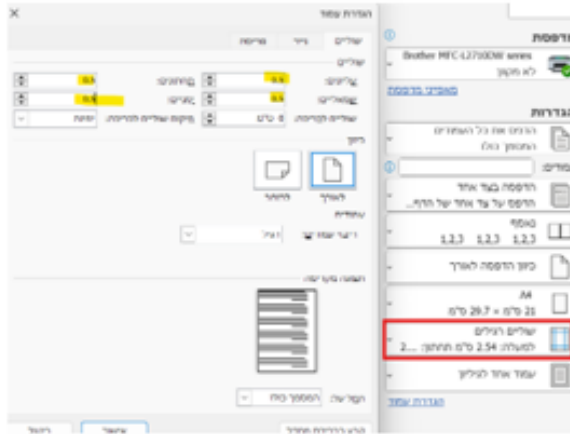


הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה!

את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמים 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

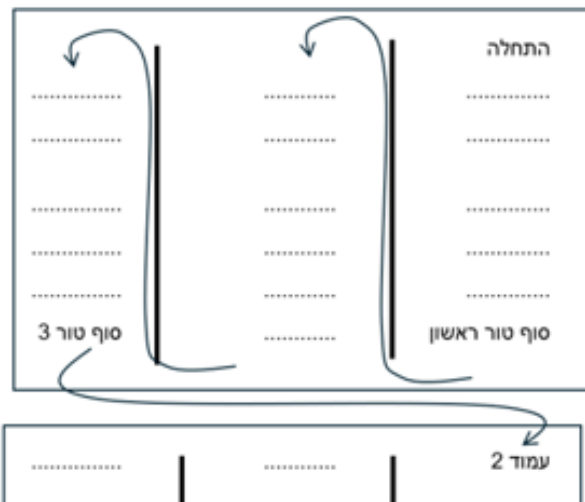
עריכה:

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.

$\vec{r}$ - וקטור מהמטען q אל הנקודה בה מחשבים את השדה. שימו לב שבנוסחה הזו המטען הוא זה שיוצר את השדה.

הכוח הפועל על מטען q הנמצא בשדה חשמלי $\vec{E}$:

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

שימו לב שבנוסחה הזו המטען q הוא המטען שמרגיש את הכוח (המטען בעצמו גם יוצר שדה אבל זה לא רלוונטי לנוסחה הזו והמטען לא מרגיש את השדה שהוא יוצר).

חישוב שדה או כוח שיוצרת התפלגות מטען רציפה:

נחלק את הגוף לחתיכות קטנות, נחשב את השדה שיוצרת כל חתיכה בנקודה ונסכום על כל החתיכות. שימו לב שלסכום על כל רכיב (x, y, z) בנפרד.

אלמנט המטען של חתיכה קטנה הוא:

$$dq = \lambda dl = \sigma ds / \rho dv$$

כאשר dl , ds ו- dv הם אלמנט אורך, שטח ונפח בהתאמה. הביטוי של האלמנטים מופיע במבוא מתמטי תחת הקורדינטות המתאימות.

פוטנציאל

GOOL

הגדרת הפוטנציאל: $\vec{E} = -\vec{\nabla} \varphi$ או $\varphi = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$

אנרגיה פוטנציאלית חשמלית: $U = q\varphi$

מתח: $V = \Delta\varphi$

העבודה של הכוח החשמלי: $W = -\Delta U = -q\Delta\varphi$

עבודה להזיז מטען נגד הכוח החשמלי: $W = \Delta U = q\Delta\varphi$

פוטנציאל של מטען נקודתי: $\varphi = \frac{kq}{r}$

מוליכים:

- המטענים בתוך מוליך חופשיים לזוז.
- במצב סטטי (ללא זרם או תנועת מטען) השדה (או הכוח) בתוך המוליך מתאפס.
- על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.
- במצב סטטי, המטען הכולל בכל נקודה בתוך המוליך הוא אפס למעט על השפה.
- הפוטנציאל במוליך אחיד (קבוע).

הארקה - חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל:

- אם ניתן לחשב את השדה (בדרך"כ עם חוק גאוס) או אם השדה נתון, נעשה אינטגרל לא מסוים על השדה בכל תחום ונוסיף קבוע. את הקבועים מוציאים על ידי תנאי הרציפות של הפוטנציאל וכו' (בחירת נק' האפס).
- חלוקת הגוף לחתיכות קטנות, חישוב הפוטנציאל של כל חתיכה כמו גוף נקודתי $d\varphi = \frac{k dq}{r}$ וסכימה. (הסבר על dq בחוק קולון)

דיפול חשמלי

GOOL

דיפול חשמלי הוא זוג מטענים בעלי מטען זהה וסימון הפך הנמצאים במרחק d זה מזה.

מומנט הדיפול: $\vec{p} = q\vec{d}$

כיוון מהמטען השלילי לחיובי.

הפוטנציאל שיוצר דיפול במרחק גדול $r \gg d$:

$$\varphi = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r})}{r^3} = \frac{k(\vec{p} \cdot \hat{r})}{r^2}$$

השדה של דיפול במרחק גדול:

$$\vec{E} = \frac{k[3(\vec{p} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{p}]}{r^3}$$

מציאת התפלגות מטען

GOOL

למצא צפיפות נפחית נעשה: $\rho = \epsilon_0 \vec{\nabla} \cdot \vec{E}$

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 כדוריות) 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 $\vec{E} = -\vec{\nabla} \varphi$ (הנוסחאות של הגרדיאנט בפרק וקטורים)

אנרגיה הדרושה לבניית מערכת

GOOL

הסכום הוא על כל המטענים כפול הפוטנציאל שהם נמצאים בו.

בנוסחה עם האינטגרל על השדה אפשר להשתמש רק אם אין מטענים נקודתיים או התפלגות קווית

$\mu_E = \frac{\epsilon_0}{2} E^2$ נקראת צפיפות האנרגיה החשמלית

חומרים דיאלקטרים

GOOL

חומר דיאלקטרי הוא חומר שמכיל דיפולים. במצב רגיל כל דיפול לכיוון שונה והשדה הממוצע בחומר הוא אפס. כשמכניסים את החומר לשדה חצוני הדיפולים מתיישרים ויוצרים שדה מנוגד לשדה החיצוני.

השדה בתוך חומר דיאלקטרי לינארי ואיזוטרופי:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_{free}}{\epsilon_r}$$

$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$; $\cos \varphi = \frac{A_z}{|\vec{A}|} = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$

פירוק לרכיבים: $A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi$; $A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$

$A_x = |\vec{A}| \sin \varphi \cos \theta$; $A_y = |\vec{A}| \sin \varphi \sin \theta$

פתיחת סוגרים והעלאה בריבוע:

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C}$$

$$(\vec{A} + \vec{B})^2 = |\vec{A}|^2 + 2\vec{A} \cdot \vec{B} + |\vec{B}|^2$$

זווית בין שני וקטורים:

$$\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y}{|\vec{A}| |\vec{B}|} = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}$$

מכפלה וקטורית:

דרך 1 לעשות את המכפלה - דטרמיננטה:

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

דרך 2 - לפי גודל וכיוון בנפרד:

גודל המכפלה הוא: $|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \alpha$

וכיוון לפי כלל יד ימין



שימו לב שאתם עם יד ימין!! ובתמונה השמאלית, קודם לעשות אקדח ואחר"כ לפתוח את האמה!

גרדיאנט בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

גליליות:

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

בכדוריות (*):

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \varphi} \hat{\varphi}$$

רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z}$$

גליליות:

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_{\theta}}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r F_{\theta})}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{\varphi}$$

בכדוריות (*):

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \frac{1}{r \sin \varphi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} (F_{\theta} \sin \varphi) - \frac{\partial F_{\varphi}}{\partial \theta} \right) \hat{r} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r F_{\varphi}) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial F_r}{\partial \theta} - \frac{\partial}{\partial r} (r F_{\theta}) \right) \hat{\varphi}$$

שימו לב שהזווית φ עם ציר ה-z והזווית θ עם ציר ה-x במערכות צירים שונים:

זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B} \cdot (\vec{C} \times \vec{A}) = \vec{C} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$$

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B}(\vec{A} \cdot \vec{C}) - \vec{C}(\vec{A} \cdot \vec{B})$$

$$(\vec{A} \times \vec{B}) \cdot (\vec{C} \times \vec{D}) = (\vec{A} \cdot \vec{C})(\vec{B} \cdot \vec{D}) - (\vec{A} \cdot \vec{D})(\vec{B} \cdot \vec{C})$$

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times (\vec{C} \times \vec{D})) = \vec{B}(\vec{A} \cdot (\vec{C} \times \vec{D})) - (\vec{A} \cdot \vec{B})(\vec{C} \times \vec{D})$$

צפיפות נפחית/משטחית/אורכית:

$$\rho = \frac{M}{V}; \sigma = \frac{M}{S}; \lambda = \frac{M}{l}$$

קבועים

GOOL

מסות הפרוטון, נויטרון ואלקטרון:

$$m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg; m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$$

מטען הפרוטון והאלקטרון:

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C = e = -q_e$$

מקדם דיאלקטרי של הריק ו- k :

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}; \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

חוק קולון

חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען q_1 כלשהו על מטען q_2 כלשהו:

$$\vec{F} = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{k q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$\vec{r}$ - וקטור מ- q_1 אל q_2 , $|\vec{r}| = r$ ו- $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$

השדה החשמלי שיוצר מטען q במרחב:

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r} = \frac{kq}{r^3} \vec{r}$$

חוק קולון

GOOL

חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען q_1 כלשהו על מטען q_2 כלשהו:

$$\vec{F} = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{k q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$\vec{r}$ - וקטור מ- q_1 אל q_2 , $|\vec{r}| = r$ ו- $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$

השדה החשמלי שיוצר מטען q במרחב:

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r} = \frac{kq}{r^3} \vec{r}$$

מבוא מתמטי

קואורדינטות גליליות: (r, θ, z)

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = z$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$dl = dr / r d\theta$ (טבעת) dz

$ds = r dr d\theta$ (דיסקה) $rd\theta dz$

$dv = r dr d\theta dz$ (גליל מלא או קליפה גלילית עבה)

קואורדינטות כדוריות: (r, θ, φ)

$$z = r \cos \varphi$$

$$x = r \sin \varphi \cos \theta$$

$$y = r \sin \varphi \sin \theta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$\cos \varphi = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$dl = dr / r \sin \varphi d\theta / r d\varphi$

$ds = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$ (מעטפת כדור)

$dv = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi dr$ (כדור מלא או קליפה כדורית עבה)

גרדיאנט בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

גרדיאנט בגליליות:

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

בכדוריות (*):

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \varphi} \hat{\varphi}$$

דיברגנט div בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}$$

div בגליליות:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{1}{r} \frac{\partial (r F_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial F_{\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial F_z}{\partial z}$$

div בכדוריות:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial (r^2 F_r)}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial F_{\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial (F_{\varphi} \sin \varphi)}{\partial \varphi}$$

רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z}$$

גליליות:

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_{\theta}}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r F_{\theta})}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{\varphi}$$

בכדוריות (*):

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \frac{1}{r \sin \varphi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} (F_{\theta} \sin \varphi) - \frac{\partial F_{\varphi}}{\partial \theta} \right) \hat{r} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r F_{\varphi}) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial F_r}{\partial \theta} - \frac{\partial}{\partial r} (r F_{\theta}) \right) \hat{\varphi}$$

שימו לב שהזווית φ עם ציר ה-z והזווית θ עם ציר ה-x

זהויות של אופרטורים:

$$\vec{\nabla} (f + g) = \vec{\nabla} f + \vec{\nabla} g$$

$$\vec{\nabla} (\vec{A} \cdot \vec{B}) = (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) \vec{B} + (\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) \vec{A}$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{A} + \vec{B}) = (\vec{\nabla} \times \vec{A}) + (\vec{\nabla} \times \vec{B})$$

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{A} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{B}) + \vec{B} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) + (\vec{A} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B} \cdot \vec{A} + (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \vec{A} \cdot \vec{B}$$

$$\vec{\nabla} (f \cdot g) = (\vec{\nabla} f) \cdot g + (\vec{\nabla} g) \cdot f$$

$$\vec{\nabla} (f \cdot \vec{A}) = f(\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) + \vec{A} \cdot (\vec{\nabla} f)$$

וקטור יחידה:

$\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$

מכפלה סקלרית: שתי דרכים לביצוע המכפלה:

$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$

α - זווית בין הוקטורים.

תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור).

מכפלה בין וקטורים מאונכים מתאפסת, זו דרך לבדוק האם וקטורים מאונכים.

וקטור בשלושה מימדים:

$$0 \leq \varphi \leq \pi$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi$$

$$\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

חוק קולון

GOOL

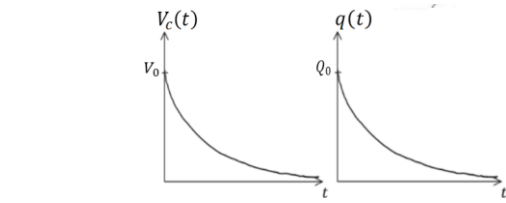
חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען q_1 כלשהו על מטען q_2 כלשהו:

$$\vec{F} = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{k q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$\vec{r}$ - וקטור מ- q_1 אל q_2 , $|\vec{r}| = r$ ו- $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$

השדה החשמלי שיוצר מטען q במרחב:

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r} = \frac{kq}{r^3} \vec{r}$$



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

GOOL מבנה הנגד וצפיפות זרם

התלות של ההתנגדות במבנה הנגד: $R = \rho \frac{L}{S}$

ρ - ההתנגדות 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 לבלבל עם צפיפות מטען משטחית): $\sigma = \frac{1}{\rho}$

$\vec{J}$ - צפיפות הזרם ליחידת שטח: $\vec{J} = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$

כאשר האינטגרל הוא על שטח החתך, שטח שמאונך ל- $\vec{J}$.

I = JS אם אחידה אז:

חוק אוהם הדיפרנציאלי: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$

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 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- $\vec{k}$

$I = kl$ אם $\vec{k}$ אחידה אז:

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען משטחית בתנועה: $\vec{k} = \sigma \vec{v}$

$I = \lambda v$ 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 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:

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

$v \cos \alpha$ היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.

עבודת הכוח המגנטי: תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

GOOL הכוח המגנטי על תיל נושא זרם

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I

$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$ הנמצאת בשדה מגנטי $\vec{B}$ הוא:

- 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 לכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

GOOL חוק ביו-סבר

חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

$$5I_1 + 4 + 4 + 10(I_1 - I_3) - 2 = 0$$

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 - b - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.

L - אורך הגלילים, $a, b \ll L$

הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = kC_0$

k (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

ד. נציב בנוסחה (בדרי"ק 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 (זהו המטען שקיבל הקבל)

הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל: $F = \left| \frac{dU_c}{dx} \right|$

הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

GOOL 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

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

בהתחלה ($t = 0$) הקבל מתנהג כמו קצר, המתח והמטען על הקבל הם אפס

והזרם הוא $\frac{V_0}{R}$

לאחר זמן רב ($t > 5\tau$) הקבל מתנהג כמו נעק, המטען והמתח קבועים והזרם מתאפס.

מעגל פריקה:

משוואות המתחים: $\frac{q}{C} - IR = 0$

$I = -\frac{dq}{dt}$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה):

$q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$; $V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$; $Q_0 = CV_0$

$\vec{E}_{free}$ 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: $\epsilon_r > 1$ ו- $\epsilon_r = \epsilon_0 \epsilon_r$

σ_{free} - צפיפות המטען שיוצרת את השדה החיצוני:

$\sigma_{free} = \epsilon_0 \Delta E_{free}$

$\sigma_T = \epsilon_0 \Delta E_T$ - צפיפות המטען הכוללת:

σ_i - צפיפות מטען מושרית/קשורה: צפיפות מטען שנוצרת על שפת החומר הדיאלקטרי מהקיטוב של הדיפולים.

$\sigma_i = \sigma_T - \sigma_{free}$

GOOL 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.

$V_T = V_1 + V_2$

$I_T = I_1 = I_2$

כאשר V_T ו- I_T הם המתח והזרם בנגד 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.

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.

שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות):

$I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$

Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא הפתרונות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

$3I_1 + 4I_2 + 8I_3 = 5$

$2I_1 - 5I_2 + 9I_3 = 1$

$4I_1 + 3I_2 - 7I_3 = 3$

Δ_i - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה i בעמודות התשובות. לדוגמה, במערכת הנ"ל:

$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 8 \\ 2 & 1 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$

זרמי חוגים:

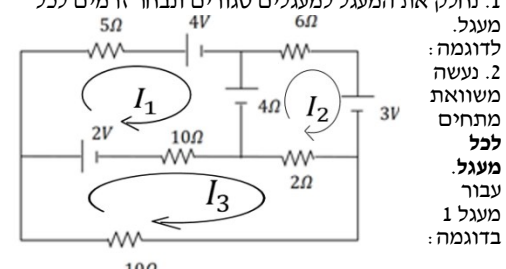
1. נחלק את המעגל למעגלים סגורים ונבחר זרמים לכל מעגל.

לדוגמה:

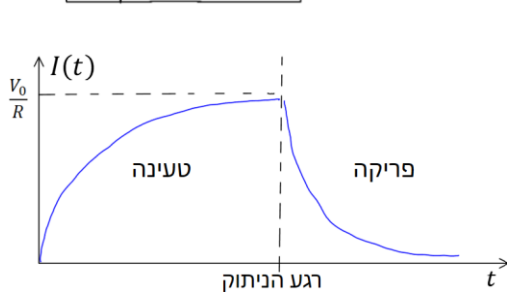
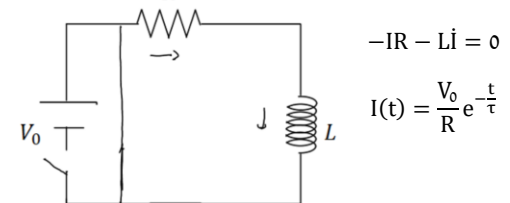
2. נעשה משוואות מתחים לכל מעגל.

עבור מעגל 1

בדוגמה:



סליל (או משרן) מתנהג בהתחלה כמו נתק ולאחר זמן רב כמו קצר.
פריקה:



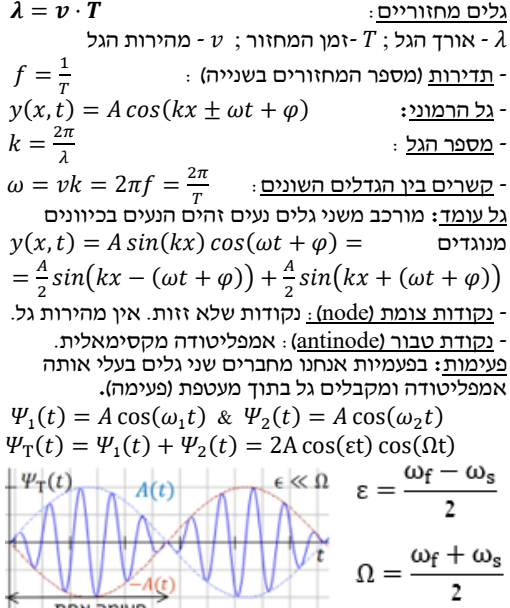
חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:
בטור: $L_T = L_1 + L_2 + \dots$
כאשר $I_T = I_1 = I_2 = \dots$ ו- $V_T = V_1 + V_2 + \dots$
במקביל: $\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$
כאשר $I_T = I_1 + I_2 + \dots$ ו- $V_T = V_1 = V_2 = \dots$

השראות הדדית

השראות הדדית: $M_{1,2} = \frac{\Phi_1}{I_2}$
חישוב השראות הדדית:
1. נניח שזרם זרם I_2 ברכיב 2.
2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם ברכיב 1.
3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב 1.
4. נציב בנוסחה של ההשראות ו- I_2 יצטמצם.
- השראות הדדית תמיד סימטרית $M_{1,2} = M_{2,1} = M$
ולכן ניתן תמיד לחשב $M_{1,2}$ ולהסיק על $M_{2,1}$ (או להפך).
יחס המתחים בשנאי:
 $\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1}$
N הוא מספר הליפופים בכל צד.

מבוא לגלים

גלים רוחביים: ההפרעה בכיוון ניצב להתקדמות (מיתר)
גלים אורכיים: ההפרעה בכיוון מקביל להתקדמות (קול)
תנוד: החומר בו מתקדמת ההפרעה
פונקציית הגל: כאשר v היא מהירות הגל.
אנרגיה של גל: $E \propto A^2$, A 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: $y(x, t) = A \cos(kx \pm \omega t + \phi)$
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
 $y(x, t) = A \sin(kx) \cos(\omega t + \phi) = \frac{A}{2} \sin(kx - (\omega t + \phi)) + \frac{A}{2} \sin(kx + (\omega t + \phi))$
נקודות צומת (node): נקודות שלא זזות. אין מהירות גל.
נקודת טבור (antinode): אמפליטודה מקסימאלית.
פעימות: בפעימות אנו מחברים שני גלים בעלי אותה אמפליטודה ומקבלים גל בתוך מעטפת (פעימה).
 $\Psi_1(t) = A \cos(\omega_1 t)$ & $\Psi_2(t) = A \cos(\omega_2 t)$
 $\Psi_T(t) = \Psi_1(t) + \Psi_2(t) = 2A \cos(\epsilon t) \cos(\Omega t)$
 $\epsilon \ll \Omega$
 $\epsilon = \frac{\omega_f - \omega_s}{2}$
 $\Omega = \frac{\omega_f + \omega_s}{2}$



תדירות הפעימה היא 2ϵ
גלים רוחביים במיתר

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

חוק פאראדיי

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: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$
כאשר $\vec{v}$ היא מהירות הגוף (שימו לב למכפלה הסקלרית)
כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: $\epsilon = BLv \sin \alpha$
כאשר 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.

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 כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.
דיפול: $\vec{\mu} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} [3(\vec{\mu} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{\mu}]$
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 ברכיב

$L = \frac{\Phi_B}{I}$
 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
- ההשראות היא **תכונה שתלויה 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

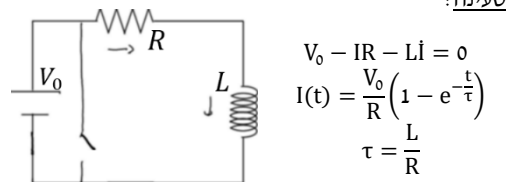
N מספר הליפופים הכולל, I אורך הסליל ו- a רדיוס טבעת
כא"מ ברכיב עם השראות L: $\epsilon = -L \dot{I}$
האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):
 $U_L = \frac{1}{2} L I^2$

האנרגיה האגורה בשדה המגנטי

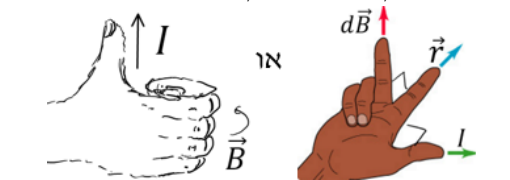
$U = \int \frac{B^2}{2\mu_0} dV$
- את האינטגרל עושים על כל המרחב.
- זו אותה האנרגיה שמחשבים באמצעות ההשראות (פשוט צורת חישוב אחרת).
- ניתן לחשב השראות דרך השוואה של שתי הנוסחאות האחרונות של האנרגיה (תניחו זרם והוא יצטמצם בסוף).
המתח על סליל (משרן) במעגל: $V_L = L \dot{I}$
הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

מעגלי RL

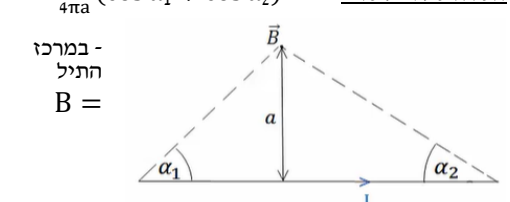
טעינה:



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



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



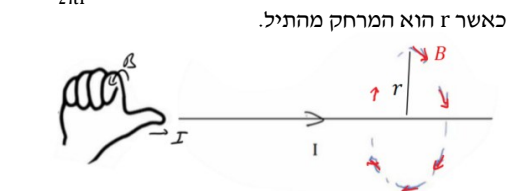
שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה: $B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$
(L אורך התיל), $\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \frac{L}{((\frac{L}{2})^2 + a^2)^{3/2}}$

כיוון השדה לפי כלל הבורג:
כוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:
הכוח הוא כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון, ודחייה אם כיוון הזרמים הפוך.

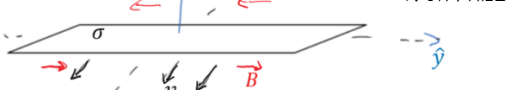
חוק אמפר

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.

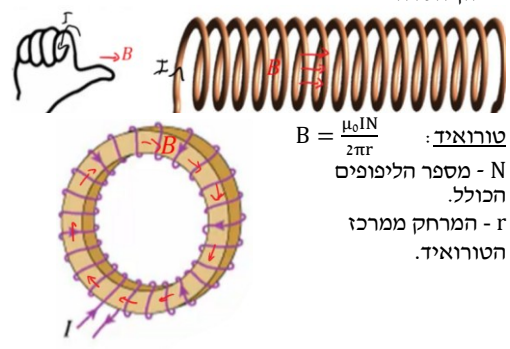


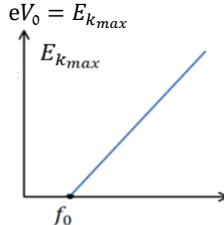
כאשר הזרם בכיוון $\hat{z}$ השדה בכיוון $\hat{\theta}$
שדה של מישור אינסופי:
 $\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$
עבור מישור דק הטעון בצפיפות משטחית σ ונע בכיוון $\hat{x}$ במהירות v .



שדה של סליל אינסופי/סולנואיד: $B = \mu_0 I n$

כאשר n הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל.
כיוון: לפי כלל הבורג, האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.





מתח עצירה:
השוואה לתורה הגלית:
לפי התורה הפוטונית
1. עוצמת האור קשורה למספר הפוטונים ולא אנרגיה של כל אחד מהם. הגדלת העוצמה תגדיל את מספר האלק' הנפלט אבל לא את האנרגיה הקינטית שלהם.
2. האנרגיה של הפוטון תלויה בתדירות.
3. רק פוטון אחד נותן את כל האנרגיה שלו ולכן קיימת תדירות סף.
לפי התורה הגלית-אלקטרומגנטית
1. עוצמת האור קשורה לגודל השדה, הגדלת העוצמה תגדיל את האנרגיה הקינטית של האלקטרונים.
2. התדירות לא משפיעה על האנרגיה של האלקטרונים.

אנרגיה מסה ותנע של פוטון:

GOOL
 $E = hf$
 $p = \frac{E}{c} = h \frac{f}{c} = \frac{h}{\lambda}$
 $m = 0$
אנרגיה של פוטון יחיד:
תנע של פוטון:
מסת מנוחה של פוטון:

דואליות גל חלקיק והאופי הגלי של החומר:

$\lambda = \frac{h}{p}$
אורך גל דה ברוולי של חלקיק:
 $p = mv$ לא יחסותי, $p = m\gamma v$ יחסותי

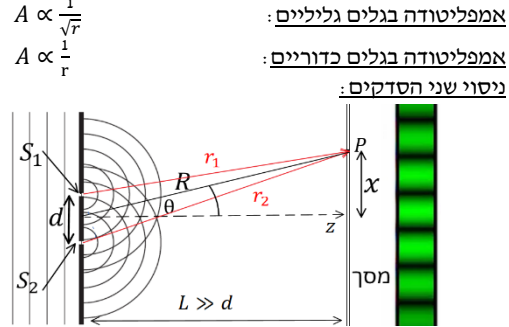
$\psi(x=0, t) = 0, \frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0$
 $k_n = \frac{\pi}{L} \left(n + \frac{1}{2} \right); n = 0, 1, 2, 3 \dots$
 $\lambda_n = \frac{2L}{(n + \frac{1}{2})}; f_n = \frac{v}{2L} (n + \frac{1}{2})$
 $\psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$

מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים:

$\frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0$
 $\lambda_n = \frac{2L}{n}; f_n = \frac{vn}{2L}; k_n = \frac{\pi n}{L}; n = 0, 1, 2, 3 \dots$
 $\psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$

התאבכות בשני סדקים

GOOL
עיקרון הווייגנס: ניתן להתייחס לכל נקודה בחזית הגל כמקור נקודתי של גל חדש.
אמפליטודה בגלים גליליים:
 $A \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$
אמפליטודה בגלים כדוריים:
 $A \propto \frac{1}{r}$
ניסוי שני הסדקים:

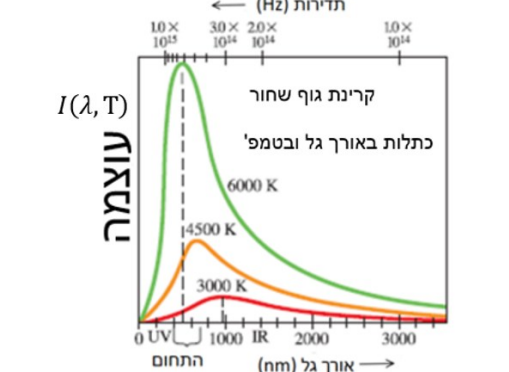


קירוב השדה הרחוק $L \gg d$:

1. $A_1 \approx A_2 \leftarrow \Delta r \ll r$
2. $\Delta r = d \sin \theta \leftarrow r_1 || r_2$
העוצמה היחסית:
 $\frac{I(\theta)}{I(0)} = \cos^2 \left(\frac{k d \sin \theta}{2} \right)$
קירוב זוויות קטנות:
 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \frac{x}{L}$
בגלל התלות של האמפליטודה במרחק, צריך להכפיל את התוצאה לעוצמה בקוסינוס סטה עבור גלים גליליים ובקוסינוס בריבוע עבור גלים כדוריים. התוספת הזו קשורה למבנה של המסך והיא לא תופיע במסך עגול. בדרכי מניחים קירוב זוויות קטנות ואז היא זניחה.

תיאוריות מוקדמות של תורת הקוונטים והאטום:

חוק וויין:
 $\lambda_p T = 2.90 \cdot 10^{-3} m \cdot K$
 λ_p - אורך הגל בשיא. T - הטמפרטורה בקלווין
נוסחת פלאנק לקרינת גוף שחור:
 $I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$



קבוע בולצמן:
 $k = 1.38 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$
קבוע פלאנק:
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$
התנחה הקוונטית של פלאנק: האנרגיה המינימלית של מסען בתנועה הרמונית באטום היא
אנרגיית המסען חייבת להיות כפולה שלמה של הערך המינימלי:
 $E = nhf$
כאשר n הוא המספר הקוונטי
התיאוריה הפוטונית והאפקט הפוטואלקטרי:
 $E_{min} = hf$
אנרגיה של פוטון יחיד (f-תדירות האור):
 $E = hf$
הניסוי הפוטואלקטרי:

תדירות סף W_0 (פונקציית העבודה של המתכת):
 $hf_0 = W_0$
אנרגיה קינטית מקסי' של האלקטרונים:
 $E_k = hf - W_0$

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 בהוויות 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 הדיפרסיה:
 $\omega = v \cdot k$
החזרה והעברה

GOOL
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 הגזרות:

$\frac{\partial \psi_L}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial \psi_R}{\partial x} \Big|_{x=0}$
 $\psi_L(x, t) = \psi_r(x, t) + \psi(x, t); \psi_R(x, t) = \psi_t(x, t)$
 $\psi_r(x, t) = r\psi(-x, t)$

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

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

GOOL
עכבה (impedance):
 $Z = \sqrt{\rho T} = \frac{T}{v}$
מתחות. V - מהירות הגל

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

F_y - הכוח על אלמנט מסה
 $V_y(t)$ - מהירות אלמנט מסה (מהירות החומר)
מקדמי העברה והחזרה בפגיעה של גל מתווך 1 ל-2:

$r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$ מקדם החזרה. $t = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$ מקדם העברה
תאום עכבות: $r = 0 \iff Z_1 = Z_2$

אנרגיה הספק ותנע

GOOL
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:

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

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

מקדם החזרה של האנרגיה:
 $R = \frac{P_1^-}{P_1^+} = r^2 = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$

מקדם העברה של האנרגיה:
 $T = \frac{P_2^+}{P_1^+} = \frac{Z_2}{Z_1} t^2 = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$

$R + T = 1$

גלים עומדים

GOOL
תנע: התנע הוא אפס.

מיתר חצי אינסופי:

קצה קשור:
 $\psi(x=0, t) = 0 \Rightarrow \psi(x, t) = C \sin(kx) \sin(\omega t + \varphi)$

קצה חופשי:

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

קצוות קשורים:

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

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

קצה קשור וקצה חופשי: