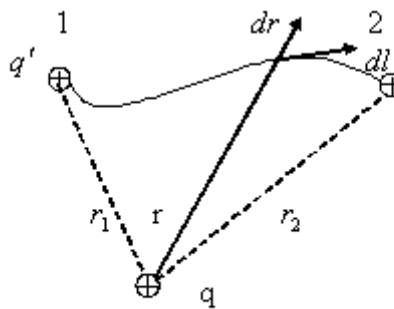


#### Лекция 4. Электр өрісінің потенциалы

Нүктелік зарядтың электростатикалық өрісі центрлік болып табылады. Сол себепті электростатикалық өріс потенциалды өріс болып табылады. Электростатикалық әсерлесу күшінің тұйық траекториядағы атқаратын жұмысы нольге тең болады.

$$A = \oint \vec{F} d\vec{l} = \oint q \vec{E} d\vec{l} = 0 \text{ немесе } \oint \vec{E} d\vec{l} = 0.$$

$q$  -зарядының электр өрісінде  $q'$  -заряд 1-нүктен 2-нүктеге орын ауыстырсын (сурет). Осы жағдайдағы электр өрісінің атқаратын жұмысын анықтайық.



Консервативті күштердің жұмысын потенциалдық энергияның өзгерісі түрінде беруге болады

$$A = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2}.$$

$q'$  зарядты 1 нүктен 2 нүктеге орын ауыстырғанда Кулондық күштің жұмысы

$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_1^2 \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0} \int_1^2 \frac{dr}{r^2} = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$W_p = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Осы екі формуланы салыстыра отырып, алатынымыз зарядтардың өзара әсерлесу потенциалдық энергиясы болып табылады.

Электр өрісінде орналасқан нүктелік зарядтың потенциалдық энергиясының осы зарядтың шамасына қатынасын электр өрісінің потенциалы деп атайды.

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

Өлшем бірлігі –  $[\varphi] = 1B$ .

Потенциал электр өрісінің энергетикалық сипаттамасы болып табылады, яғни электр өрісінде орналасқан зарядтың потенциалдық энергиясын анықтайды. Потенциал – скаляр шама болып табылады.

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Нүктелік зарядтың потенциалын анықтайтын өрнек:

Потенциал үшін электр өрісінің суперпозиция принципін анықтайық.

Қозғалмайтын N нүктелік зарядтан тұратын электрлік жүйенің электр өрісін қарастырайық. Осы өрісте кез келген  $q'$  зарядты орын ауыстырғанда атқарылатын жұмыс жеке зарядтардың атқаратын жұмыстарының қосындысына тең болады:

$$A = \sum_{i=1}^N A_i$$

Жеке зарядтардың атқаратын жұмысы

$$A_i = \frac{q_i q'}{4\pi\epsilon_0 r_{i1}} - \frac{q_i q'}{4\pi\epsilon_0 r_{i2}}$$

Сондықтан

$$A = \sum_{i=1}^N \frac{q_i q'}{4\pi\epsilon_0 r_{i1}} - \sum_{i=1}^N \frac{q_i q'}{4\pi\epsilon_0 r_{i2}}$$

$W_p = \sum_{i=1}^N \frac{q_i q'}{4\pi\epsilon_0 r_i}$  -  $q'$  зарядтың зарядтар жүйесінің өрісіндегі потенциалдық энергиясы.

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i} = \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

Бұл алынған формула потенциал үшін электр өрісінің суперпозиция принципін өрнектейді.

*Қозғалмайтын N зарядтан тұратын электрлік жүйенің тудыратын қорытқы электр өрісінің потенциалы жеке зарядтар тудыратын электр өрістерінің потенциалдарының алгебралық қосындысына тең болады.*

Зарядтар жүйесінің өзара әсерлесу потенциалдық энергиясы

$$W_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i$$

Потенциалы  $\varphi$ -ге тең өріс нүктесіндегі  $q$  зарядтың потенциалдық энергиясы:

$$W_p = q \cdot \varphi$$

Потенциалды күштердің жұмысы потенциалдық энергияның теріс таңбамен алынғандағы өзгерісіне тең екенін ескерсек, яғни

$$A = W_{p1} - W_{p2} = q \varphi_1 - q \varphi_2,$$

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

Соныменен өріс күштерінің зарядты орын ауыстырғанда атқаратын жұмысы зарядтың шамасының бастапқы және соңғы нүктелердегі потенциалдардың айырмасына көбейтіндісіне тең болады.

Потенциалдар айырмасы *кернеу* деп аталады.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2,$$

$$A = qU.$$

Потенциал бірлік оң зарядта өрістің берілген нүктесінен шексіздікке орын ауыстырғанда электр өрісінің атқаратын жұмысына тең болады.

$$A = q \varphi_\infty.$$

### **Электр өрісінің кернеулігі мен потенциал арасындағы байланыс**

Потенциалды күш пен потенциалдық энергия арасында келесі байланыс болады:

$$\vec{F} = -\text{grad} W_p.$$

Күш пен потенциалдық энергия электр өрісін сипаттайтын шамалармен келесі түрде байланысады:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad \text{және} \quad W_p = q\varphi,$$

$$q\vec{E} = -\text{grad}(q\varphi),$$

$$\vec{E} = -\text{grad} \varphi.$$

Электр өрісінің кернеулігі теріс таңбамен алынған потенциалдың градиентіне тең болады.

$$\text{grad} \varphi = \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k} \right) \text{ екенін ескерсек, скаляр түрде}$$

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad \text{немесе} \quad \vec{E} = -\text{grad} \varphi.$$

Потенциалдары бірдей нүктелердің жиынтығын эквипотенциал бет деп атайды.

Егер  $A$  векторлар өрісінің кез келген тұйық контур бойымен алынған циркуляциясы нөлге тең болса, ол өріс потенциалдық болады.

1. Электростатикалық өрістің бірлік оң зарядты кез келген тұйық контур бойымен айналдырып тасығанда істейтін жұмысы нөлге тең болса, онда ол электростатикалық өрісті потенциалдық дейді.
2. Электростатикалық өрістің кез келген екі нүктесінің арасында бірлік оң зарядты тасығанда өріс тарапынан істейтін жұмысы жолдың пішініне, ұзындығына байланысты болмайды, тек бастапқы және соңғы нүктелердегі өріс сипаттамаларымен анықталады.
3. Өрістің кез келген нүктесінің потенциалы – бірлік оң зарядты шексіздіктен қарастырып отырған нүктеге әкелуге қажет болатын сыртқы күштің жұмысы.
4. Өрістің екі нүктесінің потенциал айырымы - бірлік оң зарядты сол нүктелердің арасында тасығанда сыртқы күштердің істейтін жұмысы.
5. Электростатикалық өрістің әр нүктесіне  $E$  кернеулік векторымен қатар потенциалды- скалярды сәйкес қоюға болады. Потенциалдар электростатикалық өрісті энергия жағынан сипаттамайды.

2. Зарядталған шардың электр өрісі.

3. Зарядталған түзу сымның электростатикалық өрісі.

4. Зарядталған жазықтықтың электростатикалық өрісі.