

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Негізгі заңдар мен формулалар

4.1.1 Кулон заңы

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r}, \quad F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2};$$

мұндағы \vec{F}_{12} - q_1 зарядтың q_2 зарядқа әсер етуші күші, \vec{r}_{12} - q_1 зарядты q_2 зарядпен жалғайтын радиус-вектор

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} - \text{электр тұрақтысы}, \quad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{Ф}};$$

4.1.2 Электр өрісінің кернеулігі

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

4.1.3 Нүктелік зарядтың электр өрісінің кернеулігі

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{\varepsilon r^2};$$

4.1.4 Шексіз ұзын зарядталған цилиндрдің электр өрісінің кернеулігі

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

4.1.5 Зарядтардың сызықтық тығыздығы

$$\tau = \frac{q}{l};$$

4.1.6 Біртекті зарядталған жазықтықтың электр өрісінің кернеулігі:

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

4.1.7 Зарядтардың беттік тығыздығы

$$\sigma = \frac{q}{S};$$

4.1.8 Зарядтардың көлемдік тығыздығы:

$$\rho = \frac{dq}{dV};$$

4.1.9 Электростатикалық өріс потенциалы:

$$\varphi = \frac{Er}{q} = \frac{A\infty}{q};$$

4.1.10 Нүктелі зарядтың потенциалы:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r};$$

4.1.11 Электр өрісінің кернеулігі мен потенциалы арасындағы байланыс:

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi, \text{ немесе } \vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right)$$

біртекті өріс үшін $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d};$

4.1.12 Заряд электр өрісінде 1 нүктеден 2 нүктеге орын ауыстырғанда атқарылатын жұмыс:

$$A_{12} = q \int_1^2 (\vec{E}dl) = q(\varphi_1 - \varphi_2);$$

4.1.13 Өткізгіштің электр сыйымдылығы:

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

4.1.14 Радиусы R шар тәрізді өткізгіштің сыйымдылығы:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$$

4.1.15 Жазық конденсатордың электр сыйымдылығы:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d};$$

4.1.16 Конденсаторларды:

$$\begin{array}{ll} \text{параллель жалғау} & C = \sum_{i=1}^n C_i \\ \text{тізбектей жалғау} & \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \end{array}$$

4.1.17 Электр өрісінің энергиясы:

$$\text{зарядталған өткізгіш үшін} \quad W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q\varphi}{2};$$

$$\text{зарядталған конденсатор үшін} \quad W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q}{2C} = \frac{qU}{2};$$

$$\text{жазық конденсатор үшін} \quad W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V;$$

4.1.18 Электр өрісі энергиясының тығыздығы

$$\omega = \frac{W_E}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon}.$$

4.2 Есеп шығару үлгісі

4.2.1 Есеп 1. Екі заряд $q_1 = -1 \cdot 10^{-7}$ Кл және $q_2 = +1 \cdot 10^{-7}$ Кл бір-біріне 5 см қашықтықта орналасқан. Екі зарядты қосатын түзудің бойында және q_2 зарядынан 5 см қашықтықта жатқан А нүктесіндегі электр өрісінің кернеулігін анықта.

Берілгені:

$$q_1 = -1 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$q_2 = +1 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$l = 0,05 \text{ м}$$

$$r_0 = 0,05 \text{ м}$$

$$\vec{E}_A = ?$$

Шешуі: Жалпы электр өрісінің кернеулігі \vec{E} екі заряд тудырған электр өрісінің кернеуліктерінің геометриялық қосындысына тең. А нүктесіндегі \vec{E}_1 және \vec{E}_2 векторлары бір түзудің бойымен бір жаққа қарай бағытталған

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (23)$$

сондықтан (23) теңдікті олардың скалярлық теңдігімен ауыстыруға болады:

$$E = E_1 + E_2 \quad (24)$$

Осыдан

$$E = \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1^2} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{q_2}{r_2^2} \right)$$

мұндағы: r_1 және r_2 , q_1 және q_2 зарядтарынан қарастырылып отырған нүктеге дейінгі ара қашықтығы

$$r_1 = l + r_0; \quad r_2 = r_0$$

Өлшем бірлігіне анализ:

$$[E] = \left[\frac{M}{\Phi} \right] \left[\frac{Kл}{M^2} \right] = \frac{M \cdot B \cdot Кл}{Кл \cdot M^2} = \frac{B}{M};$$

Есептелу:

$$E = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{-1 \cdot 10^{-7}}{(0,1)^2} + \frac{1 \cdot 10^{-7}}{(0,05)^2} \right] = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-7} (-100 + 400) = 2,7 \cdot 10^5 \left(\frac{B}{M} \right)$$

Жауабы: $E = 2,7 \cdot 10^5 \frac{B}{M}$.

4.2.2 Есеп 2. Заряды $q = +1 \cdot 10^{-12}$ Кл және массасы $1 \cdot 10^{-4}$ г болатын бөлшек конденсатордың біртекті электр өрісінде тепе-теңдік қалпында тұр. Пластиналардың ара қашықтығы $d = 1$ см. Конденсатор пластиналарының арасындағы потенциалдар айырмасын анықта.

<p>Берілгені: $m = 1 \cdot 10^{-4}$ г = $1 \cdot 10^{-7}$ кг $q = +1 \cdot 10^{-12}$ Кл $d = 1$ см = $1 \cdot 10^{-2}$ м</p>	<p>Шешуі: Конденсатордың пластиналарының арасындағы потенциалдар айырмасы мына теңдеу арқылы өрнектеледі:</p> $\Delta\varphi = E \cdot d \quad (25)$
<p>$\Delta\varphi = ?$</p>	<p>E кернеулікті q және оған әсер ететін F күш арқылы өрнектеуге болады</p>

$$F = qE \Rightarrow E = \frac{F}{q} \quad (26)$$

Есептің шарты бойынша бөлшек тепе-теңдік қалыпта тұр, яғни $F = m g$. Осыдан

$$E = \frac{mg}{q}$$

деп аламыз.

E мәнін (25)-ге қойсақ,

$$\Delta\varphi = \frac{mg \cdot d}{q}$$

деп аламыз.

Өлшем бірліктердің анализ:

$$[\Delta\varphi] = \frac{[m] \cdot [g] \cdot [d]}{[q]} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$

Есептеу:

$$\Delta\varphi = \frac{1 \cdot 10^{-7} \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-12}} = 9,8 \cdot 10^3 (\text{В}).$$

Жауабы: $\Delta\varphi = 9,8 \cdot 10^3 \text{ В}$.

4.2.3 Есеп 3. $q=25\text{нКл}$ нүктелік заряд радиусы $R=1 \text{ см}$ біртекті зарядталған шексіз ұзын цилиндр өрісінде орналасқан. Цилиндр зарядының беттік тығыздығы $\sigma=2 \text{ мкКл/м}^2$. Егер нүктелік заряд цилиндр осінен $r =10 \text{ см}$ қашықтықта орналасқан болса, оған қандай күш әсер етеді?

Берілгені:

$$q = 25\text{нКл} = 25 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$$

$$R=1 \text{ см} = 0,01\text{м}$$

$$\sigma = 2 \text{ мкКл/м}^2 = 2 \cdot 10^{-6}\text{Кл/м}^2$$

$$r = 10 \text{ см} = 0,1\text{м}$$

$F=?$

Шешуі: Электростатикалық өрісте орналасқан зарядқа әсер ететін күш:

$$F = q \cdot E \quad (27),$$

мұндағы E -нүктелік заряд орналасқан нүктедегі

электр өрісінің кернеулігі.

Біртекті зарядталған шексіз ұзын цилиндрдің

электр өрісінің кернеулігі:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (28),$$

мұндағы τ - зарядтың сызықтық тығыздығы.

Зарядтың сызықтық тығыздығын оның беттік тығыздығы арқылы өрнектеп алайық. Егер ұзындығы l цилиндр элементін бөліп алсақ, онда оның q_1 зарядын былай анықтауға болады:

$$q_1 = \sigma \cdot S = \sigma \cdot 2\pi \cdot R \cdot l,$$

немесе

$$q_1 = \tau \cdot l.$$

Осы екі өрнектен $\tau = 2\pi \cdot R \cdot \sigma$ екенін анықтауға болады. Зарядтың сызықтық тығыздығын (28) формулаға қойып кернеулікті табу формуласын

аламыз:

$$E = \frac{R \cdot \sigma}{\varepsilon_0 r}.$$

Ендеше (27) формуланы түрлендіретін болсақ:

$$F = \frac{q \cdot R \cdot \sigma}{\varepsilon_0 r}.$$

Өлшем бірлігіне анализ:

$$[F] = \frac{\frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл}^2}{\text{Ф} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл}^2}{\frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

Есептеу:

$$F = \frac{25 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-2}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 565 \cdot 10^{-6} = 565 \text{ мкН}.$$

Күштің бағыты кернеулік векторымен бағыттас, ендеше ол цилиндрге перпендикуляр шексіздікке қарай бағытталған.

Жауабы: $F = 565 \text{ мкН}$