דף נוסחאות בפיסיקה 2

10יחידות וסימונים

שדה חשמלי $E=[N/c=V/m]$	מטען $q=[c]$
שדה מגנטי $B=[T]$	צפיפות מטען $\varphi=[c/m^3]$
זרם $I=[c/\sec=A]$	צפ' מטען אורכית $\lambda=[c/m]$
צפיפות זרם $J=[A/m^2]$	שטח $S=[m^2]$
זרם ליחידת אורך $K=[A/m]$	מהירות $v=[m/\sec]$
השראה $L=[(Volt\cdot\sec)/A=H]$	נפח $\mathrm{V}=[m^3]$
קיבול $C=[c/Volt=F]$	מתח $V=[joul/c=Volt]$
מוליכות סגולית $\sigma=[siemens/m=1/(\Omega\cdot m)]$	אנרגיה $U=[joul]$
התנגדות סגולית $\rho=[\Omega\cdot m]$	עבודה $W=[joul]$
קבוע קיטוב χ קבוע דיאלקרטי κ	כא"מ $e=[joul/c=Volt]$
מספר ליפופים N	מספר ליפופים ליחידת אורך n

$micro=10^{-6}$ $\quad nano=10^{-9}$ $\quad pico=10^{-12}$

הגדרות ונוסחאות כלליות

היטל R על ציר x - $R\cdot\hat{x}$

שטח = S. כיוון שטח נקבע ע"י הנורמל: $d\vec{s}=\vec{n}\cdot d\vec{s}$

שטח מעטפת כדורית: $4\pi r^2$ נפח כדור: $(4/3)\cdot\pi r^3$

מטענים וכוחות

הכח שמפעיל מטען 2 על מטען 1:

$$F_1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{{R_{12}}^2}(-\hat{R}_{12})$$

הערה: ניתן לחשב את הכח בסופרפוזיציה.

כח בנקודה מסוימת בכיוון x:

$$F\cdot\hat{x}=-\frac{dU(\vec{r})}{dx}$$

שדה חשמלי

שדה שנוצר ע"י i מטענים:

$$\vec{E}=\sum_i\frac{\vec{F}_i}{q}$$

הערה: כל שדה חשמלי הוא משמר.

שדה חשמלי שיוצר מטען נקודתי:

$$E_1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{{R_{12}}^2}$$

שדה בנקודה r בכיוון x:

$$E(\vec{r})\cdot\hat{x}=-\frac{dV(\vec{r})}{dx}$$

שדה בנקודה r:

$$\vec{E}(\vec{r})=-\nabla V(\vec{r})=\left(-\frac{\partial}{\partial x}\hat{i}-\frac{\partial}{\partial y}\hat{j}-\frac{\partial}{\partial z}\hat{k}\right)V(\vec{r})$$

ברירת מחדל – שדה חיובי. מטען חיובי ינוע בכיוון שדה חיובי.

שדה שיוצר תיל אינסופי:

$$E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\frac{1}{R}(\hat{R})$$

שדה שיוצר תיל סופי (y – הגובה מעל התיל):

$$E_x=\frac{\lambda}{y}(\cos\theta_1-\cos\theta_2)\ E_y=\frac{\lambda}{y}(\sin\theta_2-\sin\theta_1)$$

שדה שיוצר לוח אינסופי:

$$E=\frac{\varphi}{2\cdot\varepsilon_0}$$

שדה שיוצרת (על ציר הסימטריה z):

דיסקה טעונה

$$\vec{E}=\frac{\varphi\cdot z}{2\varepsilon_0}\left(\frac{1}{z}-\frac{1}{\sqrt{r^2+z^2}}\right)\hat{z}$$

טבעת טעונה

$$\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\cdot z}{(z^2+r^2)^{3/2}}\hat{z}$$

מבודד:

- מטענים לא זזים.
- יש גם אלקטרונים וגם פרוטונים.
- אם נמצאים בתוך כדור מבודד – השדה המשפיע נוצר אך ורק ע"י המטענים מהמרכז עד לנקודה שבה עומדים.

מוליך:

- במוליך טעון יש רק מטענים חיובים **או** שליליים.
- המטענים במוליך תמיד יהיו על השפה בהתאם לצורתה.
- בתוך כדור מוליך – שדה הוא אפס.
- מוליך הוא גוף שווה פוטנציאל.

שדה שיוצר כדור מוליך (רדיוס - R):

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{r^2}\qquad R<r$$

$$E=0\qquad R>r>0$$

שדה שיוצר כדור מבודד (רדיוס - R):

בתוך מבודד חלול (וטעון) אין שדה.

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{r^2}\qquad R<r$$

$$E=\frac{\varphi\cdot r}{3\cdot\varepsilon_0}\qquad R>r>0$$

דיפול

$$P=2qa$$

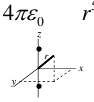
פוטנציאל שיוצר דיפול בנקודה r:

$$V(\vec{r})=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}P\frac{\cos\theta}{r^2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}P\frac{z}{r^3}$$

שדה שיוצר דיפול:

$$E\cdot\hat{x}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3P\cdot x\cdot z}{r^5}\qquad E\cdot\hat{y}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3P\cdot y\cdot z}{r^5}$$

$$E\cdot\hat{z}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}P\frac{3z^2-r^2}{r^5}$$



מומנט כח בדיפול חשמלי:

$$\vec{\tau}=\vec{P}\times\vec{E}\qquad W=-\int\vec{f}\ dl=-\int\vec{\tau}\ d\theta$$

העבודה הדרושה לסיבוב דיפול בזווית:

$$W=P\cdot E\cdot(1-\cos\theta)$$

חוק גאוס

$$\phi_E=\oiint\vec{E}\cdot d\vec{s}=\frac{Q_{in}}{\varepsilon_0}\qquad\varepsilon_0=8.85\cdot10^{-12}[c^2/Nm^2]$$

$$\oiint\vec{E}\cdot d\vec{s}=\iiint\nabla\vec{E}\cdot d\mathrm{V}$$

$$d\phi_E=\nabla\vec{E}\cdot d\mathrm{V}\ \text{נפח}$$

$$\nabla\vec{E}=\frac{\varphi}{\varepsilon_0}=\underset{\text{פוטנציאל}}{-\nabla^2V}\Rightarrow\phi_E=\frac{1}{\varepsilon_0}\iiint\varphi\cdot d\mathrm{V}$$

$$\oint\vec{E}\cdot d\vec{l}=\iint\left(\nabla\times\vec{E}\right)d\vec{s}$$

- שטף יוצא הוא חיובי.
- שטף נכנס הוא שלילי.
- אין מטען- אין שטף! (אך יתכן **ויש שדה** כי השטף הנכנס מבטל את השטף היוצא).
- ניתן להתיחס למעטפת כדורית מוליכה / כדור מוליך כאילו וכל המטען מרוכז במרכז.

אנרגיה חשמלית

האנרגיה הדרושה להבאת מטען q מאינסוף ל- r:

$$U(\vec{r})=q\cdot V(\vec{r})$$

אנרגיה של מערכת – האנרגיה הנדרשת ע"מ לבנות את המערכת מאינסוף:

$$U_T=\sum_{\substack{i\\(i<j)}}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_iq_j}{R_{ij}}=\frac{1}{2}\sum_{\substack{i\\(i\neq j)}}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_iq_j}{R_{ij}}=\frac{1}{2}\int_{\text{בתחום שבו נמצא dq}}V\ dq$$

פוטנציאל (סקלר)

העבודה הדרושה להביא מטען q מ- A ל- B:

$$W_{AB}=U_B-U_A$$

הפרש פוטנציאלים בין נקודה A ל- B:

$$V_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}\Rightarrow V_A=\frac{U_A}{q}$$

הערות:

1. הפרש פוטנציאלים זו עבודה למטען אחד.
2. פוטנציאל בנקודה מסוימת הוא העבודה הדרושה להבאת המטען מאינסוף לנקודה. כלומר, הפרש הפוטנציאלים בין אינסוף לנקודה.
3. באינסוף - השדה הוא אפס ולכן גם הפוטנציאל אפס.
4. קווי כח הם שווי פוטנציאל – תנועה לאורכם לא דורשת עבודה (הכח מאונך).
5. פוטנציאל חיובי נמדד מה- "-" ל- "+".

הפרש פוטנציאלים בשדה לא אחיד:

$$W_{AB}=-\int\vec{F}\cdot d\vec{l}$$

$$V_B-V_A=\frac{W_{AB}}{q}=-\int_A^B\vec{E}(\vec{r})\cdot d\vec{l}=-\int_A^B\nabla\vec{V}(\vec{r})\cdot d\vec{l}$$

הפרש פוטנציאלים של מטען נקודתי:

הפרש פוטנציאלים של מטען בוחן המושפע משדה הנוצר ע"י מטען Q:

$$V_B-V_A=-\int_A^B\vec{E}(\vec{r})\cdot d\vec{l}=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_B}-\frac{1}{R_A}\right)$$

פוטנציאל בנק' r- הפרש פוטנציאלים בין אינסוף (שבו השדה 0) לנק' r:

$$V(\vec{r})=-\int_\infty^r\vec{E}(\vec{r})\cdot d\vec{l}$$

פוטנציאל של מטען כלשהו (לא בהכרח נקודתי):

R – המרחק בין $V(\vec{r})$ למטען (סקלר).

q – המטען בכל נקודה – תלוי ב- R.

$$V(\vec{r})=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\iiint\frac{1}{R}dq$$

$$dq=\varphi\ d\mathrm{V}$$

פוטנציאל של מטען נקודתי:

$$V(\vec{r})=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R}$$

פוטנציאל שיוצרת טבעת טעונה (על ציר הסימטריה z):

$$V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\sqrt{z^2+r^2}}$$

גרדיאנט (וקטור)

$$df=f(\vec{r}+d\vec{r})-f(\vec{r})=\nabla f\cdot d\vec{r}$$

$$d\vec{r}=dx\cdot\hat{i}+dy\cdot\hat{j}+dz\cdot\hat{k}$$

$$\int_a^b\nabla f\cdot d\vec{r}=\int_a^b df=f(b)-f(a)$$

קואורדינטות קרטזיות:

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

קואורדינטות גליליות:

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

קואורדינטות כדוריות:

$$\nabla t=\frac{\partial t}{\partial r}\hat{r}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial\theta}\hat{\theta}+\frac{1}{r\cdot\sin\theta}\frac{\partial t}{\partial\phi}\hat{\phi}$$

דיברגנץ – Div (סקלר)

דיברגנץ הוא השטף דרך קווי הכח, כלומר, השטף בנקודה.
אם אין קווי כח אז דיווירגנץ = 0.

קואורדינטות קרטזיות (v_x רכיב x של $\vec{v}$):

$$\nabla\cdot\vec{v}=\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}+\frac{\partial v_z}{\partial z}$$

קואורדינטות גליליות:

$$\nabla\cdot\vec{v}=\frac{1}{r}\frac{\partial rv_r}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta v_\theta}{\partial\theta}+\frac{\partial v_z}{\partial z}$$

קואורדינטות כדוריות:

$$\nabla\cdot\vec{v}=\frac{1}{r^2}\frac{\partial r^2v_r}{\partial r}+\frac{1}{r\cdot\sin\theta}\frac{\partial(\sin\theta v_\theta)}{\partial\theta}+\frac{1}{r\cdot\sin\theta}\frac{\partial v_\phi}{\partial\phi}$$

Curl / Rotor (וקטור)

$$\nabla\times\bar{E}=\begin{vmatrix}\hat{i}&\hat{j}&\hat{k}\\\frac{\partial}{\partial x}&\frac{\partial}{\partial y}&\frac{\partial}{\partial z}\\E\cdot\hat{x}&E\cdot\hat{y}&E\cdot\hat{z}\end{vmatrix}\qquad\oint\vec{f}\cdot d\vec{l}=\iint\left(\nabla\times\vec{f}\right)d\vec{s}$$

בשדה משמר:

$$\nabla\times\vec{f}=0\Rightarrow\iint\left(\nabla\times\vec{f}\right)d\vec{s}=\nabla\left(\nabla\times\vec{f}\right)=0$$

קואורדינטות קרטזיות:

$$\nabla\times\vec{v}=\left(\frac{\partial v_z}{\partial y}-\frac{\partial v_y}{\partial z}\right)\hat{x}+\left(\frac{\partial v_x}{\partial z}-\frac{\partial v_z}{\partial x}\right)\hat{y}+\left(\frac{\partial v_y}{\partial x}-\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)\hat{z}$$

קואורדינטות גליליות:

$$\nabla\times\vec{v}=\left(\frac{1}{r}\frac{\partial v_z)}{\partial\theta}-\frac{\partial v_\theta}{\partial z}\right)\hat{r}+\left(\frac{\partial v_r}{\partial z}-\frac{\partial v_z}{\partial r}\right)\hat{\theta}+\frac{1}{r}\left(\frac{\partial(r\cdot v_\theta)}{\partial r}-\frac{\partial(v_r)}{\partial\theta}\right)\hat{z}$$

קואורדינטות כדוריות:

$$\nabla\times\vec{v}=\frac{1}{r\cdot\sin\theta}\left(\frac{\partial(\sin\theta v_\phi)}{\partial\theta}-\frac{\partial v_\theta}{\partial\phi}\right)\hat{r}+\frac{1}{r}\left(\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial v_r}{\partial\phi}-\frac{\partial(r\cdot v_\phi)}{\partial r}\right)\hat{\theta}$$
$$+\frac{1}{r}\left(\frac{\partial(r\cdot v_\theta)}{\partial r}-\frac{\partial(v_r)}{\partial\theta}\right)\hat{\phi}$$

לפלאסיאן

$$\Delta V(\vec{r})=-\nabla\nabla V(\vec{r})=\nabla\vec{E}=\frac{\varphi}{\varepsilon_0}$$

זרם חשמלי

צפיפות אלקטרונים חופשיים לנפח – n. מטען האלקטרונים – q.

צפיפות מטען: $\varphi=n\cdot q$.

צפיפות זרם ליחידת שטח – J (ds – החתך / שטח בו עובר הזרם):

$$d\vec{I}=\vec{J}\cdot d\vec{s}\Rightarrow\vec{J}=\frac{d\vec{I}}{d\vec{s}}=\underset{\text{נפחית}}{\varphi}\cdot\vec{v}$$

מהירות (בתנועה מעגלית – משיקית)

$$d\vec{I}=\varphi\cdot\vec{v}\cdot d\vec{s}=dq\cdot\vec{v}$$

זרם:

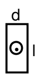
$$dI=\frac{dQ}{dt}$$

זרם בגוף מסתובב:

$$I=\frac{Q}{T}=\frac{Q\cdot\omega}{2\pi}=\iint\vec{J}\cdot d\vec{s}$$

צפיפות זרם ליחידת אורך (d – עובי):

$$K=J\cdot d=\frac{dI}{dl}$$



הערות:

- מצב יציב הוא מצב שבו אין שינוי: $\nabla\vec{J}=0$
- מצב לא יציב – זרם **לא** קבוע בזמן ובמקום:

$$\nabla\vec{J}=-\frac{d\varphi}{dt}$$

התנגדות / מוליכות:

$$\vec{J}=\sigma\cdot\vec{E}\ ,\ \vec{I}=\vec{J}\cdot S=\sigma\cdot\vec{E}\cdot S\ ,\ \sigma=1/\rho$$

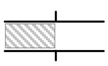
$$R=L/(\sigma\cdot S)=(\rho\cdot L)/S\ ,\ R=V/I$$

קבלים

$$\varphi=\frac{Q}{S}\ ,\ E=\frac{\varphi}{\varepsilon_0}\ ,\ Q=C\cdot V\ ,\ V=E\cdot d=\frac{1}{c}\int I\ dt$$

קבל עם חומר דיאלקטרי:


שקול לקבלים בטור


שקול לקבלים במקביל

הערות:
- שדה חשמלי מחוץ לקבל הוא אפס.
- לוחות הקבל הם מוליכים ולכן הם משטחים שווי פוטנציאל.
- קבלים במקביל: $c = c_1 + c_2$
- קבלים בטור: $1/c = 1/c_1 + 1/c_2$
- אם נשים חומר מבודד בין לוחות הקבל החומר יתקטב ויווצרו קבוצות ויצור דיפול שישנה את השדה החשמלי של הקבל (בתוך המבודד). השדה החדש יהיה (φ' - צפי החומר הדיאלקטרי):

$$E = (\varphi + \varphi')/\varepsilon_0$$

- השדה מחוץ לחומר הדיאלקטרי לא ישתנה.
- אם נכניס מוליך לקבל - המוליך יתקטב, ובתוכו יהיה שדה 0.
- קבל ימשוך חומר דיאלקטרי לתוכו.
- בקבל כדורי השדה בין הלוחות לא קבוע!

שינוי בקבוע הקיבולת של קבל לוחות בעקבות הכנסת חומר מבודד:

$$C' = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{d}\cdot\kappa \quad , \quad \kappa = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_0}$$

קבוע חומר דיאלקטרי

קיבול של קבל גלילי (L – ארוך מאוד):

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln(b/a)}$$

הפרש פוטנציאלים של קבל גלילי:

$$V = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{L}\ln(b/a)$$

מומנט דיפול ליח' נפח בקבל עם חומר מבודד:

$$\vec P = \chi\varepsilon_0\vec E \Rightarrow \varphi' = -\left|\vec P\right| = -\chi\varepsilon_0 \vec E$$

$$\vec E = \frac{\varphi}{\varepsilon_0(1+\chi)} = \frac{\varphi}{\varepsilon_0\cdot\kappa}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}(1+\chi) = \frac{\varepsilon_0 S}{d}\kappa$$

קבוע קיטוב - χ.

כאשר אין קבוע דיאלקטרי בקבל (ואקום):

$$\kappa = 1+\chi\ ;\ \kappa=1\ ;\ \chi=0$$

קבוע מטענים חופשיים (המטענים בקצה החומר המבודד):

$$D = \varepsilon_0\vec E + \vec P = \varphi \Rightarrow \vec D = \varepsilon_0\cdot\kappa\cdot\vec E$$

$$\oiint D\,ds = Q_F$$

אנרגיה אלקטרוסטטית

האנרגיה הדרושה לטעינת קבל במטען Q:

$$U = \int_0^Q V\cdot dQ' = \int_0^Q \frac{1}{C}\cdot Q'\,dQ' = \frac{1}{2\cdot C}Q^2$$

$$Q = CV$$

$$U = \frac12 CV^2 = \frac12\varepsilon_0 \mathrm{V} E^2$$

צפיפות אנרגיה בשדה חשמלי:

$$u = \frac12\varepsilon_0 E^2 \Rightarrow U = \underset{\text{נפח}}{\mathrm{V}}\cdot u$$

הספק:

$$P = \frac{dU}{dt} = V\frac{dQ}{dt} = \underset{\text{מתח}}{VI} = I^2R = \frac{V^2}{R} = \vec F\cdot\vec v$$

הערות:
- קצב איבוד האנרגיה הוא בדיוק הספק הנגד (הקצב בו הופך הנגד אנרגיה לחום).
- במעגל חשמלי רק דרך הנגד "מתבזבזת" אנרגיה (הופכת לחום).
- אם קבל מחובר למקור מתח / זרם בלבד – הוא נטען באופן מיידי.
- אם יש נגד בנוסף לקבל ולמקור המתח / זרם – הקבל יטען בהדרגתיות, המתח עליו יגדל (ועקב כך הזרם יקטן), ורק באינסוף הקבל יהיה נתק.

מגנטיות

שטף מגנטי לשטח דו-מימדי (לטבעת אחת):

$$\phi_B = \iint \vec B\cdot d\vec s$$

משוואות מקסוול:

$$\phi_B = \oiint \vec B\cdot d\vec s = \nabla \vec B = 0$$

כח לורנס:

$$\vec F = q\cdot\vec E + q\cdot\vec v\times\vec B$$

$$d\vec F = I\cdot d\vec l\times\vec B$$

חוק ביו סבר (שימושי למציאת שדה מגנטי שיוצר זרם):

r - המרחק מ- dl, כלומר, המרחק מנקודה בה עובר הזרם.

$$d\vec B = \frac{\mu_0}{4\pi}I\left(\frac{d\vec l\times\vec r}{r^3}\right) \qquad \mu_0 = 2\pi\cdot10^{-7}\left[\frac{T\cdot m}{A}\right]$$

חוק אמפר (אגף שמאל) וחוק סטוקס (אגף ימין):

$$\oint_\Gamma \vec B d\vec l = \mu_0\cdot I_\Gamma = \iint\left(\nabla\times\vec B\right)d\vec s$$

$$\nabla\times\vec B = \mu_0\cdot\vec J$$

$$\iint\left(\nabla\times\vec B\right)d\vec s = \nabla\left(\nabla\times\vec B\right) = 0$$

I_Γ - הזרם דרך המשטח שתוחמת הלולאה.

הערות:
- שדה מגנטי משתנה כפונקציה של הזמן יוצר שדה חשמלי (לא בהכרח קבוע).
- שדה חשמלי משתנה כפונקציה של הזמן יוצר שדה מגנטי (לא בהכרח קבוע).
- שדה מגנטי לא משמר.
- קווי כח בשדה מגנטי תמיד סגורים.
- מהירות חלקיק נשארת קבועה כל עוד הוא נע ע"ג קווי הכח המגנטיים (במקביל לשדה).
- אם B קבוע ומאונך לזרם, לא משנה צורת החוט אלא רק המרחק הישיר בין קצה לקצה:

דיפול מגנטי (של טבעת ללא עובי – כמו חוט תיל): $\mu = I\cdot S$

כיוון μ נקבע ע"פ כלל יד ימין וכיוון הזרם.

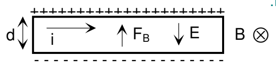
מומנט כח מגנטי (של גוף דו-מימדי כמו טבעת):

$$\vec\tau = \vec\mu\times\vec B = S\cdot I\cdot B\cdot\sin\theta$$

בסליל (מכפילים במספר הליפופים – n):

$$\vec\tau = \vec\mu\times\vec B = n\cdot S\cdot I\cdot B\cdot\sin\theta$$

Hall Effect:



1. בעקבות השדה המגנטי ותנועת האלקט' (הזרם), נוצר כח שיוצר קיטוב במוליך.
2. הקיטוב יוצר שדה חשמלי שגובר עם הזמן ולבסוף מבטל את השפעת השדה המגנטי.
3. עם ההגעה לשיוון בין הכוחות המצב יציב:

$$V_H = E_H\cdot d = v\cdot B\cdot d$$

4. הזרם לא משתנה תו"כ התהליך.

תנועת חלקיק בשדה קבוע:
- אם B מאונך ל- v החלקיק יבצע תנועה מעגלית.
- אם B בזווית כלשהי ל- v החלקיק יבצע תנועה ספירלית.
- רדיוס הסיבוב בשדה המאונך למהירות:

$$r = \frac{mv}{qB\sin\theta} \Rightarrow \omega = \frac{qB\sin\theta}{m}$$

שדה מגנטי בתיל אינסופי:

נכון גם לגבי תיל אינסופי עם עובי, אך יש לשים לב לחישוב הזרם.

$$\vec B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r}(\hat\varphi)$$

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

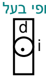
$$\vec B = \frac{\mu_0}{4\pi d}I\left(\sin\alpha+\sin\beta\right)(\hat\varphi)$$

שדה מגנטי שיוצרת טבעת (על הציר):

$$\vec B = \frac{\mu_0\cdot I\cdot r^2}{2\left(r^2+z^2\right)^{\frac32}}(\hat z)$$

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

$$\vec B = \frac12\mu_0 J\cdot d\ ;\ K = J\cdot d$$



שדה מגנטי בתוך סליל סופי:

$$\vec B = \frac12\mu_0\cdot I\cdot n\cdot(\sin\theta_1+\sin\theta_2)$$

שדה מגנטי בתוך סליל אינסופי:

מספר ליפופים ליח' אורך – n.
- בתוך הסליל – שדה מגנטי אחיד.
- מחוץ לסליל – שדה אפס.
- אם יש לסליל עובי אז נמדוד את השדה מהדופן של הסליל.

$$\vec B = \mu_0\cdot I\cdot n$$

שדה מגנטי במקום r בטורואיד (סליל מעגלי):
- רדיוס פנימי – a, חיצוני – b.
- מספר ליפופים ליח' אורך – n.

$$\vec B(r) = \frac{\mu_0\cdot I\cdot a\cdot n}{r}$$

צפיפות אנרגיה מגנטית:

$$u_B = \frac{1}{2\mu_0}\cdot B^2 \Rightarrow U = \frac{1}{2\mu_0}\iiint \vec B^2\cdot dv$$

כח אלקטרוני מניע (כא"מ - emf)

חוק לנץ: כוחות יווצרו ע"מ להתנגד לכל שינוי במערכת.

כא"מ - עבודה ליחידת מטען (סימון – e):

$$W_O = q\cdot e \Leftrightarrow e = \frac{W_O}{q} = -\frac1q\oint\vec F\cdot d\vec l$$

$$e = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

W_O - עבודה במעגל סגור.

חוק פאראדי (לשימוש במצב בו שדה מגנטי משתנה יוצר שדה חשמלי):

$$e = -\frac{d\phi_B}{dt} = \oint \vec E d\vec l$$

$$-\frac{d\phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}\iint\vec B\cdot d\vec s = -\iint\frac{d}{dt}\vec B\cdot r\cdot drd\theta$$

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

במעגל חשמלי (R – התנגדות):

$$e = I\cdot R$$

אם השדה B קבוע ומאונך למהירות (במסגרת מלבנית) אז:

$$e = -v\cdot B\cdot l$$

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

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

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

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

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

L – השראה עצמית:

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

השראה:

השראה הדדית: $L_{2\to1} = L_{1\to2}$

השראה עצמית: $L_{2\to2}, L_{1\to1}$

$$\varepsilon_1 = -L_{22}\cdot\frac{dI_2}{dt} - L_{21}\cdot\frac{dI_1}{dt}$$

$$\varepsilon_2 = -L_{21}\cdot\frac{dI_2}{dt} - L_{11}\cdot\frac{dI_1}{dt}$$

$$\oint\vec E\cdot d\vec l = -L\cdot\frac{dI}{dt}$$

שנאי – משנה מתח (N – מספר ליפופים בסליל):

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)\varepsilon_1$$

השראה הדדית M:
- M כפול הזרם הזורם בטבעת אחת שווה לשטף המגנטי דרך טבעת שניה (M שווה לשניהם).
- אם לשניהם אותו זרם אז לשניהם אותה השראה הדדית אחד על השני – שטף הדדי:

$$\phi_B = M\cdot I$$

כא"מ בסליל:

$$\varepsilon = -L\cdot\frac{dI}{dt}$$

עמ' לחשב כמה אנרגיה בסליל נחשב כמה אנרגיה לקח להגיע מאפס לזרם הנתון.

טורוס (סליל מעגלי עם חתך של מלבן):

בעל רדיוס פנימי a, רדיוס חיצוני b, וצורת מלבן עם גובה h.

N - מס' הליפופים בסליל.

$$B = \frac{\mu_0\cdot I\cdot N}{r} \qquad e = -\mu_0\cdot N\cdot h\cdot\ln\left(\frac ba\right)\cdot\frac{dI}{dt}$$

זרם העתקה (בד"כ שימושי בקבלים)

$$I_d = \varepsilon_0\cdot\frac{d\phi_E}{dt} = \varepsilon_0\cdot\frac{d}{dt}\left(\iint\vec E\cdot d\vec s\right)\Rightarrow J_d = \varepsilon_0\frac{d\vec E}{dt}$$

$$\oint\vec B\cdot d\vec l = \mu_0(I+I_d)$$

I – זרם אמיתי בתוך הקבל (אם קיים). חיבור הזרם I עם זרם ההעתקה נותן את הזרם שיוצא / נכנס לקבל.

שדה חשמלי משתנה שגדל (שטף חשמלי גדל) יוצר זרם העתקה בכיוונו. שדה חשמלי משתנה שקטן יוצר זרם העתקה בניגוד לכיוון השדה.

ריכוז משוואות – שדות מגנטיים וחשמליים

$$d\vec B = \frac{\mu_0}{4\pi}I\left(\frac{d\vec l\times\vec r}{r^3}\right) \qquad \nabla\cdot\vec E = \varphi/\varepsilon_0$$

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

$$\vec F = q\cdot\vec E + q\cdot\vec v\times\vec B$$

$$d\vec F = I\cdot d\vec l\times\vec B \qquad \oint\vec E\cdot d\vec l = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\nabla\cdot\vec B = \oiint\vec B\cdot d\vec s = 0 \qquad \oiint\vec E\cdot d\vec s = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

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

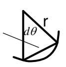
2 המשוואות מצד שמאל הן לשימוש במצב בו **שדה חשמלי משתנה יוצר שדה מגנטי.**

$$\oint\vec B\cdot d\vec l = \mu_0\cdot I + \mu_0\cdot\varepsilon_0\cdot\frac{d\phi_E}{dt}$$

האיבר הנוסף בנוסחאות דואג לשימור המטענים והשדה כאשר מדברים על משטח סגור שכולל קבל ובו לא זורם זרם.

שונות

אורך קו כפונקציה של זווית קטנה: $dl = \frac{r\,d\theta}{\cos\theta}$



מתקף:

$$\Delta P = \int_0^t f\,dt'$$

תנועה הרמונית:

$$ma = F = -KX \quad K = m\omega^2 \quad \omega = \sqrt{\frac km} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

צפיפות מטען שטחית בהשוואה לאורכית:

$$d\varphi = \frac{dq}{ds} = \frac{dq}{dx\cdot dy} = \frac{d\lambda}{dx} = \frac{dq}{rdrd\theta}$$