1 Электростатика

1.1 1 Элементарные электрические заряды и взаимодействия между ними. Принцип суперпозиции. Точечные макроскопические заряды. Закон Кулона. Системы единиц.

Электрический заряд - если 2 одинаковых элементарных частицы отталкиваются с силой $1/r^2$, то такая частица заряжена.
Принцип суперпозиции:
- Взаимодействие между двумя частицами не изменяется при внесении третьей частицы, также взаимодействующей с первыми двумя.
- Энергия взаимодействия всех частиц в многочастичной системе есть просто сумма энергий парных взаимодействий между всеми возможными парами частиц. В системе нет многочастичных взаимодействий.
- Уравнения, описывающие поведение многочастичной системы, являются линейными по количеству частиц.

Напряженность поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, которое создает каждый из этих зарядов в отдельности.
Элементарный заряд в СИ $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Пробный заряд - точечный положительный заряд, который не искажает исследуемое поле, т.е. не вызывает в нем перераспределения зарядов (собственным полем пробного заряда пренебрегают).
Заряд макроскопического тела: $Q = (N_+ - N_-) \cdot q$, где N_+, N_- - кол-во положительно и отрицательно заряженных частиц
Электростатическое взаимодействие между элементарными зарядами: $F = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot \vec{r}}{|r|^3}$
Системы единиц, варианты констант:(?а оно надо кому-то?)
$q_e = 1; m_e = 1; \hbar = 1; c = 137$ || $q_e = 1; m_e = 1; \hbar = 1/137; c = 1$
В СГС $k = 1$, в СИ $k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}$
Сила, действующая на элементарный заряд со стороны системы элементарных зарядов: $f_{1,k} = \sum_K \frac{q_1 \cdot q_2}{|R - r_k|^3}(\vec{R} - \vec{r_k})$
Сила взаимодействия между двумя макроскопическими зарядами: $f_{I,K} = \sum_{I,K} \frac{q_i \cdot q_2}{|R_i - r_k|^3}(\vec{R_i} - \vec{r_k})$
Закон Кулона: $F_{I,K} = \frac{q_i \cdot q_k \cdot \Delta\vec{R}}{|\Delta R|^3}$

1.2 2 Электростатическое поле в вакууме. Вектор напряженности электрического поля. Скалярный потенциал. Связь между электрическим полем и потенциалом. Примеры вычисления электрических полей и потенциалом простейших систем.

Электростатическое поле - поле, созданное системой неизменных электрических зарядов. $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = -\nabla\varphi$; $[E] = \frac{V}{m}$
Сглаженное макроскопическое поле, создаваемое непрерывным распределением заряда: $E = \int \frac{dq(r)(\vec{R}-\vec{r}}{|R-r|^3}$
Определение электрического потенциала в точке: $\varphi(R) = \int_R^{R_0}(\vec{E}\cdot d\vec{l})$
Принцип суперпозиции для потенциалов: $\varphi(\vec{R}) = \sum \varphi_i(\vec{R})$
Потенциал: $\varphi = \frac{k\cdot q}{r}$

1.3 3-4 Теорема Гаусса. Интегральная форма записи уравнений электростатического поля в вакууме. Примеры вычисления полей при помощи интегральных теорем. Дифференциальная форма записи уравнений для электростатического поля в вакууме. Примеры использования теорем в дифференциальной форме.

Теорема Гаусса: $\oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = 4\pi kQ$
Поле бесконечной равномерно заряженной плоскости: $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
Уравнения Максвелла для электростатики:
Интегральная форма: $\oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = 4\pi kQ; \oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$ Да, площадь векторная.
Циркуляция в электростатическом поле равна нулю.
Дифференциальная форма: $\nabla\cdot\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}; \nabla\times\vec{E} = 0$
//ATTENTION!!! Местами перемешаны Гауссовская и СИ

1.4 5 Уравнение Пуассона для скалярного потенциала. Теорема единственности решения задач электростатики

Уравнение Пуассона: $-\nabla^2\varphi = \frac{\varphi}{\varepsilon_0}(SI) = 4\pi\rho(Gauss)$
Решение уравнения Пуассона: $\Delta\varphi = \int \frac{\rho(\vec{r}}{|\vec{R}-\vec{r}|}dV$
Теорема единственности решения задач электростатики: в данной системе зарядов и n проводников существует только один $\phi(\vec{r})$, обращающийся в нуль на бесконечности и принимающий установленные значения $\phi_1, \phi_2 ... \phi_n$ на границах проводников. Работа по внесению равномерно заряженной сферы в толе точечного заряда: $A = \frac{Q}{4\pi R^2}\sum \Delta S_i \cdot \varphi(\vec{R}_i)$
Работа по внесению точечного заряда q в точку, расположенную рядом с равномерно заряженной сферой: $A = Q \cdot \varphi_0$

1.5 6 Электрическое поле при наличии проводников. Метод изображений. Примеры расчетов полей при наличии проводников

Внутри проводника поля нет!
Диэлектрическая проницаемость: $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$
Проводники изменяют структуру электрического поля, поэтому встает задача расчета поля системы зарядов и проводников.
Метод изображений заключается в подборе такого фиктивного заряда в толще проводника, введение которого создало бы в области границы проводника условия, идентичные данным.
Это похоже на построение изображения заряда в зеркале, если считать поверхность проводника зеркалом.
`http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9` Граничные условия на поверхности проводника, выполнение которых является критерием правильности решения задачи методом изображений:
$\varphi = const; E_R = 0$
Сила, действующая на элемент поверхности заряженного проводника:
$\delta\vec{F} = \vec{E}'\delta q = \vec{E}'\sigma\delta S$
Электростатическое давление на поверхность заряженного проводника:
$p = \frac{\delta F}{\delta S} = a\pi\sigma^2$

1.6 7 Простейшие механизмы поляризации диэлектриков: электронная и ориентационная поляризация. (Анизотропные молекулы в электрическом поле).

Для начала скажем кое-что о диполях и дипольном моменте.
Электрический диполь - система из 2 разноименных зарядов q и $-q$, находящихся на расстоянии l друг от друга.
Дипольный момент вычисляется по следующей формуле: $\vec{p} = q\vec{l}$
Потенциал диполя: $\varphi = \frac{kp}{r}\cos\alpha$, где α - угол между $\vec{l}$ и $\vec{r}$.
Напряженность поля диполя: $\vec{E} = \frac{kp}{r^3}\sqrt{1 - 3\cos^2\alpha}$
В однородном поле сила, действующая на диполь, равна нулю. $\vec{F} = \vec{F_-} + \vec{F_+} = 0$
В неоднородном это не так:

$$\begin{gathered}\vec{F} = \vec{F_-} + \vec{F_+} = q(\vec{E_-} + \vec{E_+}) = q\Delta\vec{E} \\ \Delta\vec{E} = \frac{\Delta E\vec{l}}{l} = \frac{\partial E}{\partial l}\vec{l} \Rightarrow \\ \vec{F} = q\frac{\partial E}{\partial l}\vec{l} = \vec{p}\frac{\partial E}{\partial l}\end{gathered} \tag{1}$$

Момент сил относительно центра масс диполя:

$$\begin{gathered}\vec{M} = \vec{M_-} + \vec{M_+} = [\vec{r_-} \times \vec{F_-}] + [\vec{r_+} \times \vec{F_+}] = \\ q([\vec{r_+} \times \vec{E_+}] - [\vec{r_-} \times \vec{E_-}]) = q[(\vec{r_+} - \vec{r_-}) \times \vec{E}] = \\ [q\vec{l} \times \vec{E}] = [\vec{p} \times \vec{E}]\end{gathered} \tag{2}$$

Потенциальная энергия диполя:

$$\begin{gathered}W = q\varphi_+ - q\varphi_- = q\Delta\varphi = \\ q\ \frac{\partial\varphi}{\partial l}l = -pE_l = \\ -pE\cos\alpha\end{gathered} \tag{3}$$

Электронная поляризация возникает в результате смещения электронных облаков относительно центра ядер атомов или ионов под действием электрического поля. Наблюдается во всех без исключения диэлектриках, а в неполярных материалах является единственным видом поляризации.
$\vec{p} = q\vec{l}$ - дипольный момент электрического диполя, $a_e = \chi\varepsilon_0$ - электронная поляризуемость, ε - диэлектрическая проницаемость, n - число

частиц в единице объёма

$$P = a_e \cdot E \tag{4}$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{n \cdot a_e}{\varepsilon_0} \tag{5}$$

http://ftemk.mpei.ac.ru/foetm/files/foetm_book01/foetm_text105.htm
Ориентационный тип поляризации характерен для полярных диэлектриков. В отсутствие внешнего электрического поля молекулярные диполи ориентированы случайным образом, так что макроскопический электрический момент диэлектрика равен нулю. Если поместить такой диэлектрик во внешнее электрическое поле, то на молекулу-диполь будет действовать момент сил, стремящийся ориентировать ее дипольный момент в направлении напряженности поля. Однако полной ориентации не происходит, поскольку тепловое движение стремится разрушить действие внешнего электрического поля.

$$\vec{P} = n < \vec{p} > \tag{6}$$

Поляризованность в этом случае равна P, где $< p >$ - среднее значение составляющей дипольного момента молекулы в направлении внешнего поля.
http://physicsleti.narod.ru/fiz/html/point_2_2.html

1.7 8 Векторы поляризации и электрической индукции и их использование для описания электрического поля при наличии диэлектриков. Примеры вычисления полей

Вектор поляризации:

$$P_n = \vec{P} \cdot \vec{n} \tag{7}$$

$\vec{n}$ - нормаль.
Теорема Гаусса для вектора поляризации:

$$\oint_S (\vec{P} \cdot d\vec{S}) = -q' \tag{8}$$

где q' - полный связанный заряд системы. Электрическая индукция:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \tag{9}$$

1.8 9 Электрическое поле однородно поляризованного шара. Формула Клаузиуса-Моссотти. Спонтанная поляризация диэлектриков.

Электрическое поле однородно поляризованного шара.
Внутри шара:

$$\vec{E} = -\frac{4\pi}{3}\vec{P} \tag{10}$$

За пределами шара:

$$\vec{E} = -\frac{4\pi k}{3}\vec{P}\sqrt{1-3\cos^2\alpha} \tag{11}$$

http://alexandr4784.narod.ru/sdvepdf3/segl01_16.pdf
Формула Клаузиуса-Мосотти:

$$\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2} = \frac{4\pi}{3}N\cdot\alpha \tag{12}$$

ε — диэлектрическая проницаемость, N — количество частиц в единице объёма, α — их поляризуемость.
Опять же, не нашла ничего толкового по спонтанной поляризации
http://ftemk.mpei.ac.ru/ctlw/DocHandler.aspx?p=pubs/etm_full/polarf/02.05.06.htm

1.9 10 Электростатическая энергия системы электрических зарядов в вакууме

Энергия взаимодействия двух зарядов:

$$W = \frac{k\cdot q_1\cdot q_2}{r} \tag{13}$$

Энергия взаимодействия системы зарядов:

$$W = \frac{1}{2}\sum_i q_i \sum_{j\neq i} k\frac{q_j}{r_{ij}} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} q_i\cdot\varphi_i \tag{14}$$

http://www.effects.ru/science/278/index.htm

1.10 11 Объемная плотность энергии электростатического поля в вакууме

$$\omega = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2}{2} = \frac{D^2}{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \tag{15}$$

http://physics-lectures.ru/elektrostatika/16-3-obemnaya-plotnost-energii-elektro

1.11 12 Силы, действующие на диэлектрик в неоднородном электрическом поле

//Может, это пондеромоторные силы? Он про них точно что-то рассказывал

2 Электрический ток

2.1 1 Основные определения. Закон сохранения электрического заряда. Дифференциальная форма закона Ома для сред с эффективной силой вязкого трения. Объемные токи. Закон Джоуля-Ленца.

Электрический ток – упорядоченное движение зарядов. Электрический ток может быть обусловлен движением как положительными так и отрицательными зарядами. За положительное направление тока принимают направление движения положительных зарядов.
Плотность заряда: $\vec{j} = qn < \vec{v} >$
Сила электрического тока, протекающего через сечение проводника: $I = \int \vec{j} \cdot d\vec{S} = \frac{dQ}{dt}$
Интегральная форма записи закона сохранения заряда: $\frac{dQ_V}{dt} = -\oint \vec{j} \cdot d\vec{S}$
Дифференциальная форма ЗСЗ: $\frac{\delta\rho}{\delta t} = -\nabla\vec{j}$
Закон Джоуля-Ленца(из вики): $\omega = \vec{j} \cdot E = \sigma \cdot E^2; dQ = I^2Rdt$, где σ - проводимость среды.

2.2 2 Элементы классической теории проводимости металлов. Дифференциальная и интегральная формы закона Ома для пассивного и активного участков цепи. Удельное сопротивление и его зависимость от температуры. Трудности классической теории проводимости металлов.

Уравнение движения свободных носителей заряда в проводнике в рамках классической теории проводимости: $\frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} + \vec{F} - \eta\vec{v}$
Связь коэффициента трения и постоянной времени релаксации: $< v(t) >= v_0 e^{-t/\tau}$
Закон Ома в дифференциальной форме: $\vec{j} = \sigma \cot \vec{E}$
j - плотность тока, $\sigma = \frac{1}{\rho}$ - проводимость, ρ - удельное сопротивление
Закон Ома в интегральной форме для пассивного участка цепи: $I = \frac{U}{R}$
Закон Ома в интегральной форме для активного участка цепи: $I = \frac{-\Delta\varphi \pm \Xi}{R}$, где Ξ - ЭДС
Правила Кирхгофа:
- Сумма токов в любом узле = 0;
- Сумма падений напряжений в любом замкнутом контуре = сумме ЭДС.

Оценка удельного сопротивления проводника: $\rho = \frac{1}{nq^2}\sqrt{\frac{mkT}{\lambda}}$

2.3 3 Электрический ток в вакууме. Вакуумный диод. (Закон 3/2). Выпрямление электрического тока.

Оценка величины запирающего потенциала для вакуумного диода: $-e \cdot U_z \approx kT - A$
Оценка величины тока насыщения: $I_N = const \cdot e^{-A/kT}$
Сила тока, протекающего через вакуумный диод: $I = q \cdot n \cdot v \cdot S$
Связь скорости электронов с потенциалом внутри диода: $\frac{mv^2}{2} = q\varphi$
Уравнение Пуассона для потенциала в вакуумном диоде: $\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} = -4\pi\rho = 4\pi qn(x)$
Закон "3/2": $I = const \cdot \varphi^{3/2}$

2.4 4-6

Не знаю

3 Магнитостатика

3.1 2 Сила Лоренца. Магнитное поле системы движущихся зарядов. Примеры вычисления магнитных полей простейших распределений. Закон Био-Савара-Лапласа.

Магнитное поле, создаваемое в точек R точечным зарядом q, движущимся в точке r с постоянной скоростью v: $\vec{B}(R) = q\frac{[\frac{\vec{v}}{c},(\vec{R}-\vec{r})]}{|\vec{R}-\vec{r}|^3}$
Сила Лоренца: $F_L = Q\left[\frac{\vec{v}}{c}, \vec{B}\right]$