3.5 Электр өрісінің потенциалы

Потенциалды (электр өрісі потенциалды) өрісте дененің потенциалдық энергиясы болады. Сондықтан потенциалды электр өрісінде заряд орын ауыстырғандағы істелген жұмысы сол зарядтың бастапқы және соңғы нүктелеріндегі потенциалдық энергиясының айырмасына тең болады

$$A_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{qq_0}{r^2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{qq_0}{r^2} = M_1 - M_2 \quad (3.37)$$

Осыдан q_0 зарядының q заряд өрісіндегі потенциалдық энергиясы

$$U = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r} + C \qquad (3.38)$$

егер $r \to \infty$ болса, $U = 0$; онда $C = 0$ сонда

$$U = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad (3.39)$$

Енді q зарядтан r арақашықтықтағы нүктесіндегі өрістің потенциалын анықтайық. Ал сол нүктеге кезекпе-кезек сыншы зарядтар қойып олардың потенциалдық энергияларын анықтайық

$$\begin{cases} U_1 = \dfrac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r} & \qquad\qquad\qquad\qquad \dfrac{U}{q'} = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad\qquad \dfrac{U}{q} = \varphi \\ U_2 = \dfrac{qq'''}{4\pi\varepsilon_0 r}; \quad U_2 = \dfrac{qq'''}{\pi\varepsilon_0 r}; & \qquad \dfrac{U_2}{q''} = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad\qquad \varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}; \\ U_2 = \dfrac{qq'''}{4\pi\varepsilon_0 r}; & \qquad\qquad\qquad\qquad \dfrac{U_3}{q'''} = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \end{cases}$$

(3.40)

φ - өрістің потенциалы

Өрістің потенциалы деп, өрістің сол нүктесіне қойылған бірлік оң зарядтар потенциалық энергиясына тең физикалық шаманы айтады. Енді потенциал ұғымын пайдаланып q_0 зарядты өрістің істейтін жұмысын былай жазуға болады

$$A_{12} = U_1 - U_2 = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) \qquad (3.41)$$

q_0 зарядын өрістің бір нүктесінен шексіздікке дейін көшіргенде істелетін жұмыс

$$A_\infty = q_0\varphi; \quad \varphi = \frac{A_\infty}{q}$$

осыдан бірлік зарядты өрістің бір нүктесінен шексіздікке көшіргенде істелетін жұмыс пен өлшенетін физикалық шаманы өрістің потенциалы дейміз $\varphi = \dfrac{дж}{Кл} = 1В$

Бірнеше зарядтардың өрісінің бір нүктесіндегі потенциалы, сол нүктедегі әрбір зарядтың потенциалдарының алгебралық қосындысына тең болады

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=0}^{n} \frac{q_i}{r_i}; \qquad (3.42)$$

Кернеу потенциалдарының градиенті. Эквипотенциалдық беттер. Өрістің күштік күйін сипаттайтын кернеулігімен, оның энергетикалық күйін сипаттайтын потенциалының арасындағы байланысты қарастырайық.

Бірлік оң зарядты өрісте dx арақашықтыққа орын ауыстырғанда, өрістің істейтін жұмысы $dA=F_x dx$.

Екінші жағынан бұл жұмыс $dA = q(\varphi_1 - \varphi_2) = -d\varphi; \quad q = 1кл$

осыдан $F_x dx = -d\varphi;\ E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x};\ E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}$

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k} \right) \qquad (3.43)$$

мұндағы $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – бірлік векторлары.

$$\partial rad\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}$$

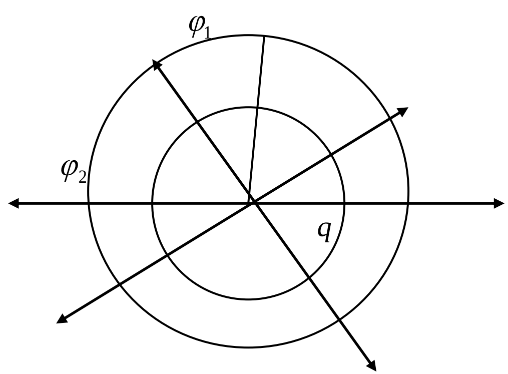
мұндағы $\vec{v} = \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k}$ – Лаплас операторы

Сонымен

$$\vec{E} = -\partial rad\varphi \qquad (3.44)$$

минус таңбасы өрістің кернеулігі әр уақытта, оның потенциалының кему бағытына қарай бағытталатындығын көрсетеді.

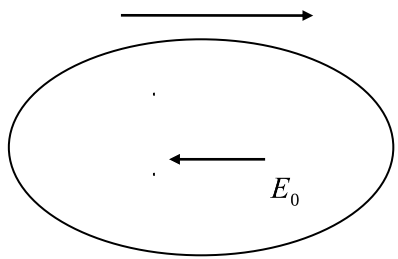
Нүктелік зарядтың электростатикалық өрісі концентрлі шеңберлер болады. Оның потенциалы $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$



3.9-сурет

Бұл оның радиусы тең шеңбердің барлық нүктелеріндегі потенциалдары өзара тең болатындығын көрсетеді (3.9-сурет). Осындай потенциалдары бірдей беттерді эквипотенциалды беттер дейді. Экваипотенциалды беттер мен зарядтар орын ауыстырған кезде істелетін жұмыс нөлге тең болады. Өрістің кернеулік векторының күш сызықтары эквипотенциалды беттерге әруақытта перпендикуляр болады. Өткізгіш сыртқы электр өрісінде тұрса электр өрісінің әсерінен, оның еркін зарядтары қозғалысқа келеді. Сыртқы өрістің кернеулігінің бағытында оң зарядтар, ал кернеуліктің бағытына қарама қарсы бағытта теріс зарядтар қозғалады.

Сүйтіп, бар зарядтар орын ауыстырып болған соң, зарядтардың қозғалысы тоқтайды да өткізгіштің ішінде. Сыртқы өрістің бағытына қарама-қарсы $\vec{E}_0$ өріс пайда болады. Осы екі өріс бірін-бірі теңестіріп, өткізгіштің ішіндегі қорытқы өріс нөлге тең болады. (3.10-сурет).



3.10-сурет

Өткізгіштегі зарядтар сыртқы өрістің әсерінен өткізгіштің беткі қабатында орналасады.

Егер өткізгішке бір q заряды берілсе, онда ал өткізгіштің ішіндегі өріс кернеулігі $\vec{E} = 0$ болатындай таралады. Сонда өткізгіш бетінің кез келген екі нүктесіндегі заряд тығыздықтарының қатынасы зарядтың кез келген шамасы үшін бірдей болады.

Бұдан оң аталынған өткізгіштің потенциалы ондағы бар зарядқа пропорционал болатынын көруге болады. Мысалы, өткізгіштегі зарядты қанша есе артырсақ, онда өрістің әрбір нүктесіндегі кернеулігінің де сонша есеге артатынын байқаймыз.

Сонымен оқшауланған өткізгіш үшін

$$q = c\varphi\,; \ (3.45)$$

С – пропорционалдық коэффициент өткізгіштің электр сыйымдылығы:

$$C = \frac{q}{\varphi}\,; \ (3.46)$$

Сонымен, сыйымдылық сан жағынан өткізгіштің потенциалын бір өлшемге арттыруға қажетті зарядқа тең екен.

Өткізгіштің сыйымдылығы оның формасы мен өлшеміне тәуелді де, бірақ өткізгіштің тегіне, агрегаттық күйіне және оның қыртыстарының өлшемдеріне тәуелсіз. Мұны зарядтардың өткізгіштің сыртқы қабатына (беттеріне) орналасуынан деп түсіну керек.

Енді радиусы R оңашаланған шардың сыйымдылығын анықтаймыз:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_R^{\infty}\frac{q}{\varepsilon R^2}dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R}\,; \ (3.46)$$

Сонда $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R$, $R = 9\cdot 10^9$, ал бұл шама жердің радиусынан 1500 есе үлкен.