

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.

מבוא מתמטי

ד. נציג בנוסחה (בדרי"ק 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

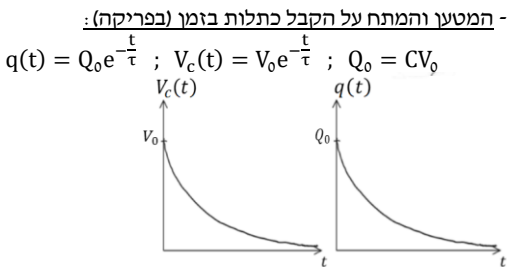
אנרגיה האגורה בקבל: $U_c = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV$
 העבודה שמבצעת הסוללה: $W_s = \Delta q V_s = -2 \Delta U_c$
 Δq הוא המטען שעבר דרכה (וזה המטען שקיבל הקבל)
 הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל: $F = \left| \frac{dU_c}{dx} \right|$
 הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

פריקה וטעינה של קבל

מעגל טעינה:
 משוואות המתחים:
 $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$
 $I = \frac{dq}{dt}$
 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



מעגל פריקה:
 משוואות המתחים:
 $\frac{q}{C} - IR = 0$
 $I = -\frac{dq}{dt}$
 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: $I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

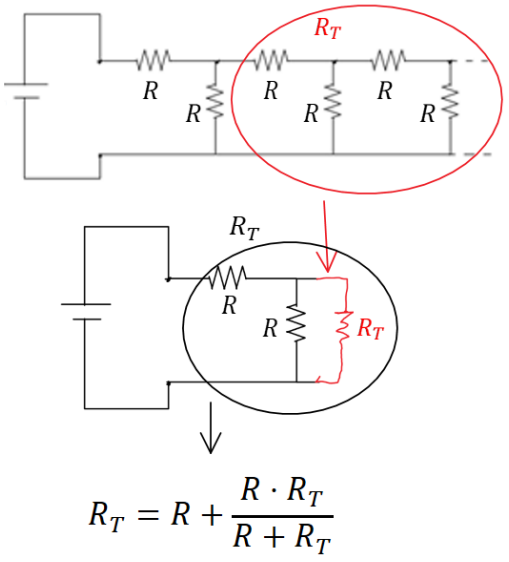
מבנה הנגד וצפיפות זרם

תלות של ההתנגדות במבנה הנגד:
 $R = \rho \frac{L}{S}$
 ρ - התנגדות סגולית, תלויה בחומר (לא להתבלבל עם צפיפות מטען נפחית).
 L - אורך הנגד, הדרך שהמטענים עושים בנגד.
 S (או A) - שטח החתך, משטח שמאונך לכיוון הזרם.
 הערה: **שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הנגד.** במידה והם לא אחידים צריך לחלק את הנגד לחתיכות, לחשב התנגדות של כל חתיכה ולסכום לפי סוג החיבור (במקביל/בטור)
 מוליכות (לא לכלבל 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- $\vec{j}$.
 $I = JS$ אם אחידה אז:
 $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ חוק אוהם הדיפרנציאלי:
 כאשר σ היא המוליכות ו-E השדה החשמלי.
 חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען נפחית בתנועה:
 $\vec{j} = \rho \vec{v}$
 כאשר ρ היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{v}$ היא מהירות נושאי המטען. במוליך, $\rho = nq$ כאשר n הוא מספר נושאי המטען ליח נפח ו-q הוא המטען של נושא

Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגניות (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:
 $\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 8 & 5 \\ 2 & 9 & 1 \\ 4 & -7 & 3 \end{vmatrix}$

זרמי חוגים

1. נחלק את המעגל למעגלים סגורים ונבחר זרמים לכל מעגל. לדוגמה:
 2. נעשה משוואות מתחים לכל מעגל.
 עבור מעגל 1 בדוגמה:
 $5I_1 + 4 + 4 + 10(I_1 - I_3) - 2 = 0$
 3. נפתור את מערכת המשוואות:
 נניח שההתנגדות השקולה של המעגל שווה להתנגדות השקולה של המעגל ללא החוליה הראשונה.
 נחליף את החוליות 2 עד אינסוף במעגל B R_T
 נחשב את ההתנגדות של המעגל הסופי שהתקבל ונשווה אותה לאותו R_T



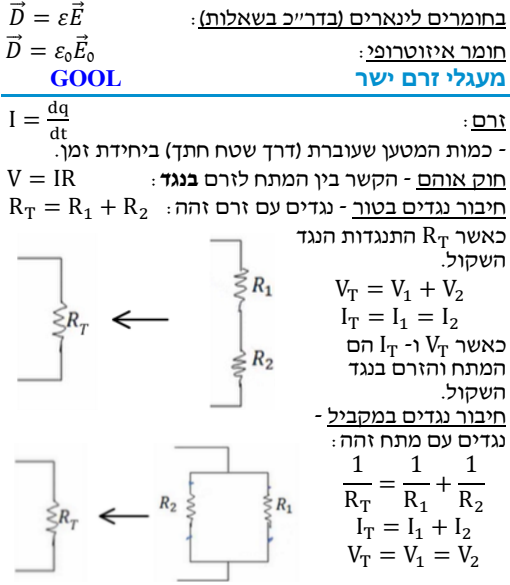
חומרים דיאלקטרים

הגדרת הקיבול:
 הקיבול היא תכונה קבועה ותלויה רק במבנה הגיאומטרי של הגוף (ולא במתח או במטען על הרכיב).
קיבול של קבל לוחות:
 A - שטח כל לוח. d - מרחק בין הלוחות, $d \ll \sqrt{A}$.
 E = $\frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$ שדה בתוך קבל לוחות:
 σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.
 V - המתח בין הלוחות. d - מרחק בין הלוחות.
קיבול של קבל גלילי:
 a ו-b - 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.
 ב. נחשב את השדה בין הלוחות.
 ג. נחשב את המתח בין הלוחות

$\vec{E} = \frac{\vec{E}_{free}}{\epsilon_r}$
 $\vec{E}_{free}$ הוא השדה שנוצר ממטענים חופשיים/מחוץ לחומר.
 $\vec{E}$ הוא השדה הכולל בתוך החומר (מהמטענים החופשיים והדיפולים של החומר).
 ϵ_r או κ - מקדם דיאלקטרי של החומר - תכונה של החומר בדרי"ק קבוע וידוע. $1 < \epsilon_r = \epsilon_0 \epsilon_r$
 σ_{free} - צפיפות המטען שיוצרת את השדה החיצוני:
 $\sigma_{free} = \epsilon_0 \Delta E_{free}$
 $\sigma_T = \epsilon_0 \Delta E_{\perp}$ - צפיפות המטען הכוללת:
 $\sigma_i = \sigma_T - \sigma_{free}$ - צפיפות מטען מושרית/קשורה: צפיפות מטען שנוצרת על שפת החומר הדיאלקטרי מהקיטוב של הדיפולים.
 $\sigma_i = \sigma_T - \sigma_{free}$
 $\vec{P}$ - וקטור הפולריזציה. צפיפות הדיפולים ליחידת נפח:
 $\vec{P} = N \vec{p}_1$ - מומנט הדיפול של דיפול יחיד בחומר.
 N - מספר הדיפולים ביחידת נפח. יחידות של $[\frac{1}{m^3}]$.
 מומנט הדיפול הכולל בחומר:
 $\vec{p} = \int \vec{P} dV$
 הקשר בין $\vec{P}$ לצפיפות המושרית על השפה:
 $\sigma_i \equiv \sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$
 כאשר $\hat{n}$ הוא וקטור יחידה המאונך לשפה כלפי חוץ מהגוף.

אם $\vec{P}$ לא אחיד אז יש גם צפיפות מטען מושרית נפחית

בתוך החומר:
 $\rho_i \equiv \rho_b = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$
וקטור העתקה:
 $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$
חוק גאוס למטען החופשי:
 $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_f \Leftrightarrow \oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_{inf}$
בחומרים לינארים (בדרי"ק בשאלות):
 $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$
 $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_0$
חומר איזוטרופי:
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: $\frac{1}{R_T} = \sum \frac{1}{R_i}$, $I_T = \sum I_i$, $V_T = V_i$
מד זרם (אמפרמטר) אידיאלי - מחובר בטור ובעל התנגדות זניחה.
מד מתח (וולטמטר) אידיאלי - מחובר במקביל לרכיב הנמדד, בעל התנגדות מאוד גבוהה.
ההספק 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).
נתן - מצב בו לא עובר זרם - חוט חתוך או התנגדות אינסופית.
צצר - מצב בו אין התנגדות
מקור מתח לא אידיאלי:
 $V = \mathcal{E} - Ir$
 V - מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח שמרגיש המעגל - תלוי בזרם.
 $\mathcal{E}$ - 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.
שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות):
 $I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$

מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת מהירות הסחיפה $\vec{v}_{drift}$.

$$\vec{k} - \text{צפיפות הזרם ליחידת אורך}; I = \int \vec{k} \cdot d\vec{l}$$

כאשר האינטגרל הוא על אורך שמאונך ל- $\vec{k}$

אם $\vec{k}$ אחידה אז: $I = kL$

חישוב צפיפות זרם עבור משטחית בתנועה:

עבור צפיפות מטען ליחידת אורך λ בתנועה נקבל: $I = \lambda v$

הכוח המגנטי - חוק לורנץ

חוק לורנץ - הכוח המגנטי:

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 אקדח).

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:

$$R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

כאשר $v \cos \alpha$ 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 למצוא 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 לכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

חוק ביו-סבר

חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$\vec{r}$ הוא הוקטור מהחתיכה לנקודה בה מחפשים את השדה.

$d\vec{l}$ הוא אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.

חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:

השדה של תיל סופי:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

במרכז התיל $B =$

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

כיוון השדה לפי כלל הבורג: $\frac{d\vec{F}}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

כוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:

הכוח הוא כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון, ודחייה אם כיוון הזרמים הפוך.

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 הכולל.
- r המרחק ממרכז הטורואיד.

מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון

אמפר דיפרנציאלי: $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$

מציאת צפיפות זרם קווית $\vec{k}$ משדה מגנטי נתון (כאשר יש אי רציפות בשדה): $\hat{n}_{1 \rightarrow 2} \times \Delta \vec{B} = \mu_0 \vec{k}$

כאשר $\hat{n}_{1 \rightarrow 2}$ הוא וקטור יחידה בכיוון הקפיצה מתחום 1 לתחום 2 ו- $\Delta \vec{B} = \vec{B}_2 - \vec{B}_1$

בשביל למצוא זרם של תיל נחפש שדה מהצורה $\vec{B} = \frac{C}{r} \hat{\theta}$

בקואורדינטות גליליות ובאזור הכולל את הראשית ו- C קבוע כלשהו. נווהו לשדה של תיל אינסופי ($\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$) ונקבל $I = \frac{C 2\pi}{\mu_0}$

חוק פאראדי

חוק פאראדי: $\epsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$; $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

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: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$

כאשר $\vec{v}$ היא מהירות הגוף (שימו לב למכפלה הסקלרית)

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: $\epsilon = BLv \sin \alpha$

כאשר α היא הזווית בין המהירות 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.

מומנט דיפול מגנטי

דיפול מגנטי הוא לולאת זרם סגורה.

מומנט הדיפול המגנטי $\vec{\mu}$ לפעמים מסומן ב- $\vec{m}$: $\vec{\mu} = I \vec{A}$

I - הזרם בלולאה. $\vec{A}$ - השטח הסגור על ידי הלולאה. כיוונו במאונך למשטח ובהתאם לכלל יד ימין של הזרם.

השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדי הדיפול:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} [3(\vec{\mu} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{\mu}]$$

הדיפול:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$$

מומנט כוח שפועל על דיפול מגנטי הנמצא בשדה מגנטי חיצוני: $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

האנרגיה הפוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי חיצוני: $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$

השראות

ההשראות ברכיב: $L = \frac{\Phi_B}{I}$

Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.

- ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בד"כ קבועה.
- חישוב השראות לפי הגדרה:
- 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
- 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
- 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
- 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.

השראות של סליל:

$$L = \frac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{l}$$

N מספר הליפופים הכולל, l אורך הסליל ו- a רדיוס טבעת

כא"מ ברכיב עם השראות L : $\epsilon = -L \dot{I}$

האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות): $U_L = \frac{1}{2} L I^2$

האנרגיה האגורה בשדה המגנטי: $U = \int \frac{B^2}{2\mu_0} dV$

- את האינטגרל עושים על כל המרחב.
- זו אותה האנרגיה שמחשבים באמצעות ההשראות (פשוט צורת חישוב אחרת).
- ניתן לחשב השראות דרך השוואה של שתי הנוסחאות האחרונות של האנרגיה (תניחו זרם והוא יצטמצם בסוף).

המתח על סליל (משורר) במעגל: $V_L = L \dot{I}$

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

מעגלי RL

סעיפה:

$$V_0 - IR - L \dot{I} = 0$$
$$I(t) = \frac{V_0}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$
$$\tau = \frac{L}{R}$$

סליל (או משורר) מתנהג בהתחלה כמו נתק ולאחר זמן רב כמו קצר.

פריקה: $-IR - L \dot{I} = 0$

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



$$A_1 \approx A_2 \approx A_3 \approx A_4 \leftarrow \Delta r \ll r$$

$$\Delta r = d \sin \theta \leftarrow r_1 || r_2 || r_3 || r_4$$

$$\alpha = kd \sin \theta \quad ; \quad \frac{I_{tot}(\alpha)}{I_{tot}(0)} \approx \left(\frac{\sin(\frac{N\alpha}{2})}{N \sin(\frac{\alpha}{2})} \right)^2$$

$$\alpha_n = 2\pi n \quad : \text{פיק גדול (מתרחש כשהמכנה מתאפס):}$$

$$\text{נקודות התאפסות (כשהמונה מתאפס והמכנה לא):}$$

$$n \neq mN - 1 \quad \alpha_n = \frac{2\pi n}{N}$$

$$\text{פיק קטן (נגזרת שווה לאפס ומכנה לא מתאפס), עבור}$$

$$\alpha_n = \frac{2\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad : N \gg 1$$

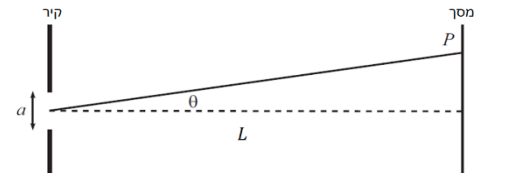
$$\frac{kd}{2\pi} \quad : \text{מספר הפיקים באחד הצדדים (ללא הפיק המרכזי):}$$

$$\text{(לעגל למטה).}$$

$$\text{מספר הפיקים (הגדולים) הכולל שווה למספר הפיקים}$$

$$\text{באחד הצדדים כפול 2 ועוד 1 (המרכזי)}$$

עקיפה GOOL



$$\frac{I(\beta)}{I(0)} = \left(\frac{\sin(\frac{1}{2}\beta)}{\frac{1}{2}\beta} \right)^2 \quad : L \gg a$$

$$\beta = ka \sin \theta$$

$$\beta_n = 2\pi n$$

$$\text{נקי' התאפסות:}$$

$$\text{- אם } \lambda > a \text{ אז רוחב הפיק המרכזי גדול מאינסוף ולא}$$

$$\text{יהיו נקי' התאפסות, הסדק מתנהג כמקור אור נקודתי.}$$

$$\text{- אם } a \gg \lambda \text{ מקבלים עוצמה קבועה ברוחב הסדק,}$$

$$\text{מתאים למקרה הקלאסי בו מניחים שהאור נע בקווים}$$

$$\text{ישרים.}$$

$$\text{מקסימום מקומי (נגזרת מתאפסת):} \quad \beta_n \approx 2\pi \left(n + \frac{1}{2} \right)$$

התאבכות ועקיפה ביחד GOOL

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\text{כאשר } a \text{ הוא רוחב כל סדק, } d \text{ המרחק בין שני סדקים ו-}$$

$$N \text{ מספר הסדקים.}$$

משוואות מקסוול GOOL

$$\text{הצורה הדיפרנציאלית ; הצורה האינטגרלית:}$$

$$1. \text{ חוק גאוס } \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \quad ; \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dV$$

$$2. \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad ; \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\text{השטף מגנטי על משטח סגור תמיד אפס, אין מטען מגנטי.}$$

$$3. \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} \quad ; \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s}$$

$$\text{מהמשוואה ניתן לקבל את חוק פאראדי } \epsilon = -\phi_B$$

$$4. \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \quad ; \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{j} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

$$\text{חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)}$$

$$\text{גלים אלקטרומגנטיים GOOL}$$

$$\text{משוואות הגלים בריק (} \rho = j = 0 \text{):}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} \quad ; \quad \vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{B}}{dt^2}$$

$$c \text{ היא מהירות האור כאשר } c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

$$\text{- למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.}$$

$$\text{- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} \Rightarrow$$

$$\text{כל } z \text{ כנל: } \vec{\nabla}^2 E_x = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 E_x}{dt^2} ; \vec{\nabla}^2 E_y = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 E_y}{dt^2}$$

$$\text{- תזכורת ללאפליסיאן:} \quad \vec{\nabla}^2 E_i = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} +$$

$$\frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2}$$

$$\text{פתרון המשוואה עבור רכיב כלשהו של } \vec{E} \text{ או של } \vec{B}: \vec{B}$$

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$

$$\vec{k} = (k_x, k_y, k_z) \text{ הוא וקטור הגל, כיוונו הוא כיוון}$$

$$\text{התקדמות הגל.}$$

$$\vec{k} \cdot \vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$$

$$B_4 \sin kx \sin \omega t = C_1 \cos kx \cos(\omega t + \phi_1) +$$

$$C_2 \sin kx \cos(\omega t + \phi_2)$$

$$\text{שתי האפשרויות האחרונות עדיפות לגלים עומדים.}$$

$$\text{פתרון במספרים מרוכבים:}$$

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

$$A_3 e^{-i(kx + \omega t)} + A_4 e^{-i(kx - \omega t)}$$

$$\text{אם הפונקציה ממשית, אז } A_4 = A_2^* \text{ ו- } A_3 = A_1^*$$

$$\text{מתכנס לחלק הממשי של}$$

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

$$\omega = v \cdot k$$

$$\text{יחס הדיספרסיה:}$$

$$\text{גלים עומדים GOOL}$$

$$\text{מיתר חצי אינסופי:}$$

$$\text{קצה קשור:}$$

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

$$\text{קצה חופשי:}$$

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

$$\text{מיתר סופי:}$$

$$\text{2 קצוות קשורים: } \Psi(x = 0, t) = \Psi(x = L, t) = 0$$

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

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

$$\text{קצה קשור וקצה חופשי:}$$

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

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

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

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

$$\text{מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים:}$$

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

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

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

התאבכות בשני סדקים GOOL

$$\text{עקרון הווייגנס: ניתן להתייחס לכל נקודה בחזית הגל}$$

$$\text{כמקור נקודתי של גל חדש.}$$

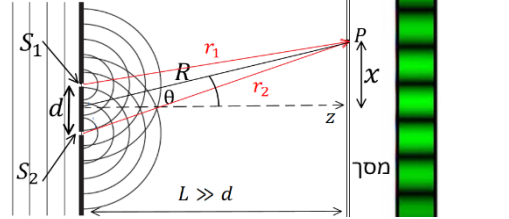
$$A \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$$

$$A \propto \frac{1}{r}$$

$$\text{אמפליטודה בגלים גליליים:}$$

$$\text{אמפליטודה בגלים כדוריים:}$$

$$\text{ניסוי שני הסדקים:}$$



$$\text{קירוב השדה הרחוק } d \gg L:$$

$$1. \quad A_1 \approx A_2 \leftarrow \Delta r \ll r$$

$$2. \quad \Delta r = d \sin \theta \leftarrow r_1 || r_2$$

$$\text{- העוצמה היחסית:}$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \cos^2 \left(\frac{k d \sin \theta}{2} \right)$$

$$\text{- קירוב זוויות קטנות:}$$

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \frac{x}{L}$$

$$\text{בגלל התלות של האמפליטודה במרחק, צריך להכפיל את}$$

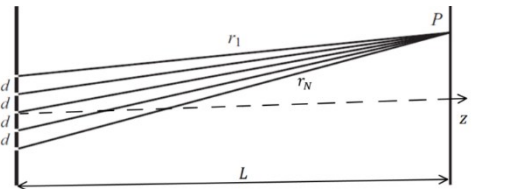
$$\text{התוצאה לעוצמה בקוסינוס טטה עבור גלים גליליים}$$

$$\text{ובקוסינוס בריבוע עבור גלים כדוריים. התוספת הזו}$$

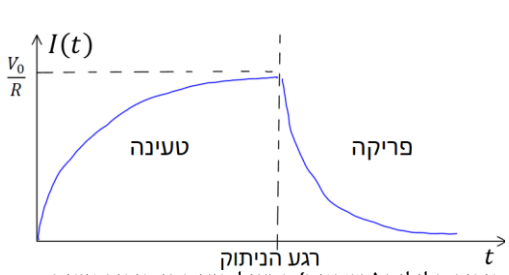
$$\text{קשורה למבנה של המסך והיא לא תופיע במסך עגול.}$$

$$\text{בדרי"כ מניחים קירוב זוויות קטנות ואז היא זניחה.}$$

התאבכות ב N סדקים GOOL



קירוב השדה הרחוק:



$$\text{חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:}$$

$$\text{בטור:} \quad L_T = L_1 + L_2 + \dots$$

$$\text{כאשר } V_T = V_1 = V_2 = \dots \rightarrow I_T = I_1 = I_2 = \dots$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$

$$\text{במקביל:}$$

$$\text{כאשר } V_T = V_1 = V_2 = \dots \rightarrow I_T = I_1 + I_2 = \dots$$

$$\text{השראות הדדית GOOL}$$

$$\text{השראות הדדית:} \quad M_{1,2} = \frac{\phi_1}{I_2}$$

$$\text{חישוב השראות הדדית:}$$

$$1. \text{ נניח שזורים זרם } I_2 \text{ ברכיב 2.}$$

$$2. \text{ נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם ברכיב 1.}$$

$$3. \text{ נחשב את השטף המגנטי ברכיב 1.}$$

$$4. \text{ נציב בנוסחה של ההשראות ו- } I_2 \text{ יצטמצם.}$$

$$\text{- השראות הדדית תמיד סימטרית } M_{1,2} = M_{2,1} = M$$

$$\text{ולכן ניתן תמיד לחשב } M_{1,2} \text{ ולהסיק על } M_{2,1} \text{ (או להפך).}$$

$$\text{יחס המתחים בשנאי:} \quad \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$N \text{ הוא מספר הליפופים בכל צד.}$$

מבוא לגלים GOOL

$$\text{גלים רוחביים: ההפרעה בכיוון ניצב להתקדמות (מיתר)}$$

$$\text{גלים אורכיים: ההפרעה בכיוון מקביל להתקדמות (קול)}$$

$$\text{תנוד: החומר בו מתקדמת ההפרעה}$$

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

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

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

$$\text{כל פונקציה מהצורה } f(x \pm vt) \text{ היא פתרון של משוואת}$$

$$\text{הגלים. סכום של שני פתרונות מהווה גם פתרון אם לשני}$$

$$\text{הפתרונות אותה מהירות גל.}$$

$$\text{התאבכות: סכימה של גלים שנפגשים}$$

$$\text{חזית גל: אוסף הנקודות המגיעות לשיא באותו זמן}$$

$$\text{גלים מחזוריים:}$$

$$\lambda = v \cdot T$$

$$\lambda \text{ - אורך הגל; } T \text{ - זמן המחזור; } v \text{ - מהירות הגל}$$

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

$$\text{- גל הרמוני:} \quad y(x, t) = A \cos(kx \pm \omega t + \varphi)$$

$$\text{- מספר הגל:} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

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

$$\text{גל עומד: מורכב משני גלים נעים זהים הנעים בכיוונים}$$

$$\text{מנוגדים} \quad y(x, t) = A \sin(kx) \cos(\omega t + \varphi) =$$

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

$$\text{- נקודות צומת (node): נקודות שלא זזות. אין מהירות גל.}$$

$$\text{- נקודת טבור (antinode): אמפליטודה מקסימאלית.}$$

$$\text{פעימות: בפעמויות אנו מחברים שני גלים בעלי אותה}$$

$$\text{אמפליטודה ומקבלים גל בתוך מעטפת (פעימה).}$$

$$\Psi_1(t) = A \cos(\omega_1 t) \text{ \& } \Psi_2(t) = A \cos(\omega_2 t)$$

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

$$\epsilon = \frac{\omega_f - \omega_s}{2}$$

$$\Omega = \frac{\omega_f + \omega_s}{2}$$

תדירות הפעימה היא 2ε גלים רוחביים במיתר GOOL

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

$$T \text{ - המתוחות במיתר, } \rho \text{ - צפיפות המסה ליחידת אורך,}$$

$$\psi \text{ - פונקציית הגל, ההעתק הרוחבי של כל חתיכה במיתר.}$$

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

$$\text{פתרון המשוואה:}$$

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

$$+ C \cos(kx + \omega t) + D \sin(kx + \omega t)$$

$$\text{- אפשרויות נוספות לפתרון (על ידי שימוש בזוויות}$$

$$\text{טריגונומטריות)}$$

$$\psi(x, t) = A_1 \cos(kx - \omega t + \phi_1) +$$

$$A_2 \cos(kx - \omega t + \phi_2) = B_1 \cos kx \cos \omega t +$$

$$B_2 \cos kx \sin \omega t + B_3 \sin kx \cos \omega t +$$

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ ω היא התדירות הזוויתית

כאשר f היא התדירות בהרץ ו- T הוא זמן המחזור. 0.

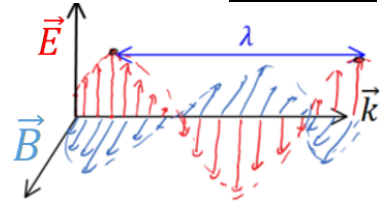
- הקוסינוס בפתרון זהה לכל הרכיבים של השדה החשמלי

והמגנטי, ההבדל בין הרכיבים הוא רק במקדם A_i .

איד למצא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך:

$$\vec{B} = \frac{1}{c} \hat{k} \times \vec{E} ; \vec{E} = c \vec{B} \times \hat{k}$$

צורת הגל במרחב:



- השדה החשמלי תמיד מאונך לשדה המגנטי ושניהם תמיד מאונכים לכיוון התקדמות הגל.

λ הוא אורך הגל (המרחק בין שיא לשיא): $|k| = \frac{2\pi}{\lambda}$

יחס הדיספרסיה: $\omega = c|k|$
 היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואת הגלים.

פתרון נוסף (עם פלוס): $E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t)$
 במקרה הזה הגל מתקדם בכיוון הפוך ל- $\vec{k}$