

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.

$dl = dr/r \sin \phi d\theta / r d\phi$
 $ds = r^2 \sin \phi d\theta d\phi$ (מעטפת כדור)
 $dv = r^2 \sin \phi d\theta d\phi dr$ (כדור מלא או קליפה כדורית עבה)
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:
 $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$
 α - זווית בין הוקטורים.
 תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור).
 - מכפלה בין וקטורים מאונכים מתאפסת, זו דרך **לבדוק**
האם וקטורים מאונכים:
וקטור בשלושה מימדים:

$0 \leq \phi \leq \pi$
 $0 \leq \theta \leq 2\pi$
 $\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$
 $|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$
 $\cos \phi = \frac{A_z}{|\vec{A}|} = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$

פירוק לרכיבים: $A_{xy} = |\vec{A}| \sin \phi$; $A_z = |\vec{A}| \cos \phi$
 $A_x = |\vec{A}| \sin \phi \cos \theta$; $A_y = |\vec{A}| \sin \phi \sin \theta$
פתיחת סוגרים והעלאה בריבוע:
 $\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C}$
 $(\vec{A} + \vec{B})^2 = |\vec{A}|^2 + 2\vec{A} \cdot \vec{B} + |\vec{B}|^2$
זווית בין שני וקטורים:
 $\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|} = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|}$
מכפלה וקטורית:
 דרך 1 לעשות את המכפלה - דטרמיננטה:

$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$
 דרך 2 - לפי גודל וכיוון בנפרד:
 $|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \alpha$
 וכיוון לפי כלל יד ימין

שימו לב שאתם עם יד ימין!! ובתמונה השמאלית, קודם לעשות אקדח ואחר"כ לפתוח את האמה!
גרדיאנט בקרטזיות:
 $\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$
 - בגליליות:
 $\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$
 - בכדוריות (*):
 $\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r \sin \phi} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \phi} \frac{\partial f}{\partial \phi} \hat{\phi}$
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 (*):
 $\vec{\nabla} \times \vec{F} = \frac{1}{r \sin \phi} \left(\frac{\partial}{\partial \phi} (F_\theta \sin \phi) - \frac{\partial F_\phi}{\partial \theta} \right) \hat{r} +$
 $+ \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r F_\phi) - \frac{\partial F_r}{\partial \phi} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{1}{\sin \phi} \frac{\partial F_r}{\partial \theta} - \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot F_\theta) \right) \hat{\phi}$

(*) **שימו לב שהזווית ϕ עם ציר ה-z והזווית θ עם ציר ה-x**
במערכות צירים צריך להתקיים:
 $\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}$; $\hat{r} \times \hat{\theta} = \hat{z}$; $\hat{r} \times \hat{\phi} = \hat{\theta}$
זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:
 $\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B} \cdot (\vec{C} \times \vec{A}) = \vec{C} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$
 $\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B}(\vec{A} \cdot \vec{C}) - \vec{C}(\vec{A} \cdot \vec{B})$
 $(\vec{A} \times \vec{B}) \cdot (\vec{C} \times \vec{D}) = (\vec{A} \cdot \vec{C})(\vec{B} \cdot \vec{D}) - (\vec{A} \cdot \vec{D})(\vec{B} \cdot \vec{C})$
 $\vec{A} \times (\vec{B} \times (\vec{C} \times \vec{D})) =$

$\sin(\phi) = \frac{\Gamma \Omega}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2}}$
תדירות תהודה: התדירות של הכוח המאלץ עבורה $A(\Omega)$ מקסימאלית. ניתן למצא אותה ע"י נגזרת של A לפי Ω . אם $\Gamma \ll \omega_0$ אז תדירות התהודה היא בקירוב ω_0 (תדירות התנועה ההרמונית ללא כוח מאלץ ומרסק)
גלים והתאבכות גלים
GOOL
מהירות גל מחזורי:
 $v = \lambda f$
 λ - אורך הגל. f - תדירות הגל.
חוק השבירה:
 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$
 θ - הזווית בין הקרן הפוגעת/ מוחזרת **לאנך** למשטח.
 n - מקדם השבירה של כל תווך.
 v - מהירות הגל בכל תווך.

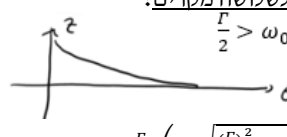
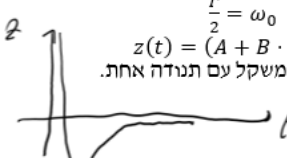
גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:
 $\ell = n \frac{\lambda}{2}$
 ℓ - אורך המיתר. n - מספר נקודות הקמר (מקסי/ מיני) קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר) שווי-מופע:
 $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$
 θ_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המקסימום n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.
 X_n - המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר n .
 L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n .
 d - המרחק בין החריצים.
קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-מופע:
 $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{d}$
 θ_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המינימום n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.
 X_n - המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר n .
 L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר n .
 d - המרחק בין החריצים.
נוסחת יאנג:
 $\frac{\Delta X}{L} = \frac{\lambda}{d}$
 ΔX - רוחב פס האור. L - מרחק האנך למסך מהחריצים.
 d - אורך הגל. λ - המרחק בין החריצים.
קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה:

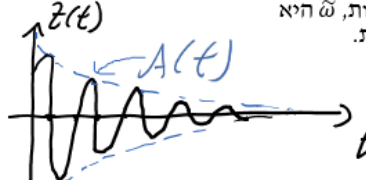
$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = nN \cdot \lambda$
 θ_n - הזווית למקסימום מסדר n .
 d - המרחק בין שני חריצים צמודים. N - קבוע הסריג.
קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד:
 $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w}$
 θ_n - הזווית למינימום מסדר n .
 X_n - מרחק מרכז המינימום מסדר n למרכז המקסימום המרכזי. L_n - המרחק בין החריץ למינימום מסדר n .
 w - רוחב החריץ.
עוצמה של גלי קול ביחס לסף השמע:
 $\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10} \right)}$
 כאשר I_a היא עוצמת הקול של α דציבל. I_0 - סף השמע של אדם.
 - ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים
שונים α ו- β :
 $\frac{I_a}{I_b} = 10^{\left(\frac{\alpha - \beta}{10} \right)}$
האנרגיה של גל קול:
 $E = I \cdot S \cdot t$
 E - האנרגיה הכוללת של גל הקול. I - העוצמה בדציבל.
 S - שטח החתך בו הגל פוגע.
 t - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

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

GOOL
תנועה הרמונית פשוטה
משוואת התנועה:
 $-k(x - x_0) = m\ddot{x}$
 k ו- m הם קבועים **חיוביים** כלשהם.
 x_0 - קבוע שיכול להיות חיובי או שלילי.
 x - משתנה כלשהו, יכול להיות גם זווית או משתנה אחר.
 $\ddot{x}$ - נגזרת שניה של המשתנה.
 חייב להיות מינוס לפני k .
פתרון המשוואה:
 $x(t) = A \cos(\omega t + \phi) + x_0$
 x_0 - נקודת שיווי המשקל, הנקודה שבה $\Sigma \vec{F} = 0$.
 A - אמפליטודה, המרחק המקסימאלי משווי המשקל.
 ω - תדירות זוויתית $\omega = \frac{2\pi}{T}$.
 ϕ - פאזה.
מצייאת הקבועים בפתרון:
 x_0 - אפשר למצא ישירות מהקבוע שבמשוואה או למצא אותו מסכום הכוחות שווה לאפס.
 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{x}{\ddot{x}}}$ של המקדם $\frac{x}{\ddot{x}}$
 ϕ, A מוצאים מתנאי התחלה $x(0)$ ו- $\dot{x}(0)$.
נוסחה למהירות המקסימאלית:
 $v_{max} = \omega A$
האנרגיה:
 $E = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k (x - x_0)^2 = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2$
 - האנרגיה הכוללת קבועה ואפשר לחשב אותה דרך האמפליטודה.
 - חילופי האנרגיה בין האנרגיה הקינטית לפוטנציאלית, הפוטנציאלית מקסי' בקצוות והקינטית בשיווי משקל.
בור פוטנציאלי: כאשר גוף נע בסביבה קרובה מאוד למינימום של הפוטנציאל (האנרגיה הכללית שלו גדולה רק במעט מהאנרגיה הפוטנציאלית במינימום) אז הוא מבצע תנועה הרמונית בתדירות:

$\omega_0 = \sqrt{\frac{U''(x_0)}{m}}$
 x_0 - מיקום נק' המינימום, ו- $U''(x_0)$ נגזרת שניה בנקודה.
GOOL
תנועה הרמונית מרוסנת
 בנוסף לכוח הקפיץ נוסף **כוח מרסן** מהצורה:
 $F = -\lambda v$
 v - מהירות הגוף ו- λ קבוע.

משוואת התנועה:
 $\ddot{z} + \Gamma \dot{z} + \omega_0^2 z = 0$
 כאשר $z = x - x_0$, $\Gamma = \frac{\lambda}{m}$, $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$
פתרון המשוואה מתחלק לשלושה מקרים:
מקרה (I) - ריסון חזק: $\frac{\Gamma}{2} > \omega_0$
 אין תנודות

 $z(t) = e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \left(A e^{\sqrt{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2 - \omega_0^2} t} + B e^{-\sqrt{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2 - \omega_0^2} t} \right)$
מקרה (II) - ריסון קריטי: $\frac{\Gamma}{2} = \omega_0$
 דעיכה הכי מהירה לשיווי משקל עם תנודה אחת.

 $z(t) = (A + B \cdot t) \cdot e^{-\omega_0 t}$

מקרה (III) - ריסון חלש: $\frac{\Gamma}{2} < \omega_0$
 $z(t) = A e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \cos(\tilde{\omega} t + \phi)$; $\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}$
 יש תנודות דועכות, $\tilde{\omega}$ היא תדירות התנודות.


GOOL
תנועה הרמונית מרוסנת ומאולצת
 בנוסף לכוח הקפיץ והמרסן נוסף **כוח מאלץ** מהצורה:
 $\vec{F}(t) = F_0 \sin(\Omega t)$
 Ω ו- F_0 קבועים כלשהם
משוואת התנועה:
 $\ddot{z} + \Gamma \dot{z} + \omega_0^2 z = \frac{F_0}{m} \sin(\Omega t)$
פתרון משוואת התנועה:
 $x(t)$ (הומוגני) $+ x_{\text{הומוגני}}(t)$ הוא הפתרון של תנועה הרמונית מרוסנת שמתחלק לשלושת המקרים...
 - במצב עמיד (לאחר זמן רב) נזניח את הפתרון ההומוגני.
 $A(\Omega) = \frac{\frac{F_0}{m}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2}}$

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 משיכות באופן דומה:

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

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

מד זרם (אמפרמטר) אידיאלי - מחובר בטור ובעל

התנגדות זניחה.

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

$$\text{החספק בנגד: } P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

($P = IV$) 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

$$\text{מקור מתח לא אידיאלי: } V = \varepsilon - Ir$$

- מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח

ממדי, בעל התנגדות מאוד גבוהה.

ε - כח"מ הסוללה, מתח פנימי שאינו משתנה.

r - ההתנגדות הפנימית.

חוקי קירכהוף (לפתרון מעגלים מורכבים):

- נגיד 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.

$$\text{שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות): } I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$$

Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא

הפתרונות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

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

Δ_i - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהחלפה בה

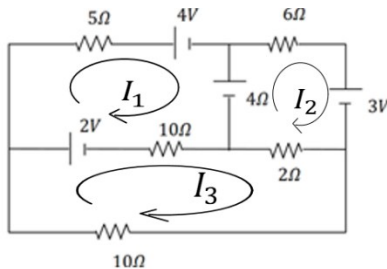
העמודה ה- i בעמודות התשובות. לדוגמה, במערכת הנ"ל:

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

זרמי חוגים:

1. נחלק את המעגל למעגלים סגורים ונבחר זרמים לכל

מעגל. לדוגמה:



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

3. נפתור את מערכת המשוואות

חומרים דיאלקטרים

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

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

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

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

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

σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.

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

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

a ו- b - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.

L - אורך הגלילים, $a, b \ll L$.

הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = kC_0$

(ε_r - המקדם הדיאלקטרי של החומר.

C_0 - הקיבול ללא החומר הדיאלקטרי.

חיבור קבלים בטור (קבלים עם מטען זהה):

עבודה להזיז מטען נגד הכוח החשמלי: $W = \Delta U = q\Delta\varphi$

פוטנציאל של מטען נקודתי:

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

מוליכים:

המטענים בתוך מוליך חופשיים לזוז.

- במצב סטטי (ללא זרם או תנועת מטען) השדה (או הכוח) בתוך המוליך מתאפס.

על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.

- במצב סטטי, המטען הכולל בכל נקודה בתוך המוליך הוא אפס למעט על השפה.

- הפוטנציאל במוליך אחיד (קבוע).

הארקה - חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

שיטות לחישוב פוטנציאל:

1. אם ניתן לחשב את השדה (בדרך"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 וכו' (בחירת נק' האפס).

2. חלוקת הגוף לחתיכות קטנות, חישוב הפוטנציאל של כל חתיכה כמו גוף נקודתי $d\varphi = \frac{k dq}{r}$ (הסבר על dq בחוק קולון)

אנרגיה הדרושה לבניית מערכת

$$U = \Sigma \frac{1}{2} q_i \varphi_i = \int \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 dv$$

- 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

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

חומרים דיאלקטרים

חומר דיאלקטרי הוא חומר שמכיל דיפולים. במצב גליל 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:

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

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

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

ε_r או k - מקדם דיאלקטרי של החומר - תכונה של החומר בדרך"כ קבוע וידוע. $\varepsilon_r > 1$ - $\varepsilon_r = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

ε - צפיפות המטען שיוצרת את השדה החיצוני:

$$\sigma_{free} = \varepsilon_0 \Delta E_{free}$$

$$\sigma_T = \varepsilon_0 \Delta E_T$$

σ_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 $\frac{1}{m^3}$.

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

מומנט הדיפול הכולל בחומר:

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

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

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

וקטור העתקה:

חוק גאוס למטען החופשי:

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

חומרים לינארים (בדרך"כ בשאלות):

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

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}_0$$

חומר איזוטרופי:

מעגלי זרם ישר

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

זרם:

- כמות המטען שעוברת (דרך שטח חתך) ביחידת זמן.

חוק אוהם - הקשר בין המתח לזרם בנגד:

$$V = IR$$

חיבור נגדים בטור - נגדים עם זרם זהה: $R_T = R_1 + R_2$

השקול.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$I_T = I_1 = I_2$$

כאשר V_T ו- I_T הם המתח והזרם בנגד השקול.

השקול.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$I_T = I_1 = I_2$$

כאשר V_T ו- I_T הם המתח והזרם בנגד השקול.

השקול.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$I_T = I_1 = I_2$$

כאשר V_T ו- I_T הם המתח והזרם בנגד השקול.

השקול.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$I_T = I_1 = I_2$$

כאשר V_T ו- I_T הם המתח והזרם בנגד השקול.

השקול.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$I_T = I_1 = I_2$$

כאשר V_T ו- I_T הם המתח והזרם בנגד השקול.

השקול.

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

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 (*):

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

דיברגנס div בקרטזיות:

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

div בגליליות:

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

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 (*):

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

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

הזווית של אופרטורים:

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

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

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

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

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

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

קבועים

מסות הפרוטון, ניוטרון ואלקטרון:

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

מטען הפרוטון והאלקטרון:

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

מקדם דיאלקטרי של הריק $k=1$:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}; \varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

חוק קולון

חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען q_1 כלשהו על

$$\vec{F} = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{k q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

מטען q_2 כלשהו:

$$\vec{r} = \frac{\vec{r}}{r} \cdot r = |\vec{r}|, q_2 \text{ אל } q_1$$

השדה החשמלי שיוצר מטען q במרחק:

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

$\vec{r}$ - 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)

חישוב שדה או כוח שיוצרת התפלגות מטען רציף:

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:

$$dq = \lambda dl = \sigma dA = \rho dv$$

כאשר dl , dA ו- dv הם אלמנט אורך, שטח ונפח בהתאמה. הביטוי של האלמנטים מופיע במבוא מתמטי

תחת הקורדינטות המתאימות.

פוטנציאל

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

אנרגיה פוטנציאלית חשמלית:

$$U = q\varphi$$

מתח:

$$V = \Delta\varphi$$

העבודה של הכוח החשמלי:

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

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

(L אורך התייל), B =

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

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:



COOL

חוק אמפר

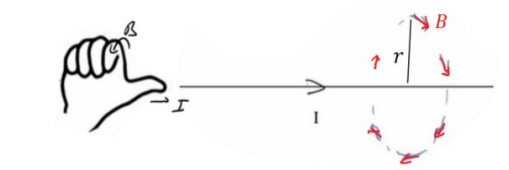
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}; I_{in} = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

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:

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

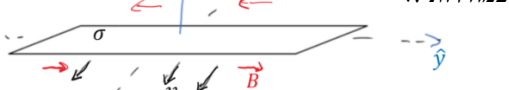
שדה של תיל אינסופי:

כאשר r הוא המרחק מהתיל.



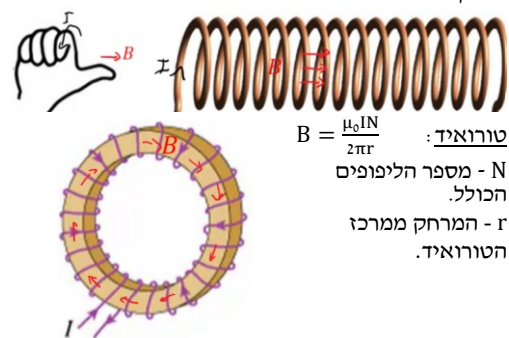
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$$

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



$$B = \mu_0 I n$$

שדה של סליל אינסופי/סולנואיד: כאשר n הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל. כיוון: לפי כלל הבורג, האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.



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

סליל אינסופי: N - מספר הליפופים, r - המרחק ממרכז הסליל.

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

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



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

השדה של תיל סופי:



$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

מוליכות (לא לבלבל עם צפיפות מטען משטחית): $I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

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

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

אם $\vec{J}$ אחידה אז:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

חוק אוהם המיקרוסקופי: כאשר σ היא המוליכות ו- E השדה החשמלי.

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

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

$$I = \int \vec{k} \cdot d\vec{l}$$

צפיפות הזרם ליחידת אורך: כאשר האינטגרל הוא על אורך שמאונך ל- $\vec{k}$.

$$I = kl$$

אם $\vec{k}$ אחידה אז:

$$\vec{k} = \sigma \vec{v}$$

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען משטחית בתנועה: עבור צפיפות מטען ליחידת אורך λ בתנועה נקבל: $I = \lambda v$

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

חוק לורנץ - הכוח המגנטי: ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים. דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים). דרך גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא: $F_B = qvB \sin \alpha$ כאשר α היא הזווית בין המהירות לשדה. וכיוון לפי כלל יד ימין:

$$F_B = qvB \sin \alpha$$

שימו לב שאתם עם יד ימין! כיוון הכוח הוא עבור מטען חיובי (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).

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

לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדיף לעשות קודם אקדח).

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$C_T = C_1 + C_2$$

חיבור קבלים במקביל (מתח זהה): כאשר $Q_T = Q_1 + Q_2$ ו- $V_T = V_1 = V_2$ שיטה 1 לחישוב קיבול - לפי הגדרה:

$$V_T = V_1 = V_2$$

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:

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

א. נפרק את הקבל לקבלים שמחוברים בטור או במקביל. ב. נחשב את הקיבול של כל אחד. ג. נחבר חזרה באמצעות הנוסחאות.

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

אנרגיה האגורה בקבל: העבודה שמבצעת הסוללה: $W_s = \Delta q V_s = -2\Delta U_C$

$$W_s = \Delta q V_s = -2\Delta U_C$$

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

$$F = \left| \frac{dU_C}{dx} \right|$$

הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

$$F = \left| \frac{dU_C}{dx} \right|$$

פריקה וטעינה של קבל

$$F = \left| \frac{dU_C}{dx} \right|$$

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

$$V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בטעינה): $I = \frac{dq}{dt}$

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

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בטעינה): $q(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$; $V_C(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$$q(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני

$$q(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

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

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

בהתחלה ($t = 0$) הקבל מתנהג כמו קצר, המתח והמטען על הקבל הם אפס והזרם הוא $\frac{V_0}{R}$

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

לאחר זמן רב ($t > 5\tau$) הקבל מתנהג כמו נתק, המטען והמתח קבועים והזרם מתאפס.

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

מעגל פריקה: משוואת המתחים: $\frac{q}{C} - IR = 0$

$$\frac{q}{C} - IR = 0$$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה): $I = -\frac{dq}{dt}$

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

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה): $q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$; $V_C(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$; $Q_0 = CV_0$

$$q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

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

מבנה הנגד וצפיפות זרם

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

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

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ρ - התנגדות סגולית, תלויה בחומר (לא להתבלבל עם צפיפות מטען נפחית).

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

L - אורך הנגד, הדרך שהמטענים עושים בנגד.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

S (או A) - שטח החתך, משטח שמאונך לכיוון הזרם.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

הערה: שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הנגד. במידה והם לא אחידים צריך לחלק את הנגד לחתיכות, לחשב ההתנגדות של כל חתיכה ולסכום לפי סוג החיבור (במקביל/בטור)

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

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

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

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

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

צפיפות הזרם ליחידת שטח: