РАЗДЕЛ III. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Основные формулы

Закон Кулона

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2},$$

где F - сила взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2; r - расстояние между зарядами; ε - диэлектрическая проницаемость; ε_0 - электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля и потенциал

$$\vec{E} = \vec{F}/Q, \quad \varphi = \Pi/Q,$$

где Π - потенциальная энергия точечного положительного заряда Q, находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда

$$\vec{F} = Q\vec{E}, \quad \Pi = Q\varphi.$$

Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей),

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N} \vec{E}_i, \quad \varphi = \sum_{i=1}^{N} \varphi_i,$$

где $\vec{E}_i$, φ_i - напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого i-м зарядом.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом,

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

где r - расстояние от заряда Q до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

а) $E = 0, \quad \varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R}$ (при $r<R$);

б) $E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R^2}, \quad \varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R}$ (при $r=R$);

в) $E=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$, $\varphi=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$ (при $r>R$),

где Q - заряд сферы.

Линейная плотность заряда

$$\tau=Q/l.$$

Поверхностная плотность заряда

$$\sigma=Q/S.$$

Если заряд равномерно распределен вдоль линии с линейной плотностью τ, то на линии выделяется малый участок длиной dl с зарядом $dQ=\tau dl$. Такой заряд можно рассматривать как точечный и применять формулы

$$d\vec{E}=\frac{\tau dl}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}\frac{\vec{r}}{r};\ d\varphi=\frac{\tau dl}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r},$$

где $\vec{r}$ - радиус-вектор, направленный от выделенного элемента dl к точке, в которой вычисляется напряженность.

Используя принцип суперпозиции электрических полей, находим интегрированием напряженность $\vec{E}$ и потенциал φ поля, создаваемого распределенным зарядом:

$$\vec{E}=\frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int_l\frac{dl}{r^2}\frac{\vec{r}}{r};\quad \varphi=\frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int_l\frac{dl}{r}.$$

Интегрирование ведется вдоль всей длины l заряженной линии.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной прямой равномерно заряженной линией или бесконечно длинным цилиндром,

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

где r - расстояние от нити или оси цилиндра до точки, напряженность поля в которой определяется.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью,

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

Связь потенциала с напряженностью:

а) $\vec{E}=-grad\ \ \varphi$, или $\vec{E}=-\left(\vec{i}\dfrac{\partial\varphi}{\partial x}+\vec{j}\dfrac{\partial\varphi}{\partial y}+\vec{k}\dfrac{\partial\varphi}{\partial z}\right)$ в общем случае;

б) $E=(\varphi_1-\varphi_2)/d$ в случае однородного поля;

в) $E = -\dfrac{d\varphi}{dr}$ в случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией.

Электрический момент диполя

$$\vec{p} = |Q|\vec{l},$$

где Q - заряд; $\vec{l}$ - плечо диполя (векторная величина, направленная от отрицательного заряда к положительному и численно равная расстоянию между зарядами).

Работа сил поля по перемещению заряда Q из точки поля с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2

$$A_{12} = Q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Электроемкость

$$C = Q/\varphi, \quad \text{или} \quad C = Q/U,$$

где φ - потенциал проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю); U - разность потенциалов пластин конденсатора.

Электроемкость плоского конденсатора

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S / d,$$

где S – площадь пластины (одной) конденсатора; d - расстояние между пластинами.

Электроемкость батареи конденсаторов:

а) $\dfrac{1}{C} = \sum\limits_{i=1}^{N} \dfrac{1}{C_i}$ при последовательном соединении;

б) $C = \sum\limits_{i=1}^{N} C_i$ при параллельном соединении,

где N - число конденсаторов в батарее.

Энергия заряженного конденсатора:

$$W=QU/2,\ W=CU^2/2,\ W=Q^2/(2C).$$

Сила постоянного тока

$$I=Q/t,$$

где Q - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t.

Плотность тока

$$j=I/S,$$

где S - площадь поперечного сечения проводника.

Связь плотности тока со средней скоростью $\langle \upsilon \rangle$ направленного движения заряженных частиц

$$j = Qn\langle \upsilon \rangle,$$

где Q - заряд частицы; n - концентрация заряженных частиц.

Закон Ома:

а) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$ для участка цепи, не содержащего ЭДС, где φ_1-φ_2=U - разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи; R - сопротивление участка;

б) $I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon}{R}$ для участка цепи, содержащего ЭДС, где ε - ЭДС источника тока; R - полное сопротивление участка (сумма внешних и внутренних сопротивлений);

в) $I = \frac{\varepsilon}{R + R_i}$ для замкнутой (полной) цепи, где R - внешнее сопротивление цепи; R_i - внутреннее сопротивление цепи.

Законы Кирхгофа:

а) $\Sigma I_i=0$ - первый закон;

б) $\Sigma I_i R_i= \Sigma\varepsilon_i$ - второй закон,

где ΣI_i - алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле; $\Sigma I_i R_i$ - алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков; $\Sigma\varepsilon_i$ - алгебраическая сумма ЭДС.

Сопротивление R и проводимость G проводника

$$R=\rho l/S,\ G=\gamma S/l,$$

где ρ - удельное сопротивление; γ - удельная проводимость; l - длина проводника; S - площадь поперечного сечения проводника.

Сопротивление системы проводников:

а) $R=\Sigma R_i$ при последовательном соединении;

б) $\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$ при параллельном соединении, где R_i - сопротивление i-го проводника.

Работа тока:

$$A=IUt,\quad A=I^2Rt,\quad A=U^2t/R.$$

Первая формула справедлива для любого участка цепи, на концах которого поддерживается напряжение U, последние две - для участка, не содержащего ЭДС.

Мощность тока:

$$P=IU,\qquad P=I^2R,\qquad P=U^2/R.$$

Закон Джоуля-Ленца

$$Q=I^2Rt.$$

Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где γ - удельная проводимость; $\vec{E}$ - напряженность электрического поля; $\vec{j}$ - плотность тока.

Связь удельной проводимости γ с подвижностью b заряженных частиц (ионов)

$$\gamma = Qn(b_{+} + b_{-}),$$

где Q - заряд иона; n - концентрация ионов; b_{+} *и* b_{-} - подвижности положительных и отрицательных ионов.