$
 A - שטח כל לוח. d - מרחק בין הלוחות, $d \ll \sqrt{A}$.
שדה בתוך קבל לוחות:
 $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$
 σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.
 V - המתח בין הלוחות. d - מרחק בין הלוחות.
קיבול של קבל גלילי:
 $C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$
 a - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.
 L - אורך הגלילים, $a, b \ll L$.
הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:
 $C' = kC_0$ (או ϵ_r) - המקדם הדיאלקטרי של החומר.
 C_0 - הקיבול ללא החומר הדיאלקטרי.
חיבור קבלים בטור (קבלים עם מטען זהה):
 $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
 כאשר $Q_T = Q_1 = Q_2$ ו- $V_T = V_1 + V_2$
חיבור קבלים במקביל (מתח זהה):
 $C_T = C_1 + C_2$
 כאשר $V_T = V_1 = V_2$ ו- $Q_T = Q_1 + Q_2$
 שיטה 1 לחישוב קיבול - לפי הגדרה:
 א. נניח שיש מטען Q על לוחות הקבל.

דיפול חשמלי

דיפול חשמלי הוא זוג מטענים בעלי מטען זהה וסימון הפוך הנמצאים במרחק d זה מזה.
מומנט הדיפול:
 $\vec{p} = q\vec{d}$
 כיוונו מהמטען השלילי לחיובי.

הפוטנציאל שיוצר דיפול במרחק גדול $r \gg d$:
 $\phi = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r})}{r^3} = \frac{k(\vec{p} \cdot \hat{r})}{r^2}$
השדה של דיפול במרחק גדול:
 $\vec{E} = \frac{k[3(\vec{p} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{p}]}{r^3}$
מומנט דיפול של מערכת מטענים:
 $p_x = \sum x_i q_i = \int x dq$

מומנט כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חשמלי חיצוני:
 $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

אנרגיה פוטנציאלית של דיפול בשדה חיצוני:
 $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חיצוני:
 $\vec{F} = (\vec{p} \cdot \nabla) \cdot \vec{E} = -\nabla U$

השוויון האחרון נכון רק אם השדה שמשמר (שדה שנוצר ממטענים) ומומנט הדיפול אחיד (לא תלוי בקואורדינטות).

מציאת התפלגות מטען

למצא צפיפות נפחית נעשה:
 $\rho = \epsilon_0 \nabla \cdot \vec{E}$
למצא צפיפות משטחית:
 $\sigma = \epsilon_0 \Delta E_{\perp}$
 כאשר $\Delta E_{\perp}$ היא הקפיצה בשדה המאונך למשטח.

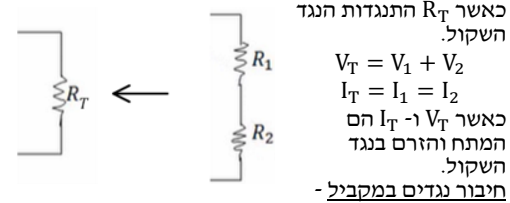
מטען נקודתי: אם יש שדה מהצורה $\vec{E} = \frac{\alpha}{r^2} \hat{r}$ (בקורדינטות גליליות) באזור הכולל את הראשית אז יש מטען נקודתי כך ש $q = \frac{\alpha}{k}$.

צפיפות מטען אורכית: אם יש שדה מהצורה $\vec{E} = \frac{\alpha}{r} \hat{r}$ (בקורדינטות גליליות) באזור הכולל את הראשית אז יש צפיפות מטען אורכית כך ש $\lambda = 2\pi\epsilon_0 \alpha$.
אם נתון הפוטנציאל אז קודם נמצא את השדה באמצעות
 $\vec{E} = -\nabla \phi$ (הנוסחאות של הגרדיאנט בפרק וקטורים)

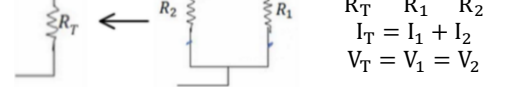
מעגלי זרם ישר

זרם:
 $I = \frac{dq}{dt}$
 - כמות המטען שעוברת (דרך שטח חתך) ביחידת זמן.

חוק אוהם - הקשר בין המתח לזרם בנגד:
 $V = IR$
חיבור נגדים בטור - נגדים עם זרם זהה:
 $R_T = R_1 + R_2$
 כאשר R_T התנגדות הנגד השקול.



חיבור נגדים במקביל - נגדים עם מתח זהה:
 $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
 $I_T = I_1 + I_2$
 $V_T = V_1 = V_2$



- עבור יותר משני נגדים הנוסחאות ממשיות באופן דומה:
 בטור: $R_T = \sum R_i$, $V_T = \sum V_i$, $I_T = I_i$
 במקביל: $\frac{1}{R_T} = \sum \frac{1}{R_i}$, $I_T = \sum I_i$, $V_T = V_i$

מוד זרם (אמפרמטר) אידיאלי - מחובר בטור ובעל התנגדות זניחה.

מד מתח (וולטמטר) אידיאלי - מחובר במקביל לרכיב הנמדד, בעל התנגדות מאוד גבוהה.

החספק בנגד:
 $P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$

($P = IV$) נכון לכל רכיב חשמלי, שני השוויונים האחרים הם לאחר שימוש בחוק אוהם ונכונים רק בנגד.

נתק - מצב בו לא עובר זרם - חוט חתוך או התנגדות אינסופית.

קצר - מצב בו אין התנגדות

מקור מתח לא אידיאלי:
 $V = \epsilon - Ir$
 V - מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח שמרגיש המעגל - תלוי בזרם.

ϵ - כא"מ הסוללה, מתח פנימי שאינו משתנה.
 r - ההתנגדות הפנימית.

חוקי קירכהוף (לפתרון מעגלים מורכבים):
 - נגדיר זרם לכל חוט במעגל.
 - נרשום משוואות מתחים, סכום המתחים במסלול סגור שווה לאפס. (להוסיף משוואות עד שעוברים על כל הרכיבים במעגל).

- נרשום משוואות זרמים, בכל צומת סך הזרם שנכנס שווה לסך הזרם שיוצא.
 - נפתור את מערכת המשוואות.

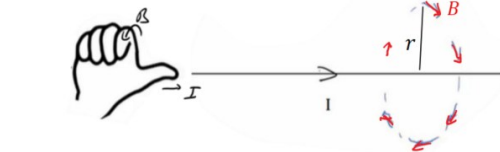


כיוון - השדה לפי כלל הבורג: **כוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:**
 $\vec{J} = \rho \vec{v}$
 כאשר ρ היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{v}$ היא מהירות נושאי המטען. במוליך, $\rho = nq$ כאשר n הוא מספר נושאי המטען ליחיד נפח ו- q הוא המטען של נושא מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת מהירות הסחיפה $\vec{v}_{drift}$.
 $\vec{K}$ - צפיפות הזרם ליחידת אורך:
 $I = \int \vec{K} \cdot d\vec{l}$
 כאשר האינטגרל הוא על אורך שמאונך ל- $\vec{K}$

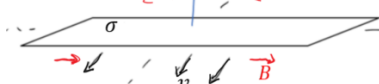
GOOL

חוק אמפר

חוק אמפר: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$; $I_{in} = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$
 כאשר האינטגרל הוא על הרכיב המשיק של B לאורך מסלול סגור. בד"כ נבחר מקרים בהם B אחיד לאורך המסלול והאינטגרל יהיה B כפול אורך המסלול.
 - הזרם הוא סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול. המקרים הנפוצים של חוק אמפר:
 1. תיל / גליל / מעטפת גלילית אינסופיים.
 2. מישור אינסופי.
 3. סליל אינסופי / טורואיד.
 שדה של תיל אינסופי:
 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
 כאשר r הוא המרחק מהתיל.



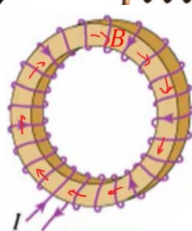
כאשר הזרם בכיוון $\hat{z}$ השדה בכיוון $\hat{\theta}$
שדה של מישור אינסופי:
 $\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$
 עבור מישור דק הטעון בצפיפות משטחית σ ונע בכיוון $\hat{x}$ במהירות v .



שדה של סליל אינסופי/סולנואיד:
 $B = \mu_0 n I$
 כאשר n הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל.
 - כיוון: לפי כלל הבורג, האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.



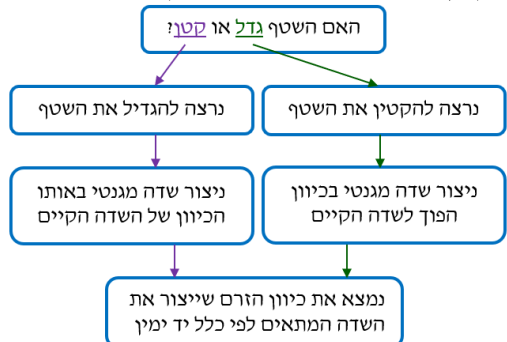
טורואיד:
 $B = \frac{\mu_0 n I}{2\pi r}$
 - מספר הליפופים N הכולל.
 - r - המרחק ממרכז הטורואיד.



חוק פאראדיי

GOOL

חוק פאראדיי: $\epsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$; $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$
 הכא"מ מתנהג כמו מקור מתח במעגל. בד"כ נמצא באמצעות החוק את גודל הכא"מ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:
 כאשר $\vec{v}$ היא מהירות הגוף (שימו לב למכפלה הסקלרית)
כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: $\epsilon = BLv \sin \alpha$
 כאשר v היא מהירות המוט, L האורך שלו ו- α היא הזווית בין המהירות לשדה.
 כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

$\vec{J} = \rho \vec{v}$
 כאשר ρ היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{v}$ היא מהירות נושאי המטען. במוליך, $\rho = nq$ כאשר n הוא מספר נושאי המטען ליחיד נפח ו- q הוא המטען של נושא מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת מהירות הסחיפה $\vec{v}_{drift}$.
 $\vec{K}$ - צפיפות הזרם ליחידת אורך:
 $I = \int \vec{K} \cdot d\vec{l}$
 כאשר האינטגרל הוא על אורך שמאונך ל- $\vec{K}$

אם $\vec{K}$ אחידה אז:
חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען משטחית בתנועה:

$\vec{K} = \sigma \vec{v}$
עבור צפיפות מטען ליחידת אורך λ בתנועה נקבל:
GOOL

הכוח המגנטי - חוק לורנץ
חוק לורנץ - הכוח המגנטי:
 $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$
 ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.
 - דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).
 - דרך גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא: $F_B = qvB \sin \alpha$
 כאשר α היא הזווית בין המהירות לשדה. וכיוון לפי כלל יד ימין:

שימו לב שאתם עם יד ימין!
 - כיוון הכוח הוא עבור מטען חיובי (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).
 - לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדיף לעשות קודם אקדה).
תנועה בשדה אחיד: מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:
 $R = \frac{mv}{qB}$
 אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:
 $R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$

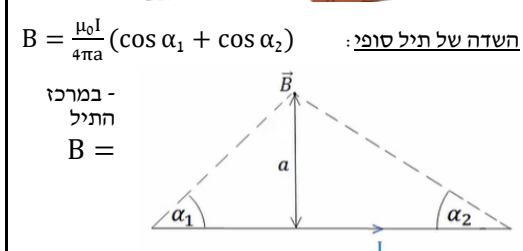
$v \cos \alpha$ היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.
עבודת הכוח המגנטי: תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).
הכוח המגנטי על תיל נושא זרם
הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I
הנמצאת בשדה מגנטי B הוא:
 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$
 - אם התיל ישר בשדה אחיד אז גודל הכוח הוא:
 $F = BIL \sin \alpha$
 את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- dl) מחליף את המהירות.
 - הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.
 - הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה הכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

GOOL

חוק ביו-סבר
חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:
 $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{|\vec{r}|^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{|\vec{r}|^2}$
 $\vec{r}$ הוא הוקטור מהחתיכה לנקודה בה מחפשים את השדה. $d\vec{l}$ הוא אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.
 - חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:

GOOL

השדה של תיל סופי:
 $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$
 - במרכז התיל $B =$



$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$
 - במרכז התיל $B =$
 $B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$
 שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:
 $\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \frac{L}{((\frac{L}{2})^2 + a^2)^{3/2}}$ (L אורך התיל)