

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.

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

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

כוח 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 צפיפה: נחלקת 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.

GOOL פוטנציאל

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 לחיזוי 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. שיטות לחישוב פוטנציאל:

1. אם ניתן לחשב את השדה (בד"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 וכיוול (בחירת נק' האפס).

2. חלוקת הגוף לחתיכות קטנות, חישוב הפוטנציאל של כל חתיכה כמו גוף נקודתי $d\varphi = \frac{k dq}{r}$ וסכימה. (הסבר על dq בחוק קולון)

GOOL דיפול חשמלי

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

מומנט דיפול: $\vec{p} = q\vec{d}$

כיוונו 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:

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

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:

$$\vec{F} = (\vec{p} \cdot \vec{\nabla}) \vec{E} = -\vec{\nabla} U$$

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

GOOL מציאת התפלגות מטען

למצא צפיפות נפחית נעשה:

$$\rho = \epsilon_0 \vec{\nabla} \cdot \vec{E}$$

למצא צפיפות משטחית:

$$\sigma = \epsilon_0 \Delta \varphi$$

כאשר $\Delta \varphi$ 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 $\lambda = 2\pi\epsilon_0\alpha$ 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)

GOOL אנרגיה הדרושה לבניית מערכת

אנרגיה הדרושה לבניית מערכת:

$$U = \sum \frac{1}{2} \varphi_i q_i = \int \frac{\epsilon_0}{2} E^2 dv$$

$\vec{F} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z}$

בגליליות:

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

בכדוריות (*):

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

(*) שימו לב שהזווית φ עם ציר z והזווית θ עם ציר x במערכות צירים צריך להתקיים:

$$\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z} ; \hat{r} \times \hat{\theta} = \hat{\varphi} ; \hat{r} \times \hat{\varphi} = -\hat{\theta}$$

זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:

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

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

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

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

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 (*):

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

דיברגנט 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:

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

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:

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

בגליליות:

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

בכדוריות (*):

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

(*) שימו לב שהזווית φ עם ציר z והזווית θ עם ציר x זהויות של אופרטורים:

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

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

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

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

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

GOOL קבועים

מסות הפרוטון, ניוטרון 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 :

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

GOOL חוק קולון

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

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

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

השדה החשמלי שיוצר מטען q במרחק:

GOOL 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) $rd\theta dz$ (קליפה גלילית דקה)

$dv = r dr d\theta dz$ (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)

צפיפות נפחית/משטחית/אורכית:

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

V, S, l הם נפח, שטח ואורך הגוף.

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:

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

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

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

$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$

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

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

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

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:

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

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:

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| |\sin \alpha|$$

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

וכיוון לפי כלל יד ימין

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

גרדיאנט בקרטזיות:

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

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 (*):

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

רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

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

גרדיאנט בקרטזיות:

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

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 (*):

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

רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$ שדה בתוך קבל לוחות:

σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.
 V - המתח בין הלוחות. d - מרחק בין הלוחות.

$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$ קיבול של קבל גלילי:

a ו-b - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.
 L - אורך הגלילים, $a, b \ll L$

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

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 (זוהי המטען שקיבל הקבל)

הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל: $F = \left| \frac{dU_C}{dx} \right|$
 הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

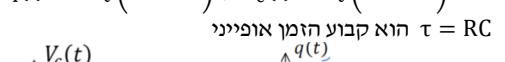
פריקה וטעינה של קבל

מעגל טעינה:
 משוואת המתחים:

$V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$
 $I = \frac{dq}{dt}$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בטעינה):
 $q(t) = CV_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$; $V_C(t) = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני



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

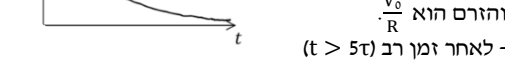
בהתחלה ($t = 0$) הקבל מתנהג כמו קצר, המתח והמטען על הקבל הם אפס והזרם הוא $\frac{V_0}{R}$.

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

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

מעגלי זרם ישר

זרם:
 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 $V_T = V_1 = V_2$ 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.

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.

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

קצר - 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.

$\mathcal{E}$ - כח"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 ה- 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:

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

3. נפתור את מערכת המשוואות

חומרים דיאלקטרים

הגדרת הקיבול:
 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, $d \ll \sqrt{A}$.

ה-סכום 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

מטעני דמות

שיטה למצא פוטנציאל בבעיות עם מוליכים והתפלגות מטען שאינה אחידה.

השיטה:
 - נבנה בעיה מקבילה ללא המוליך.

- בבעיה המקבילה נשאיר את אותה התפלגות המטען שיש בתחום בו אנחנו מחפשים את הפוטנציאל.

- בתחום הנוסף (שבו אנחנו לא מחפשים את הפוטנציאל) נוסיף מטענים כך שתנאי השפה בבעיה המקבילה יהיו זהים לתנאי השפה בבעיה המקורית.

- לפי משפט הקיום והיחידות, הפוטנציאל בבעיה המקבילה (בתחום שאנחנו מחפשים) זהה לפוטנציאל בבעיה המקורית.

המקרה של קליפה כדורית ומטען נקודתי:

$q' = -\frac{R}{a} q$; $b = \frac{R^2}{a}$

- אם הקליפה נמצאת בפוטנציאל V_0 אז נוסיף מטען $q'' = \frac{V_0 R}{k}$ במרכז הקליפה.



המקרה של שני גלילים אינסופיים:



$\lambda = \frac{\pi \epsilon_0 V_0}{\ln \left(\frac{D}{2R} + \sqrt{\left(\frac{D}{2R} \right)^2 - 1} \right)}$; $a = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2} \right)^2 - R^2}$

חומרים דיאלקטרים

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

השדה בתוך חומר דיאלקטרי לינארי ואיזוטרופי:

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

$\vec{E}_{free}$ 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 בדרכי קבוע וידוע. $\epsilon_r > 1$ ו- $\epsilon_r \epsilon_0 = \epsilon$

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

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

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

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

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

$\vec{P}$ - וקטור הפולריזציה. צפיפות הדיפולים ליחידת נפח:

$\vec{P} = N \vec{p}_1$

$\vec{p}_1$ - מומנט הדיפול של דיפול יחיד בחומר.

N - מספר הדיפולים ביחידת נפח. יחידות של $\left[\frac{1}{m^3} \right]$

$\vec{p} = \int \vec{P} dV$ מומנט הדיפול הכולל בחומר:

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:

בחומרים לינארים (בדרכי בשאלות): $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$

חומר איזוטרופי: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_0$

מבנה הנגד וצפיפות זרם

התלות 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 שמוגדר לכיוון הזרם. הערה: שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הנגד. במידה והם לא אחידים צריך לחלק את הנגד לחתיכות, לחשב ההתנגדות של כל חתיכה ולסכומם 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 שמוגדר ל- $\vec{J}$.

- אם $\vec{J}$ אחידה אז: $I = JS$

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 ליחיד נפח ו- q הוא המטען של נושא

מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת

מהירות הסחף: $\vec{v}_{drift}$

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

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

אם $\vec{k}$ אחידה אז: $I = kL$

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען משטחית בתנועה:

$\vec{k} = \sigma \vec{v}$

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

יחסות פרטית

תיאור של מאורעות מנקודת המבט של צופים הנמצאים

במערכות ייחוס שונות (אינרציאליות).

עקרונות יסוד בתורת היחסות:

- חוקי הפיזיקה זהים בכל המערכות האינרציאליות.

- האור אינו צריך תווך בשביל לעבור בו.

- מהירות האור קבועה וזהה בכל מערכות הייחוס.

- אף גוף אינו יכול לנוע יותר מהר ממהירות האור

בואקום. מכאן, מדידת הזמן שונה בין מערכות הייחוס.

- הזמן הופך לקואורדינטה רביעית (ביחד עם: x, y, z)

שעוברת טרנספורמציה.

פקטור גאמה: $\gamma_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}}; \beta = \frac{v_0}{c}$

γ_0 תמיד גדולה מ-1

טרנספורמציות לורנץ למיקום והזמן:

$x' = \gamma_0(x - v_0 t); y' = y; z' = z$

$t' = \gamma_0\left(t - \frac{v_0 x}{c^2}\right); \beta = \frac{v_0}{c}; \gamma_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

טרנספורמציה הפוכה:

$x = \gamma_0(x' + v_0 t'); y = y; z = z$

$t = \gamma_0\left(t' + \frac{v_0 x'}{c^2}\right)$

- הצירים של המערכות חייבים להיות מקבילים.

- בזמן $t = t' = 0$ חייבים שהראשיות מתלכדות.

המערכת העצמית:

מערכת בה המאורע הנצפה נמצא במנוחה.

- זמן עצמי τ מוגדר להיות הפרש הזמנים בין שני מאורעות

כפי שהוא נמדד במערכת העצמית שלהם.

- אורך עצמי l_0 האורך של גוף כפי שנמדד במערכת בו הגוף

נמצא במנוחה.

התכווצות האורך: שינוי האורך ממערכת המנוחה

(העצמית) למערכת נעה

התארכות הזמן: שינוי הזמן ממערכת המנוחה (העצמית)

למערכת נעה) $\Delta t = \gamma_0 \tau$

שינוי זווית במדידת אורך: $\tan \theta = \gamma_0 \tan \theta'$

θ' - זווית ביחס לציר ה- x (ציר התנועה) במערכת העצמית

θ - זווית ביחס לציר ה- x (ציר התנועה) במערכת אחרת.

אפקט דופלר היחסותי:

זמן המחזור של הגל: $T = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \tau$

אורך הגל: $\lambda = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \lambda'$

תדירות הגל:

$$f = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} f'$$

λ', f', τ - הזמן, התדירות ואורך הגל במערכת העצמית

טרנספורמציות לורנץ למהירויות:

$$v'_x = \frac{v_x - v_0}{1 - \frac{v_0 v_x}{c^2}}; v'_y = \frac{v_y}{\gamma_0 \left(1 - \frac{v_0 v_x}{c^2}\right)}; v'_z = \frac{v_z}{\gamma_0 \left(1 - \frac{v_0 v_x}{c^2}\right)}$$

אברציה - שינוי זווית המהירות:

$$\tan \theta' = \frac{\sin \theta}{\gamma_0 \left(\cos \theta - \frac{v_0}{c}\right)}$$

שימו לב שפה השינוי הוא בזווית של וקטור המהירות (כיוון התנועה) ולא שינוי זווית של הגוף כמו למעלה.

תנע ואנרגיה יחסותיים:

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v}; E = \gamma mc^2$$

- הגודל γ קשור עכשיו למהירות הגוף ועבורו נרצה לחשב

את התנע ולא למעבר בין מערכות אינרציאליות שונות.

נוסחאות נוספות:

$$E^2 = |\vec{p}|^2 c^2 + m^2 c^4; |\vec{p}| = \sqrt{\gamma^2 - 1} mc$$

אנרגיית מנוחה:

$$E_0 = mc^2$$

אנרגיה קינטית:

$$E_k = E - E_0 = mc^2(\gamma - 1)$$

עבור חלקיקים מסוימים מסת המנוחה היא אפס (פוטון,

ניוטרינו) והאנרגיה הקינטית היא:

$$E = |\vec{p}|c = h\nu$$

ν היא התדירות ו- $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ קבוע פלאנק

טרנספורמציה של התנע והאנרגיה:

$$E' = \gamma_0(E - v_0 p_x); p'_x = \gamma_0(p_x - v_0 E/c^2)$$

$p'_y = p_y; p'_z = p_z$

וקטור תנע אנרגיה:

$$\left(p_x, p_y, p_z, \frac{E}{c}\right)$$

"גודל הוקטור" (מינוס באנרגיה) זהה בכל מערכות הייחוס:

$$p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - \left(\frac{E}{c}\right)^2 = \text{const}$$

- הנוסחה נכונה גם עבור מערכת עם יותר מגוף אחד כאשר

התנע והאנרגיה הם התנע והאנרגיה של כל המערכת.

- עבור גוף יחיד הקבוע הוא: $m^2 c^2$

פיזור קומפטון:

פוטון הפוגע באטום הנמצא במנוחה, לאחר הפגיעה נפלט

אלקטרון וכיוון התנועה של הפוטון משתנה.



פוטון לאחר הפגיעה E'_γ

$$\frac{1}{E'_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma} = \frac{1}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)$$

E_γ - אנרגיית הפוטון לפני הפגיעה

E'_γ - אנרגיית הפוטון אחרי הפגיעה

θ - מסת אלקטרון

m_e - מסת אלקטרון

θ - זווית התנועה של הפוטון ביחס לכיוון הפגיעה.

יחידת האלקטרון וולט: $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$

המרת מסת הגופים לאנרגיה:

$$m_e | \approx 8.19 \times 10^{-14} \text{ J} (\approx 511 \text{ keV})$$

$$m_p | \approx 1.50 \times 10^{-10} \text{ J} (\approx 938 \text{ MeV})$$

$$m_{\text{Uranium}} \approx 3.55 \times 10^{-8} \text{ J} (\approx 225 \text{ GeV})$$

- ניתן גם לרשום את היחידות של התנע של גופים כ- $\frac{eV}{c}$

כלומר הכמות (המספר) זהה רק ביחידות נחלק ב- c .

כוחות ביחסות פרטית: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\gamma^3 \vec{a}_{||} + m\gamma \vec{a}_{\perp}$

$\vec{a}_{||}, \vec{a}_{\perp}$ הרכיב המאונך והמקביל של התאוצה למהירות

גודל הרכיב המקביל של התאוצה:

$$a_{||} = \dot{v}$$

טרנספורמציה של הכוחות:

$$F'_x = F_x - \frac{v_0(F_y v_y + F_z v_z)}{c^2 - v_0 v_x}$$

$$F'_y = \frac{F_y}{\gamma_0 \left(1 - \frac{v_0 v_x}{c^2}\right)}; F'_z = \frac{F_z}{\gamma_0 \left(1 - \frac{v_0 v_x}{c^2}\right)}$$

טרנספורמציה הפוכה:

$$F_x = F'_x + \frac{v_0(F'_y v'_y + F'_z v'_z)}{c^2 + v_0 v'_x}$$

$$F_y = \frac{F'_y}{\gamma_0 \left(1 + \frac{v_0 v'_x}{c^2}\right)}; F_z = \frac{F'_z}{\gamma_0 \left(1 + \frac{v_0 v'_x}{c^2}\right)}$$

שדות של מטענים נעים

$$q = \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

הגדרת המטען:

המטען הוא גודל אינווריאנטי במעבר בין מערכות ייחוס.

שדה של מטען הנע במהירות קבועה:

$$E = \frac{kq}{r^2} \cdot \frac{(1-\beta^2)}{(1-\beta^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}}; \beta = \frac{v}{c}$$

θ היא הזווית בין המהירות לוקטור המיקום שבו מחפשים את השדה.

- השדה הוא שדה לא משמר!

- השדה של מטען במנוחה זהה לחוק קולון "הרגיל".

- קווי השדה מתוארים באיור:

שדה של מטען שצובר

בפתאומיות:

ניצור ספירה סביב

הנקודה שבה נמצא

המטען ברדיוס השווה למהירות האור כפול הזמן מתחילת

התנועה.

בתוך הספירה השדה יהיה שדה של מטען במנוחה.

מחוץ לספירה השדה יהיה שדה של מטען כאילו הוא לא

הפסיק את התנועה.

עובי הספירה קשור לתהליך העצירה. השדה בתוך עובי

הספירה הוא בערך בכיוון משיק לספירה.

שדה של מטען שמתחיל תנועה בפתאומיות:

ניצור ספירה סביב הנקודה ממנה התחיל המטען לנוע

ברדיוס השווה למהירות האור כפול הזמן מתחילת

התנועה. בתוך הספירה השדה יהיה שדה של מטען הנע

במהירות קבועה. מחוץ לספירה השדה יהיה שדה של

המטען במנוחה (הנמצא בנקודת המוצא).

עובי הספירה קשור לתהליך העצירה והשדה שם הוא בערך

בכיוון משיק לספירה.

המקרה	השדה של המטען שמפעיל את הכוח	הכוח
שני המטענים במנוחה	שדה של מטען במנוחה	$Q\vec{E}$
המטען שמפעיל את הכוח נע במהירות קבועה והמטען שמרגיש את הכוח במנוחה	שדה של מטען במהירות קבועה	$Q\vec{E}$
המטען שמפעיל את הכוח במנוחה והמטען שמרגיש את הכוח נע במהירות קבועה	שדה של מטען במנוחה	$Q\vec{E}$
שני המטענים נעים במהירות קבועה	שדה של מטען הנע במהירות קבועה	$Q\vec{E}$ ועוד תוספת*

* התוספת מגיעה משינוי מערכת הייחוס של המטען עליו

פועל הכוח וניתן לתאר אותה באמצעות שדה נוסף כך

שהיא שווה ל- $Q\vec{v} \times \vec{B}$. זה ההסבר של תורת היחסות

לכוח המגנטי.

הכוח המגנטי - חוק לורנץ

חוק לורנץ - הכוח המגנטי: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$

ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.

ד- דרך טרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).

$F_B = qvB \sin \alpha$ דרך גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא:

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).

הכוח המגנטי על תיל נושא זרם

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

הנמצאת בשדה מגנטי 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.

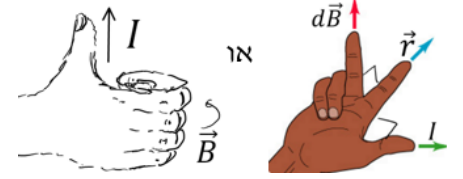
חוק ביו-סבר

GOOL

חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

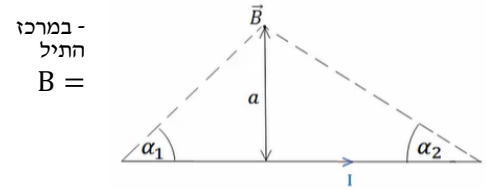
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$\vec{r}$ הוא הוקטור מהחתיכה הנקודה 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:

 $כיוון השדה לפי כלל הבורג:

כוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:

$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

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

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. בדרכי 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:

 $$

כאשר הזרם בכיוון z השדה בכיוון $\hat{\theta}$

שדה של מישור אינסופי:

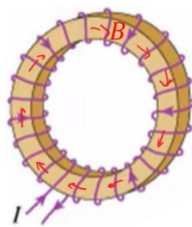
 $$

שדה של סליל אינסופי/סולנואיד:

 $$

טורואיד:

 $N - מספר הליפופים הכולל.
 r - המרחק ממרכז הטורואיד.$



מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון

מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון (חוק אמפר הדיפרנציאלי):

 $מציאת צפיפות זרם קווית $\vec{k}$ משדה מגנטי נתון (כאשר יש אי רציפות בשדה):

 $בשביל למצוא זרם של תיל נחפש שדה מהצורה:

 $$$$

GOOL

חוק פאראדי

חוק פאראדי:

 $חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.$



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

 $$$$

GOOL

אפקט הול

בפועל רק אלקטרונים זזים במוליך כשיש זרם. כתוצאה מהתנועה הזו הם מרגישים כוח (אם יש שדה מגנטי) שדוחף אותם לדופן המוליך ונוצרת הפרדת מטענים הגורמת לשדה חשמלי לרוחב המוליך. בשיווי משקל הכוח החשמלי שווה למגנטי. מהשוויון ניתן לחשב את השדה החשמלי ו- המתח הנוצר לרוחב המוליך:

 $V - המתח בין הקצוות של המוליך שמאונכות לכיוון הזרם וכיוון השדה המגנטי. I - הזרם במוליך.

$B_{\perp}$ - הרכיב של השדה המגנטי שמאונך לזרם.

n - מספר האלקטרונים ליחידת נפח במוליך.

q - מטען האלקטרון. d - הרוחב של המוליך שמצדדיו נמדד המתח. A - שטח החתך של המוליך (מאונך לזרם) השוויון השני למקרה של מוליך גלילי, R רדיוס הגליל.$

טרנספורמציה יחסותית (לורנץ) לשדות

טרנספורמציה של השדות עבור צופה הנע במהירות $\vec{v}$

ביחס למעבדה:

 $$

$\vec{E}$ ו- $\vec{B}$ הם השדות במערכת המעבדה ו- $\vec{E}'$, $\vec{B}'$ הם השדות במערכת הנעה.

הטרנס' ההפוכה:

 $טרנספורמציה של צפיפויות המטען:$

$\lambda = \gamma \lambda_0; \sigma = \gamma \sigma_0; \rho = \gamma \rho_0$

כאשר $\lambda_0, \sigma_0, \rho_0$ הן צפיפויות אורכית, משטחית ונפחית במערכת העצמית של הגוף.

- הסיבה לטרנספורמציה היא שסך המטען זהה בשתי המערכות אבל האורך משתנה.

נוסחאות לצפיפויות הזרם:

$## GOOL$

מומנט דיפול מגנטי

דיפול מגנטי הוא לולאת זרם סגורה.

מומנט הדיפול המגנטי $\vec{\mu}$ (לפעמים מסומן ב- $\vec{m}$):

 $כיוונו במאונך למשטח ובהתאם לכלל יד ימין של הזרם. השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדי הדיפול:

 $מומנט כוח שפועל על דיפול מגנטי הנמצא בשדה מגנטי חיצוני:

 $$$$

GOOL

השראות

ההשראות ברכיב:

 $1. נניח שזרם I ברכיב.
2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.$

השראות של סליל:

 $N מספר הליפופים הכולל, l אורך הסליל ו- a רדיוס טבעת כא"מ ברכיב עם השראות L:

 $האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

 $האנרגיה האגורה בשדה המגנטי:

 $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 (משך) במעגל:

 $## GOOL$$$$$

מעגלי RL

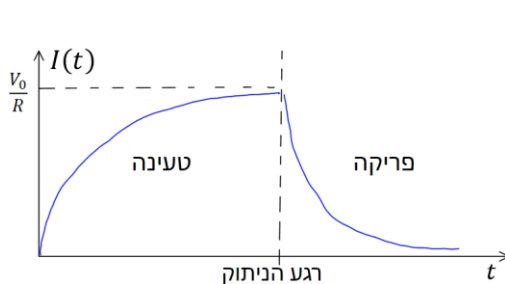
סעיפה:

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

פריקה:

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

פריקה:



חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

בטור:

 $כאשר $V_T = V_1 = V_2 = \dots$ ו- $I_T = I_1 + I_2 + \dots$$

GOOL

השראות הדדית

השראות הדדית:

חישוב השראות הדדית:

1. נניח שזורם 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:

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

משוואות מקסוול

הצורה הדיפרנציאלית; הצורה האינטגרלית:

1. חוק גאוס $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$; $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dV$
 2. $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$; $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
 3. $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$; $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s}$
- מהמשוואה ניתן לקבל את חוק פאראדי $\epsilon = -\phi_B$
4. $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$; $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{j} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s}$

חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)

שדות משתנים בזמן חרם העתקה

ממשוואות מקסוול רואים ששדה מגנטי שמשנתה בזמן יוצר שדה חשמלי ולהפך.

אם נתון שדה מגנטי משנתה בזמן וצריך לחשב את השדה החשמלי אז: נשתמש במשוואה השלישית של מקסוול כמו חוק פאראדי ובמקום הכא"מ נחשב את האינטגרל כאשר בדרך"כ יסימטריה גלילית והאינטגרל הופך ל $E2\pi r$

אם נתון שדה חשמלי משנתה בזמן וצריך לחשב את השדה המגנטי אז: נשתמש במשוואה הרביעית כמו חוק אמפר

רק שבמקום זרם יש $\int \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s}$ (או במקום צפיפות זרם $\epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$) שנקרא זרם העתקה (לא באמת זרם).

וקטור פוינטינג והאנרגיה האגורה בשדות

אנרגיה אלקטרו מגנטית האגורה בשדות:

$$U = \int \left(\frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2} + \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0} \right) dv$$

צפיפות האנרגיה (אנרגיה ליח' נפח): $u_{em} = \frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2} + \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0}$

וקטור פוינטינג: $\vec{s} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$

שטף האנרגיה (אנרגיה ליח' שטח וליחידת זמן).

הקשר בין האנרגיה לוקטור פוינטינג בריק:

$$\oint \vec{s} \cdot d\vec{s} = -\frac{dU}{dt}$$

בצד שמאל עושים אינטגרל של הוקטור פוינטינג על משטח סגור (שטף) ובצד ימין גוזרים בזמן את האנרגיה האגורה בשדות בנפח הכלוא במשטח.

הקשר הדיפרנציאלי בריק: $\vec{\nabla} \cdot \vec{s} = -\frac{du_{em}}{dt}$

מבוא לגלים

גלים רוחביים: ההפרעה בכיוון ניצב להתקדמות (מיתר) גלים אורכיים: ההפרעה בכיוון מקביל להתקדמות (קול) תנוך: החומר בו מתקדמת ההפרעה

פונקציית הגל: $f(x \pm vt)$, 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 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: $y(x, t) = A \cos(kx \pm \omega t + \phi)$

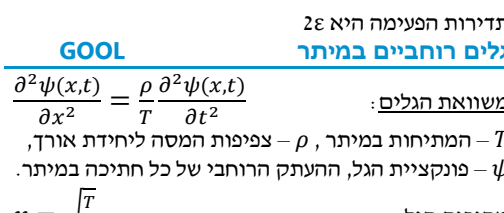
מספר הגל: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

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 אחרונ מחברים שני גלים בעלי אותה אמפליטודה ומקבלים גל בתוך מעטפת (פעיימה).

$$\Psi_1(t) = A \cos(\omega_1 t) \text{ \& } \Psi_2(t) = A \cos(\omega_2 t)$$
$$\Psi_T(t) = \Psi_1(t) + \Psi_2(t) = 2A \cos(\epsilon t) \cos(\Omega t)$$

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

תדירות הפעימה היא 2ϵ גלים רוחביים במיתר

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

T - המתוחות 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:

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

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

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

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

$$r = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2}$$
$$t = \frac{2z_1}{z_1 + z_2}$$

תאום עכבות: $z_1 = z_2$ $t = 1$ $r = 0$

אנרגיה הספק ותנע

אנרגיה ליחידת אורך של גל 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

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

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: $T = \frac{P_2^+}{P_1^+} = \frac{z_2}{z_1} t^2 = \frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)^2}$

$R + T = 1$

תנע: התנע הוא אפס.

גלים עומדים

מיתר חצי אינסופי:

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

קצה חופשי: $\left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \Rightarrow \Psi(x, t) = C \cos(kx) \cos(\omega t + \phi)$

מיתר סופי:

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

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

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

קצה קשור וקצה חופשי:

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

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

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

מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים:

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_{x=L} = 0$$

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

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

גלים אלקטרומגנטיים

משוואות הגלים בריק ($\rho = I = 0$):

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

c היא מהירות האור כאשר $\frac{1}{c^2} = \mu_0 \epsilon_0$

למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.

- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

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

- תזכורת לאפליסאן: $\vec{\nabla}^2 E_i = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2}$

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

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

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

$$\vec{k} \cdot \vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$$
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

ω היא התדירות הזוויתית

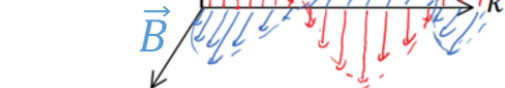
כאשר f היא התדירות בהרץ ו- T הוא זמן המחזור.

- הקוסינוס בפתרון זהה לכל הרכיבים של השדה החשמלי והמגנטי, ההבדל בין הרכיבים הוא רק במקדם A_i .

איך למצוא 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.

$$|k| = \frac{2\pi}{\lambda}; \lambda \text{ הוא אורך הגל (המרחק בין שיא לשיא)}; \omega = c|k|$$

יחס הדיספרסיה: היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואות 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 $\vec{k}$

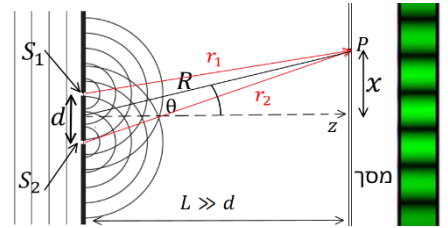
התאבכות בשני סדקים

עיקרון הויינגס: 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: $L \gg d$

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

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

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

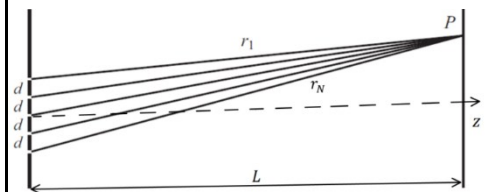
קירוב זוויות קטנות:

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

בגלל התלות של האמפליטודה במרחק, צריך להכפיל את התוצאה לעוצמה בקוסינוס טטה עבור גלים גליליים ובקוסינוס בריבוע עבור גלים כדוריים. התוספת הזו קשורה למבנה של המסך והיא לא תופיע במסך עגול. בדרי"כ מניחים קירוב זוויות קטנות ואז היא זניחה.

GOOL

התאבכות ב N סדקים



קירוב השדה הרחוק:

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

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

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

פיק גדול (מתרחש כשהמכנה מתאפס): $\alpha_n = 2\pi n$

נקודות התאפסות (כשהמונה מתאפס והמכנה לא): $n \neq mN$ ו- $\alpha_n = \frac{2\pi n}{N}$

פיק קטן (נגזרת שווה לאפס ומכנה לא מתאפס), עבור

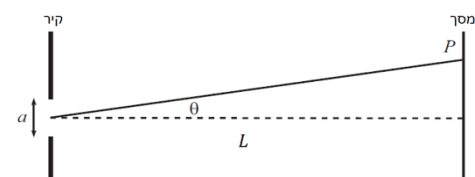
$$\alpha_n = \frac{2\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad ; \quad N \gg 1$$

מספר הפיקים באחד הצדדים (ללא הפיק המרכזי): $\frac{k d}{2\pi}$

(לעגל למטה). מספר הפיקים (הגדולים) הכולל שווה למספר הפיקים באחד הצדדים כפול 2 ועוד 1 (המרכזי)

GOOL

עקיפה



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

$$\beta = k a \sin \theta$$

$$\beta_n = 2\pi n$$

נק' התאפסות:

אם $\lambda > a$ אז רוחב הפיק המרכזי גדול מאינסוף ולא יהיו נק' התאפסות, הסדק מתנהג כמקור אור נקודתי.

אם $a \gg \lambda$ מקבלים עוצמה קבועה ברוחב הסדק, מתאים למקרה הקלאסי בו מניחים שהאור נע בקווים ישרים.

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

הקשר לפורייה:

האמפליטודה הכוללת על המסך כתלות בזווית:

$$A_{tot}(\theta) = 2\pi FT[B(x)](k') \quad ; \quad k' = k \sin \theta$$

כאשר $B(x)$ היא האמפליטודה ליחידת אורך בסדק.

GOOL

התאבכות ועקיפה ביחד

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

כאשר a הוא רוחב כל סדק, d המרחק בין שני סדקים ו- N מספר הסדקים.

GOOL

אינטרפרומטריה

האינטרפרומטר של מייקלסון:

הפרש הדרכים:

$$\delta = 2(L_2 - L_1)$$

הפרש הפאזה:

$$\Delta \varphi = k \delta + \pi$$

התאבכות בונה:

$$\delta = \lambda \left(m + \frac{1}{2} \right)$$

התאבכות:

הורסת:

$$\delta = m \lambda$$

עוצמה:

$$\frac{I}{I_{max}} = \cos^2 \left(\frac{\Delta \varphi}{2} \right) = \sin^2 \left(\frac{\pi \delta}{\lambda} \right)$$

$$\cos^2 \left(\frac{\Delta \varphi}{2} \right) = \sin^2 \left(\frac{\pi \delta}{\lambda} \right)$$

אינטרפרומטר מאד-זנדר:

$$\delta = d(n - 1)$$

$$\Delta \varphi = k \delta$$

$$\Delta \varphi = k \delta + \pi$$

עוצמה:

$$\frac{I}{I_{max}} = \cos^2 \left(\frac{\Delta \varphi}{2} \right)$$

אינטרפרומטר פברי-פרו:

בין שני קרניים

$$\Delta \varphi =$$

$$k \delta = k 2 d \cos \theta$$

$$d - \text{רוחב}$$

האינטרפרומטר θ - זווית

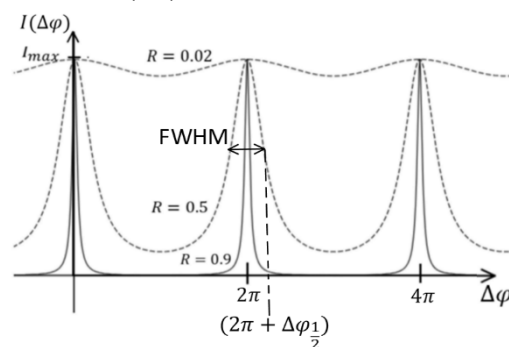
פגיעה.

מקדם החזרה בכל פגיעה:

$$R = r^2 = \left(\frac{A_r}{A_i} \right)^2$$

$$\frac{I}{I_{max}} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left(\frac{\Delta \varphi}{2} \right)}$$

העוצמה:



FWHM - רוחב הפונקציה בחצי גובה (עבור $R=0.5$)

תוספת הפאזה להגיע לחצי גובה מנקודת המקסימום:

$$\Delta \varphi_{\frac{1}{2}} \approx \frac{1-R}{\sqrt{R}}$$