

חוק קולונ: $F = \frac{kq_1q_2}{ \vec{r} ^2} \hat{r} = \frac{kq_1q_2}{ \vec{r} ^3} \vec{r}$ $dE = \frac{k dq}{r^2} \hat{r} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$ את $\vec{r}$ מפרקים לרכיבי x,y,z.	הדברגנץ וחוק גאוס $\oint_s \vec{E} d\vec{s} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0} = \sum_{i=1}^{\infty} q_i \frac{1}{\epsilon_0} = \frac{\iiint \rho dv}{\epsilon_0} = \iiint_v \vec{\nabla} \cdot \vec{E} dv = \phi_e$ $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ אם q_{in} הוא אפס יהיה אפס רק אם המעטפת סימטרית-$E \neq$ קבוע. השטף יהיה אפס בכל מקרה. אם אין שטף זה לא אומר בהכרח שאין שדה. הדברגץ מייצג את השינוי בקווי השטף דרך יחידת נפח. אם כך קווי השטף שנכנסים גם יוצאים הוא שווה לאפס. השדה בתוך מוליך הוא תמיד אפס שדה משמרה הוא שדה שהרוטור שלו (curl) שווה לאפס. $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$
---	---

שדות במעבר מתווך לתווך: $E_{N1} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \sigma_f$, $E_{T1} = E_{T2}$ המקדם הדיאלקטרי: $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, כאשר מדברים על חומר דיאלקטרי נחליף בנוסחאות השונות ϵ_0 ב- ϵ, $\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1}$ תיל אינסופי (במאונך לתיל): $E = \frac{2k\lambda}{R} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R} \hat{r}$ משטח אינסופי (במאונך לוח): $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z}$ טבעת דקה בעלת רדיוס R במעלה מרכזה: $E_z = \frac{2\pi k R d \lambda}{(R^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{R d \lambda}{2\epsilon_0 (R^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}$ דיסקה, בגובה מעל מרכזה: $E_z = 2\pi k d \sigma [\frac{1}{d} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + d^2}}] \hat{z}$ לוח אינסופי עם עובי d: $(x > d): E = 2\pi k \rho d = \frac{\rho}{2\epsilon_0} d \hat{z}$ $(x < d): E = \frac{\rho x}{\epsilon_0} \hat{z}$ קליפה כדורית בעלת רדיוס R ומטען Q: $(r > R): E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$, $(r < R): E = 0$ כדור מלא בעל מטען Q: $(r < R): E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0}$, $(r > R): E = \frac{kq}{r^2} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2} \hat{r}$ חצי כדור מלא (במרכז הבסיס) $E = \pi k \rho R$ גליל מלא בעל רדיוס R: $E_r = \frac{\rho_0 r}{2\epsilon_0} \hat{r} : (r < R)$ $E_r = \frac{\rho_0 R^2}{2\epsilon_0 r} \hat{r} : (r > R)$ קליפה גלילית בעלת רדיוס R: $(r < R) \rightarrow E = 0$, $(r > R) \rightarrow E = \frac{\sigma R}{\epsilon_0 r} \hat{r}$	הארכה: הארכה נעשית ע"י חיבור גוף טעון ומוליך לאדמה, כיוון שיש רצון בהשוואת פוטנציאלים וכיוון שרדיוס האדמה הוא אינסופי אז הפוטנציאל על הגוף המחובר יהיה גם אפס.
---	--

מתח (פוטנציאל) $w = -\int \vec{F} d\vec{l} = q\Delta V$ $\frac{w}{q} = -\int \vec{E} d\vec{l} = \Delta V$ $\oint_l \vec{E} d\vec{l} = 0$ - בתנאי שהשדה משמר $E = -\nabla V$ הגראד תמיד יהיה מאונך למשטח שווה הפוטנציאל. $\nabla^2 V = \frac{-\rho}{\epsilon_0}$ משוואת פואסון $V = -\int \vec{E} d\vec{l}$ משוואת לפלס: $\nabla^2 V = 0$, אם זה מתקיים אז אין צפיפות מטען במרחב שבו יצרנו את המשוואה. כלומר, האיזור הנבדק ריק ממטענים. טבעת טעונה (מעל ציר הסימטריה) $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\sqrt{z^2 + R^2}}$ מטען נקודתי $V = \frac{kq}{r}$ כדור מלא $v = \begin{cases} k \frac{Q}{r} & r \geq R \\ kQ \left(\frac{3}{2R} - \frac{r^2}{2R^3} \right) & r < R \end{cases}$ קליפה כדורית $(r > R): \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ $(r < R): \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$ קליפה גלילית $(r < R): v = 0$ $(r > R): \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \ln \left \frac{R}{r} \right$ גליל מלא $(r > R): -\frac{\rho_0 R^2}{2\epsilon_0} (\ln \left \frac{r}{R} \right + \frac{1}{2})$ $(r < R): -\frac{\rho_0}{4\epsilon_0} r^2$ לוח דק $V_{up} = -\frac{\sigma z}{2\epsilon_0}, V_{down} = \frac{\sigma z}{2\epsilon_0}$ לוח בעל עובי d $(z < d): -\frac{\rho_0}{2\epsilon_0} (z^2 - z)$ $(z > d): -\frac{\rho_0}{2\epsilon_0} (z - d)$ פונקציית הפוטנציאל חייבת להיות רציפה, כי השדה הוא נגזרת שלה ואם היא לא רציפה השדה אין סופי זה לא ייתכן.	המשך חוק הרציפות במצב יציב: $\nabla \cdot \vec{J} = 0$ כמו כן: $\oint_s \vec{J} d\vec{s} = -\frac{dQ_{in}}{dt}$
---	--

זרם $dI = \frac{dq}{dt}, I = \int \vec{J} d\vec{s}$ $\vec{J} = \sigma E = nq \vec{v}_d = \rho \vec{v}_d$ $V_d = \frac{\sigma E}{nq}$ התנגדות: $\sigma = \frac{1}{\rho_R}$ בהתנגדות קבועה: $R = \rho_R \frac{l}{S}$ התנגדות משתנה: $dR = \rho_r() \frac{dl}{ds}$ כאשר d הוא בכיוון הזרם ds ניצב אליו חוק אום: $IR = V$ חיבור טורי: (הזרם על כל הנגדים שווה) $V = V_1 + V_2 + V_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$ $R_T = \sum R_i$ $R = \int dR$ חיבור מקביל: (המתח על כל הנגדים שווה) $I = I_1 + I_2 + I_3 = V[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}]$ $\frac{1}{R_T} = \sum \frac{1}{R_i}$ $\frac{1}{R_T} = \int \frac{1}{dR}$ ה d מתייחס למקרים בהם ההתנגדות משתנה בתוך הנגד ואז זה כאילו חיבור נגדים בצורה רציפה חוק הרציפות (שימור מטען): $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0$ הסבר: החוק אומר ששינוי בצפיפות זרם יכול לקרות רק אם יש שינוי בצפיפות המטען ביחס למנכלומה אם יש שינוי בצפיפות הזרם ביחידת שטח באותה יחידת שטח נוסף נחסר מטען.	כדור מוליך $U_p = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 a}$ כדור מלא מבודד $U_p = \frac{3Q^2}{20\pi\epsilon_0}$
--	---

זרם בטבעת מסתובבת $I = \frac{Q}{T} = \frac{Q \cdot \omega}{2\pi}$ בדיסקה בעלת עובי s $I = \frac{\rho \omega D}{2} R^2$ בתנועה מעגלית: $I = Qf = \frac{Q}{T}$ כאשר s סך המטען בגוף. $\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T}$ הספק: $P = \frac{W_e}{\Delta t} = IV = \frac{V^2}{R} = I^2 R$ קיבול: $C = \frac{Q}{V} [F] = \frac{Q}{ \Delta V }$ כדור בעל רדיוס a $C = \frac{a}{k}$ קבל לוחות $C = \frac{A\epsilon_0}{d}$ קבל עם חומר דיאלקטרי שקול לחיבור בטור  קבל עם חומר דיאלקטרי שקול לחיבור במקביל  בין שני כדורים קונצנטריים $C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_a R_b}{R_b - R_a}$ $R_b > R_a$ קבל גלילי a<b רדיוסים פנימי וחיצוני $C = \frac{h}{2k \ln \frac{b}{a}}$ חיבור קבלים בטור: $\frac{1}{C_T} = \int \frac{1}{dc}$, $\frac{V_0}{Q} = \frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$ חיבור קבלים במקביל: $Q = Q_1 + Q_2 + \dots = V_0 [C_1 + C_2 + \dots]$ $C_T = \int dc$, $C_T = C_1 + C_2 + \dots$ אנרגיה: $F = \frac{dU_p}{dx}$ $U = \frac{1}{2} \int_v V(r) dq$ $dU_p = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 dv$ dv, הנפח בו נמצא השדה אנרגיה של קבל: $U_p = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{Q^2}{2C}$	המטען של אלקטרון זהה לזה של פרוטון (בערך מוחלט)
--	---

הקואורדינטות	קרטיזיות	גליליות	כדוריות
ערכים	(x, y, z)	(r, θ, z)	(r, θ, ϕ)
גרדיאנט	$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$	$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$	$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin(\theta)} \frac{\partial f}{\partial \phi} \hat{\phi}$
דיברגנץ	$\nabla \cdot f = \frac{\partial f_x}{\partial x} + \frac{\partial f_y}{\partial y} + \frac{\partial f_z}{\partial z}$	$\nabla \cdot f = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot f_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial f_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial f_z}{\partial z}$	$\nabla \cdot f = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \cdot f_r) + \frac{1}{r \sin(\theta)} \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin(\theta) f_\theta) + \frac{1}{r \sin(\theta)} \frac{\partial f_\phi}{\partial \phi}$
רוטור	$\nabla \times f = \left(\frac{\partial f_z}{\partial y} - \frac{\partial f_y}{\partial z} \right) \hat{x} + \left(\frac{\partial f_x}{\partial z} - \frac{\partial f_z}{\partial x} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial f_y}{\partial x} - \frac{\partial f_x}{\partial y} \right) \hat{z}$	$\nabla \times f = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial f_z}{\partial \theta} - \frac{\partial f_\theta}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial f_r}{\partial z} - \frac{\partial f_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r \cdot f_\theta - \frac{\partial f_r}{\partial \theta}) \right) \hat{z}$	$\nabla \times f = \frac{1}{r \sin(\theta)} \left(\frac{\partial}{\partial \theta} (\sin(\theta) f_\phi - \frac{\partial f_\phi}{\partial \phi}) \right) \hat{r} + \left(\frac{1}{r \sin(\theta)} \frac{\partial f_r}{\partial \phi} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r f_\phi) \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r \cdot f_\theta - \frac{\partial f_r}{\partial \theta}) \right) \hat{\phi}$
לפליסיאן	$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$	$\nabla^2 f = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial f}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 f}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$	$\nabla^2 f = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial f}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin(\theta)} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin(\theta) \frac{\partial f}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2(\theta)} \frac{\partial^2 f}{\partial \phi^2}$
טרנספורמציות		$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta, z = z$ $x^2 + y^2 = r^2, \tan \theta = \frac{y}{x}$	$x = r \sin \phi \cos \theta, y = r \sin \phi \sin \theta, z = r \cos \phi, x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ $\cos \theta = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \tan \phi = \frac{y}{x}, 0 \leq \phi \leq \pi, 0 \leq \theta \leq 2\pi$
dl	$dx\hat{x} + dy\hat{y} + dz\hat{z}$	$dr\hat{r} + rd\theta\hat{\theta} + dz\hat{z}$	$dr\hat{r} + rd\phi\hat{\phi} + r \sin \phi d\theta\hat{\theta}$
ds	$dydz\hat{x} + dx dz\hat{y} + dx dy\hat{z}$	$rd\theta dz\hat{r} + dr dz\hat{\theta} + r dr d\theta\hat{z}$	$r^2 \sin \phi d\phi d\theta\hat{r} + r \sin \phi dr d\theta\hat{\phi} + r dr d\phi\hat{\theta}$
dv	$dx dy dz$	$r dr d\theta dz$	$r^2 \sin \phi dr d\phi d\theta$
וקטורי יחידה	$\hat{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$	$\hat{x} = \cos \theta \hat{r} - \sin \theta \hat{\theta}$ $\hat{y} = \sin \theta \hat{r} + \cos \theta \hat{\theta}$ $\hat{z} = \hat{z}$	$\hat{x} = \sin \phi \cos \theta \hat{r} + \cos \phi \cos \theta \hat{\phi} - \sin \theta \hat{\theta}$ $\hat{y} = \sin \phi \sin \theta \hat{r} + \cos \phi \sin \theta \hat{\phi} + \cos \theta \hat{\theta}$ $\hat{z} = \cos \phi \hat{r} - \sin \phi \hat{\phi}$
שטחים ונפחים: שטח עיגול ברדיוס r : $A = \pi r^2$ הקף מעגל ברדיוס r : $P = 2\pi r$ מעטפת כדור ברדיוס r : $S = 4\pi r^2$ נפח כדור ברדיוס r : $V = \frac{4\pi r^3}{3}$ נפח גליל ברדיוס r בגובה h : $V = \pi r^2 h$ מעטפת גליל ברדיוס r בגובה h : $S = 2\pi r h$ אורך קשת: $dl = r d\theta$ $\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin \phi d\phi d\theta = 4\pi$		שדה מגנטי של דיסקה מסתובבת במהירות ω מעל ציר הסימטריה: $B = \frac{\mu_0 \sigma \omega}{2} \left(\frac{(\sqrt{R^2 + z^2} - z)^2}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right)$ שדה מגנטי בתוך טורואיד (סליל שסגרו אותו על עצמו): ($N =$ סה"כ הכריכות) $B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi r}$, (a<r<b), בשאר זה 0. שדה מגנטי בתוך צינור עם רדיוס פנימי וחיצוני b: $\hat{\theta} \left(\frac{r^2 - a^2}{2\pi r (b^2 - a^2)} \right) B = \mu_0 I$, (a < r < b),	
שדה מגנטי של תיל מוליך (במרחק r): $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{\theta}$		משוואות של תנועה הרמונית אם: $\ddot{x} = -\omega^2 x$ אז: $x = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t)$, כשבד"כ: $\omega = \frac{qb_0}{m}$ בתנועה מעגלית $F = \frac{mv^2}{R}$ (כוח מרכזי), תחת שדה מגנטי! $R = \frac{mv}{qB}$ תדירות הסיבוב (תחת שדה מגנטי): $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{qB}{m}$	
ש"מ במרכז סליל ארוך ℓ כריכות ליחידת אורך) $B = \mu_0 n I \hat{z} = \frac{\mu_0 N I}{L} \hat{z}$		שדה מגנטי במרכז כריכה מעגלית בעלת רדיוס a $B = \frac{\mu_0 I}{2a} \hat{r}$	
כוח על תיל בשדה מגנטי $F = BIL \sin \alpha$		כוח בין תילים מקבילים נושאי זרם $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$	

$$E = \frac{\vec{D} - \vec{P}}{\epsilon_0}$$

(השדה בתוך תווך דיאלקטרי)
וקטור העתקה:
 $D = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$
 $\oint_s \vec{D} ds = Q_f, \nabla D = \rho_f$
במעבר מתווך לתווך
 $\frac{D_{T1}}{D_{T2}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}, D_{N2} - D_{N1} = \sigma_f$

דיפול: $\vec{p} = q\vec{d}$ כאשר **הולך מהמינוס לפלוס.**
 $V = \frac{k \cdot \vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3} = \frac{k \cdot \vec{p} \cdot \hat{r}}{r^2}$
פולאריזציה:
 $\vec{P} = n\vec{p} = D - \epsilon_0 \vec{E}$
 $\vec{\nabla} \vec{P} = -\rho_p$ (הצטברות מטעבותוך החומר)
 $\sigma_p = \vec{P} \hat{n}$ (הצטברות מטעמל השפה)
 $\hat{n}$ וקטור המאונך לשפה)

הערה: הפוטנציאל והשדה המחושים כתוצאה מדיפול בודד מחושב בקירוב) רק במרחק $r \gg d$

מגנטיות
כוח לורנץ: $F = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
 $d\vec{F} = I \cdot d\vec{l} \times \vec{B}$
חוק ביו סבר:
 $d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$
חוק אמפר לפלס:
 $B = \frac{\mu I}{4\pi} \int_L \frac{dl \times \hat{r}}{r^2} [T]/[10^4 G]$

הסבר:
I הוא הזרם שנמצא בתוך השטח שהמסלול עוטף, אם אין זרם הוא יהיה שווה לאפס. אם רוצים להוציא את B בעזרת האינטגרל צריך לבחור מסלול כך ש B- קבוע לאורך, זו מעטפת אימפריאלית.

$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$

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

ריכוז נוסחאות נוספות

שדה מגנטי שיוצר תיל סופי (d הוא המרחק מהתיל):

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi d} I (\sin \alpha + \sin \beta) (\hat{\theta})$$

שדה מגנטי של לוח אינסופי בעל עובי d (K - זרם ליחידת



אורך): $\vec{B} = \frac{1}{2} \mu_0 J \cdot d$; $K = J \cdot d$

שדה מגנטי בתוך סליל סופי:

$$\vec{B} = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot I \cdot n \cdot (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) \hat{z}$$

פוטנציאל וקטורי:

$$A = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{l}}{r}$$

כאשר dl בכיוון הזרם (כלומר, A תמיד בכיוון

$$B = \nabla \times A, \int \vec{B} d\vec{s} = \int \vec{A} d\vec{l}$$

הזרם), כמו כן:

סיכום חוקי מקסוול לשדות משתנים בזמן:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d}{dt} \vec{B}, -\frac{d}{dt} \int \vec{B} d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \phi_B \quad 1.$$

$$\int \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 [I_c + \varepsilon \frac{d}{dt} \phi_e] = \mu_0 [I_c + I_d] \quad 2.$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 [J_c + \varepsilon \dot{E}] = \mu_0 [J_c + J_d]$$

נשים לב שבעצם מה שזה אומר ששינוי בשדה המגנטי בזמן שגורם לשינוי בשטף המגנטי בזמן, גורם לשדה חשמלי (זה נקרא שדה חשמלי מושרה).
וכן להיפך, שדה חשמלי משתנה שגדל (שטף חשמלי גדל) יוצר **זרם העתקה** בכיוונו. שדה חשמלי משתנה שקטן יוצר זרם העתקה בניגוד לכיוון השדה.

$$\nabla [\vec{J}_c + \vec{J}_d] = 0$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V - \dot{\vec{A}}$$

כמו כן:

חוק פרדיי + עבודה ליחידת דרך:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt} \phi_B = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} d\vec{s} = \oint \vec{E} d\vec{l}$$

השדה E בנוסחא למעלה הוא השדה **בתוך** החומר (שדה מושרה שנוצר מהכא"מ המושרה וגורם לזרם)

הספק מכני = הספק חשמלי (R - התנגדות, v - מהירות):

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = I^2 \cdot R = \frac{(v \cdot B \cdot l)^2}{R}$$

המשך חוקי הרציפות (במעבר מתווך לתווך)

$$\frac{J_{1T}}{\sigma_1} = \frac{J_{2T}}{\sigma_2} \rightarrow \frac{J_{1T}}{J_{2T}} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}, \quad J_{1N} = J_{2N}$$

(σ = מוליכות)

$$\sigma_f = J_{1N} \left[\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1} - \frac{\varepsilon_2}{\sigma_2} \right], \quad t = \frac{\varepsilon_1}{\sigma_1}$$

(הסבר: הצטברות המטען בין תווך לתווך שווה להפרש בין זמני הרלקסציות כפול צפיפות הזרם בתווך הראשון)

נגדיר: $H = \frac{B}{\mu}$, במעבר מתווך לתווך:

$$H_{1T} - H_{2T} = if, \quad \frac{H_{1N}}{H_{2N}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}, \quad \frac{B_{1T}}{\mu_1} - \frac{B_{2T}}{\mu_2} = i_f, \quad B_{1N} = B_{2N}$$

$$\int \vec{H} d\vec{l} = I_f$$

ובסה"כ:

צפיפות אנרגיה כללית:

$$U = \int u dv \quad \text{ואז} \quad u = \frac{1}{2} \varepsilon E^2 + \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H}$$

כא"מ בסליל סופי (n - ליפופים ליח' אורך):

$$\varepsilon = -\mu_0 \cdot n \cdot S \cdot \frac{dI}{dt} \cdot n \cdot l = -L \frac{dI}{dt}$$

$$\phi_B = L \cdot I, \quad \varepsilon = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

L - השראה עצמית:

$$L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot S \cdot l$$

הערות:

1. בנגדים תמיד קיים שדה חשמלי אחיד **משמר** בגלל פיזור מטען.
למעשה מצטבר בנגד מטען חיובי בצד אחד ומטען שלילי בצד השני כך שנוצר עליו מפל מתח ובתוכו נוצר שדה אחיד **בכיוון הזרם**. גודל השדה יהיה $E = \frac{V}{d} = \sigma J$ (הדבר הזה נכון גם לכל קבל שלאורכו השדה אחיד).

2. לשים לב תמיד טוב לסימנים של dl וds. לזכור ש dl תמיד בכיוון התנועה ו ds - כלפי חוץ. כמו כן כשיש הקבלה בין ds ל dl - לזכור תמיד שהכיוון החיובי של dl הוא רגל שמאל בתוך הבוץ.

$$\nabla \cdot (\vec{\nabla} \times A) = 0 \quad [div(curl A) = 0]$$

$$\nabla \times (\vec{\nabla} \cdot U) = 0 \quad [curl(grad U) = 0] \quad 3.$$

אינטגרלים		טריגו
1. $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + c, \quad n \neq -1$	2. $\int x^{-1} dx = \ln x + c$	1. $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$
3. $\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + c$	4. $\int e^x dx = e^x + c$	3. $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$
5. $\int \sinh x dx = \cosh x + c$	6. $\int \cosh x dx = \sinh x + c$	5. $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$
7. $\int \csc h^2 x dx = -\coth x + c$	8. $\int \sec h^2 x dx = \tanh x + c$	7. $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)$
9. $\int \tanh x dx = \ln \cosh x + c$	10. $\int \coth x dx = \ln \sinh x + c$	9. $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)$
11. $\int \sin x dx = -\cos x + c$	12. $\int \cos x dx = \sin x + c$	11. $\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin\left(\frac{\alpha \pm \beta}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha \mp \beta}{2}\right)$
13. $\int \csc^2 x dx = -\cot x + c$	14. $\int \sec^2 x dx = \tan x + c$	13. $\tan \alpha \pm \tan \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$
15. $\int \tan x dx = -\ln \cos x + c$	16. $\int \cot x dx = \ln \sin x + c$	14. $1 + \tan^2 \alpha = \sec^2 \alpha$
17. $\int \csc x dx = \ln \tan \frac{x}{2} + c$	18. $\int \sec x dx = \ln(\tan x + \sec x) + c$	16. $\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}(1 - \cos \alpha)$
19. $\int \frac{dx}{x^2 - a^2} = \frac{1}{2a} \ln\left(\frac{x-a}{x+a}\right) + c$	20. $\int \frac{dx}{x^2 + a^2} = \frac{1}{a} \arctan \frac{x}{a} + c$	18. $\tan^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}$
21. $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \arcsin \frac{x}{a} + c$	22. $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2 - a^2}} = \frac{1}{a} \operatorname{arcsec} \frac{x}{a} + c$	19. $\sin^4 \alpha + \cos^4 \alpha = 1 - \frac{1}{2} \sin^2 2\alpha$
23. $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) + c$	24. $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 - a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 - a^2}) + c$	21. $\cosh^2 \alpha - \sinh^2 \alpha = 1$
דיפרנציאלים		22. $1 - \tanh^2 \alpha = \cosh^{-2} \alpha$
3. $\frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$	1. $\frac{d}{dx}(x^n) = nx^{n-1}$	2. $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$
5. $\frac{d}{dx}(\cot x) = -\frac{1}{\sin^2 x}$	2. $\frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x$	4. $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$
7. $\frac{d}{dx}(\arccos x) = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	4. $\frac{d}{dx}(\operatorname{tg} x) = \frac{1}{\cos^2 x}$	6. $\tan 2\alpha = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha}$
9. $\frac{d}{dx}(\operatorname{arc} \cot x) = -\frac{1}{1+x^2}$	6. $\frac{d}{dx}(\arcsin x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	8. $\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$
11. $\frac{d}{dx}(a^x) = a^x \ln a$	8. $\frac{d}{dx}(\operatorname{arctg} x) = \frac{1}{1+x^2}$	10. $\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$
13. $\frac{d}{dx}(f \cdot g) = \frac{df}{dx}g + f \frac{dg}{dx}$	10. $\frac{d}{dx}(\log_a x) = \frac{1}{x} \log_a e$	12. $\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2}[\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)]$
3. $\frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$	12. $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du} \frac{du}{dx}$	15. $1 + \cot^2 \alpha = \csc^2 \alpha$
5. $\frac{d}{dx}(\cot x) = -\frac{1}{\sin^2 x}$	14. $\frac{d}{dx}\left(\frac{f}{g}\right) = \frac{f'g - fg'}{g^2}$	17. $\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}(1 + \cos \alpha)$
2. $\frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x$	14. $\frac{d}{dx}(x^n) = nx^{n-1}$	20. $\sin^6 \alpha + \cos^6 \alpha = 1 - \frac{3}{4} \sin^2 2\alpha$
4. $\frac{d}{dx}(\operatorname{tg} x) = \frac{1}{\cos^2 x}$		23. $\coth^2 \alpha - 1 = \sinh^2 \alpha$

יחידות			
יחס	cgs	mks	
$N = 10^5 \text{ dyne}$	dyne	ניוטון	כוח
$m = 100 \text{ cm}$	סנטימטר	מטר	מרחק
$kg = 1000 \text{ gram}$	גרם	ק"ג	מסה
	dyne / esu	$\frac{N}{C}$	שדה חשמלי
$C = 3 \cdot 10^9 \text{ esu}$	esu	C - coulomb	מטען
$J = 10^7 \text{ erg}$	erg	Joule	עבודה W אנרגיה
$V = \frac{1}{300} \text{ statvolt}$	statvolt	Volt	פוטנציאל חשמלי ϕ, ϵ, V
$W = 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{sec}}$	$\frac{\text{erg}}{\text{sec}}$	Watt ואט	הספק
$F = 9 \cdot 10^{11} \text{ cm}$	סנטימטר	$\frac{\text{coulomb}}{\text{Volt}} = \text{Farad}$	קיבול (תמיד חיובי)
	$\frac{\text{esu}}{\text{sec cm}^2}$	$\frac{C}{\text{sec m}^2} = \frac{A}{m^2}$	N צפיפות זרם
$A = 3 \cdot 10^9 \frac{\text{esu}}{\text{sec}}$	$\frac{\text{esu}}{\text{sec}}$	$\frac{C}{\text{sec}} = \text{Amper}$	I זרם
	$\frac{1}{\text{sec}}$	$\frac{A}{Vm} = \frac{1}{\Omega m}$	σ - מוליכות סגולית
	$\frac{\text{sec}}{\text{cm}}$	Ω	R התנגדות
$T = 10^4 \text{ Gauss}$	$\text{Gauss} = \frac{\text{dyne}}{\text{esu}}$	$T_{[\text{Tesla}]} = \frac{c / m^2}{m / \text{sec}}$	B שדה מגנטי
$Wb = 10^8 \frac{\text{Gauss}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{Gauss}}{\text{cm}^2}$	Wb וובר	שטף מגנטי Φ
$H = 1.113 \cdot 10^{-12} \frac{\text{sec}^2}{\text{cm}}$	$\frac{\text{sec}^2}{\text{cm}}$	H (הנרי)	מקדם השראות M

Operation	Spherical coordinates (r, θ, ϕ)
Definition of coordinates	$\begin{aligned} x &= r \sin \theta \cos \phi \\ y &= r \sin \theta \sin \phi \\ z &= r \cos \theta \end{aligned}$
	$\begin{aligned} \rho &= r \sin(\theta) \\ \phi &= \phi \\ z &= r \cos(\theta) \end{aligned}$
Definition of unit vectors	$\begin{aligned} \hat{x} &= \sin \theta \cos \phi \hat{r} + \cos \theta \cos \phi \hat{\theta} - \sin \phi \hat{\phi} \\ \hat{y} &= \sin \theta \sin \phi \hat{r} + \cos \theta \sin \phi \hat{\theta} + \cos \phi \hat{\phi} \\ \hat{z} &= \cos \theta \hat{r} - \sin \theta \hat{\theta} \end{aligned}$
	$\begin{aligned} \hat{\rho} &= \sin \theta \hat{r} + \cos \theta \hat{\theta} \\ \hat{\phi} &= \hat{\phi} \\ \hat{z} &= \cos \theta \hat{r} - \sin \theta \hat{\theta} \end{aligned}$

Operation	Cylindrical coordinates (ρ, ϕ, z)
Definition of coordinates	$\begin{aligned} x &= \rho \cos \phi \\ y &= \rho \sin \phi \\ z &= z \end{aligned}$
	$\begin{aligned} r &= \sqrt{\rho^2 + z^2} \\ \theta &= \arctan(\rho/z) \\ \phi &= \phi \end{aligned}$
Definition of unit vectors	$\begin{aligned} \hat{x} &= \cos \phi \hat{\rho} - \sin \phi \hat{\phi} \\ \hat{y} &= \sin \phi \hat{\rho} + \cos \phi \hat{\phi} \\ \hat{z} &= \hat{z} \end{aligned}$
	$\begin{aligned} \hat{r} &= \frac{\rho}{r} \hat{\rho} + \frac{z}{r} \hat{z} \\ \hat{\theta} &= \frac{z}{r} \hat{\rho} - \frac{\rho}{r} \hat{z} \\ \hat{\phi} &= \hat{\phi} \end{aligned}$

Operation	Cartesian coordinates (x, y, z)
Definition of coordinates	$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ \phi &= \arctan(y/x) \\ z &= z \end{aligned}$
	$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta &= \arctan\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right) \\ \phi &= \arctan(y/x) \end{aligned}$
Definition of unit vectors	$\begin{aligned} \hat{\rho} &= \frac{x}{\rho} \hat{x} + \frac{y}{\rho} \hat{y} \\ \hat{\phi} &= -\frac{y}{\rho} \hat{x} + \frac{x}{\rho} \hat{y} \\ \hat{z} &= \hat{z} \end{aligned}$
	$\begin{aligned} \hat{r} &= \frac{x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}}{r} \\ \hat{\theta} &= \frac{xz\hat{x} + yz\hat{y} - \rho^2\hat{z}}{r\rho} \\ \hat{\phi} &= \frac{-y\hat{x} + x\hat{y}}{\rho} \end{aligned}$

