

הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה!

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

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

עריכה:

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

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

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

מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

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

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

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

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

מבנה החומר

GOOL

גודל אטום המימן (הקטן ביותר): $0.53 \cdot 10^{-10}m$
 יחידת האנגסטרם: $1\text{\AA} = 10^{-10}m$
 פרוטונים מסמנים ב- p נויטרונים ב- n ואלקטרונים ב- e
 מסת הפרוטון והנויטרון: $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}kg$
 מסת האלקטרון: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}kg$
 - מסת האלק' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנויטרונים קובעים את מסת האטום.

מטען האלקטרון: $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}c$
 מטען הפרוטון וזהו הפוך בסימנו: $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19}c$
 הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.
המטען החשמלי של כל גוף יהיה חיובי להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

הכוח החשמלי - חוק קולון

חוק קולון:
 $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$
 r - הוא המרחק בין הגופים

- קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{c^2}$
 - 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

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

חוק גאוס

צפיפות מטען נפחית ρ , משטחית σ , אורכית λ , אחידה:
 $\rho = \frac{Q}{V}, \sigma = \frac{Q}{S}, \lambda = \frac{Q}{L}$
 Q - סך המטען שבגוף. V - נפח הגוף. S - שטח. L - אורך.
הקבוע הדיאלקטרי של הריק: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot \frac{c^2}{N \cdot m^2}$
 ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ϵ_0 .
השטף דרך משטח בשדה אחיד: $\phi_E = E_{\perp} \cdot s$
 $E_{\perp}$ רכיב השדה שמאונך למעטפת. s הוא שטח המעטפת.
 אם השדה לא אחיד על המשטח ניתן לחלק את המשטח לחתיכות שבהן השדה אחיד ולסכום את השטף דרך כל חתיכה.
חוק גאוס: $\phi_E = 4\pi k Q_{in}$
 ϕ_E - שטף דרך **משטח סגור**.
 Q_{in} - סך המטען הכלוא בנפח שסוגר המשטח.
השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי: $E = \frac{kQ}{r^2}$
 כאשר Q הוא סך כל המטען. r הוא המרחק ממרכז הקליפה/כדור.
 כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נקי)
 - בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור מוליך הוא אפס.
 שדה של כדור מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות אחידה: בכיוון רדיאלי

Q הוא סך המטען של הכדור
 r הוא המרחק ממרכז הכדור
 $E = \begin{cases} \frac{kQr}{R^3}, & r < R \\ \frac{kQ}{r^2}, & r > R \end{cases}$

- הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא:
השדה של תיל אינסופי (אחיד):
 $E(r) = \frac{2k\lambda}{r}$
 r - מרחק מהתיל. λ - צפיפות מטען ליחידת אורך של התיל

- כיוון השדה רדיאלי (במאונך לתיל וכלפי חוץ/פנים עבור מטען חיובי/שלילי).
 - שדה של קליפה גלילית מתאפס בתוך הקליפה וכמו של תיל מחוץ לקליפה.

שדה של גליל מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות נפחית אחידה ρ : (בכיוון רדיאלי)

$E = \begin{cases} \frac{\pi k \rho r}{}, & r < R \\ \frac{2\pi R^2 \rho}{r}, & r > R \end{cases}$

השדה של מישור אינסופי:

כאשר σ היא צפיפות המטען
 ליחידת שטח במישור $(\sigma = \frac{Q}{S})$.
 - כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)
השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה
 הוא $4\pi k\sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ

תנועה בשדה חשמלי אחיד
 אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה בליסטית. **גודל התאוצה** הוא:

- כיוון התאוצה בכיוון השדה עבור מטען חיובי והפוך לשדה עבור מטען שלילי
דיפול חשמלי
 השדה של דיפול בצורה כללית:

$\vec{E} = \frac{k[3(\vec{p} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{p}]}{r^3}$
 כאשר מומנט הדיפול הוא: $\vec{p} = q\vec{d}$.
 q - גודל המטען החיובי. $\vec{d}$ - המרחק בין המטענים וכיוונו מהמטען השלילי אל החיובי. $\hat{r}$ - וקטור מהדיפול לנקודה בה מחשבים את השדה.
 - הנוסחה היא קירוב עבור: $r \gg d$.
 - עבור דיפול חשמלי המכוון בכיוון ציר y ונמצא בראשית. הנוסחה על ציר ה y בלבד הופכת ל:

$\vec{E}(y) = \frac{2kp}{y^3} \hat{y}$
 מומנט דיפול של מערכת מטענים: $\vec{p}_T = \sum \vec{p}_i = \sum q_i \vec{r}_i$
מוליכים

- במוליך המטענים חופשיים לזוז.
 - **השדה מתאפס** (או ליתר 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.

חומרים דיאלקטרים

- חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשוטות, 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):

$\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$
 $\vec{E}_T$ - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר. $\vec{E}_0$ - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מקדום פיליס של החומר). ϵ_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.
 - לפעמים נתון **המקדם הדיאלקטרי** (חלא יחסי) והקשר הוא:

$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
 $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot \frac{c^2}{N \cdot m^2}$
מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען הנע בהשפעת הכוח החשמלי נשמרת.
משוואת שימור אנרגיה: $\frac{1}{2}mv_i^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + U_f$
 v_f / v_i - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.
 U_f / U_i - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.

אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):
 $U = \frac{kq_1q_2}{r}$
 שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!
העבודה שמבצע הכוח החשמלי שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנט):

$W = -\Delta U$ כוח חשמלי
העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ולא מינוס): $\Delta U = -W_{\text{כוח חשמלי}}$
פוטנציאל הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל היא פונקציה מתמטית שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.
האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל הוא V :
פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:

$V = \frac{kq}{r}$
 r - המרחק מהמטען.
היחידות הסטנדרטיות של הפוטנציאל הן וולט [V]. אחד וולט הוא גאול חלקי קולון.

היחידות הסטנדרטיות של הפוטנציאל הן וולט [V]. אחד וולט הוא גאול חלקי קולון.

סופרפוזיציה: על מנת לחשב את הפוטנציאל בנקודה במרחב ניתן לחבר את הפוטנציאל שיוצר כל מטען באותה נקודה. החיבור הוא סקלרי ויותר פשוט מחיבור שדות.

מתח: הפרש פוטנציאלים, מסומן ב ΔV אבל לפעמים מסומן גם ב V לבד כמו הפוטנציאל, כי פוטנציאל בנקודה הוא גם מתח (הפרש פוטנציאלים) מהאפס.

יחידת האלקטרון וולט [eV]: יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט. $1eV = 1.6 \cdot 10^{-19}J$
הפרש הפוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:

פוטנציאל של לוח אינסופי (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח):
 $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$
 σ - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.
 x - המרחק מהלוח.

הפוטנציאל במוליכים קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס)
הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:

Q - סך המטען של הכדור
 R - רדיוס הכדור
 r - המרחק ממרכז הכדור
 שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).
הפוטנציאל של כדור "א" כדור "א" הוא כדור מוליך מאוד גדול, $R = \infty$ ולכן הפוטנציאל אפס.
חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוויון הפוטנציאלי)
הארקה: חיבור מוליך לכדור "א", מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדור "א").
חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה (העבודה הדרושה לבניית המערכת):

- דרך 1: נסכום את העבודות להביא את המטענים אחד אחרי השני. עבור המטען הראשון, העבודה היא אפס (כי אין אף מטען אחד במרחב שיוצר פוטנציאל). עבור המטען השני, העבודה לקרב אותו למטען הראשון*. עבור המטען השלישי העבודה לקרב לשני המטענים**, וכן הלאה.
 במקרה של שלושה מטענים החישוב הוא:

$W = 0 + q_2 \left(\frac{kq_1}{r_{12}} \right) + q_3 \left(\frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$
 - דרך 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}}$

זרם מתח והתנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן
חישוב זרם קבוע או ממוצע: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

I הוא סקלר אבל כיוון הזרם נקבע לפי כיוון תנועת המטענים החיוביים.

- היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר $1A = 1C/sec$
 - בגרף של $I(t)$ סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.
 - בגרף של $q(t)$ שיפוע הגרף שווה לזרם. **אם הגרף לינארי ניתן לרשום:** $q(t) = I \cdot \Delta t + q_0$

מהירות סחיפה: $I = n_e A q_e v_d$
 n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.
 A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.
 v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלק' במוליך)

מהירות האות החשמלי היא המהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, המהירות שבה תידלק נורה כתוצאה מהדלקה של מתג). מהירות האות החשמלי היא מהירות האור והיא גדולה בהרבה ממהירות הסחיפה.
 מקור מתח מבצע עבודה במעגל חשמלי סגור וגורם לתנועה של המטענים(זרם). **המקור אינו מוסיף מטענים** למעגל.

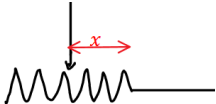
חוק אוהם: $V = IR$
 V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב. **נגד:** מוליך שההתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.

תלות ההתנגדות במבנה הנגד: $R = \frac{l}{A} \cdot \rho$
 l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).
 A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.

ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.
ההתנגדות של נגד משתנה:

$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$
 כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)
 r - התנגדות ליחידת אורך
 (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.

כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית: $\epsilon = V + Ir$
 ϵ - כא"מ, המתח המקסימאלי של הסוללה.



V - מתח הדקים. r - התנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.
 נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה (R_T):

$$V_{\text{הזרם}} = \frac{\varepsilon R_T}{R_T + r}$$

עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל GOOL
 העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד תחת מתח V היא:

$$W = qV = Q$$

 כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.
 הספק קבוע או ממוצע:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

 W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt
 - היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט: $1W = 1J/sec$
 נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:

$$P = IV = I^2 R = V^2 / R$$

 השוויון הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

חיבור נגדים במעגל GOOL
 הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא הצד שבו הזרם נכנס לנגד.
חיבור נגדים בטור:
 חיבור בטור נעשה כאשר הזרם בנגדים זהה

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

 - המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

חיבור נגדים במקביל:
 חיבור בטור נעשה כאשר המתח בנגדים זהה

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

 - הזרם בנגד השקול שווה לסכום הזרמים

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

הספק המעגל הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).
חוק קירכהוף GOOL
 מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.
 1. סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים שיוצאים מהצומת.
 2. סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס.
 נעשה לולאות מתחים עד אשר נעבור על כל הרכיבים במעגל. נוסיף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצוא את הזרמים.

נצילות במעגל החשמלי GOOL
נצילות:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

 η - נצילות המעגל.
 P_{out} - ההספק המופק/מנוצל ברכיבים השימושיים במעגל
 P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)
קבלים GOOL
 קבל הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען.
 קיבול הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא.
 הנוסחה הבסיסית של קבל (הגדרת הקיבול):

$$C = \frac{Q}{V}$$

 C - הקיבול של הרכיב. V - המתח בין שני החלקים.
 Q - המטען על הלוח החיובי.

- יחידות הקיבול הן Farad: $1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$
 סוגי קבלים נפוצים: קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי.
 בדרכי נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות).
הקיבול של קבל לוחות:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

 A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.
תכונת הקיבול: הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו) לכן הוא תמיד קבוע במעגל (אלא אם משנים את המבנה). סימון הקבל במעגל:
 לאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נתק במעגל: כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפוך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא זורם זרם דרך הקבל. והקבל מתנהג כמו נתק במעגל.

חיבור קבלים במקביל:
 התנאי לחיבור במקביל הוא שהמתח על הקבלים זהה (וזה גם המתח על הקבל השקול)
 - המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.
חיבור קבלים בטור:

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

 התנאי לחיבור בטור הוא שהמטען על כל הקבלים זהה (וזה גם המטען של הקבל השקול).
 - המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים
אנרגיה האגורה בקבל:

$$U_C = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

 העבודה שמבצעת הסוללה להטענת קבל:

$W = QV = 2U_C$
 חומרים דיאלקטרים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.
 קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = \varepsilon_r C_0$
 במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד, ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר. חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל. /פרק לגמרי

הכוח המגנטי - חוק לורנץ GOOL
חוק לורנץ - הכוח המגנטי:

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

 ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.
 דרך דטרמיננטה (או מכפלה וקטורית בוקטורים).

$$F_B = qvB \sin \alpha$$

 הגודל הוא: 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:

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

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

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

 כאשר $v \cos \alpha$ היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.
עבודת הכוח המגנטי: תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

השדה המגנטי GOOL
 סימון וקטור לתוך הדף $\otimes$ והחוצה מהדף $\odot$ (אלינו)
שדה של תיל אינסופי:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

 כאשר r הוא המרחק מהתיל.
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$ מקדם המגנטיות של הריק.
 כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):

יחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה).
שדה במרכז של טבעת ברדיוס R:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

 קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):

השדה המגנטי של כדור הארץ:
 הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.
 - נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל ומאונך לכדור הארץ (לקרקע) כאשר בדרכי מודדים רק את הרכיב המקביל.
 שדה של סליל אינסופי:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

 בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל: L - אורך הסליל.
 מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.

האם השטף גדל או קטן?
 נרצה להקטין את השטף
 נרצה להגדיל את השטף
 ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים
 ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים
 נמצא את כיוון הזרם שייצור את השדה המתאים לפי כלל יד ימין

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

$$P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$$

 כאשר α היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות
השראות GOOL
ההשראות ברכיב:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
 - ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בדרכי קבועה.
חישוב השראות לפי הגדרה:
 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.
השראות של סליל:

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

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

$$\varepsilon = -L \dot{I}$$

המתח על סליל (משורר) במעגל:

$$V_L = L \dot{I}$$

 הצד הגבוה הוא בנקודה שבה הזרם נכנס לסליל.

השראות ברכיב:

$$L = \frac{\Phi_B}{I}$$

 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
 - ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בדרכי קבועה.
חישוב השראות לפי הגדרה:
 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.
השראות של סליל:

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

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

$$\varepsilon = -L \dot{I}$$

המתח על סליל (משורר) במעגל:

$$V_L = L \dot{I}$$

 הצד הגבוה הוא בנקודה שבה הזרם נכנס לסליל.

השראות ברכיב:

$$L = \frac{\Phi_B}{I}$$

 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
 - ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בדרכי קבועה.
חישוב השראות לפי הגדרה:
 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.
השראות של סליל:

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

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

$$\varepsilon = -L \dot{I}$$

המתח על סליל (משורר) במעגל:

$$V_L = L \dot{I}$$

 הצד הגבוה הוא בנקודה שבה הזרם נכנס לסליל.

- ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל:

$$n = \frac{N}{L}$$

 - כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.

 - מחוץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.

חוק אמפר - המושך השדה המגנטי GOOL
חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ הוא סכום לאורך מסלול סגור על הרכיב המקביל למסלול של השדה המגנטי. בדרכי נעבוד במקרים סימטריים בהם הרכיב המקביל יהיה אחיד לאורך קטעים מהמסלול והחישוב יהיה פשוט לכפול את השדה באורך הקטעים.
 I_{in} - סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול.
המקרים של חוק אמפר:
 1. תיל/גליל אינסופי (עם זרם בכיוון ציר הסימטריה). נבחר לולאה בצורת עיגול ברדיוס r :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2\pi r$$

 2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- l :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot l$$

 3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- l :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2l$$

כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים GOOL
 גודל הכוח הפועל על **תיל ישר בשדה אחיד** באורך L הנושא זרם I הוא:

$$F = BIL \sin \alpha$$

 α היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם.
 את כיוון הכוח יש למצוא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- $d\vec{l}$) מחליף את המהירות.
הכוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

 d - המרחק בין התילים.
 - כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים.

חוק פאראדי והשראות GOOL
כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי:

$$\varepsilon = BLv \sin \alpha$$

 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.
חוק פאראדי:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

 $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_{\perp} \cdot S$
 השוויון השני נכון אם $B_{\perp}$ אחיד בכל השטח.
 הכאמ מתנהג כמו מקור מתח במעגל.
 בדרכי נמצא באמצעות החוק רק את גודל הכאמ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.

האם השטף גדל או קטן?
 נרצה להקטין את השטף
 נרצה להגדיל את השטף
 ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים
 ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים
 נמצא את כיוון הזרם שייצור את השדה המתאים לפי כלל יד ימין

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

$$P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$$

 כאשר α היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות
השראות GOOL
ההשראות ברכיב:

$$L = \frac{\Phi_B}{I}$$

 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
 - ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בדרכי קבועה.
חישוב השראות לפי הגדרה:
 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.
השראות של סליל:

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

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

$$\varepsilon = -L \dot{I}$$

המתח על סליל (משורר) במעגל:

$$V_L = L \dot{I}$$

 הצד הגבוה הוא בנקודה שבה הזרם נכנס לסליל.

האם השטף גדל או קטן?
 נרצה להקטין את השטף
 נרצה להגדיל את השטף
 ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים
 ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים
 נמצא את כיוון הזרם שייצור את השדה המתאים לפי כלל יד ימין

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

$$P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$$

 כאשר α היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות
השראות GOOL
ההשראות ברכיב:

$$L = \frac{\Phi_B}{I}$$

 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
 - ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בדרכי קבועה.
חישוב השראות לפי הגדרה:
 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.
השראות של סליל:

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

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

$$\varepsilon = -L \dot{I}$$

המתח על סליל (משורר) במעגל:

$$V_L = L \dot{I}$$

 הצד הגבוה הוא בנקודה שבה הזרם נכנס לסליל.

האם השטף גדל או קטן?
 נרצה להקטין את השטף
 נרצה להגדיל את השטף
 ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים
 ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים
 נמצא את כיוון הזרם שייצור את השדה המתאים לפי כלל יד ימין

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

$$P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$$

 כאשר α היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות
השראות GOOL
ההשראות ברכיב:

$$L = \frac{\Phi_B}{I}$$

 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
 - ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בדרכי קבועה.
חישוב השראות לפי הגדרה:
 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.
השראות של סליל:

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

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

$$\varepsilon = -L \dot{I}$$

המתח על סליל (משורר) במעגל:

$$V_L = L \dot{I}$$

 הצד הגבוה הוא בנקודה שבה הזרם נכנס לסליל.

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

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.

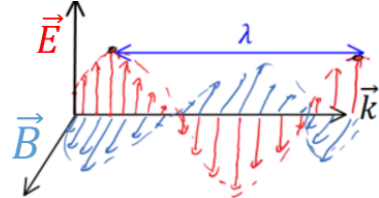
$$\vec{k} \cdot \vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$$

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ 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 .
איד למצא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך:

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

צורת הגל במרחב:



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

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

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

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

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

מקטור 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): $u_{em} = \frac{\epsilon_0 (\vec{E})^2}{2} + \frac{(\vec{B})^2}{2\mu_0}$

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

שטף האנרגיה ליחידת שטח וליחידת זמן.

הקשר בין האנרגיה לוקטור פוינטינג:

$$P + \oint \vec{S} \cdot d\vec{s} = - \frac{dU_{em}}{dt}$$

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

-P ההספק שהולך לחום

הקשר הדיפרנציאלי: $\vec{E} \cdot \vec{j} + \vec{\nabla} \cdot \vec{S} = - \frac{du_{em}}{dt}$

$\vec{j} \cdot \vec{E}$ היא צפיפות הזרם. זה ההספק ליחידת נפח.

GOOL

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: $\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{N_1}{N_2}$

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

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

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:

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

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

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

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

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

GOOL

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

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 פאראדי $\epsilon = -\dot{\phi}_B$

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

חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)

GOOL

גלים אלקטרומגנטיים

משוואות הגלים בריק ($\rho = j = 0$):

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

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

- למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.
- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

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