05.09.20

Физика III семестр

Электростатика

Напряженность электр. поля. Теорема Гаусса

Атом сост. из ядра

$p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

$$\bar{E} = \frac{\bar{F}}{q}$$

Заряд в поле имеет какую-то энергию

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

$$\bar{F} = -\operatorname{grad} \bar{W} \quad | : q$$

$$\bar{E} = -\operatorname{grad} \varphi \qquad (\operatorname{grad} \varphi)_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

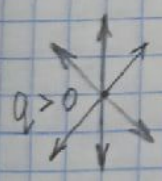
Закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\bar{r}}{r}$$

Электростат. поле ~ грав. поле

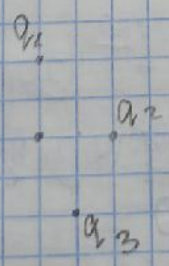
Заряды ~ массы

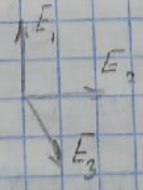
$$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Кл^2}{Н м^2} \left(\frac{Ф}{м}\right)$$



Густота пропорц. величине силового поля

$$\bar{E} = \sum \bar{E}_i$$





Поле точечного заряда

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \frac{\bar{r}}{r} \qquad \bar{F} = Q\bar{E}$$

$\Delta q_i \to dq_i$

$\sum \Delta \bar{E}_i \to \int d\bar{E}$

$\bar{E} = \int d\bar{E} = \int \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{r^2} \cdot \frac{\bar{r}}{r}$

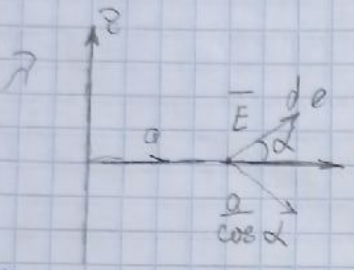
$dq = \rho dV$

объемная плотность заряда

$dq = \sigma ds$

$dq = \lambda dl$

линейная плотность заряда

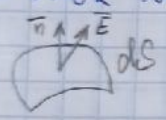


$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\lambda dz}{z^2 + a^2}$

$E = \int dE \cos\alpha = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\lambda \cos\alpha \, dl}{a} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 a}$

Теорема Гаусса в вакууме.

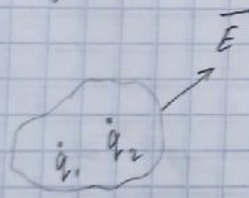
Поток вектора



$d\Phi = E_n dS$ $\quad \left(\lim_{\Delta S \to 0} \sum E_{ni} \cdot \Delta S_i\right)$

$\Phi = \int d\Phi = \int E_n dS$

$\Phi = \int \bar{E} d\bar{S}$



$\oint \bar{E} d\bar{S} = \frac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$

Телесный угол - угол при конусе

$d\Phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} ds \cdot \cos\alpha$

$\Phi = \int d\Phi = \int \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \, d\Omega = \frac{q}{\varepsilon_0}$ для 1ого заряда

Для мног. зарядов - принцип суперпозиции

Замкн. поверхность $\Rightarrow$ поток $= 0$

$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\Omega + \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot A$

Применять когда: 1) $\bar{E} \perp S$ (вектора добиться просто)

$$\oint \bar{E}\, d\bar{S} = \oint E\, dS$$

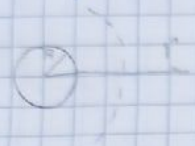
2) $E = const$ везде

$$\oint E\, dS = E \oint dS = ES$$

1) Для цилиндра $S_{основания}$ $q = \rho h$

$$E = \frac{\rho h}{\varepsilon_0}$$

2) Для равномер. заряж. шара



$r > R$

$E \cdot 4\pi r^2 = Q/\varepsilon_0$

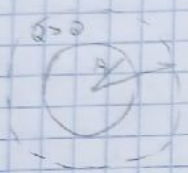
$$E = \frac{Q}{4\pi r^2 \varepsilon_0}$$

$r < R$

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho \frac{4}{3}\pi r^3}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\rho r}{3\varepsilon_0}$$

3) Равномер. заряж. сфера



1) $r > R$

2) $r < R$

Поверхность $\perp \bar{E}$; в таких поверхностях и тоже значение ~ ~ усл. применения т. Гаусса

$$\oint \bar{E}\, d\bar{S} = E 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

Не важно шар, сфера, тоже снаружи распред. одинаково

$E 4\pi r^2 = 0$

$E = 0$

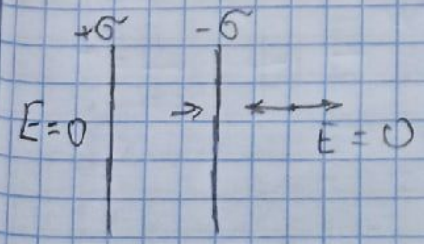
Напряж. может терять разрыв

4)

Ф через цилиндр

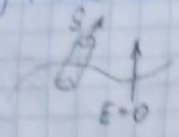
$$\Phi = E \cdot 2S = \frac{\sigma S}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

6) поле вблизи пов-ти проводника



$$E S = \frac{\sigma S}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

Потенциал электростатического поля.

Эр-о Пуассона

Пот. эл поля в любой точке $\varphi = \frac{W}{q}$

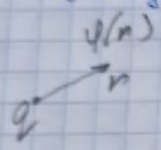
$$A = W_1 - W_2$$

Для малого перемещения

$$\delta A = -dW = -dU$$

$$A = q\varphi_1 - \varphi_2 q = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Потенциал точечного заряда



$$\bar{E} = \frac{\bar{F}}{q}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = \frac{\int_1^2 \bar{F} d\bar{r}}{q} = \int_1^2 \bar{E}\, d\bar{r}$$

$$\varphi = \int_1^\infty \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q}{r^2} dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

$\oint \bar{E}\, d\bar{r}$ циркуляция вектора (закон. круг')

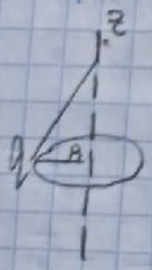
$\oint \bar{E} d\bar{r} > 0$

Принцип суперпозиции для потенц.

$$\varphi = \sum \varphi_i$$

Легче т.к. потенц. скаляр

$$\varphi = \int d\varphi = \int \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}$$



$$\varphi = \int \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{(R^2+z^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{(R^2+z^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{qz}{(R^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$\varphi = const$

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r} = const$

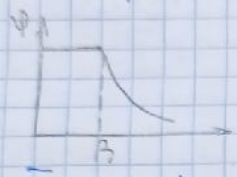
$grad\,\varphi \perp \varphi$

$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0$

Силовые линии ⊥ эквипотенц. пов-ти

Потенциалом равномерно заряж. сферы

$E \perp \varphi = const$



φ - непрерывн. ф-ия

E - можем прерыв

$\bar{E} = -grad\,\varphi = -\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{r}}$

$E = -\frac{\partial \varphi}{\partial r}$

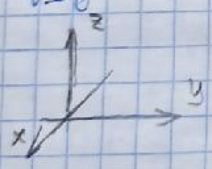
$\varphi(r) = \int_r^{\infty} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}\, dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

Дивергенция („между источника")

Теорема Гаусса в дифф. форме

$\oint \bar{E}\, d\bar{S} = \frac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$

$\lim_{V \to 0} \frac{\oint \bar{A}\, d\bar{S}}{V} = div\,\bar{A}$



$\bar{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}\bar{i} + \frac{\partial}{\partial y}\bar{j} + \frac{\partial}{\partial z}\bar{k}$

$div\,\bar{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} = \bar{\nabla}\bar{A} = \bar{\nabla}^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

$div\,\bar{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$

Ротор

$rot_n\,\bar{A} = \lim_{S \to 0} \frac{\oint \bar{A}\, d\bar{e}}{S}$

$rot\,\bar{A} = \bar{\nabla} \times \bar{A} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix}$

$\oint \bar{E}\, d\bar{e} = 0$ $\quad rot\,\bar{E} = 0$

У электростат. поля нет вихря (тока)

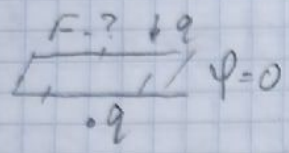
Ур-е Пуассона

$\bar{\nabla}\bar{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$

$\bar{E} = -\bar{\nabla}\varphi$

$$\begin{cases} \bar{\nabla}^2\varphi = \Delta\varphi \\ \Delta\varphi = \rho/\varepsilon_0 \end{cases}$$

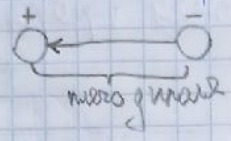
Ур-е Пуассона + граничные условия



На этом сл. метод изображ.

Диполь электрический

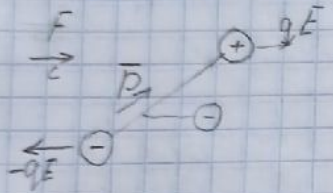
Электр. диполь



$\bar{p} = q\bar{e}$

Пример: H_2O

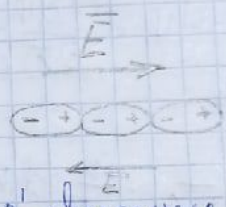
Момент силы на диполь действ.



$M = qEl\sin\theta$

$\bar{M} = [\bar{p}, \bar{E}]$

момент электрический



q' - связанные заряды

$\bar{E}_{рез} = \bar{E} + \bar{E}'$

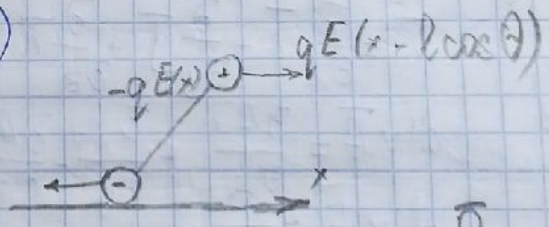
Диэлектрик ослабляет поля за счет поляризации

Сила действ на диполь:

1) Если поле однородное $E = const$; $F = const = \bar{0}$

2) $F_x = qE(x + l\cos\theta) - qE(x)$

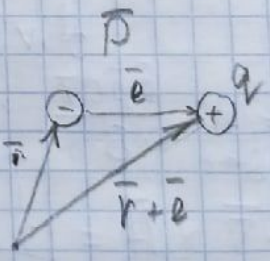
$F_x = p\frac{\partial E}{\partial x}\cos\theta = p_x\frac{\partial E}{\partial x}$



Диполь обладает энергией

$W = q\varphi(\bar{r} + \bar{e}) - q\varphi(\bar{r}) =$

$= q(\varphi(\bar{r} + \bar{e}) - \varphi(\bar{r})) = q\,\mathrm{grad}\,\varphi \cdot \bar{e} = -(\bar{p}\bar{E})$



$\bar{p} = \frac{\sum p}{\Delta V}$

$\bar{p} \sim \bar{E}$ чем больше $\bar{E}$ тем больше растягивается диполь ($\bar{p}$)

$\bar{P} = \chi \varepsilon_0 \bar{E}$

диэлектрическая восприимчивость

$\chi = \varepsilon - 1$ диэлектр проницаемость

Нет диэлектрика $\Rightarrow \chi = 0$

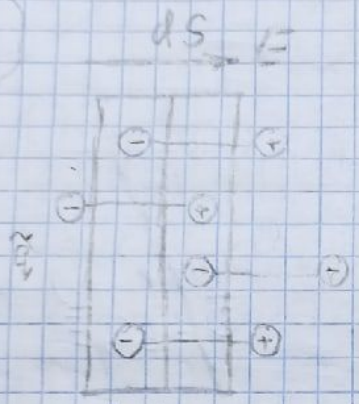
в вакууме: $\varepsilon = 1$

Теорема Гаусса $\oint \bar{E} d\bar{S} = \frac{\sum q_i + \sum q_i'}{\varepsilon_0}$ связанные заряды

диполи целиком электрически $= 0$

$\sum q_i = 1$

$\sum q_i' = -1$



заряд на частицы диполя

$dq' = -n \cdot dS\, e \cos\theta \cdot q' =$

$= -n p\, dS \cos\theta = p\, dS \cos\theta$

$\sum q_i' = \int dq' = \oint p_n dS = \oint \bar{P} d\bar{S}$

$\oint \bar{P} d\bar{S} = -\sum q_i'$

т. Гаусса для $\bar{P}$

$\operatorname{div} \bar{P} = -\rho'$

$\oint (\varepsilon_0 \bar{E} + \bar{P}) dS = \sum q_i$

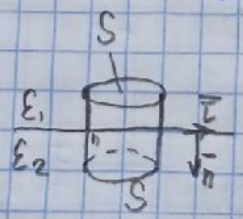
$\bar{D} = \bar{P} + \varepsilon_0 \bar{E}$ – вектор электр. смещения

$\oint \bar{D} d\bar{S} = \sum q_i$

$\bar{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \bar{E}$

$\operatorname{div} \bar{D} = \rho$

Граничные условия



$\oint \bar{D} d\bar{S} = \sum q_i$

$h \to 0$

$\oplus\ D_{1n} S + D_{2n} S = 0$

т. Гаусса нормаль от поверхности, у нас обратно

$D_{1n} = D_{2n}$

$$-P_{1n}S + P_{2n}S = \sigma S - P_{1n}S - P_{2n}S = 0$$

$$P_{1n} = P_{2n}$$

$$\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$$

$\varepsilon_2 = 1 \quad P_n = \sigma$

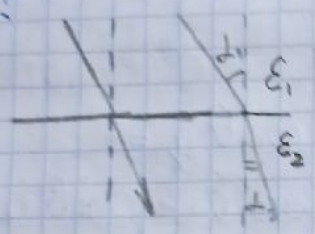
$$\oint \bar{E}\, d\bar{l} = 0$$

$$-E_{1\tau} l + E_{2\tau} l = 0 \quad (h \to 0)$$

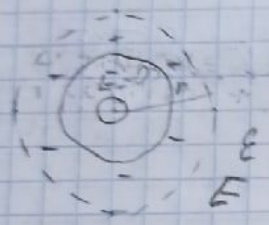
$$E_{1\tau} = E_{2\tau}$$

$$\frac{D_{1\tau}}{\varepsilon_1} = \frac{D_{2\tau}}{\varepsilon_2}$$

$P_\tau = ?$



$$\frac{tg\,\alpha_1}{tg\,\alpha_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$



1) $r < R$

$$\oint \bar{D}\, d\bar{S} = \sum q_i \qquad D_r \cdot 4\pi r^2 = 0 \quad D = 0 \quad E = 0$$

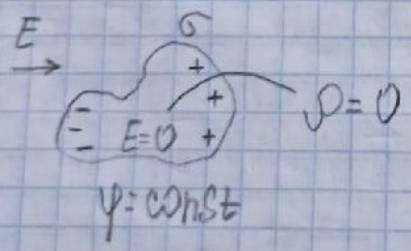
$$\bar{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \bar{E}$$

2) $r > R$

$$D 4\pi r^2 = Q$$

$$D = \frac{Q}{4\pi r^2} \quad E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$$

Проводники в электростат. поле. Энергия и электрическая ёмкость

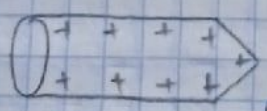


$$\text{grad}\,\varphi \perp \varphi = const$$

$$D = \sigma$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

Клетка Фарадея



$$\frac{q_1}{\varphi_1} = \frac{q_2}{\varphi_2} = C\,[Ф]$$

Емкость определ формулой

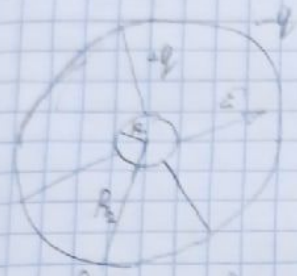
$R = 6400$ км

$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$

$C = 4\pi\varepsilon_0 R$

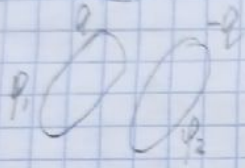
$C \approx 0{,}7 \cdot 10^{-3}$ Ф

Емкость сферического конденсатора

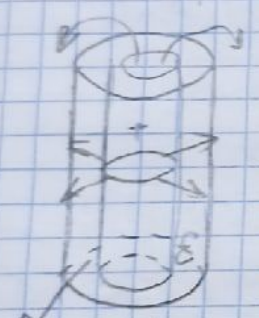


$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{R_1}^{R_2} \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2} dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$C = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$$



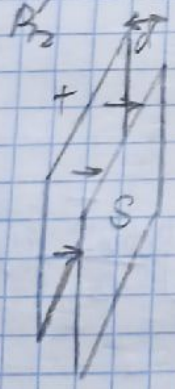
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} \qquad \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$



$$E = \frac{\tau}{2\pi r\varepsilon\varepsilon_0}$$

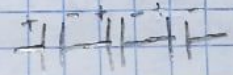
линейная плотность заряда, заряд на единицу длины

$$\Delta\varphi = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} dr = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0} \ln\frac{R_2}{R_1}$$



$$D = \sigma$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$



$$\Delta\varphi = \sum \Delta\varphi_i$$

$$\frac{q}{C} = \sum \frac{q_i}{C_i}$$

$$q = \sum q_i$$

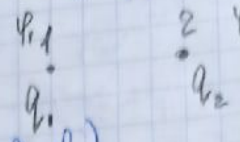
$$C\Delta\varphi = \sum C_i \Delta\varphi_i$$

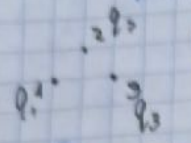
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi}$$

Энергия системы точечных зарядов

φ_2 – потенц. поле, которое созд q_1 в т. 2

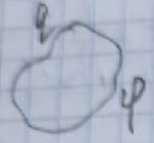
$W = q_2\varphi_2 + q_1\varphi_1 = \frac{1}{2}(q_1\varphi_1 + q_2\varphi_2)$





$W = \frac{1}{2}(q_1\varphi_1 + q_2\varphi_2 + q_3\varphi_3)$

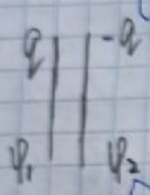
Случай непрерывн. зарядов



$W = \frac{q\varphi}{2} = \frac{C\varphi^2}{2}$

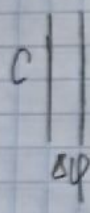
$W = \frac{1}{2}\sum q_i\varphi_i$

$\left(\frac{mv^2}{2}; \frac{\pi v^2}{2}; \frac{kx^2}{2}; \frac{LI^2}{2}\right)$ $W = \int \frac{\varphi dq}{2}$



$W = \frac{q\varphi_1}{2} - \frac{q\varphi_2}{2} = \frac{q\Delta\varphi}{2} = \frac{C\Delta\varphi^2}{2}$

Энергия плоского конденсатора



$W = \frac{C\Delta\varphi^2}{2} = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S E^2 d^2}{d} = \frac{ED}{2}\cdot V$

$\Delta\varphi = Ed$ $\qquad W = \frac{ED}{2}$

$W = \int w\, dV = \int \frac{ED}{2} dV$

Строгий вывод

$\operatorname{div}(\varphi\bar{D}) = \operatorname{grad}\varphi\bar{D} + \varphi \operatorname{div}\bar{D}$

$\operatorname{div}\bar{D} = \rho$ $\quad W = \int \frac{\varphi\rho}{2} dV = \int \frac{\varphi \operatorname{div}\bar{D}}{2} dV = \int \frac{E}{2} D dV + \int \frac{\operatorname{div}\bar{D}}{2} dV.$

$\int \operatorname{div}\bar{D} dV = \oint \bar{D} d\bar{S}$

пот. Остроградского-Гаусса

$\frac{1}{2}\oint \varphi\bar{D} d\bar{S}$ $\quad \varphi \sim \frac{1}{2}$ $\quad S \sim r^2$ $D \sim \frac{1}{r^2}$ $\quad \frac{1}{r}\cdot\frac{1}{r^2}r^2 \to 0$

$r \to \infty$

Теорема Гусса

$\int \operatorname{rot}\bar{A} d\bar{S} = \oint \bar{A} d\bar{l}$

$I = \left|\frac{dq}{dt}\right|$

S_1

$\frac{I}{S_1} = j$ $\quad \bar{j}$

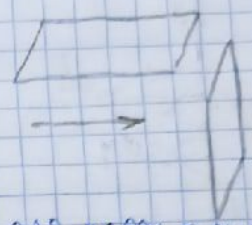
$I = \frac{-dq}{dt}$

$\oint \bar{j}\, d\bar{S} = -\frac{\partial}{\partial t}\int \rho\, dV$

$\int \operatorname{div} \bar{j}\, dV = \int \frac{\partial \rho}{\partial t}\, dV$

Закон сохр. заряда

$\operatorname{div} \bar{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$



$\mathcal{E} = \int_1^2 \bar{E}_{ст}\, dl$

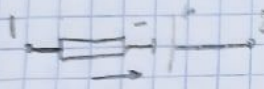
$\varphi_1 - \varphi_2 = U = IR$

$\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_1 = U$

$I(R + r_0) = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}$

$j = \sigma \bar{E}$

Закон Ом а для неоднородного участка цепи

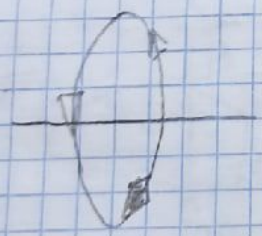


Закон Джоуля-Ленца

$P = U \cdot I = I^2 R$

$P_{уд} = jE$

Магнитное поле



$\bar{B}$

$\frac{dr}{r}$

v

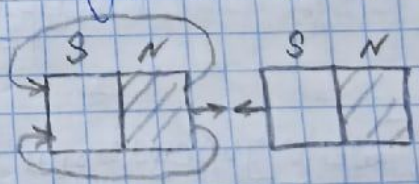
$F_x = q|\bar{v} \cdot \bar{B}|$

$(\bar{F} = q\bar{E})$

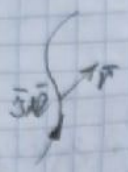
$B = \frac{F_{max}}{qv}$ Тл

В вакууме $H = \frac{\bar{B}}{\mu_0}$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$



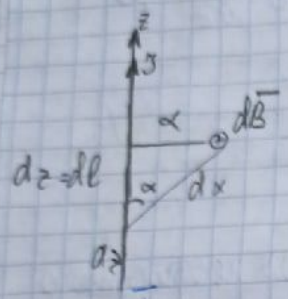
Закон Био-Савара Лапласа



$$d\bar{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\,d\bar{l} \times \bar{r}}{r^2}$$

$$\bar{B} = \int d\bar{B}$$

$$\bar{B} = \sum \bar{B}_i$$



$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dz \sin\alpha}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\,d\alpha \sin\alpha}{a}$$

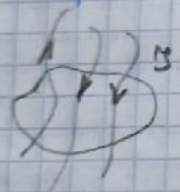
$$B = \int_0^{\pi} \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \sin\alpha\, d\alpha = \left[\frac{\mu_0 I}{2\pi a}\right]$$

Теорема Гаусса для магнитного поля

$$\oint \bar{B}\, d\bar{S} = 0$$

$$\operatorname{div} \bar{B} = 0$$

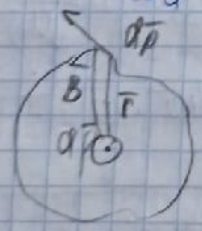
Теорема о циркуляции



$$\oint \bar{B}\, d\bar{l} = \mu_0 \sum I_i$$

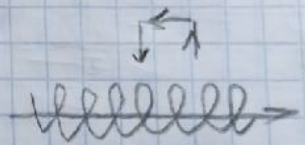
$$B\, 2\pi a = \mu_0 I$$

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



$$dl \cos\varphi = r\,d\varphi$$

$$d\varphi = \mu_0 I$$



$$\oint \bar{B}\, d\bar{l} = Bl = \mu_0 n I l$$

$$B = \mu n I$$

Теор с циркуляции в диф. форме

$$\operatorname{rot} \bar{B} = \mu_0 \bar{j}; \quad \oint \bar{B}\, d\bar{l} = \mu_0 \sum I$$

Тороид:

$$B\, 2\pi = N$$

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

Эл. ток - большое число зарядов n, движ. со скор $\vec{v}$

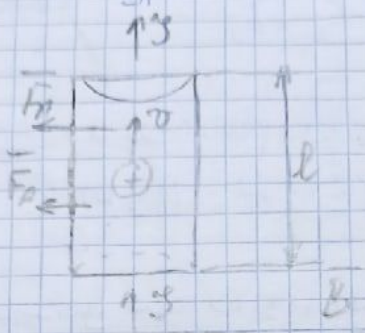
$d\vec{F} = [I\,d\vec{l}, \vec{B}]$ - сила Лоренца через силу Ампера

$I = j \cdot S$; $j = q n v$

$d\vec{F} = q v n S [d\vec{l}, \vec{B}] = q n S d l [\vec{v}, \vec{B}]$

Правило Буравчика

$F_n = \frac{F_A}{N_{\text{число заряд}}}$



$I = n q v S$

$V = n S l$

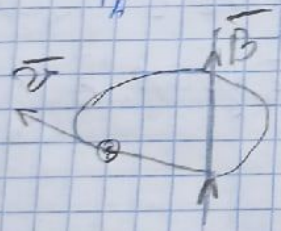
$F = q v B \sin\alpha$

Работа $F_n = 0$, если $\vec{v} \perp \vec{F}_n$ (т.е. сила Лоренца не может изменить кинет. энергию частицы

Ур-е движ. частицы, на кот. действ. магн. и электр. поле

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}]$$

F_n меняет напр. частицы, но не энергию заряда



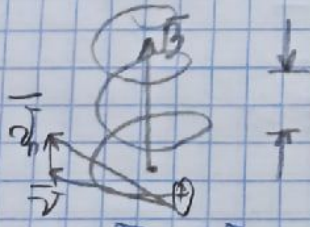
$F_{цб} = m_q v^2 / R$

$F_n = e v B$

$\Rightarrow \frac{m_q v^2}{R} = q v B$

$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ - период обр. частицы в однор. магн. поле

Движ. частицы в магн. поле под углом к B



$D = v_n T$

$v_\perp = v \sin\alpha$ $v_n = v \cos\alpha$

$l = v_n T = 2\pi \frac{m}{e} = \frac{l}{B} v \cos\alpha$

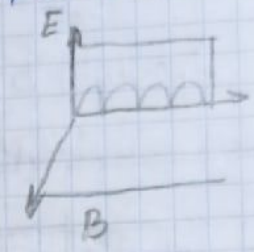
1) $a_n = \frac{q}{m} E \cos\beta$ β – ∠ между

постоян ускорение

2) равномерное вращение $\omega = \frac{qB}{m}$ /вплоскости B

3) дрейф со скоростью $\bar{v}_d = \frac{[\bar{E};\bar{B}]}{B^2}$

3 сост. движения $\bar{E} = \bar{E}_{\parallel} + \bar{E}_{\perp}$



Частица ускоряется электрическим полем, а удерживается на траектории магн. полем $R = \frac{mv}{qB}$

Фазотрон – уник. резонансный ускор. т.к. частота $B = const$ и ω изменяется

Синхротрон – ~~уник.~~ р — // — удерживается $\bar{E}$, у $\omega = const$ и B изменяется.

Синхрофазотрон: B и ω меняется

Эффект Холла

Возникает в проводнике или полупроводнике с током, находящ. в магн. поле. Физика – откл. $\bar{e}$, движ. в магн. поле под действ. силы Лоренца

$U_H = R b j B$

b – ширина пластины; B – магн. индукция

j плотность

$F_л = e v B$

$U_H = b E_B = b v B$

$j = n e v \rightarrow U_H = \frac{1}{ne} b j B$

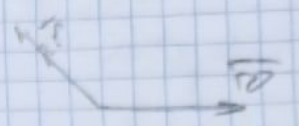
$R = \frac{1}{ne} \rightarrow U_H = R b j B$

пост. Холла

Подвижность носителей тока $\mu = \frac{v}{E}$

Магн. поле точечного заряда

$$\bar{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q\,\bar{v} \times \bar{r}}{r^3} = \varepsilon_0 \mu_0\, \bar{v} \times \bar{E} = \frac{\bar{v} \times \bar{E}}{c^2}$$



$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q\,\bar{r}}{r^3}(\bar{v} \times \bar{r})$$

$c = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$ – v света в вакууме

$$F_м = q\,\bar{v} \times \bar{B}$$

$$F = q\,\bar{E}$$

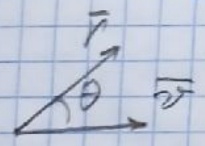
$$\frac{F_м}{F_э} = \frac{v^2}{c^2}$$

$$\bar{E} = -\bar{\nabla}\varphi + \frac{\partial A}{\partial t}$$

$$\bar{B} = \mathrm{rot}\,\bar{A} = \bar{\nabla} \times \bar{A}$$

Поле релятивистского движ. заряда

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^3} \cdot \frac{1-\beta^2}{(1-\beta^2 \sin^2\theta)^{\frac{3}{2}}} \qquad \beta = \frac{v}{c}$$



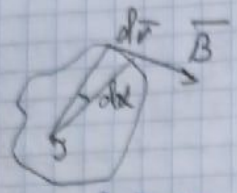
$$B = \frac{\bar{v} \times \bar{E}}{c^2}$$

Теор. Гаусса для B

$$\oint \bar{B}\, d\bar{S} = 0 \qquad \mathrm{div}\,\bar{B} = 0$$

Магн поле стационарное силовые линии замкнуты

$\mathrm{rot}\,\bar{H} = \bar{j} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$ т.е. ~~в~~ токи бывают в магн поле



$B = \frac{\mu_0}{J}\frac{J}{r}$

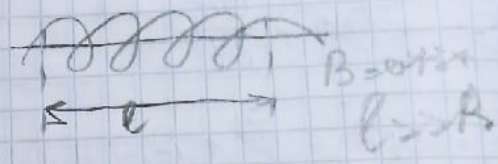
$\oint \bar{B}\,d\bar{l} = \mu_0 \sum J_i$ – все токи внутр контур

$\mathrm{rot}\,\bar{B} = \bar{\nabla}\times\bar{B} = \mu_0 \bar{j}$ – тер ∞ токи в дифф. форме

$\Phi = \iint \bar{B}\,d\bar{S} = \oint \bar{A}\,d\bar{l}$

Поле соленоида / тороида

Соленоид:



$B = \mu_0 \frac{N}{l} J = \mu_0 n J$

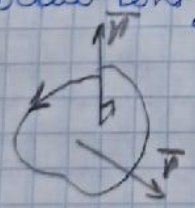
$\frac{N}{l} = n$ плотность числа витков

$\oint B\,dl = B 2\pi r = \mu_0 A n J \cdot 2\pi$

$B = \mu_0 n J \cdot \frac{R}{r}$

$\left(\frac{R}{r} = 1 \text{ у соленоида}\right)$

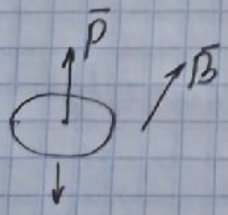
Плоский контур



$\bar{P} = J S \bar{n}$

Характер. разм. контура << r

$\bar{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{3(\bar{p}\bar{r})\bar{r} - r^2\bar{p}}{r^5}$



$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{pm}{r^3}\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}$

$W = -\bar{p}\bar{B}$

$\overline{M} = \overline{p} \times \overline{B}$ - мех. момент

Если B - однородное, то $B = 0$

$\overline{P} = \frac{\sum_{\Delta V} d}{\Delta V}$ - поляризованность

Напряженность: $\overline{E} = \frac{\sum_{\Delta V} \overline{P}}{\Delta V}$

$\frac{d\overline{P}}{V} = \overline{P}\, d\overline{E}$