

## 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.

## מבוא מתמטי

## GOOL

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

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = z$$

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

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

$$dl = dr/r d\theta$$
 (טבעת)

$$ds = r dr d\theta$$
 (דיסקה)

$$dv = r dr d\theta dz$$
 (גליל מלא או קליפה גלילית עבה)

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

$$z = r \cos \varphi$$

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

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

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

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

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

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

$$ds = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$$
 (מעטפת כדור)

$$dv = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi dr$$
 (כדור מלא או קליפה כדורית עבה)

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

$$V, S, l \text{ הם נפח, שטח ואורך הגוף.}$$

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

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

$$\alpha \text{ - זווית בין הוקטורים.}$$

$$\text{תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור).}$$

$$\text{מכפלה בין וקטורים מאונכים מתאפסת, זו דרך לבדוק}$$

$$\text{האם וקטורים מאונכים}$$

$$\text{וקטור בשלושה מימדים:}$$

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

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

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

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

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

$$\text{פירוק לרכיבים: } A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi; A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$$

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

$$\text{פתיחת סוגרים והעלאה בריבוע:}$$

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

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

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

$$\text{זווית בין שני וקטורים:}$$

$$\text{מכפלה וקטורית:}$$

$$\text{דרך 1 לעשות את המכפלה - דטרמיננטה:}$$

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

$$\text{דרך 2 - לפי גודל וכיוון בנפרד:}$$

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

$$\text{גודל המכפלה הוא:}$$

$$\text{וכיוון לפי כלל יד ימין}$$

$$\text{שימו לב שאתם עם יד ימין!! ובתמונה השמאלית, קודם}$$

$$\text{לעשות אקדח ואחר כך לפתוח את האמה!}$$

$$\vec{A} \times \vec{B}$$

$$\text{גרדיאנט בקרטזיות:}$$

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

$$\text{בגליליות:}$$

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

$$\text{בכדוריות (*):}$$

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

$$\text{רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:}$$

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

$$\text{בגליליות:}$$

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

$$\text{בכדוריות (*):}$$

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

$$\text{רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:}$$

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

$$\text{בגליליות:}$$

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

$$\text{בכדוריות (*):}$$

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

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

$$\text{בגליליות:}$$

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

$$\text{בכדוריות (*):}$$

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

$$\text{שימו לב שהזווית } \varphi \text{ עם ציר } z \text{ והזווית } \theta \text{ עם ציר } x$$

$$\text{במערכות צירים צריך להתקיים:}$$

$$\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}; \hat{y} \times \hat{z} = \hat{x}; \hat{z} \times \hat{x} = \hat{y}$$

$$\text{זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:}$$

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

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

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

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

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

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

$$\text{בכדוריות (*):}$$

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

$$\text{דיברגנט div בקרטזיות:}$$

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

$$\text{div בגליליות:}$$

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

$$\text{div בכדוריות:}$$

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

$$\text{רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:}$$

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

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

$$\text{בגליליות:}$$

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

$$\text{בכדוריות (*):}$$

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

$$\text{שימו לב שהזווית } \varphi \text{ עם ציר } z \text{ והזווית } \theta \text{ עם ציר } x$$

$$\text{זהויות של אופרטורים:}$$

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

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

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

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

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

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

$$\text{קבועים}$$

$$\text{מסות הפרוטון, ניוטרון ואלקטרון:}$$

$$m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}; m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{מטען הפרוטון והאלקטרון:}$$

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

$$\text{מקדם דיאלקטרי של הריק ו- } k:$$

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

$$\text{חוק קולון}$$

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

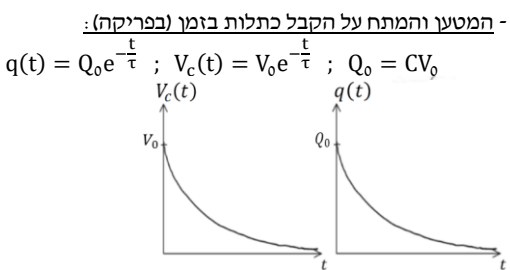
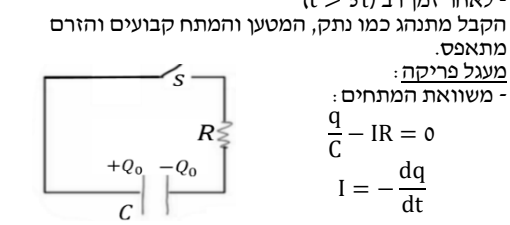
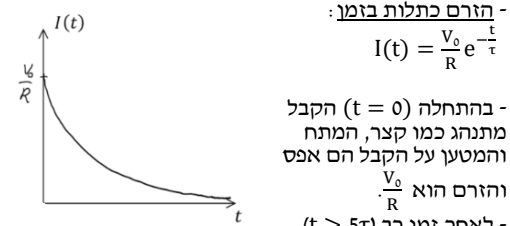
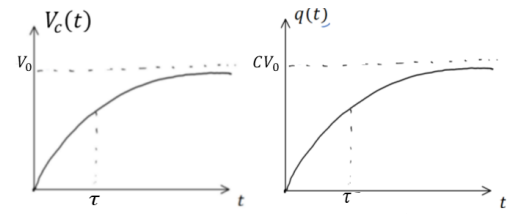
$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

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



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

**מבנה הנגד וצפיפות זרם**

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

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

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

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

כאשר  $\sigma$  היא המוליכות ו- $E$  השדה החשמלי.

כאשר  $\rho$  היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{v}$  היא מהירות נושאי המטען.

מספר נושאי המטען ליחיד נפח ו- $q$  הוא המטען של נושא מטען יחיד, בד"כ אלקטרון.

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

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

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

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

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

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

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



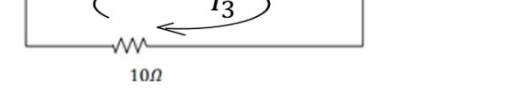
$\Delta$  - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא הפרעות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

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

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

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

זרמי חוגים: 1. נחלק את המעגל למעגלים סגורים ונבחר זרמים לכל מעגל. לדוגמה:



2. נעשה משוואות מתחים לכל מעגל. לדוגמה:

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

3. נפתור את מערכת המשוואות

הגדרת הקיבול:  $C = \frac{|q|}{|V|}$

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:  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$

σ - 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 - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.

L - אורך הגלילים,  $a, b \ll L$ .

הקיבול 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):

כאשר  $Q_T = Q_1 = Q_2$  ו-  $V_T = V_1 + V_2$

חיבור קבלים במקביל (מתח זהה):  $C_T = C_1 + C_2$

כאשר  $V_T = V_1 = V_2$  ו-  $Q_T = Q_1 + Q_2$

שיטה 1 לחישוב קיבול - לפי הגדרה:

א. נניח שיש מטען Q על לוחות הקבל.

ב. נחשב את השדה בין הלוחות.

ג. נחשב את המתח בין הלוחות.

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:  $U_C = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV$

העבודה שמבצעת הסוללה:  $W_S = \Delta q V_S = -2\Delta U_C$

הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל:  $F = \left| \frac{dU_C}{dx} \right|$

פריקה וטעינה של קבל

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$

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

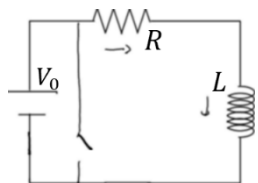
$\tau = RC$  הוא קבוע הזמן אופייני

מעגל טעינה: משוואות המתחים:  $V_0 - \frac{q}{$

## GOOL

## מעגלי RL

טעינה:

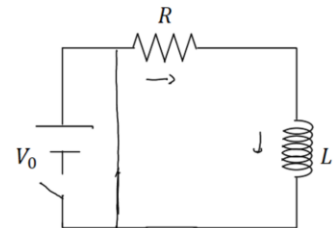


$$V_0 - IR - LI = 0$$

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

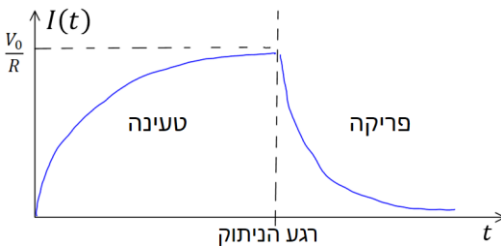
$$\tau = \frac{L}{R}$$

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



$$-IR - LI = 0$$

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



חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

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

$$I_T = I_1 = I_2 = \dots \rightarrow V_T = V_1 + V_2 + \dots$$

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

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots \rightarrow V_T = V_1 = V_2 = \dots$$

## 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

## האנרגיה האגורה בשדות

אנרגיה אלקטרו מגנטית האגורה בשדות:

$$U = \int \left( \frac{\varepsilon_0 (\vec{E})^2}{2} + \frac{(\vec{B})^2}{2\mu_0} \right) dv$$

$$u_{em} = \frac{\varepsilon_0 (\vec{E})^2}{2} + \frac{(\vec{B})^2}{2\mu_0}$$

## GOOL

## משוואות מקסוול

הצורה הדיפרנציאלית: הצורה האינטגרלית:

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

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

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

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

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

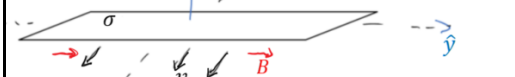
כאשר הזרם בכיוון  $\hat{z}$  השדה בכיוון  $\hat{\theta}$

שדה של מישור אינסופי:

עבור מישור דק הטעון בצפיפות

משטחית  $\sigma$  ונע בכיוון  $\hat{x}$

במהירות  $v$ .



שדה של סליל אינסופי/סולנואיד:

כאשר  $n$  הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל.

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

טורואיד:

N - מספר הליפופים

הכולל.

r - המרחק ממרכז

הטורואיד.

חוק פאראדי:

האם השטף גדל או קטן?

נרצה להגדיל את השטף

נרצה להקטין את השטף

ניצור שדה מגנטי באותו

הכיוון של השדה הקיים

ניצור שדה מגנטי בכיוון

הפוך לשדה הקיים

נמצא את כיוון הזרם שייצור את

השדה המתאים לפי כלל יד ימין

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

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

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.

השראות

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.

השראות של סליל:

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

כא"מ ברכיב עם השראות  $L$ :

האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

האנרגיה האגורה בשדה המגנטי:

את האינטגרל עושים על כל המרחב.

זו אותה האנרגיה שמחשבים באמצעות ההשראות (פשוט

צורת חישוב אחרת).

ניתן לחשב השראות דרך השוואה של שתי הנוסחאות

האחרונות של האנרגיה (תניחו זרם והוא יצטמצם בסוף).

המתח על סליל (משרף) במעגל:

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

- 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:

אם  $v$  לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר

המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

השראות של סליל:

