

## 1-дәріс

**Тақырып:** Кіріспе

**Дәріс мазмұны:** 1. Электр өрісі. 2. Кулон заңы. 3. Электрстатикалық өріс кернеулігі. 4. Гаусс теоремасы

### 1. Электр өрісі

Тыныштықтағы зарядтардың физикасын қарастыратын электр бөлімін электрстатика деп атайды. Табиғатта электр зарядтары оң және теріс болып екі түрге бөлінеді. Аттас зарядтар тебіледі, ал әр аттас зарядтар тартылады. Бірқатар тәжірибелер нәтижесінде (Р. Милликен, А.Ф. Иоффе және басқалар) табиғаттағы барлық электр зарядтары дискретті зарядтардан тұратындығы, және олардың модульдері  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл-ға еселі екендігі көрсетілген. Бұл заряд шамасы бойынша электронның зарядына тең. Зарядының шамасы осындай, бірақ оң зарядталған ең кіші орнықты бөлшек протон болып табылады. Электрон мен протон массалары сәйкесінше:  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг және  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг. Көптеген тәжірибелердің нәтижелерін жалпылай келе табиғаттың іргелі заңы, зарядтың сақталу заңы анықталған: оқшауланған жүйеде зарядтардың (оң және теріс) алгебралық қосындысы тұрақты болып қалады. Оқшауланған немесе тұйық жүйе деп сыртқы денелермен заряд алмаспайтын жүйені айтады.

### 2. Кулон заңы

Нүктелік зарядтардың өзара әсерлесуінің негізгі заңын, тәжірибе жүзінде Кулон анықтады. Кулон заңын тұжырымдамас бұрын нүктелік заряд ұғымын енгіземіз (кинематикада енгізілген материялық нүкте туралы түсінік сияқты) нүктелік заряд дегеніміз – сызықтық өлшемдері әсерлесуші зарядталған денелердің ара қашықтығынан өте аз болып келетін денеде орналасқан заряд. Кулон заңы бойынша: *вакуумда орналасқан екі  $q_1$  және  $q_2$  нүктелік зарядтардың өзара әсерлесу күшінің модулі олардың шамаларының көбейтіндісіне тура, ал ара қашықтығының квадратына кері пропорционал:*

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (1.1)$$

мұндағы  $k$ -өлшем жүйесіне байланысты болатын пропорционалдық коэффициент. Зарядтар арасындағы бұл күш осы зарядтар орналасқан түзу сызықтың бойымен бағытталған, яғни орталық күш болып табылады. Аттас зарядтар үшін ( $q_1 > 0$  және  $q_2 > 0$  немесе  $q_1 < 0$  және  $q_2 < 0$ )  $F > 0$ , ал зарядтар әр аттас болса,  $F < 0$  болады. Векторлық түрде Кулон заңы былай жазылады:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{21}}{r}, \quad (1.2)$$

мұндағы  $\vec{F}_{21}$  - бірінші зарядқа екінші зарядтың әсер етуші күші,  $\vec{r}_{21}$  - бірінші зарядтан екінші зарядқа бағытталған радиус-вектор,  $r = \left| \vec{r}_{21} \right|$ . Бұл теңдеу аттас зарядтардың бірін-бірі тебетіндігін, әр аттас зарядтардың бірін-бірі тартатындығын көрсетеді. Егер де әсерлесуші зарядтар вакуумда емес, қандай да бір ортада орналасқан болса, онда Кулон заңы былай жазылады:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}, \quad (1.3)$$

мұндағы  $\varepsilon$  - өлшем бірлігі жоқ, ортаның электрлік қасиетін көрсетуші *диэлектрик өтімділік* деп аталатын физикалық шама. Вакуум үшін  $\varepsilon = 1$  болады. Жоғарыдағы (1.1) және (1.3) теңдеулерінен  $\varepsilon$  -нің берілген ортадағы әсерлесуші күштің, вакуумдағы әсерлесуші күшінен қанша есе аз екенін көрсететінін байқау қиын емес. Бірліктердің халықаралық жүйесінде (БХЖ)

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{М}}{\Phi}, \quad (1.4)$$

Бұл формуладағы  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м}^2)$  немесе  $\Phi/\text{м}$  – электр тұрақтысы деп аталады. Осы (1.4) және (1.3) - теңдеулерге сүйене отырып, Кулон заңын төмендегідей жазуға болады:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1.5)$$

мұндағы  $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{М}}{\Phi}$  екендігін айта кеткен жөн. Фарад ( $\Phi$ ) – электр сыйымдылығының өлшем бірлігі.

### 3. Электрстатикалық өріс кернеулігі

Қазіргі күнгі көзқарасқа сәйкес электр зарядратының өзара әсерлесуі өріс арқылы болады. Кез келген зарядталған дене өз төңірегінде өріс туғызады. Ол өрістің бар екендігіне оған енгізілген өте аз мөлшерлі  $q_0$  «сыншы зарядқа» күштің әсер етуі арқылы көз жеткізуге болады. Өрістің бар екендігін анықтауға қолданған заряд сыншы деп аталған. Өріс тарапынан әсер етуші күштің  $\vec{F}$  өріске енгізілген зарядтың шамасына  $q_0$  қатынасын электр өрісінің кернеулігі деп атайды:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (1.6)$$

Егер өріс көзінің заряды  $q$  болса, онда Кулон заңына сүйене отырып, (1.6) өрнегін былай жазуға болады:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (1.7)$$

немесе скаляр түрінде өріс кернеулігі

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}. \quad (1.8)$$

Ал егер өріс туғызушы заряд бірнеше нүктелік зарядтардың жүйесі болса, қорытқы өріс кернеулігі әрбір нүктелік заряд кернеулігінің векторлық қосындысына тең болады:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \frac{\vec{r}_i}{r_i}, \quad (1.9)$$

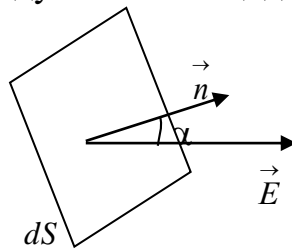
мұндағы  $r_i$  - өрістің қарастырылып отырған нүктесі мен  $q_i$  заряд арасындағы қашықтық. Бұл өрнек электр өрістеріне суперпозиция принципін қолдануға болатындығын көрсетеді. Бұл принцип бойынша зарядтар жүйесі туғызатын қорытқы электр өрісі берілген нүктеде әр заряд туғызатын электр өрістерінің геометриялық қосындысына тең болады.

#### 4. Гаусс теоремасы

$\vec{E}$  векторының ағыны өтетін өте кіші  $dS$  элементар ауданды алайық. Оған түсірілген нормаль  $\vec{n}$  электр өрісінің векторы  $\vec{E}$ -мен  $\alpha$  бұрышын жасайды делік. Бұл ауданды қиып өтетін элементар ағын  $d\hat{O}$ :

$$d\hat{O} = E \cdot dS \cdot \cos \alpha = E_n dS = \vec{E} \cdot \vec{dS},$$

мұндағы  $E_n$  кернеулік векторының ауданға түсірілген  $\vec{n}$  нормаль бағытына проекциясы;  $\vec{dS}$ -вектор, ол модулі  $dS$ -ке тең де, бағыты  $\vec{n}$ -нің бағытымен бағыттас.

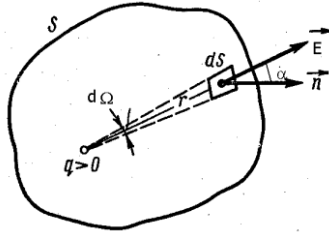


1.1-сурет. Электрлік ағын

Кез келген  $S$  ауданнан өтетін  $\vec{E}$  векторының ағыны  $\hat{O}_E$ :

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} \cdot \vec{dS} \quad (1.10)$$

болады. Осыған байланысты атап өтетін бір жай: аудан тұйық болған кезде, оған түсірілген  $\vec{n}$  нормальдың оң бағыты ретінде сыртқы нормаль алынады: яғни нормальдың бәрі ауданнан сыртқа қарай бағытталады. Нүктелік заряд өрісін қарастырайық (1.2-сурет).



### 1.2-сурет. Нүктелік заряд өрісі

Заряд кез келген пішіндегі тұйықталған беттің ішіне орналасқан делік. Кіші  $dS$  ауданынан өтетін элементар ағын  $d\hat{O}_E$ :

$$d\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{dS} \cdot \cos \alpha .$$

Бұған нүктелік зарядтың электр өрісінің мәнін қойғанда:

$$d\Phi_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} dS \cdot \cos \alpha = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} d\Omega , \quad (1.11)$$

бұл жердегі  $d\Omega$  - элементар ауданға тірелуші, төбесі нүктелік зарядта орналасқан денелік бұрыш. (1.11) теңдігін интегралдасак, толық ағын  $\hat{O} = \frac{q}{\epsilon_0}$ -ге тең болады.  $\hat{O}$ -тың бұл мәнін (1.10) формуласының сол жағына апарып қойғанда:

$$\int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

болады. Заряд кез келген пішіндегі беттің тұйық ішінде жатқандықтан  $\alpha$  бұрышы  $\frac{\pi}{2}$ -ден аз да, көп те болуы мүмкін. Сондықтан  $\cos \alpha$  мен  $d\Omega$  нөлден көп те, нөлден аз да болар еді, яғни заряд тұйық беттің сыртында орналасқан жағдайда, ондай ауданнан  $\vec{E}$ -векторының ағыны нөлге тең болады. Электр өрісін  $q_1, q_2, \dots, q_n$  нүктелік заряд тудыратын болса, онда суперпозиция принципі бойынша қорытқы ағын:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S \left( \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \right) d\vec{S} = \oint_S \vec{E}_1 \cdot d\vec{S} + \oint_S \vec{E}_2 \cdot d\vec{S} + \dots .$$

Егер зарядтар тұйық беттің ішіне орналасқан болса, онда теңдіктің оң жағындағы әр интеграл  $\frac{q_i}{\epsilon_0}$ -ге тең болар еді. Сондықтан:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1.12)$$

деп жазуға болады. Бұл (1.12) теңдеу Гаусс теоремасының математикалық өрнегі болып табылады. Оның анықтамасы: вакуумдегі электр өрісі векторының кез келген пішіндегі тұйық бет бойынша ағыны, оның ішінде жатқан зарядтардың алгебралық қосындысын электр тұрақтысына  $\epsilon_0$ -ге бөлгенге тең. Егер зарядтар берілген көлемде  $\rho = \frac{dq}{dV}$  тығыздықпен үздіксіз таралып орналасқан болса, осы  $V$  көлемінің ішіндегі жиынтық заряд:

$$\sum_{i=1}^n q_i = \int_V \rho dV . \quad (1.13)$$

Осы (1.13) теңдікті ескере отырып, Гаусс теоремасын электр өрісі үшін төмендегідей түрде жазуға болады:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV \quad (1.14)$$

*Әдебиеттер:*

Нег. 4 [24-38], 4 [14-25].

Қос. 12 [108-127].

*Бақылау сұрақтары:*

1. Кулон заңы.
2. Электр өрісі кернеулігі.
3. Электр өрісі үшін Гаусс теоремасын тұжырымдаңыз.