# 1 דף נוסחאות

## אלקטרוסטטיקה

**חוק קולון**

$$\vec{F}_{21} = k\frac{q_1 q_2}{\left|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right|^3}\left(\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right) \qquad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \tag{1}$$

**כוח הפועל על מטען בשדה**

$$\vec{F} = q\vec{E} \tag{2}$$

**שדה חשמלי של מטען נקודתי בראשית (N/C, V/m)**

$$\vec{E}\left(\vec{r}\right) = \frac{kq}{r^2}\hat{r} \tag{3}$$

**פרוסת מטען**

$$\mathrm{d}q = \rho \mathrm{d}V = \sigma \mathrm{d}A = \lambda \mathrm{d}l, \tag{4}$$

כאשר $\lambda$ צפיפות מטען קווית, $\sigma$ צפיפות מטען משטחית ו-$\rho$ צפיפות מטען נפחית

**שדה חשמלי של התפלגות מטען**

$$\vec{E}\left(\vec{r}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\left(\vec{r} - \vec{r}'\right)\mathrm{d}q\left(\vec{r}'\right)}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|^3} \tag{5}$$

**מומנט דיפול חשמלי - פילוג מטענים נקודתיים**

$$\vec{p} = \sum_i q_i \vec{r}_i \tag{6}$$

**מומנט דיפול חשמלי - פילוג מטען רציף**

$$\vec{p} = \int \vec{r}\mathrm{d}q\left(\vec{r}\right) \tag{7}$$

**שדה חשמלי של דיפול/גוף מקוטב ניטרלי (רחוק מהדיפול)**

$$\vec{E} = \frac{k}{r^3}\left(3\left(\hat{r}\cdot\vec{p}\right)\hat{r} - \vec{p}\right) \tag{8}$$

**פוטנציאל חשמלי (V)**

$$V\left(\vec{r}\right) = -\int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}}\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{l} \tag{9}$$

כאשר $\vec{r}_0$ היא נקודת הכיול או הייחוס.

**הפרש פוטנציאלים / מתח (V)**

$$V\left(\vec{r}_b\right) - V\left(\vec{r}_a\right) = -\int_{\vec{r}_a}^{\vec{r}_b}\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{l} \tag{10}$$

**פוטנציאל חשמלי של מטען נקודתי בראשית (כיול באינסוף)**

$$V\left(\vec{r}\right) = \frac{kq}{r} \tag{11}$$

**פוטנציאל חשמלי של דיפול/גוף מקוטב ניטרלי (רחוק מהדיפול)**

$$V\left(\vec{r}\right) = \frac{k\vec{p}\cdot\hat{r}}{r^2} \tag{12}$$

**פוטנציאל חשמלי של התפלגות מטען (כיול באינסוף)**

$$V\left(\vec{r}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\mathrm{d}q\left(\vec{r}'\right)}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|} \tag{13}$$

**קשר בין פוטנציאל חשמלי לשדה חשמלי**

$$\vec{E} = -\nabla V \tag{14}$$

**אנרגיה פוטנציאלית של חלקיק בשדה חשמלי <u>חיצוני</u>**

$$U\left(\vec{r}\right) = qV\left(\vec{r}\right) \tag{15}$$

**אנרגיה פוטנציאלית של דיפול בשדה חשמלי <u>חיצוני</u>**

$$U\left(\vec{r}\right) = -\vec{p}\cdot\vec{E}\left(\vec{r}\right) \tag{16}$$

**אנרגיה פוטנציאלית של הרכבת פילוג מטענים נקודתיים**

$$U = \frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\sum_{i\neq j}\frac{q_i q_j}{\left|\vec{r}_i - \vec{r}_j\right|} \tag{17}$$

**אנרגיה של הרכבת פילוג מטען רציף**

$$U_E = \frac{1}{2}\int V\left(\vec{r}\right)\mathrm{d}q\left(\vec{r}\right) \tag{18}$$

**אנרגיה חשמלית**

$$U_E = \frac{\varepsilon_0}{2}\int\kappa\left(\vec{r}\right)\vec{E}\cdot\vec{E}\,\mathrm{d}V, \tag{19}$$

כאשר $\kappa\left(\vec{r}\right) \geq 1$ זה מקדם דיאלקטרי. בריק $\kappa\left(\vec{r}\right) = 1$.

**אנרגיה פוטנציאלית של טעינת/הרכבת מוליך יחיד**

$$U = \frac{1}{2} V Q \tag{20}$$

כאשר $V$ זה פוטנציאל המוליך ו-$Q$ המטען שלו.

**מומנט כוח/סיבוב של דיפול חשמלי בשדה חשמלי**

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \tag{21}$$

**חוק גאוס**

$$\oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_{\text{in}}}{\varepsilon_0} \tag{22}$$

**חוק גאוס עם חומר דיאלקטרי**

$$\oint \kappa\left(\vec{r}\right) \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q^{\text{in}}_{\text{free}}}{\varepsilon_0} \tag{23}$$

כאשר $\kappa\left(\vec{r}\right) \geq 1$ זה מקדם דיאלקטרי. בריק $\kappa\left(\vec{r}\right) = 1$, ו-$Q_{\text{free}}$ זהו המטען החופשי (לא כולל מטען מושרה בחומר הדיאלקטרי).

**חוק הסירקולציה של שדה חשמלי**

$$\oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = 0 \tag{24}$$

## מגנטוסטטיקה

**צפיפות זרם נפחית ($A/m^2$)**

$$\vec{J} = \rho_q \vec{v} \tag{25}$$

כאשר $\rho_q$ זה צפיפות המטען הנפחית של נושאי המטען

**צפיפות זרם משטחית ($A/m$)**

$$\vec{\mathcal{J}} = \sigma_q \vec{v} \tag{26}$$

כאשר $\sigma_q$ זה צפיפות המטען המשטחית של נושאי המטען

**זרם ($A = C/s$)**

$$I = \frac{dQ_{\text{passed}}}{dt} = \begin{cases} \lambda_q v & \text{חוט חד ממדי} \\ \int \vec{\mathcal{J}} \cdot \hat{n} \mathrm{d}\vec{l} & \text{משטח} \\ \int \vec{J} \cdot \mathrm{d}\vec{A} & \text{גוף תלת ממדי} \end{cases} \tag{27}$$

כאשר $Q_{\text{passed}}$ זה המטען שעובר דרך מד הזרם ו-$\lambda_q$ זה צפיפות המטען האורכית של נושאי המטען.

**חוק שימור הזרם**

$$\oint_S \vec{J} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = -\frac{dQ_{\text{in}}}{dt}, \tag{28}$$

כאשר $Q_{\text{in}}$ זה סה"כ המטען החשמלי בתוך המשטח הסגור $S$.

**חוק אוהם**

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = \varrho^{-1} \vec{E}$$
$$\vec{E} = \varrho \vec{J} \tag{29}$$

כאשר $\sigma$ זה *מוליכות סגולית* עם יחידות של $\left(\Omega \cdot m\right)^{-1}$ ו-$\varrho$ זה *התנגדות סגולית* עם יחידות של $\Omega \cdot m$

**כוח לורנץ**

$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right) \tag{30}$$

**פרוסת זרם**

$$\vec{v} dq = I\, d\vec{l} = \vec{\mathcal{J}}\, dA = \vec{J}\, dV \tag{31}$$

**כוח על פילוג זרם בשדה מגנטי**

$$\vec{F} = \begin{cases} I \int \mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B} & \text{חוט חד ממדי} \\ \int \vec{\mathcal{J}} \times \vec{B}\, \mathrm{d}A & \text{משטח} \\ \int \vec{J} \times \vec{B}\, \mathrm{dV} & \text{גוף תלת ממדי} \end{cases} \tag{32}$$

**כוח על תיל נושא זרם בשדה מגנטי אחיד**

$$\vec{F} = I\left(\int_{\vec{r}_i}^{\vec{r}_f} \vec{dl}\right) \times \vec{B} = I\left(\vec{r}_f - \vec{r}_i\right) \times \vec{B} \tag{33}$$

**מומנט דיפול מגנטי של פילוג זרם**

$$\vec{m} = \begin{cases} I \oint \mathrm{d}\vec{A} & \text{חוט חד ממדי} \\ \frac{1}{2} \int \vec{r} \times \vec{\mathcal{J}} \mathrm{d}A & \text{משטח} \\ \frac{1}{2} \int \vec{r} \times \vec{J} \mathrm{d}V & \text{גוף תלת ממדי} \end{cases} \tag{34}$$

**מומנט כוח/סיבוב על דיפול מגנטי בשדה מגנטי חיצוני**

$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B} \tag{35}$$

**אנרגיה פוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי חיצוני**

$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B} \tag{36}$$

**חוק ביו סבר לפילוג זרם**

$$\vec{B}\left(\vec{r}\right) = \begin{cases} \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{\mathrm{d}\vec{l} \times \left(\vec{r} - \vec{r}'\right)}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|^3} & \text{חוט חד ממדי} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{\mathcal{J}} \times \left(\vec{r} - \vec{r}'\right) \mathrm{d}A}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|^3} & \text{משטח} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{J} \times \left(\vec{r} - \vec{r}'\right) \mathrm{dV}}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|^3} & \text{גוף תלת ממדי} \end{cases} \tag{37}$$

**חוק אמפר**

$$\oint_{\partial S} \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot \mathrm{d}\vec{A} \tag{38}$$

כאשר $S$ זה משטח פתוח ו-$\partial S$ השפה שלו. אם האצבעות של יד ימין מראות את כיוון ההליכה על $\partial S$ אז האגודל מראה את כיוון הנורמאל של המשטח $S$.

**חוק גאוס מגנטי**

$$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = 0 \tag{39}$$

**אנרגיה מגנטית**

$$U_B = \frac{1}{2\mu_0} \int \frac{\vec{B} \cdot \vec{B}}{\mu} \mathrm{d}V, \tag{40}$$

כאשר $0 \le \mu(\vec{r})$ זהו קבוע הפרמיאביליות של החומר. בריק $\mu = 1$.

**שטף מגנטי**

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A} \tag{41}$$

**חוק פאראדיי-לנץ**

$$\mathcal{E} = -\frac{\mathrm{d}\Phi_B}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \int \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A}, \tag{42}$$

כאשר האצבעות הולכות בכיוון חישוב הכא"מ והאגודל מציין את הכיוון של $d\vec{A}$.

**כא"מ תנועתי**

$$\mathcal{E} = \oint_C \left(\vec{v}_{\text{wire}} \times \vec{B}\right) \cdot d\vec{l}, \tag{43}$$

כאשר $\vec{v}_{\text{wire}}$ זאת מהירות התיל והשדה המגנטי לא משתנה עם הזמן.

**כא"מ תנועתי של תיל בשדה מגנטי אחיד**

$$\mathcal{E} = \left[\left(\vec{r}_f(t) - \vec{r}_i(t)\right) \times \vec{v}_{\text{wire}}\right] \cdot \vec{B}, \tag{44}$$

כאשר $\vec{v}_{\text{wire}}$ זאת מהירות כל נקודות התיל שנמצא בתוך שדה מגנטי אחיד. $\vec{r}_i(t)$ זאת נקודת ההתחלה ו-$\vec{r}_f(t)$ זאת נקודת הסוף.

**זרם העתק**

$$I_d = \varepsilon_0 \int \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{A} \tag{45}$$

**משוואות מקסוול בכתיב אינטגרלי**

$$\oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_{\text{in}}}{\varepsilon_0}$$
$$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = 0$$
$$\oint_{\partial S} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$$
$$\oint_{\partial S} \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \int_S \left(\vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) \cdot \mathrm{d}\vec{A}$$

**מהירות האור**

$$c^2 = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}$$

## מעגלים חשמליים

**כוח אלקטרו-מניע**

$$\mathcal{E} = -\frac{1}{q} \int_-^+ \vec{F}_{nc} \cdot d\vec{l} \qquad q > 0 \tag{46}$$

**קיבול ( F)**

$$C = \frac{Q}{V} \qquad C > 0 \tag{47}$$

**חיבור קבלים במקביל**

$$C_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^{N} C_i \tag{48}$$

**חיבור קבלים בטור**

$$\frac{1}{C_{\text{eff}}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i} \tag{49}$$

**אנרגיה אגורה בקבל**

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} C V^2 \tag{50}$$

**התנגדות ($\Omega$ = אוהם)**

$$R = \frac{V}{I} \qquad R > 0 \tag{51}$$

**חיבור נגדים במקביל**

$$\frac{1}{R_{\text{eff}}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i} \tag{52}$$

**חיבור נגדים בטור**

$$R_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^{N} R_i \tag{53}$$

**הספק על רכיב חשמלי עם מפל מתח V**

$$P = IV \tag{54}$$

**הספק של מקור מתח**

$$P_{\mathcal{E}} = \mathcal{E}^* I \tag{55}$$

כאשר $\mathcal{E}^*$ זהו הכא"מ של מקור המתח. לוקחים $\mathcal{E}^* = -\mathcal{E}$, עבור זרם היוצא מההדק שלילי של הסוללה.

**השראות עצמית**

$$L = \frac{\Phi_B}{I} \qquad L > 0 \tag{56}$$

**מפל מתח על משרן**

$$V_L = L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \tag{57}$$

**חיבור משרנים במקביל**

$$\frac{1}{L_{\text{eff}}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{L_i} \tag{58}$$

**חיבור משרנים בטור**

$$L_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^{N} L_i \tag{59}$$

**אנרגיה אגורה במשרן**

$$U_B = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{\Phi^2}{2L} \tag{60}$$

**טעינת קבל**

$$\frac{dQ}{dt} = \mathcal{E} - \frac{Q}{\tau_{RC}} \qquad \tau_{RC} = RC$$
$$Q(t) = \mathcal{E}C\left(1 - e^{-t/\tau_{RC}}\right) \tag{61}$$

**פריקת קבל**

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{\tau_{RC}} \qquad \tau_{RC} = RC$$
$$Q(t) = \mathcal{E}C\, e^{-t/\tau_{RC}} \tag{62}$$

**טעינת משרן**

$$\frac{dI}{dt} = \mathcal{E} - \frac{I}{\tau_{RL}} \qquad \tau_{RL} = L/R$$
$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R}\left(1 - e^{-t/\tau_{RL}}\right) \tag{63}$$

**פריקת משרן**

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{I}{\tau_{RL}} \qquad \tau_{RL} = L/R$$
$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R}\, e^{-t/\tau_{RL}} \tag{64}$$

**תדירות תנודות במעגל LC**

$$\omega_{LC} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{65}$$

**זמן מחזור של תנודות**

$$T = \frac{2\pi}{\omega_{LC}} \tag{66}$$

**חוק הסירקולציה למעגלים**

$$\sum_i \mathcal{E}_i^* = \sum_k I_k^* R_k + \sum_k \frac{Q_k^*}{C_k} + \sum_k L_k \frac{\mathrm{d}I_k^*}{\mathrm{d}t} \tag{67}$$

* - מזכירה לנו לקחת את הגודל עם סימן שלילי עם בחרנו ללכת נגד הכא"מ או נגד כיוון הזרם

## חומרים מגנטיים

**חוק אמפר בחומר מגנטי**

$$\oint_{\partial S} \frac{\vec{B}}{\mu} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J}_{\text{ext}} \cdot \mathrm{d}\vec{A} \tag{68}$$

כאשר $\mu(\vec{r}) \geq 0$ זה קבוע פרמיאביליות. ו-$\vec{J}_{\text{ext}}$ זהו הזרם החיצוני (לא כולל זרם מושרה בחומר המגנטי). בריק $\mu(\vec{r}) = 1$.

**חומר פרומגנטי**

$$\mu \gg 1 \tag{69}$$

נמשך למקורות שדה מגנטי.

**חומר דיאמגנטי**

$$0 \leq \mu < 1 \tag{70}$$

נדחה ממקורות שדה מגנטי.

**חומר פאראמגנטי**

$$\mu \geq 1 \tag{71}$$

נמשך למקורות שדה מגנטי.

**חומר על-מוליך**

$$B = 0 \qquad E = 0 \qquad \mu = 0 \qquad \text{בתוך העל-מוליך} \tag{72}$$

שטף שדה מגנטי דרך לולאה על-מוליכה,

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = 0. \tag{73}$$

## דינמיקה

**תאוצה צנטריפטלית (תנועה מעגלית)**

$$a_r = \frac{v^2}{R} \tag{74}$$

**מהירות זוויתית (תנועה מעגלית)**

$$\omega = \frac{v}{R} \tag{75}$$

**הספק רגעי - תנועה על מסלול**

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} \tag{76}$$

**הספק רגעי - תנועה סיבובית**

$$P = \vec{\tau} \cdot \vec{\omega} \tag{77}$$

כאשר $\vec{\tau}$ זה מומנט הכוח ו-$\omega$ זה מהירות זויתית ברדיאנים ליחידת זמן

**אנרגיה קינטית**

$$U_{\mathrm{k}} = \frac{1}{2} m \left| \vec{v} \right|^2 \tag{78}$$

**עבודה**

$$W = \int_{t_i}^{t_f} P\left(t'\right) \mathrm{d}t' = \int_{\vec{r}(t_i)}^{\vec{r}(t_f)} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{l} \tag{79}$$

**חוק הסירקולציה לכוחות משמרים**

$$\oint \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = 0 \tag{80}$$

**משפט עבודה אנרגיה**

$$E_f - E_i = W_{\text{לא משמר}} \tag{81}$$

## זהויות מתמטיות

**טור טיילור**

$$f\left(x\right) = f\left(x_0\right) + f'\left(x_0\right)\left(x - x_0\right) + \frac{1}{2!} f''\left(x_0\right)\left(x - x_0\right)^2 + \cdots \tag{82}$$

**קואורדינטות קרטזיות**

$$\begin{aligned}
\vec{r} &= (x, y, z) \\
\hat{x} &= (1, 0, 0) \\
\hat{y} &= (0, 1, 0) \\
\hat{z} &= (0, 0, 1) \\
\mathrm{d}\vec{l} &= (\mathrm{d}x, \mathrm{d}y, \mathrm{d}z) \\
d\vec{A} &= (\mathrm{d}y\mathrm{d}z, \mathrm{d}x\mathrm{d}z, \mathrm{d}x\mathrm{d}y) \\
\mathrm{dV} &= \mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}z \\
\nabla f &= \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z}\right) \\
\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z} \qquad & \hat{z} \times \hat{x} = \hat{y} \qquad \hat{y} \times \hat{z} = \hat{x}
\end{aligned} \tag{83}$$

**קואורדינטות ספריות**

$$\begin{aligned}
r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \qquad 0 \leq r < \infty \\
\varphi &= \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \qquad 0 \leq \varphi < 2\pi \\
\theta &= \arctan\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right) \qquad 0 \leq \theta < \pi \\
\vec{r} &= (r \sin\theta \cos\varphi, r \sin\theta \sin\varphi, r \cos\theta) \\
\hat{r} &= (\sin\theta \cos\varphi, \sin\theta \sin\varphi, \cos\theta) \\
\hat{\theta} &= (\cos\theta \cos\varphi, \cos\theta \sin\varphi, -\sin\theta) \\
\hat{\varphi} &= (-\sin\varphi, \cos\varphi, 0) \\
\mathrm{d}\vec{l} &= \mathrm{d}r\, \hat{r} + r\mathrm{d}\theta\, \hat{\theta} + r \sin\theta \mathrm{d}\varphi\, \hat{\varphi} \\
d\vec{A} &= r^2 \sin\theta \mathrm{d}\varphi \mathrm{d}\theta\, \hat{r} + r\mathrm{d}r\mathrm{d}\theta\, \hat{\varphi} + r \sin\theta \mathrm{d}r\mathrm{d}\varphi\, \hat{\theta} \\
\mathrm{dV} &= r^2 \sin\theta\, \mathrm{d}r\mathrm{d}\theta\mathrm{d}\varphi \\
\nabla f &= \frac{\partial f}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r \sin\theta}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\hat{\varphi} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\hat{\theta} \\
\hat{r} \times \hat{\theta} = \hat{\varphi} \qquad & \hat{\varphi} \times \hat{r} = \hat{\theta} \qquad \hat{\theta} \times \hat{\varphi} = \hat{r}
\end{aligned} \tag{84}$$

**קואורדינטות גליליות**

$$r=\sqrt{x^2+y^2} \qquad 0\le r<\infty \tag{85}$$
$$\varphi=\arctan\left(\frac{y}{x}\right) \qquad 0\le\varphi<2\pi$$
$$z=z \qquad -\infty<z<\infty$$
$$\vec{r}=(r\cos\varphi, r\sin\varphi, 0)$$
$$\hat{r}=(\cos\varphi,\sin\varphi,0)$$
$$\hat{\varphi}=(-\sin\varphi,\cos\varphi,0)$$
$$\hat{z}=(0,0,1)$$
$$\mathrm{d}\vec{l}=\mathrm{d}r\,\hat{r}+r\mathrm{d}\varphi\,\hat{\varphi}+\mathrm{d}z\,\hat{z}$$
$$d\vec{A}=r\,\mathrm{d}\varphi\mathrm{d}z\,\hat{r}+\mathrm{d}r\mathrm{d}z\,\hat{\varphi}+r\,\mathrm{d}r\mathrm{d}\varphi\,\hat{z}$$
$$\mathrm{dV}=r\,\mathrm{d}r\mathrm{d}z\mathrm{d}\varphi$$
$$\nabla f=\frac{\partial f}{\partial r}\hat{r}+\frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial\varphi}\hat{\varphi}+\frac{\partial f}{\partial z}\hat{z}$$
$$\hat{r}\times\hat{\varphi}=\hat{z} \qquad \hat{z}\times\hat{r}=\hat{\varphi} \qquad \hat{\varphi}\times\hat{z}=\hat{r}$$

**זהויות טריגונומטריות**

$$\sin 2\theta=2\sin\theta\cos\theta \tag{86}$$
$$\cos 2\theta=2\cos^2\theta-1=1-2\sin^2\theta$$

**אינטגרלים שימושיים**

$$\int\frac{x\mathrm{d}x}{\sqrt{a^2+x^2}}=\sqrt{a^2+x^2}+C \tag{87}$$
$$\int\frac{\mathrm{d}x}{\sqrt{a^2+x^2}}=\ln\left|x+\sqrt{a^2+x^2}\right|+C$$
$$\int\frac{x\,\mathrm{d}x}{(a^2+x^2)^{3/2}}=-\frac{1}{\sqrt{a^2+x^2}}+C$$
$$\int\frac{\mathrm{d}x}{(a^2+x^2)^{3/2}}=\frac{x}{a^2\sqrt{a^2+x^2}}+C$$
$$\int\frac{\mathrm{d}x}{a^2+x^2}=\frac{1}{a}\arctan\frac{x}{a}+C$$
$$\int\frac{\mathrm{d}x}{x}=\ln|x|+C$$