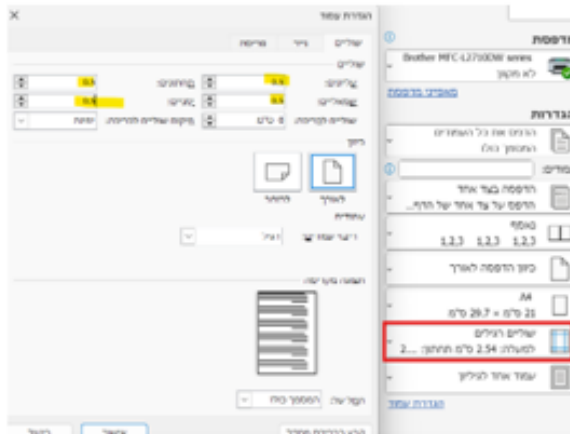


## הוראות לדף הנוסחאות



### הוראות הדפסה!

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

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון 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!!

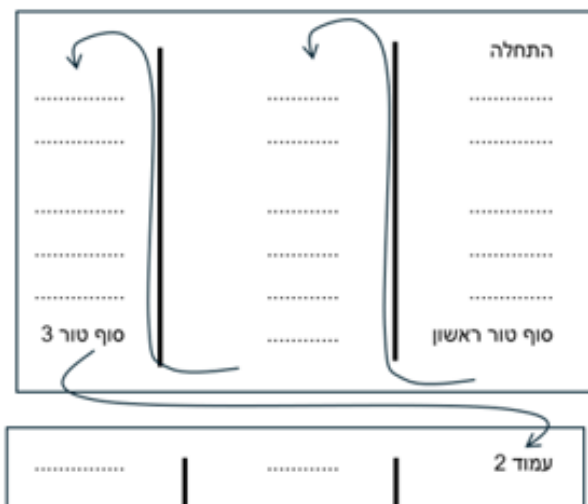
### מבנה הדף:

הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני 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.

וקטור יחידה:

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

מכפלה סקלרית: שתי דרכים לביצוע המכפלה:

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

$\alpha$  - 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:  $A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi$ ;  $A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$   
 $A_x = |\vec{A}| \sin \varphi \cos \theta$ ;  $A_y = |\vec{A}| \sin \varphi \sin \theta$   
פתיחת סוגרים והעלאה בריבוע:

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

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

זווית בין שני וקטורים:  
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:  $|\vec{A} \times \vec{B}|$  כיוון 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:

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

בכדוריות (\*):

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

רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:

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

בגליליות:

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

בכדוריות (\*):

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

(\*) שימו לב שהזווית  $\varphi$  עם ציר ה-z והזווית  $\theta$  עם ציר ה-x במערכות צירים צריך להתקיים:

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

זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:

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

צפיפות נפחית/משטחית/אורכית:

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

GOOL

מבוא מתמטי

קואורדינטות גליליות:  $(r, \theta, z)$

$$x = r \cos \theta$$
$$y = r \sin \theta$$
$$z = z$$
$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$
$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$dl = dr/rd\theta/dz$$
$$ds = r dr d\theta / r d\theta dz$$
$$dv = r d\theta dr dz$$

(גליל מלא או קליפה גלילית עבה)

קואורדינטות כדוריות:  $(r, \theta, \varphi)$

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

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

$$ds = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$$

(מעטפת כדור) קליפה כדורית עבה

$$dv = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi dr$$

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

גרדיאנט בקרטזיות:

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

גרדיאנט בגליליות:

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

בכדוריות (\*):

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

דיברגנט בקרטזיות:

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

div בגליליות:

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

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:

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

בכדוריות (\*):

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

(\*) שימו לב שהזווית  $\varphi$  עם ציר ה-z והזווית  $\theta$  עם ציר ה-x זהויות של אופרטורים:

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

GOOL מבנה החומר

$$0.53 \cdot 10^{-10} m$$

יחידת האנגסטרם:

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} m$$

פרוטונים מסמנים ב-p נוטרונים ב-n ואלקטרונים ב-e

$$m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$$

מסת הפרוטון והנוטרון:

$$m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$$

מסת האלקטרון:

מסת האלקטרון כטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנוטרונים קובעים את מסת האטום.

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

מטען האלקטרון:

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

מטען הפרוטון זהה והפוך בסימנו:

הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען. המטען החשמלי של כל גוף יהיה חיובי להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

GOOL הכוח החשמלי - חוק קולון

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

חוק קולון:

r - הוא המרחק בין הגופים

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי:

הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.

הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים העטונים 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.

GOOL השדה החשמלי

$$F = qE$$

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E:

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב:

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.

GOOL חוק גאוס

צפיפות מטען נפחית  $\rho$ , משטחית  $\sigma$ , אורכית  $\lambda$ , אחידה:

$$\rho = \frac{Q}{V}, \quad \sigma = \frac{Q}{S}, \quad \lambda = \frac{Q}{L}$$

Q - סך המטען שבגוף. V - נפח הגוף. S - שטח. L - אורך.

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

קבוע הדיאלקטרי של הריק:

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם  $\epsilon_0$ .

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.

$$\phi_E = 4\pi k Q_{in}$$

חוק גאוס:

$\phi_E$  - שטף דרך משטח סגור.

$Q_{in}$  - סך המטען הכלוא בנפח שסוגר המשטח.

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי:

- 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 העטון בצפיפות אחידה:

$$E = \begin{cases} \frac{kQr}{R^3}, & r < R \\ \frac{kQ}{r^2}, & r > R \end{cases}$$

Q הוא סך המטען של הכדור  
r הוא המרחק ממרכז הכדור

- הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא:

$$Q = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$$

$$E(r) = \frac{2k\lambda}{r}$$

שדה של תיל אינסופי (אחיד):

r - מרחק מהתיל.  $\lambda$  - 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 העטון בצפיפות נפחית אחידה  $\rho$ : (בכיוון רדיאלי)

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

$$E = 2\pi k \sigma$$

השדה של מישור אינסופי:

כאשר  $\sigma$  היא צפיפות המטען ליחידת שטח במישור ( $\sigma = \frac{Q}{S}$ ).

- כיוון השדה במאונך למישור (החוץ מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)

השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה

$$E = 4\pi k \sigma$$

הוא בין המישורים ואפס מחוץ

GOOL תנועה בשדה חשמלי אחיד

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 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.

## GOOL

**פוטנציאל**  
 הגדרת הפוטנציאל:  $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$  או  $\phi = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$   
**אנרגיה פוטנציאלית חשמלית**:  
**מתח**:  
**העבודה של הכוח החשמלי**:  
**עבודה לחיזוי מטען נגד הכוח החשמלי**:  
**פוטנציאל של מטען נקודתי**:

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

## GOOL

**דיפול חשמלי**  
 דיפול חשמלי הוא זוג מטענים בעלי מטען זהה וסימון הפך הנמצאים במרחק  $d$  זה מזה.  
 מומנט הדיפול:  
 כיוונו מהמטען השלילי לחיובי.

**הפוטנציאל שיוצר דיפול במרחק גדול  $d \gg r$** :  
 $\phi = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r})}{r^3} = \frac{k(\vec{p} \cdot \hat{r})}{r^2}$   
**השדה של דיפול במרחק גדול**:  
**מומנט כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חשמלי חיצוני**:  
 $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

## GOOL

**מציאת התפלגות מטען**  
**למצא צפיפות נפחית נעשה**:  
**למצא צפיפות משטחית**:  
 כאשר  $\Delta E_{\perp}$  היא הקפיצה בשדה המאונך למשטח.  
**מטען נקודתי**: אם יש שדה מהצורה  $\vec{E} = \frac{\alpha}{r^2} \hat{r}$  (בקורדינטות כדוריות) באזור הכולל את הראשית אז יש מטען נקודתי כך ש  $q = \frac{\alpha}{k}$ .

**צפיפות מטען אורכית**: אם יש שדה מהצורה  $\vec{E} = \frac{\alpha}{r} \hat{r}$  (בקורדינטות גליליות) באזור הכולל את הראשית אז יש צפיפות מטען אורכית כך ש  $\lambda = 2\pi\epsilon_0\alpha$ .  
**אם נתון הפוטנציאל** אז קודם נמצא את השדה באמצעות  $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$  (הנוסחאות של הגרדיאנט בפרק וקטורים)

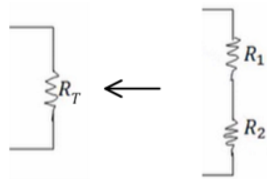
## GOOL

**אנרגיה הדרושה לבניית מערכת**  
 $U = \sum \frac{1}{2} \phi_i q_i = \int \frac{\epsilon_0}{2} E^2 dv$   
 הסכום הוא על כל המטענים כפול הפוטנציאל שהם נמצאים בו.  
 בנוסחה עם האינטגרל על השדה אפשר להשתמש רק אם אין מטענים נקודתיים או התפלגות קווית  
 $\mu_E = \frac{\epsilon_0}{2} E^2$  נקראת צפיפות האנרגיה החשמלית

## GOOL

**מעגלי זרם ישר**  
**זרם**:  
 כמות המטען שעוברת (דרך שטח חתך) ביחידת זמן.  
**חוק אוהם** - הקשר בין המתח לזרם **בנגד**:  
**חיבור נגדים בטור** - נגדים עם זרם זהה:  $R_T = R_1 + R_2$   
 כאשר  $R_T$  התנגדות הנגד השקול.

$V_T = V_1 + V_2$   
 $I_T = I_1 = I_2$   
 כאשר  $V_T$  ו- $I_T$  הם המתח והזרם בנגד השקול.



**חיבור נגדים במקביל** - נגדים עם מתח זהה:

$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$   
 $I_T = I_1 + I_2$   
 $V_T = V_1 = V_2$   
 עבור יותר משני נגדים הנוסחאות ממשיות באופן דומה:

בטור:  $R_T = \sum R_i$ ,  $V_T = \sum V_i$ ,  $I_T = I_i$   
 במקביל:  $\frac{1}{R_T} = \sum \frac{1}{R_i}$ ,  $I_T = \sum I_i$ ,  $V_T = V_i$   
**מד זרם** (אמפרמטר) אידיאלי - מחובר בטור ובעל התנגדות זניחה.  
**מד מתח** (וולטמטר) אידיאלי - מחובר במקביל לרכיב הנמדד, בעל התנגדות מאוד גבוהה.

**החספק בנגד**:  
 $P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$   
 $P = IV$  נכון לכל רכיב חשמלי, שני השוויונים האחרים הם לאחר שימוש בחוק אוהם ונכונים רק בנגד.  
**נתק** - מצב בו לא עובר זרם - חוט חתוך או התנגדות אינסופית.  
**קצר** - מצב בו אין התנגדות  
**מקור מתח לא אידיאלי**:  
 $V = \mathcal{E} - Ir$   
 $V$  - מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח שמרגיש במעגל - תלוי בזרם.  
 $\mathcal{E}$  - כא"מ הסוללה, מתח פנימי שאינו משתנה.  
 $r$  - ההתנגדות הפנימית.

**חוקי קירכהוף** (לפתרון מעגלים מורכבים):  
 נגדיר זרם לכל חוט במעגל.  
 נרשום משוואות מתחים, סכום המתחים במסלול סגור שווה לאפס. (להוסיף משוואות עד שעוברים על כל הרכיבים במעגל).  
 נרשום משוואות זרמים, בכל צומת סך הזרם שנכנס שווה לסך הזרם שיוצא.  
 נפתור את מערכת המשוואות.

**GOOL**  
**חוקי קירכהוף**  
 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 למצא את הזרמים.  
**הספק קבוע או ממוצע**:  
 $P = \frac{W}{\Delta t}$   
 $W$  - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן  $\Delta t$   
 - 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) נכונים רק לנגד.  
**חומרים דיאלקטריים**  
 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):  
 $\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$

**GOOL**  
**חומרים דיאלקטריים**  
 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 מהדיפולים של החומר).  $\epsilon_r$  - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות. לפעמים נתון **המקדם הדיאלקטרי** (הלא יחסי) והקשר הוא:  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

**GOOL**  
**חומרים דיאלקטריים**  
 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.

**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,  $d \ll \sqrt{A}$ .  
**שדה בתוך קבל לוחות**:  
 $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$   
 $\sigma$  - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.  
 $V$  - המתח בין הלוחות.  $d$  - מרחק בין הלוחות.

**קיבול של קבל גלילי**:  
 $C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$   
 a ו- b - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.  
 L - אורך הגלילים,  $b \ll L$ ,  $a \ll L$ .  
**קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד**:  
 $C' = kC_0$

k (או  $\epsilon_r$ ) - 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  $Q_T = Q_1 + Q_2$  ו-  $V_T = V_1 = V_2$   
 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 (בד"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**:  
 $U_c = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV$   
**מבנה הנגד וצפיפות זרם**  
**GOOL**  
**תלות של התנגדות במבנה הנגד**:  
 $R = \rho \frac{L}{S}$   
 $\rho$  - התנגדות סגולית, תלויה בחומר (לא להתבלבל עם צפיפות מטען נפחית).  
 L - אורך הנגד, דרך שהמטענים עושים בנגד.  
 S (או A) - שטח החתך, משטח שמאונך לכיוון הזרם.  
 הערה: **שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הנגד**. במדידה 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):  
 $\sigma = \frac{1}{\rho}$   
**GOOL**  
**צפיפות הזרם ליחידת שטח**:  
 $I = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$   
 כאשר האינטגרל הוא על שטח החתך, שטח שמאונך ל-  $\vec{J}$ .  
 אם  $\vec{J}$  אחידה אז:  
 $I = JS$   
**חוק אוהם הדיפרנציאלי**:  
 $\vec{J} = \sigma \vec{E}$   
 כאשר  $\sigma$  היא המוליכות ו- E השדה החשמלי.  
**חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען נפחית בתנועה**:  
 $\vec{J} = \rho \vec{v}$

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

כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלי:  $\mathcal{E} = V + Ir$   
 $\mathcal{E}$  - כא"מ, המתח המקסימאלי של הסוללה.  
 $V$  - מתח הדקים.  $r$  - התנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.  
**נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה  $(R_T)$** :  
**וללא הזרם**:  
 $V_{דקים} = \frac{\mathcal{E} R_T}{R_T + r}$

**GOOL**  
**הכוח המגנטי - חוק לורנץ**  
**חוק לורנץ - הכוח המגנטי**:  
 $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$   
 ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.  
 דרך 1 טרמננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).  
 דרך 2 גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא:  $F_B = qvB \sin \alpha$   
 כאשר  $\alpha$  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:  
 $R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$

**GOOL**  
**הכוח המגנטי על תיל נושא זרם**  
**הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I**  
**הנמצאת בשדה מגנטי B הוא**:  
 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$   
 אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:  
 $F = BIL \sin \alpha$

**GOOL**  
**הכוח המגנטי על תיל נושא זרם**  
**הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I**  
**הנמצאת בשדה מגנטי B הוא**:  
 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$   
 אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:  
 $F = BIL \sin \alpha$

**GOOL**  
**הכוח המגנטי על תיל נושא זרם**  
**הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I**  
**הנמצאת בשדה מגנטי B הוא**:  
 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$   
 אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:  
 $F = BIL \sin \alpha$

**GOOL**  
**הכוח המגנטי על תיל נושא זרם**  
**הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I**  
**הנמצאת בשדה מגנטי B הוא**:  
 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$   
 אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:  
 $F = BIL \sin \alpha$

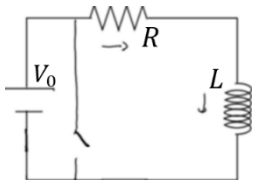
**GOOL**  
**הכוח המגנטי על תיל נושא זרם**  
**הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I**  
**הנמצאת בשדה מגנטי B הוא**:  
 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$   
 אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:  
 $F = BIL \sin \alpha$

**GOOL**  
**הכוח המגנטי על תיל נושא זרם**  
**הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I**  
**הנמצאת בשדה מגנטי B הוא**:  
 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$   
 אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:  
 $F = BIL \sin \alpha$

## GOOL

## מעגלי RL

טעינה:



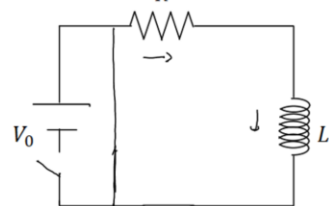
$$V_0 - IR - L\dot{I} = 0$$

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

$$\tau = \frac{L}{R}$$

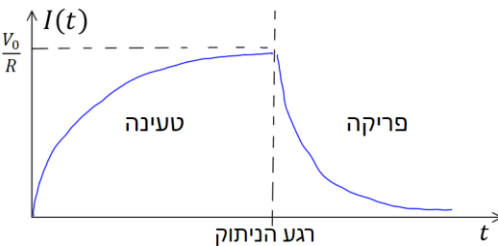
סליל (או משרף) מתנהג בהתחלה כמו נתק ולאחר זמן רב כמו קצר.

פריקה:



$$-IR - L\dot{I} = 0$$

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



חיבור סלילים (משרפים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots$$

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

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

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

## GOOL

## השראות הדדית

$$M_{1,2} = \frac{\Phi_1}{I_2}$$

השראות הדדית:

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.

$$M_{1,2} = M_{2,1} = M$$

השראות הדדית תמיד סימטרית

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

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

יחס המתחים בשנאי:

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

## GOOL

## משוואות מקסוול

הצורה הדיפרנציאלית ; הצורה האינטגרלית:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\varepsilon_0} \int \rho dV ; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

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

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

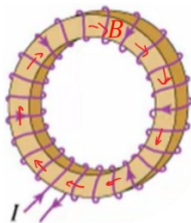
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s} ; \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

מהמשוואה ניתן לקבל את חוק פאראדי  $\varepsilon = -\dot{\Phi}_B$

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

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

חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)



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

טורואיד: מספר הליפופים N הכולל. r - המרחק ממרכז הטורואיד.

## חוק פאראדי

## GOOL

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} ; \quad \Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

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

האם השטף גדל או קטן?

נרצה להגדיל את השטף

ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים

נרצה להקטין את השטף

ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים

נמצא את כיוון הזרם שייצור את השדה המתאים לפי כלל יד ימין

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

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה: כאשר  $\vec{v}$  היא מהירות הגוף (שימו לב למכפלה הסקלרית)

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

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: כאשר  $v$  היא מהירות המוט,  $L$  האורך שלו ו-  $\alpha$  היא הזווית בין המהירות לשדה.

כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

## GOOL

## מומנט דיפול מגנטי

דיפול מגנטי הוא לולאת זרם סגורה.

$$\vec{\mu} = I \vec{A} ; \quad (\vec{m} \text{ ב- } \vec{m})$$

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

I - הזרם בלולאה.  $\vec{A}$  - השטח הסגור על-ידי הלולאה.

כיוונו במאונך למשטח ובהתאם לכלל יד ימין של הזרם.

השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדי

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

הדיפול: מומנט כוח שפועל על דיפול מגנטי הנמצא בשדה מגנטי

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

חיצוני: האנרגיה הפוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

## GOOL

## השראות

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

ההשראות ברכיב:  $\Phi_B$  הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.

ההשראות היא תכונה שתלויה רק במבנה ולכן היא בד"כ קבועה.

חישוב השראות לפי הגדרה:

1. נניח שזרם זרם I ברכיב.

2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.

3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.

4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.

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

השראות של סליל: N מספר הליפופים הכולל, l אורך הסליל ו- a רדיוס טבעת

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

כא"מ ברכיב עם השראות L: האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

$$U_L = \frac{1}{2} L I^2$$

האנרגיה האגורה בשדה המגנטי:

$$U = \int \frac{B^2}{2\mu_0} dV$$

את האינטגרל עושים על כל המרחב.

זו אותה האנרגיה שמחשבים באמצעות ההשראות (פשוט צורת חישוב אחרת).

ניתן לחשב השראות דרך השוואה של שתי הנוסחאות

האחרונות של האנרגיה (תניחו זרם והוא יצטמצם בסוף).

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

המתח על סליל (משרף) במעגל: הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

את כיוון הכוח יש למצוא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- dl) מחליף את המהירות.

הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.

הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה לזה הכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

## GOOL

## חוק ביו-סבר

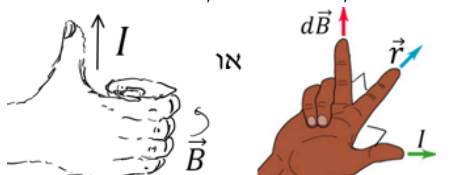
חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

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

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

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

חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:



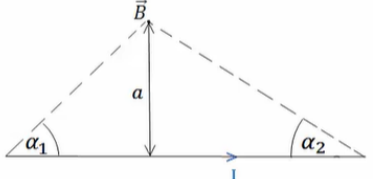
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

השדה של תיל סופי:

במרכז

התיל

$$B =$$



$$\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \left( \frac{L}{(\frac{L}{2})^2 + a^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

(L אורך התיל)

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

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:

זרם כיוון השדה לפי כלל הברג:

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.

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in} ; \quad I_{in} = \int \vec{j} \cdot d\vec{s}$$

כאשר האינטגרל הוא על הרכיב המשיק של B לאורך מסלול סגור. בד"כ נבחר מקרים בהם B אחיד לאורך המסלול והאינטגרל יהיה B כפול אורך המסלול.

הזרם הוא סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול. המקרים הנפוצים של חוק אמפר:

1. תיל / גליל / מעטפת גלילית אינסופיים.

2. מישור אינסופי / סליל אינסופי / טורואיד.

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

שדה של תיל אינסופי: כאשר r הוא המרחק מהתיל.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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