

## הוראות לדף הנוסחאות



### הוראות הדפסה!

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

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

### עריכה:

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

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

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

### מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

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

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

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

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

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

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

$$\vec{F} = \frac{kq_1q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{kq_1q_2}{r^3} \vec{r}$$
  
 $\hat{r}$  - וקטור מ- $q_1$  אל  $q_2$ ,  $|\vec{r}| = r$   
 השדה החשמלי שיוצר מטען  $q$  במרחב:

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

$\vec{r}$  - וקטור מהמטען  $q$  אל הנקודה בה מחשבים את השדה. שימו לב שבנוסחה הזו המטען הוא זה שיוצר את השדה. הכוח הפועל על מטען  $q$  הנמצא בשדה חשמלי  $\vec{E}$ :

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

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

**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.

**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 שנע):

$W_{\text{חשמלי}} = -\Delta U$   
 כוח חשמלי  
 העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא מינוס):  

$$\Delta U = -W_{\text{חשמלי}}$$
  
 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  $V$ :**  

$$U = qV$$
  
**פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:**  

$$V = \frac{kq}{r}$$
  
 - המרחק מהמטען.

**יחידות** 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  $\Delta V$  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:

$$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$$

**פוטנציאל של לוח אינסופי** (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח):

$$U(x) = -2\pi k\sigma x$$

$\sigma$  - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.  
 $x$  - המרחק מהלוח.  
**פוטנציאל במוליכים** קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס).

**הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:**

$$V(r) = \begin{cases} \frac{kQ}{R}, & r \leq R \\ \frac{kQ}{r}, & r \geq R \end{cases}$$

$Q$  - סך המטען של הכדור  
 $R$  - רדיוס הכדור  
 $r$  - המרחק ממרכז הכדור  
 שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).

**הפוטנציאל של כדור מוליך:** כדור מוליך הוא כדור מוליך מאוד גדול,  $R \rightarrow \infty$  ולכן הפוטנציאל אפס.  
**חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך:** מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוויון הפוטנציאלים)  
**הארקה:** חיבור מוליך לכדור, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדור מוליך).

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

- בגליליות:

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

- בכדוריות (\*):

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

(\*) **שימו לב שהזווית  $\varphi$  עם ציר z- והזווית  $\theta$  עם ציר x במערכות צירים צריך להתקיים:**  
 $\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}; \hat{r} \times \hat{\theta} = \hat{\varphi}; \hat{r} \times \hat{\varphi} = -\hat{\theta}$   
**זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:**

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

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

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

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

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

**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:**

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

**בכדוריות (\*):**

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

**דיברגנס div בקרטזיות:**

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

**div 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:**

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

**בכדוריות (\*):**

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

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

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

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

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

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

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

**חישוב שדה או כוח שיוצרת התפלגות מטען רציפה:**  
 נחלק את הגוף לחתיכות קטנות, נחשב את השדה שיוצרת כל חתיכה בנקודה ונסכום על כל החתיכות. שימו לב שלסכום על כל רכיב (x, y, z) בנפרד.  
**אלמנט המטען של חתיכה קטנה הוא:**

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

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

**קבועים**  
**מסות הפרוטון, ניוטרון ואלקטרון:**  
 $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$ ;  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$   
**מטען הפרוטון והאלקטרון:**  
 $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C = e = -q_e$   
**מקדם דיאלקטרי של הריק ו- $k$ :**

**מבוא מתמטי**  
**קואורדינטות גליליות:**  $(r, \theta, z)$   
 $x = r \cos \theta$   
 $y = r \sin \theta$   
 $z = z$   
 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$   
 $\tan \theta = \frac{y}{x}$   
 $dl = dr / r d\theta / dz$  (טבעת)  
 $ds = r dr d\theta / rd\theta dz$  (דיסקה)  
 $dv = r dr d\theta dz$  (גליל מלא או קליפה גלילית עבה)

**קואורדינטות כדוריות:**  $(r, \theta, \varphi)$   
 $z = r \cos \varphi$   
 $x = r \sin \varphi \cos \theta$   
 $y = r \sin \varphi \sin \theta$   
 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$   
 $\tan \theta = \frac{y}{x}$   
 $\cos \varphi = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$

$dl = dr / r \sin \varphi d\theta / rd\varphi$   
**מעטפת (כדור):**  $ds = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$   
**כדור מלא או קליפה כדורית עבה:**  $dv = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi dr$   
**צפיפות נפחית/משטחית/אורכית:**  
 $\rho = \frac{M}{V}$ ;  $\sigma = \frac{M}{S}$ ;  $\lambda = \frac{M}{l}$   
 $V, S, l$  הם נפח, שטח ואורך הגוף.

**וקטור יחידה:**  
 $\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$   
**מכפלה סקלרית:** שתי דרכים לביצוע המכפלה:  
 $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$   
 $\alpha$  - 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:**

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

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

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

**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:  
**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 כך לפתוח את האמה!

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

**גרדיאנט בקרטזיות:**

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

**בגליליות:**

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

**בכדוריות (\*):**

**רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:**

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

נרשום משוואות מתחים, סכום המתחים במסלול סגור שווה לאפס. (להוסיף משוואות עד שעוברים על כל הרכיבים במעגל).

נרשום משוואות זרמים, בכל צומת סך הזרם שנכנס שווה לסך הזרם שיוצא.

נפתור את מערכת המשוואות.

שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות):

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

$\Delta$  - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא הפרעות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

$$\begin{cases} 3I_1 + 4I_2 + 8I_3 = 5 \\ 2I_1 - 5I_2 + 9I_3 = 1 \\ 4I_1 + 3I_2 - 7I_3 = 3 \end{cases} \quad \Delta = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$$

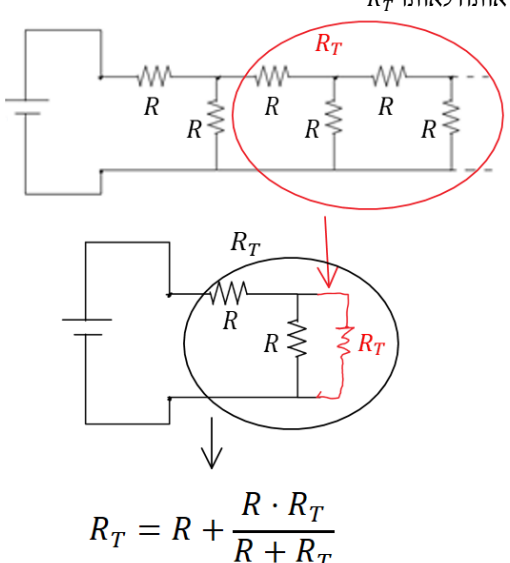
$\Delta_i$  - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה  $i$  בעמודות התשובות. לדוגמה, במערכת הנ"ל:

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


נניח שההתנגדות השקולה של המעגל שווה להתנגדות השקולה של המעגל ללא החוליה הראשונה.

נחליף את החוליות 2 עד אינסוף במעגל  $R_T$ .

נחשב את ההתנגדות של המעגל הסופי שהתקבל ונשווה אותה לאותו  $R_T$ .

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


**חומרים דיאלקטריים**

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.

a, b  $\ll L$  - אורך הגלילים.

הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:  $C' = kC_0$  (או  $\epsilon_r$ ) - המקדם הדיאלקטרי של החומר.

$C_0$  - הקיבול ללא החומר הדיאלקטרי.

חיבור קבלים בטור (קבלים עם מטען זהה):

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

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

**חומרים דיאלקטריים**

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

השדה בתוך חומר דיאלקטרי לינארי ואיזוטרופי:

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

$\vec{E}_{free}$  הוא השדה שנוצר ממטענים חופשיים/מחוץ לחומר.

$\vec{E}$  הוא השדה הכולל בתוך החומר (מהמטענים החופשיים והדיפולים של החומר).

$\epsilon_r$  או  $k$  - מקדם דיאלקטרי של החומר - תכונה של החומר

בדרי"כ קבוע וידוע:  $\epsilon_r > 1$  -  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

$\sigma_{free}$  - צפיפות המטען שיוצרת את השדה החיצוני:

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

$\sigma_T = \epsilon_0 \Delta E_{\perp}$  - צפיפות המטען הכוללת:

$\sigma_i$  - צפיפות מטען מושרית/קשורה: צפיפות מטען שנוצרת על שפת החומר הדיאלקטרי מהקיטוב של הדיפולים:

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

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

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

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

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

מומנט הדיפול הכולל בחומר:

$$\vec{p} = \int \vec{P} dV$$

הקשר בין  $\vec{P}$  לצפיפות המושרית על השפה:

$$\sigma_i \equiv \sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$$

כאשר  $\hat{n}$  הוא וקטור יחידה המאונך לשפה כלפי חוץ מהגוף.

אם  $\vec{P}$  לא אחיד אז יש גם צפיפות מטען מושרית נפחית

בתוך החומר:

$$\rho_i \equiv \rho_b = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$$

וקטור העתקה:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

חוק גאוס למטען החופשי:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_f \Leftrightarrow \oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q_{in_f}$$

חומרים לינארים (בדרי"כ בשאלות):

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

חומר איזוטרופי:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_0$$

**מעגלי זרם ישר**

זרם:

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

כמות המטען שעוברת (דרך שטח חתך) ביחידת זמן.

חוק אוהם - הקשר בין המתח לזרם בנגד:

$$V = IR$$

חיבור נגדים בטור - נגדים עם זרם זהה:

$$R_T = R_1 + R_2$$

הקשר בין המתח והזרם בנגד:  $V_T = V_1 + V_2$ ,  $I_T = I_1 = I_2$

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 משייכות באופן דומה:

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

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

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

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

ההספק בנגד:

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

( $P = IV$ ) נכון לכל רכיב חשמלי, שני השוויונים האחרים הם לאחר שימוש בחוק אוהם ונכונים רק בנגד.

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

קצר - מצב בו אין התנגדות

מקור מתח לא אידיאלי:

$$V = \epsilon - Ir$$

$V$  - מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח שמרגיש המעגל - תלוי בזרם.

$\epsilon$  - כא"מ הסוללה, מתח פנימי שאינו משתנה.

$r$  - ההתנגדות הפנימית.

חוקי קירכהוף (לפתרון מעגלים מורכבים):

נגדיר זרם לכל חוט במעגל.

**חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה** (העבודה הדרושה לבניית המערכת):

דרך 1: נסכום את העבודות להביא את המטענים אחד אחר 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:

$$W = 0 + q_2 \frac{kq_1}{r_{12}} + q_3 \left( \frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$$

דרך 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

$$W = \frac{kq_1 q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1 q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2 q_3}{r_{23}}$$

**פוטנציאל**

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

אנרגיה פוטנציאלית חשמלית:

$$U = q\phi$$

מתח:

$$V = \Delta \phi$$

העבודה של הכוח החשמלי:

$$W = -\Delta U = -q\Delta \phi$$

עבודה להזיז מטען נגד הכוח החשמלי:

$$W = \Delta U = q\Delta \phi$$

פוטנציאל של מטען נקודתי:

$$\phi = \frac{kq}{r}$$

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:

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

**דיפול חשמלי**

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

מומנט דיפול:

$$\vec{p} = q\vec{d}$$

כיוונו מהמטען השלילי לחיובי.

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

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

השדה של דיפול במרחק גדול:

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

מומנט דיפול של מערכת מטענים:

$$p_x = \sum x_i q_i = \int x dq$$

מומנט כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חשמלי חיצוני:

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

אנרגיה פוטנציאלית של דיפול בשדה חיצוני:

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חיצוני:

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

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

**מציאת התפלגות מטען**

למצא צפיפות נפחית נעשה:

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

למצא צפיפות משטחית:

$$\sigma = \epsilon_0 \Delta E_{\perp}$$

כאשר  $\Delta E_{\perp}$  היא הקפיצה בשדה המאונך למשטח.

מטען נקודתי: אם יש שדה מהצורה  $\vec{E} = \frac{\alpha}{r^2} \hat{r}$  (בקורדינטות כדוריות) באזור הכולל את הראשית אז יש מטען נקודתי כך ש  $q = \frac{\alpha}{k}$ .

צפיפות מטען אורכית: אם יש שדה מהצורה  $\vec{E} = \frac{\alpha}{r} \hat{r}$  (בקורדינטות גליליות) באזור הכולל את הראשית אז יש צפיפות מטען אורכית כך ש  $\lambda = 2\pi\epsilon_0 \alpha$ .

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

**אנרגיה הדרושה לבניית מערכת**

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

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

\_\_\_\_\_

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

#### השראות

ההשראות ברכיב:

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

$\Phi_B$  הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו-  $I$  הזרם ברכיב.  
ההשראות היא תכונה שתלויה רק במבנה ולכן היא בד"כ קבועה.

חישוב השראות לפי הגדרה:

- נניח שזורם זרם  $I$  ברכיב.
- נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
- נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
- 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  $L$ :

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

האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

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

האנרגיה האגורה בשדה המגנטי:

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

- את האינטגרל עושים על כל המרחב.
- זו אותה האנרגיה שמחשבים באמצעות ההשראות (פשוט צורת חישוב אחרת).
- ניתן לחשב השראות דרך השוואה של שתי הנוסחאות האחרונות של האנרגיה (תניחו זרם והוא יצטמצם בסוף).

המתח על סליל (משרן) במעגל:

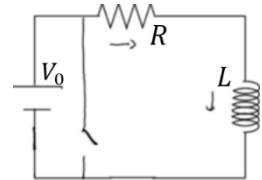
$$V_L = L\dot{I}$$

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

#### GOOL

#### RL מעגלי

סעינה:



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

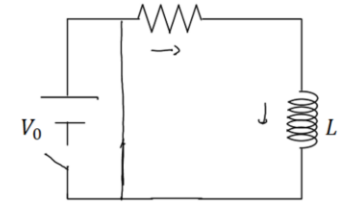
$$I(t) = \frac{V_0}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

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

- סליל (או משרן) מתנהג

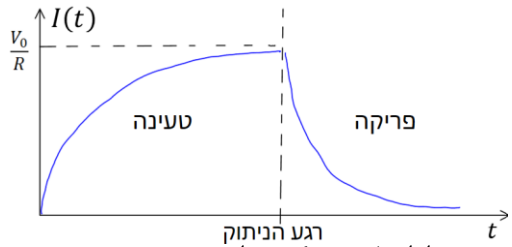
בהתחלה כמו נתק ולאחר זמן רב כמו קצר.

פריקה:



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

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



חיבור סלילים (משרנים) 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:

- נניח שזורם זרם  $I_2$  ברכיב 2.
- נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם ברכיב 1.
- נחשב את השטף המגנטי ברכיב 1.
- נציב בנוסחה של ההשראות ו-  $I_2$  יצטמצם.

השראות הדדית תמיד סימטרית  $M_{1,2} = M_{2,1} = M$   
ולכן ניתן לחשב  $M_{1,2}$  ולהסיק על  $M_{2,1}$  (או להפך).

יחס המתחים בשנאי:

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

$N$  הוא מספר הליפופים בכל צד.

#### GOOL

#### מבוא לאופטיקה

חוק סנל:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

כאשר  $n$  הם מקדמי השבירה של התווך ו-  $\theta$  הן הזוויות בין הקרן שפוגעת/מוחזרת לבין האנך למשטח.

נוסחת העדשות:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$u$  - מרחק העצם מהעדשה.  $v$  - מרחק הדמות מהעדשה.

$f$  - מוקד העדשה.

הגדלה קווית:

$$m = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{|u|}$$

$H_i$  - גובה הדמות.  $H_o$  - גובה העצם.

עוצמת העדשה:

$$C = \frac{1}{f}$$