מגנטוסטטיקה

כוח לורנץ $\vec{F}=\frac{q}{c}(\vec{v}\times\vec{B})$

חוק אמפר $\oint\vec{B}\cdot d\vec{l}=\frac{4\pi}{c}I$

הפוטנציאל הוקטורי $\vec{B}=\vec{\nabla}\times\vec{A}$

משוואת "פואסון" $\nabla^2 A=-\frac{4\pi}{c}J$ עבור $\vec{\nabla}\cdot\vec{A}=0$

פתרון המשוואה $\vec{A}(\vec{r}_0)=\frac{1}{c}\cdot\iiint\frac{J(r)dV}{|r-r_0|}+\vec{A}_0$

חוק ביו-סבר $\vec{B}(r_0)=\frac{I}{c}\oint\frac{dl\times(r-r_0)}{|r-r_0|^3}$

קפיצת שדה במעבר שכבת זרם $\Delta B_{\parallel}=\frac{4\pi}{c}\cdot\frac{I}{a}=\frac{4\pi}{c}i$

אנרגיה מגנטוסטטית $U=\frac{1}{8\pi}\iiint B^2 dV$

טרנספורמציות ואינווריאנטות

טרנספורמציית לורנץ $x'=\gamma(x-vt)$ $\quad t'=\gamma(t-\frac{\beta}{c}x)$

טרנספורמציית הכוח $F_{\perp}=\frac{1}{\gamma}F'_{\perp}$ $\quad F_{\parallel}=F'_{\parallel}$

כאשר S' היא מערכת בו מקורות השדה במנוחה

שדה חשמלי של מטען נע $E'=\frac{q}{r'^2}\cdot\frac{1-\beta^2}{(1-\beta^2\sin^2\theta')^{3/2}}$

כפי שנראה במעבדה

טרנספורמציית השדות $\vec{E}'_{\parallel}=\vec{E}_{\parallel}$ $\quad \vec{B}'_{\parallel}=\vec{B}_{\parallel}$

$\vec{E}'_{\perp}=\gamma(\vec{E}_{\perp}+[\vec{\beta}\times\vec{B}_{\perp}])$ $\quad \vec{B}'_{\perp}=\gamma(\vec{B}_{\perp}-[\vec{\beta}\times\vec{E}_{\perp}])$

למשל: $E'_z=\gamma(E_z+\beta B_y)$ $\quad B'_y=\gamma(B_y+\beta E_z)$

כאשר S' נעה במהירות $c\vec{\beta}$ ביחס למערכת S

אינווארינטות $\vec{E}\bullet\vec{B}$ $\quad \vec{E}^2-\vec{B}^2$

משוואות מקסוואל

השטף המגנטי $\Phi=\iint\vec{B}\cdot d\vec{a}$

חוק פראדי $\varepsilon=-\frac{1}{c}\frac{d\Phi}{dt}=-M\frac{dI}{dt}$

חישוב הכא"מ $\varepsilon_1=-L_1\frac{dI_1}{dt}-M\frac{dI_2}{dt}$

חוק לנץ המערכת תמיד תתנגד לשינוי בשדה א"מ.

משוואות מקסוואל $\vec{\nabla}\bullet\vec{E}=4\pi\rho$ $\quad \vec{\nabla}\bullet\vec{B}=0$

$\vec{\nabla}\times\vec{B}=\frac{4\pi}{c}J+\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$ $\quad \vec{\nabla}\times\vec{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$

זרם ההעתק $\vec{J}_d=\frac{1}{4\pi}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$

אלקטרוסטטיקה

כוח קולון $\vec{F}_{12}=\frac{q_1q_2}{|\vec{r}_1-\vec{r}_2|^3}(\vec{r}_1-\vec{r}_2)=q\vec{E}$

צפיפות מטען $\sigma=\rho dx$

השדה החשמלי $E(r_0)=\iiint\frac{\rho(r)(\vec{r}-\vec{r}_0)}{|\vec{r}-\vec{r}_0|^2}dV$

הפוטנציאל החשמלי $\vec{E}=-\nabla\Phi$

הפרש הפוטנציאל $\varphi(\vec{r}_2)-\varphi(\vec{r}_1)=-\int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2}\vec{E}\cdot d\vec{l}$

חוק גאוס $\Phi=\oiint\vec{E}\cdot d\vec{a}=4\pi Q$

משוואות לפלס/פואסון $\nabla^2\Phi=0$ $\quad \nabla^2\Phi=-4\pi\rho$

לסימטריה כדורית $\nabla^2\Phi=\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}(r^2\frac{d\Phi}{dr})$

לסימטריה גלילית $\nabla^2\Phi=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial\Phi}{\partial r})+\frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}$

פתרון מ. פואסון $\varphi(\vec{r}_0)=\iiint\frac{\rho(r)dV}{|r-r_0|}+\varphi_0$ לפיזור סופי

קפיצת שדה במעבר דרך שכבת מטען $\Delta E_{\perp}=4\pi\sigma$

אנרגיה אלקטרוסטטית $U=\frac{1}{8\pi}\iiint E^2 dV$

מעגלים חשמליים וזרמים

זרם חשמלי $\iint\vec{J}\cdot d\vec{a}=I=\frac{dQ}{dt}$

שינוי בצפיפות הזרם $\vec{\nabla}\cdot\vec{J}=-\frac{\partial\rho}{\partial t}$

לזרמים סטציונריים $\vec{\nabla}\cdot\vec{J}=0$

חוק אוהם $\vec{J}=\sigma\vec{E}=\frac{\vec{E}}{\rho}$

חישוב ההתנגדות $R=\frac{\rho L}{a}=\frac{L}{\sigma a}$

חישוב הקיבול $C=\frac{Q}{V}$

חיבור נגדים בטור $R=R_1+R_2$ במקביל $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$

חיבור קבלים בטור $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$ במקביל $C=C_1+C_2$

אנרגיה אצורה בקבל $W=\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}$

חוקי קירכהוף (1) $\sum_j I_j=0$ בלולאת זרם

(2) $\sum_j\varepsilon_j+\sum_k I_kR_k=0$

הספק חום של ג'אול $P=I^2R$

מעגל RC $Q(t)=Q_0e^{-\frac{t}{RC}}$

גלים אלקטרומגנטיים

מטענים מואצים $E_\theta = \dfrac{qa\sin\theta}{Rc^2}$ כאשר a התאוצה

משוואת גלים כללית $\nabla^2\vec{\Psi} = \dfrac{1}{v^2}\dfrac{\partial^2\vec{\Psi}}{\partial t^2}$

פתרון לגל נע $\Psi(\vec{r},t) = A(\vec{r})\sin(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t + \varphi_0)$

לגל עומד $\Psi(\vec{r},t) = Af_1(\omega t)\cdot f_2(\vec{k}\cdot\vec{r})$ הפתרון מופרד

כאשר, $\left|\vec{k}\right| = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ $\quad v = \dfrac{\omega}{\left|\vec{k}\right|}$ $\quad \omega = \dfrac{2\pi}{T}$

גל א"מ $\nabla^2\vec{E} = \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$ $\quad \nabla^2\vec{B} = \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}$

ומקיים $\vec{E}\perp\vec{B}\perp\vec{k}$ $\quad \left|\vec{E}\right| = \left|\vec{B}\right|$ $\quad \vec{B} = \hat{k}\times\vec{E}$

וקטור פוינטינג $\vec{S} = \dfrac{c}{4\pi}\cdot[\vec{E}\times\vec{B}]$

מייצג צפיפות אנרגיית הגל ליח' שטח-זמן

לגל הרמוני מישורי $\vec{S} = \dfrac{cE^2}{4\pi}\hat{k}$

עוצמת הגל הא"מ $I = \left\langle\left|S\right|\right\rangle = \dfrac{cE_0^2}{8\pi} = \dfrac{cB_0^2}{8\pi}$

התאבכות משני מקורות $I(\theta) = 4I_1\cos^2(\dfrac{kd\sin\theta}{2})$

מקסימה $d\sin\theta_m = \lambda m$

מינימה $d\sin\theta_m = (\dfrac{1}{2} + m)\lambda$

התאבכות מסריג $I(\theta) = A\dfrac{\sin^2(\dfrac{\pi Nd\sin\theta}{\lambda})}{\sin^2(\dfrac{\pi d\sin\theta}{\lambda})}$ $\quad A = I_1\mathrm{N}^2$

מקסימה ראשיים $d\sin\theta_m = \lambda m$

מספר מקס' משניים N-2 (בין שניים ראשיים)

מספר מקסימה $m = \left[\dfrac{2d}{\lambda}\right] + 1$

רוחב פסי התאבכות $\delta\theta_m = \dfrac{\lambda}{Nd\cos\theta_m}$

הפרדה בין צבעים $\Delta\theta_\lambda = \dfrac{m\Delta\lambda}{d\cos\theta_m}$

כושר ההפרדה הכרומטי $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda} \geq \dfrac{1}{Nm}$

עקיפה של סדק יחיד $I(\theta) = I_1\left[\dfrac{\sin(\dfrac{\pi D\sin\theta}{\lambda})}{\dfrac{\pi D\sin\theta}{\lambda}}\right]^2$

שדות מגנטיים שימושיים

תיל בודד $B = \dfrac{2I}{cr}$

הכוח ליח' אורך בין שני תילים $\dfrac{dF}{dl} = \dfrac{2I_1I_2}{c^2r}$

השדה המגנטי על ציר טבעת זרם $B_z(z) = \dfrac{2\pi IR^2}{c(z^2+R^2)^{3/2}}$

השדה המגנטי במרכז טבעת זרם $B_0 = \dfrac{2\pi I}{cR}$

השדה המגנטי של סליל אינסופי $B = \dfrac{4\pi nI}{c}$

השדה המגנטי בתוך סליל טורואידי $B(r) = \dfrac{2NI}{rc}$

שדות חשמליים שימושיים

שדה של תיל.גליל אינסופי $E(r) = \dfrac{2\lambda}{r}$

שדה של לוח אינסופי $E = 2\pi\sigma$

שדה של כדור טעון $E = \dfrac{Q}{r^2}$

קבלים שימושיים

קבל לוחות $C = \dfrac{A}{4\pi d}$

קבל כדורי $C = \dfrac{ab}{b-a}$

קבל גלילי $C = \dfrac{L}{2\ln\left(\dfrac{b}{a}\right)}$

נוסחאות מתמטיות שימושיות

קירובים מסדר ראשון $\cos x \approx 1 - \dfrac{x^2}{2}$ $\quad \tan x \approx \sin x \approx x$

$(1\pm x)^m \approx 1 \pm mx$

איבר סדרה חשבונית $a_n = a_0 + (n-1)d$

סכום סדרה הנדסית $S_n = \dfrac{a_0(1-q^n)}{1-q}$

סכומים טריגונו' $\sin\alpha \pm \sin\beta = 2\sin\dfrac{\alpha\pm\beta}{2}\cos\dfrac{\alpha\mp\beta}{2}$

$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$

נוסחאות אוילר $e^{\alpha i} = \cos\alpha + i\sin\alpha$

$\cos\alpha = \dfrac{e^{\alpha i} + e^{-\alpha i}}{2}$ $\quad \sin\alpha = \dfrac{e^{\alpha i} - e^{-\alpha i}}{2i}$

מכפלה וקטורית כפולה $\vec{A}\times\vec{B}\times\vec{C} = \vec{B}(\vec{A}\bullet\vec{C}) - \vec{C}(\vec{A}\bullet\vec{B})$

או בפרט $\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{A}) = \nabla(\vec{\nabla}\cdot\vec{A}) - \nabla^2\vec{A}$

זהות לגרנז' $(a\times b)\bullet(c\times d) = (a\bullet c)(b\bullet d) - (b\bullet c)(a\bullet d)$