

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Физика-техникалық факультеті

**Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика
кафедрасы**

Туреханова К.М.

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

пәні бойынша дәрістер жинағы

«6B05306 Физика және астрономия» білім беру бағдарламасы
бойынша білім алушы студенттерге арналған

Алматы, 2025

Дәріскер: Туреханова К.М. turekhanova.kunduz@kaznu.kz



ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ



Дәріс 3.

Диполь. Зарядтар жүйесі электр өрісінің энергиясы. Диэлектриктердегі электрстатикалық өріс. Электр өрісіндегі күштер.

Дәріс мақсаты: Диполь ұғымын, зарядтар жүйесінің электр өрісіндегі энергиясын, диэлектриктердегі электр өрістерін және электр өрісіндегі күштерді бір жүйеге келтіріп түсіндіру.

Қарастырылатын мәселелер: Электрлік диполь ұғымы; Диэлектриктердегі поляризациялану; Электрлік ығысу векторы; Шекаралық шарттар

Қысқаша конспект:

Диэлектриктерде зарядталған еркін бөлшектер болмайды, дегенмен сыртқы электр өрісі әсерінен диэлектриктің құрамын кіретін оң бөлшектер өріс бағытымен, ал теріс бөлшектер өріске қарама қарсы қозғалады, яғни әрбір молекула поляризацияланады (полюстер алады). Сонда диэлектриктің өріспен бағыттас жағы оң, ал өріске қарама-қарсы жағы теріс зарядталады. Осы құбылысты диэлектриктің поляризациялануы деп аталады. Поляризацияланған диэлектрик сыртқы поляризациялайтын өріске қарама қарсы қосымша электр өрісін тудырады, яғни диэлектриктегі өріс сыртқы өрістен кем болады. Диэлектриктер полярлы, полярсыз және сегнетоэлектриктерге бөлінеді.

Диэлектриктің (бейтарап жүйенің) электрлік қасиеттері дипольдік моментімен сипатталады.

$$\vec{P} = \int_V \rho \vec{r} dV$$

мұндағы ρ - заряд тығыздығы және r - кез келген нүктемен анықталатын радиус векторы

Диполь бір-біріне жақын орналасқан, модульдері бірдей, таңбалары қарама-қарсы екі зарядтан тұратын жүйе. Мұндай жүйенің потенциалы әр зарядтың потенциалдарының алгебралық қосындысына тең. Зарядтар арасындағы қашықтық өріс анықталатын нүктеге дейінгі қашықтықпен салыстырғанда өте кіші деп алып, дипольдің потенциалын және өріс кернеулігін мына түрде табамыз.

$$\varphi(r) = \frac{\vec{p}\vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}, \vec{p} = q\vec{l}, \vec{E} = -\nabla\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[-\frac{\vec{p}}{r^3} + 3\frac{\vec{p}\vec{r}}{r^4} \frac{\vec{r}}{r} \right]$$

Поляризацияланған диэлектриктің тудыратын электр өрісін сан жағынан сипаттау үшін поляризацияланғыштық деген шама енгізіледі. Ол поляризацияланған диэлектриктің бірлік көлеміндегі молекулалардың электрлік диполь моменттерінің қосындысымен анықталады:

$$\vec{P} = \Delta\vec{p} / \Delta V$$

Көлемдік және беттік зарядтардың поляризацияланғыштықпен арасындағы байланыс:

$$\rho_{св} = -\text{div}\vec{P} \quad \sigma_{св} = -\vec{n}(\vec{P}_2 - \vec{P}_1)$$

мұндағы $\vec{n}$ - диэлектриктердің шекара (бөлу) бетіне жүргізілген нормальдың бағыты.

Байланысқан зарядтарды ескеру арқылы Кулон заңын дифференциалдық түрін жазу арқылы ығысу векторын жазайық:

$$\text{div}\vec{E} = \rho / \epsilon_0 + \rho_{св} / \epsilon_0, \rho_{св} = -\text{div}\vec{P}, \text{div}(\epsilon_0\vec{E} + \vec{P}) = \rho,$$

$$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P} \quad \text{яғни} \quad \text{div}\vec{D} = \rho$$

Сонымен, электрлік ығысу векторы диэлектриктердегі электростатикалық өрісті сипаттау үшін еркін зарядтармен ғана анықталады. Оның күш сызықтары еркін зарядтармен басталып, еркін зарядтарда аяқталады.

$$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \epsilon_0\kappa\vec{E} = \epsilon_0(1 + \kappa)\vec{E} \quad 1 + \kappa = \epsilon$$

мұндағы ϵ - диэлектриктің салыстырмалы өтімділігі және κ – парциалдық өтімділік.

Сонда диэлектриктер үшін Гаусс теоремасы:

$$\int_V \text{div}\vec{D}dV = \int_V \rho dV = Q,$$

$$\int_{\sigma} \vec{D}d\vec{S} = Q.$$

Сонымен, электр өрісі бір диэлектриктен екінші диэлектрикке өткен кезде электрлік ығысу векторы нормаль құраушысының өзгеруі шекарадағы еркін зарядтардың беттік тығыздығына тең.

$$\sigma = \vec{n}_2(\vec{D}_2 - \vec{D}_1) \quad E_{\tau 1} = E_{\tau 2}$$

Электр өрісі бір диэлектриктен екінші диэлектрикке өткен кезде электр өрісінің тангенциал құраушысы үзіліссіз өзгереді.

Диэлектрикке әсер ететін көлемдік күштер

$$d\vec{F} = (\vec{P}\nabla)\vec{E}dV$$

Электростатикалық өрісте зарядты бір нүктеден екінші нүктеге орын ауыстырғанда жасалатын жұмыс өрісті тудырушы зарядтардың өзара әсерлесуін сипаттайтын потенциалдық энергия болмаса, сыртқы күштер есебінен жасалуы мүмкін. Қандай жағдай болмасын, өзара әсерлесетін зарядтар жүйесінің дербес жағдайда да энергиясы болады. Осы энергияны зарядтардың өзара әсерлесу энергиясы (зарядталған дененің әртүрлі бөліктерінің өзара әсерлесу энергиясы) түрінде, немесе осы зарядтар тудыратын электр өрісінің энергиясы ретінде жазуға болады.

Егер жүйе құрамында n нүктелік заряд болса, онда потенциалдық энергия:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i$$

мұндағы φ_i - q_i нүктелік заряд орналасқан нүктедегі басқа зарядтардың тудыратын потенциалы.

Өрісі бар кеңістіктің бірлік көлеміне келетін энергияның шамасы электр өрісі энергиясының тығыздығы

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$$

Бақылау сұрақтары:

1. Поляризацияланғыштық дегеніміз не?
2. Электрлік диполь моменті қалай анықталады?
3. Электрлік ығысу құбылысын түсіндіріңіз.
4. Диэлектриктер үшін Гаусс теоремасы түсіндіріңіз.

Пайдаланылған әдебиеттер:

1. Бәйімбетов Ф.Б., Рамазанов Т.С. Электр және магнетизм. – Алматы: Қазақ университеті, 2011. – 199 б.
2. Бәйімбетов Ф.Б., Аймауытов Д., Құрманбеков А. Физика есептері (Электр және магнетизм). – Алматы: Қазақ университеті, 2005. – 216 б.

3. Архипов Ю.В. Краткий конспект лекций по курсу "Электричество и магнетизм" : учеб.-методическое пособие КазНУ 2009
4. Габдуллина Г.Л., Қисан А., Абыканова Б.Т. Электр және магнетизм курсы бойынша қысқаша дәрістер мен есептер жинағы : оқу-әдістемелік құрал, Әл-Фараби атын. ҚазҰУ. - Алматы : Қазақ ун-ті, 2017. - 161 б.
5. Туреханова К.М. Электр және магнетизм курсы бойынша есептер жинағы/ Оқу құралы, әл-Фараби атын. ҚазҰУ. - Алматы : Қазақ ун-ті, 2017. – 191 б.
6. Raymond A. Serway, John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 9th ed. – Cengage Learning, 2014. – 1622 p.