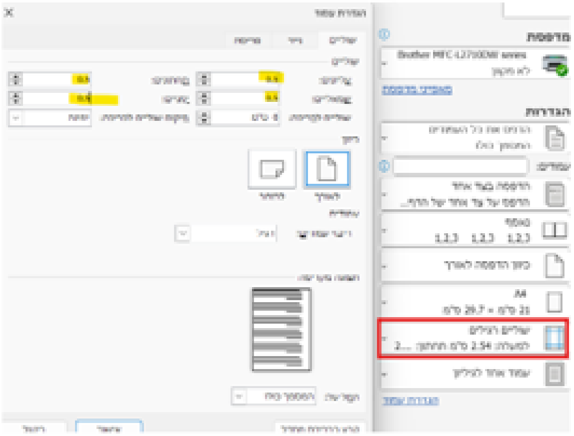
הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה! :

את הדף יש להדפיס עם <u>שוליים מותאמות אישית ברוחב 0.5 בכל צד</u>.

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השולים, לבחור שולים 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.

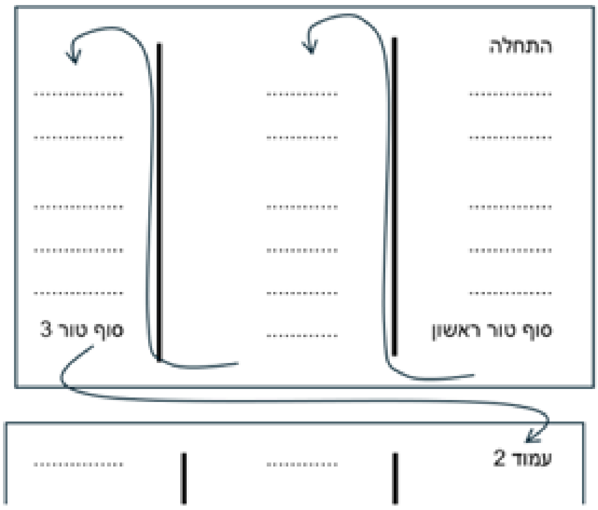
בכל מקרה מומלץ מאוד לעבור על הדף לפני המבחן!! הוא גם סיכום של החומר.

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 <u>באותו עמוד</u> (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.



וקטור יחידה: $\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$

מכפלה סקלרית: שתי דרכים לביצוע המכפלה:

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

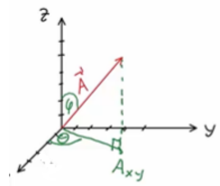
- α - זווית בין הוקטורים.
- תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור).
- מכפלה בין וקטורים מאונכים מתאפסת, זו דרך **לבדוק האם וקטורים מאונכים**.

וקטור בשלושה מימדים:

$0\le\varphi\le\pi$

$0\le\theta\le 2\pi$

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



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

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

- 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: $\cos\alpha = \frac{A_xB_x+A_yB_y}{|\vec A|\cdot|\vec B|} = \frac{\vec A\cdot\vec B}{|\vec A|\cdot|\vec B|}$

מכפלה וקטורית:

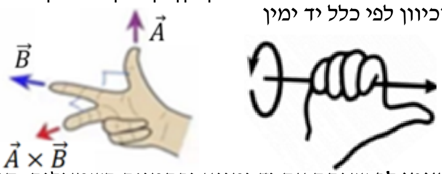
דרך 1 לעשות את המכפלה– דטרמיננטה:

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

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

- 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 (*): $\vec\nabla f = \frac{\partial f}{\partial r}\hat r + \frac{1}{r\sin\varphi}\cdot\frac{\partial f}{\partial\theta}\hat\theta + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial\varphi}\hat\varphi$

רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:

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

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

- 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 (*):

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

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

במערכות צירים צריך להתקיים:

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

זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:

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

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

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

$$\vec A\times\left(\vec B\times\left(\vec C\times\vec D\right)\right) = \vec B\left(\vec A\cdot\left(\vec C\times\vec D\right)\right) - (\vec A\cdot\vec B)\left(\vec C\times\vec D\right)$$

צפיפות נפחית/משטחית/אורכית:

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

V,S,l הם נפח, שטח ואורך הגוף.

מבוא מתמטי GOOL

קואורדינטות גליליות: (r,θ,z)

$x = r\cos\theta$

$y = r\sin\theta$

$z = z$

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

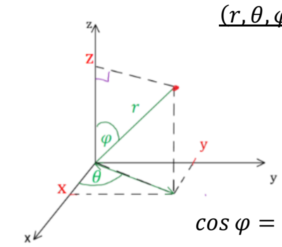
$\tan\theta = \frac{y}{x}$

$dl = dr/rd\theta$(טבעת)$/dz$

$ds = rdrd\theta$(דיסקה)$/rd\theta dz$(קליפה גלילית דקה)$/drdz$

$dv = rd\theta drdz$(גליל מלא או קליפה גלילית עבה)

קואורדינטות כדוריות: (r,θ,φ)



$z = r\cos\varphi$

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

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

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

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

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

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

$ds = r^2\sin\varphi d\theta d\varphi$(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 (*): $\vec\nabla f = \frac{\partial f}{\partial r}\hat r + \frac{1}{r\sin\varphi}\cdot\frac{\partial f}{\partial\theta}\hat\theta + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial\varphi}\hat\varphi$

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

div בכדוריות:

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

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 (*):

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

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

זהויות של אופרטורים:

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

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

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

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

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

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

מבנה החומר GOOL

גודל אטום המימן (הקטן ביותר): $0.53\cdot10^{-10}m$

יחידת האנגסטרום: $1\AA = 10^{-10}m$

פרוטונים מסומנים ב- p נויטרונים ב- n ואלקטרונים ב- e

מסת הפרוטון והנויטרון: $m_n\approx m_p = 1.67\cdot10^{-27}kg$

מסת האלקטרון: $m_e = 9.1\cdot10^{-31}kg$

- מסת האלק' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנויטרונים קובעים את מסת האטום.

מטען האלקטרון: $q_e = -1.6\cdot10^{-19}c$

מטען הפרוטון זהה והפוך בסימנו: $q_p = 1.6\cdot10^{-19}c$

הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.

המטען החשמלי של כל גוף יהיה חייב להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

הכוח החשמלי - חוק קולון GOOL

חוק קולון: $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

r - הוא המרחק בין הגופים

- קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי: $k = 9\cdot10^9\frac{N\cdot m^2}{c^2}$
- הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.
- הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים הטעונים בצורה אחידה. _מטען נקודתי_ הוא גוף שהגודל שלו קטן בהרבה מ- r, המרחק שבו מחשבים את הכוח.
- הנוסחה נכונה עבור שני מטענים הנמצאים בריק, כאשר המטענים נמצאים בתווך (לדוגמה מים או שמן) הכוח משתנה.

השדה החשמלי GOOL

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E: $F = qE$

השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב: $E = \frac{kq}{r^2}$

r - הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה.

עקרון הסופרפוזיציה: השדה השקול בנקודה במרחב הוא סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה נקודה.

קווי שדה: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

תנועה בשדה חשמלי אחיד GOOL

אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה בליסטית. גודל התאוצה הוא: $a = \frac{qE}{m}$

- כיוון התאוצה בכיוון השדה עבור מטען חיובי והפוך לשדה עבור מטען שלילי

מוליכים GOOL

- במוליך המטענים חופשיים לזוז.
- **השדה מתאפס** (או יותר דיוק הכוח) בתוך המוליך.
- על השפה יכול להיות **שדה מאונך לשפה**.
- **המטען הכולל בתוך המוליך מתאפס למעט על השפה**(במצב סטטי).
- **הפוטנציאל במוליך אחיד** (קבוע).

הארקה: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

פוטנציאל GOOL

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

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).

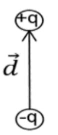
הארקה - חיבור לקרקע , מאפסת את הפוטנציאל.

שיטות לחישוב פוטנציאל:

1. אם ניתן לחשב את השדה (בדר"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 וכיול (בחירת נקי האפס).
2. חלוקת הגוף לחתיכות קטנות, חישוב הפוטנציאל של כל חתיכה כמו גוף נקודתי $d\varphi = \frac{kdq}{r}$ וסכימה. (הסבר על dq בחוק קולון)

דיפול חשמלי GOOL

דיפול חשמלי הוא זוג מטענים בעלי מטען זהה וסימון הפוך 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: $\vec E = \frac{k[3(\vec p\cdot\hat r)\hat r - \vec p]}{r^3}$

מומנט כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חשמלי חיצוני:

$$\vec\tau = \vec p\times\vec E$$

מציאת התפלגות מטען GOOL

למצוא צפיפות נפחית נעשה: $\rho = \varepsilon_0\vec\nabla\cdot\vec E$

למצוא צפיפות משטחית: $\sigma = \varepsilon_0\Delta E_\perp$

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 $\lambda = 2\pi\varepsilon_0\alpha$.

אם נתון הפוטנציאל אז קודם נמצא את השדה באמצעות $\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$ (הנוסחאות של הגרדיאנט בפרק וקטורים)

אנרגיה הדרושה לבניית מערכת GOOL

$$U = \Sigma\frac{1}{2}\varphi_i q_i = \int\frac{\varepsilon_0}{2}E^2\,\mathrm{d}v$$

- 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

$\mu_E = \frac{\varepsilon_0}{2}E^2$ נקראת צפיפות האנרגיה החשמלית

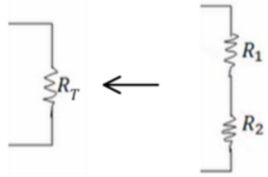
מעגלי זרם ישר GOOL

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

חוק אוהם - הקשר בין המתח לזרם **בנגד**: $\mathrm{V} = \mathrm{IR}$

חיבור נגדים בטור - נגדים עם זרם זהה: $\mathrm{R_T} = \mathrm{R_1} + \mathrm{R_2}$

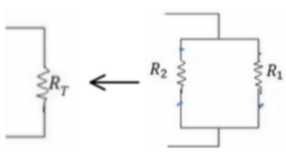
כאשר $\mathrm{R_T}$ התנגדות הנגד השקול.



$$\mathrm{V_T} = \mathrm{V_1} + \mathrm{V_2}$$
$$\mathrm{I_T} = \mathrm{I_1} = \mathrm{I_2}$$

כאשר $\mathrm{V_T}$ ו- $\mathrm{I_T}$ הם המתח והזרם בנגד השקול.

- חיבור נגדים במקביל - נגדים עם מתח זהה:



$$\frac{1}{\mathrm{R_T}} = \frac{1}{\mathrm{R_1}} + \frac{1}{\mathrm{R_2}}$$
$$\mathrm{I_T} = \mathrm{I_1} + \mathrm{I_2}$$
$$\mathrm{V_T} = \mathrm{V_1} = \mathrm{V_2}$$

- עבור יותר משני נגדים הנוסחאות ממשיכות באופן דומה:

בטור: $\mathrm{R_T} = \Sigma\mathrm{R_i}\ ,\ \mathrm{V_T} = \Sigma\mathrm{V_i}\ ,\ \mathrm{I_T} = \mathrm{I_i}$

במקביל: $\frac{1}{\mathrm{R_T}} = \Sigma\frac{1}{\mathrm{R_i}}\ ,\ \mathrm{I_T} = \Sigma\mathrm{I_i}\ ,\ \mathrm{V_T} = \mathrm{V_i}$

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

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

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

($\mathrm{P} = \mathrm{IV}$ 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: $\mathrm{V} = \varepsilon - \mathrm{Ir}$

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.

חומרים דיאלקטרים GOOL

- חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)
- בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.

השדה השקול בתוך החומר (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה): $\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r}$

$\vec{E}_T$ - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר. $\vec{E}_0$ - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר). ε_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.
- לפעמים נתון המקדם הדיאלקטרי (הלא יחסי) והקשר הוא: $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$

$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85\frac{c^2}{N \cdot m^2}$ הוא המקדם הדיאלקטרי של הריק

חומרים דיאלקטרים GOOL

הגדרת הקיבול: $\mathrm{C} = \frac{|\mathrm{q}|}{|\mathrm{V}|}$

הקיבול היא תכונה קבועה ותלויה רק במבנה הגיאומטרי של הגוף (ולא במתח או במטען על הרכיב).

קיבול של קבל לוחות: $\mathrm{C} = \frac{\varepsilon_0\mathrm{A}}{\mathrm{d}}$

A - שטח כל לוח. d - מרחק בין הלוחות, $\mathrm{d} \ll \sqrt{\mathrm{A}}$.

שדה בתוך קבל לוחות: $\mathrm{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{d}}$

σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.

V - המתח בין הלוחות. d - מרחק בין הלוחות.

קיבול של קבל גלילי: $\mathrm{C} = \frac{2\pi\varepsilon_0\mathrm{L}}{\ln\frac{\mathrm{b}}{\mathrm{a}}}$

a ו- b - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.

L - אורך הגלילים, $\mathrm{a, b} \ll \mathrm{L}$

הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $\mathrm{C'} = \mathrm{kC_0}$

k (או ε_r) - המקדם הדיאלקטרי של החומר.

$\mathrm{C_0}$ - הקיבול ללא החומר הדיאלקטרי.

חיבור קבלים בטור (קבלים עם **מטען** זהה):

$$\frac{1}{\mathrm{C_T}} = \frac{1}{\mathrm{C_1}} + \frac{1}{\mathrm{C_2}}$$

כאשר $\mathrm{Q_T} = \mathrm{Q_1} = \mathrm{Q_2}$ ו- $\mathrm{V_T} = \mathrm{V_1} + \mathrm{V_2}$

חיבור קבלים במקביל (**מתח** זהה): $\mathrm{C_T} = \mathrm{C_1} + \mathrm{C_2}$

כאשר $\mathrm{Q_T} = \mathrm{Q_1} + \mathrm{Q_2}$ ו- $\mathrm{V_T} = \mathrm{V_1} = \mathrm{V_2}$

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 (בדר"כ 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: $\mathrm{U_c} = \frac{1}{2}\frac{\mathrm{q}^2}{\mathrm{C}} = \frac{1}{2}\mathrm{CV}^2 = \frac{1}{2}\mathrm{qV}$

מבנה הנגד וצפיפות זרם GOOL

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

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

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

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

- אם $\vec{\mathrm{J}}$ אחידה אז: $\mathrm{I} = \mathrm{JS}$

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

כאשר σ היא המוליכות ו- E השדה החשמלי.

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען נפחית בתנועה:

$$\vec{\mathrm{J}} = \rho\vec{\mathrm{v}}$$

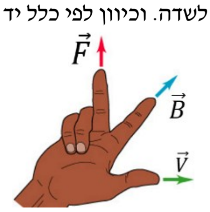
כאשר ρ היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{\mathrm{v}}$ היא מהירות נושאי המטען. במוליך, $\rho = \mathrm{nq}$ כאשר n הוא מספר נושאי המטען ליח נפח ו- q הוא המטען של נושא מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת מהירות הסחיפה $\vec{\mathrm{v}}_{\mathrm{drift}}$.

הכוח המגנטי -חוק לורנץ GOOL

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

ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.
- דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).
- דרך גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא: $\mathrm{F_B} = \mathrm{qvB}\sin\alpha$

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: $\mathrm{R} = \frac{\mathrm{mv}}{\mathrm{qB}}$

אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

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

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

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

הכוח המגנטי על תיל נושא זרם GOOL

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I הנמצאת בשדה מגנטי B הוא: $\mathrm{d}\vec{\mathrm{F}} = \mathrm{I}\,\mathrm{d}\vec{\mathrm{l}} \times \vec{\mathrm{B}}$

- אם ה**תיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:

$$\mathrm{F} = \mathrm{BIL}\sin\alpha$$

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.

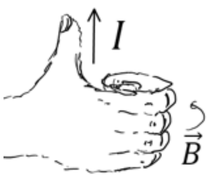
חוק ביו-סבר GOOL

חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם :

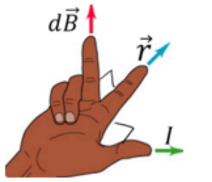
$$\mathrm{d}\vec{\mathrm{B}} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathrm{I}\,\mathrm{d}\vec{\mathrm{l}} \times \vec{\mathrm{r}}}{|\mathrm{r}|^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathrm{I}\,\mathrm{d}\vec{\mathrm{l}} \times \hat{\mathrm{r}}}{|\mathrm{r}|^2}$$

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

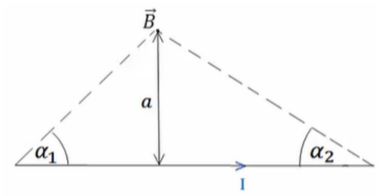
$\mathrm{d}\vec{\mathrm{l}}$ הוא אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.
- חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:



או

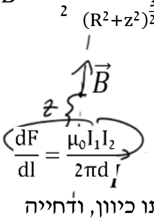


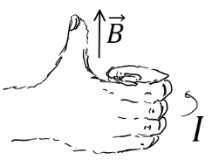
השדה של תיל סופי: $\mathrm{B} = \frac{\mu_0\mathrm{I}}{4\pi\mathrm{a}}(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)$



- במרכז התיל $\mathrm{B} = \frac{\mu_0\mathrm{I}}{4\pi a}\frac{\mathrm{L}}{((\frac{\mathrm{L}}{2})^2 + a^2)^{\frac{1}{2}}}$, (L אורך התיל)

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה: $\mathrm{B} = \frac{\mu_0\mathrm{I}}{2}\frac{\mathrm{R}^2}{(\mathrm{R}^2+\mathrm{z}^2)^{\frac{3}{2}}}$





- כיוון השדה לפי כלל הבורג:

כוח ליחידת אורך בין שני תיילים מקבילים: $\frac{\mathrm{dF}}{\mathrm{dl}} = \frac{\mu_0\mathrm{I_1I_2}}{2\pi\mathrm{d}}$

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

חוק אמפר GOOL

חוק אמפר: $\oint\vec{\mathrm{B}}\cdot\mathrm{d}\vec{\mathrm{l}} = \mu_0\mathrm{I_{in}}\ \ ;\ \ \mathrm{I_{in}} = \int\vec{\mathrm{J}}\cdot\mathrm{d}\vec{\mathrm{s}}$

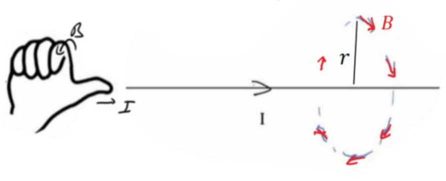
- כאשר האינטגרל הוא על הרכיב המשיק של B לאורך מסלול סגור. בדר"כ נבחר מקרים בהם B אחיד לאורך המסלול והאינטגרל יהיה B כפול אורך המסלול.
- הזרם הוא סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול.

המקרים הנפוצים של חוק אמפר:

1. תיל / גליל / מעטפת גלילית אינסופיים.
2. מישור אינסופי . 3. סליל אינסופי / טורואיד.

שדה של תיל אינסופי : $\mathrm{B} = \frac{\mu_0\mathrm{I}}{2\pi\mathrm{r}}$

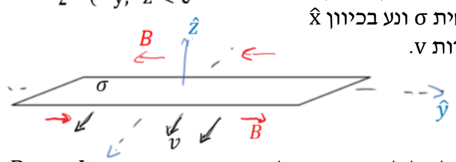
כאשר r הוא המרחק מהתיל.



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

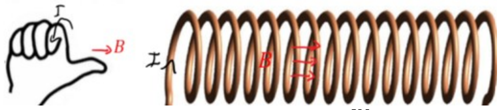
שדה של מישור אינסופי: עבור מישור דק הטעון בצפיפות משטחית σ ונע בכיוון $\hat{\mathrm{x}}$ במהירות v.

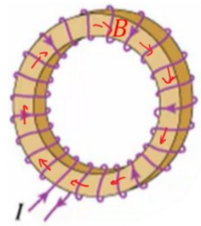
$$\vec{\mathrm{B}} = \frac{\mu_0\sigma\mathrm{v}}{2}\begin{cases}-\hat{\mathrm{y}}, & \mathrm{z} > 0\\ \hat{\mathrm{y}}, & \mathrm{z} < 0\end{cases}$$



שדה של סליל אינסופי/סולונואיד: $\mathrm{B} = \mu_0\mathrm{In}$

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





<u>טורואיד</u>: $B = \frac{\mu_0 I N}{2\pi r}$

N - מספר הליפופים הכולל.

r - המרחק ממרכז הטורואיד.

חוק פארדיי

GOOL

<u>חוק פארדיי</u>: $\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$; $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

הכא״מ מתנהג כמו מקור מתח במעגל.
בד״כ נמצא באמצעות החוק את גודל הכא״מ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
<u>חוק לנץ</u>: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.

<u>הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה</u>: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$

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

<u>כא״מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי</u>: $\varepsilon = BLv \sin\alpha$

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

GOOL

דיפול מגנטי הוא לולאת זרם סגורה.

<u>מומנט הדיפול המגנטי ($\vec{\mu}$ לפעמים מסומן ב- $\vec{m}$)</u>: $\vec{\mu} = I\vec{A}$

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

<u>השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדיי הדיפול</u>: $\vec{B} = \frac{\mu_0[3(\vec{\mu}\cdot\hat{r})\hat{r} - \vec{\mu}]}{4\pi r^3}$

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

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

השראות

GOOL

<u>ההשראות ברכיב</u>: $L = \frac{\phi_B}{I}$

ϕ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
- ההשראות היא **תכונה שתלויה רק במבנה** ולכן היא בד״כ קבועה.

<u>חישוב השראות לפי הגדרה</u>:
1. נניח שזורם 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.

<u>השראות של סליל</u>: $L = \frac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{l}$

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

<u>כא״מ ברכיב עם השראות L</u>: $\varepsilon = -L\dot{I}$

<u>האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות)</u>:

$$U_L = \frac{1}{2}LI^2$$

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

- 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).

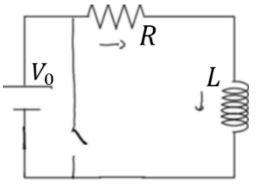
<u>המתח על סליל (משרן) במעגל</u>: $V_L = L\dot{I}$

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

מעגלי RL

GOOL

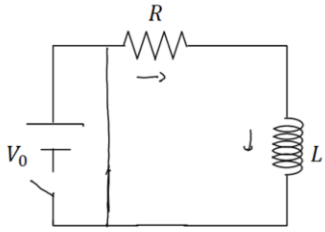
<u>טעינה</u>:



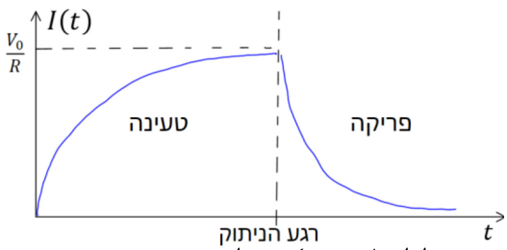
$$V_0 - IR - L\dot{I} = 0$$
$$I(t) = \frac{V_0}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$
$$\tau = \frac{L}{R}$$

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

<u>פריקה</u>:



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



<u>חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים</u>:

בטור: $L_T = L_1 + L_2 + \cdots$

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

במקביל: $\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots$

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

השראות הדדית

GOOL

<u>השראות הדדית</u>: $M_{1,2} = \frac{\phi_1}{I_2}$

<u>חישוב השראות הדדית</u>:
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).

<u>יחס המתחים בשנאי</u>: $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_1}{N_2}$

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

משוואות מקסוול

GOOL

<u>הצורה הדיפרנציאלית ; הצורה האינטגרלית</u>:

1. חוק גאוס $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho$; $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int \rho \, dV$

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

השטף מגנטי על משטח סגור תמיד אפס, אין מטען מגנטי.

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 פארדיי $\varepsilon = -\dot{\phi}_B$

4. $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} d\vec{s}$;

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0\vec{J} + \mu_0\varepsilon_0\frac{d\vec{E}}{dt}$$

חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)

גלים אלקטרומגנטיים

GOOL

<u>משוואות הגלים בריק ($\rho = J = 0$)</u>:

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

c היא מהירות האור כאשר $\mu_0\varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$
- למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.
- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

$$\vec{\nabla}^2\vec{E} = \mu_0\varepsilon_0\frac{d^2\vec{E}}{dt^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla}^2 E_x = \mu_0\varepsilon_0\frac{d^2E_x}{dt^2} \; ; \vec{\nabla}^2 E_y = \mu_0\varepsilon_0\frac{d^2E_y}{dt^2} ;$$ וכנ z

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

<u>פתרון המשוואה עבור רכיב כלשהו של $\vec{E}$ או של $\vec{B}$</u>:

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

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

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

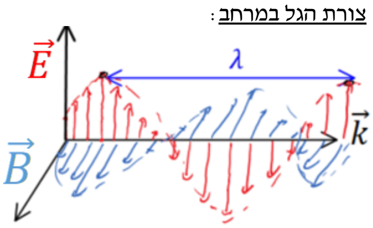
ω היא התדירות הזוויתית $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

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.

<u>איך למצא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך</u>:

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

<u>צורת הגל במרחב</u>:



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

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

<u>יחס הדיספרסיה</u>: $\omega = c|k|$

היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואת הגלים.

<u>פתרון נוסף (עם פלוס)</u>: $E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t)$

במקרה הזה הגל מתקדם בכיוון הפוך ל $\vec{k}$