



ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Физика-техникалық факультеті

Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасы



ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

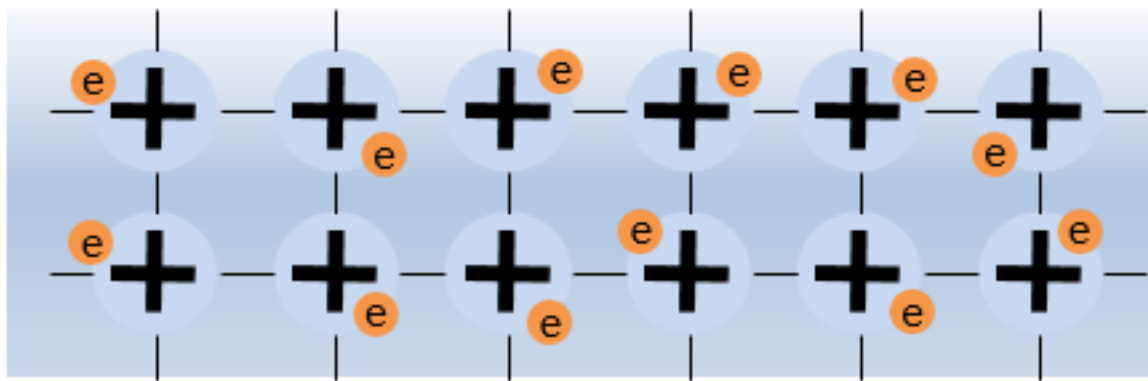
Дәріс 3.

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

қауымдастырылған профессор: Туреханова К.М.

e-mail: turrekhanova.kunduz@kaznu.kz

Диэлектрик



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

Электрлік диполь – шамалары бірдей, таңбалары қарама-қарсы екі нүктелік зарядтан тұратын жүйе: $+q$ және $-q$. Зарядтар арақашықтығы $\vec{l}$ векторымен сипатталады ($-q$ – ден $+q$ –ке дейін).

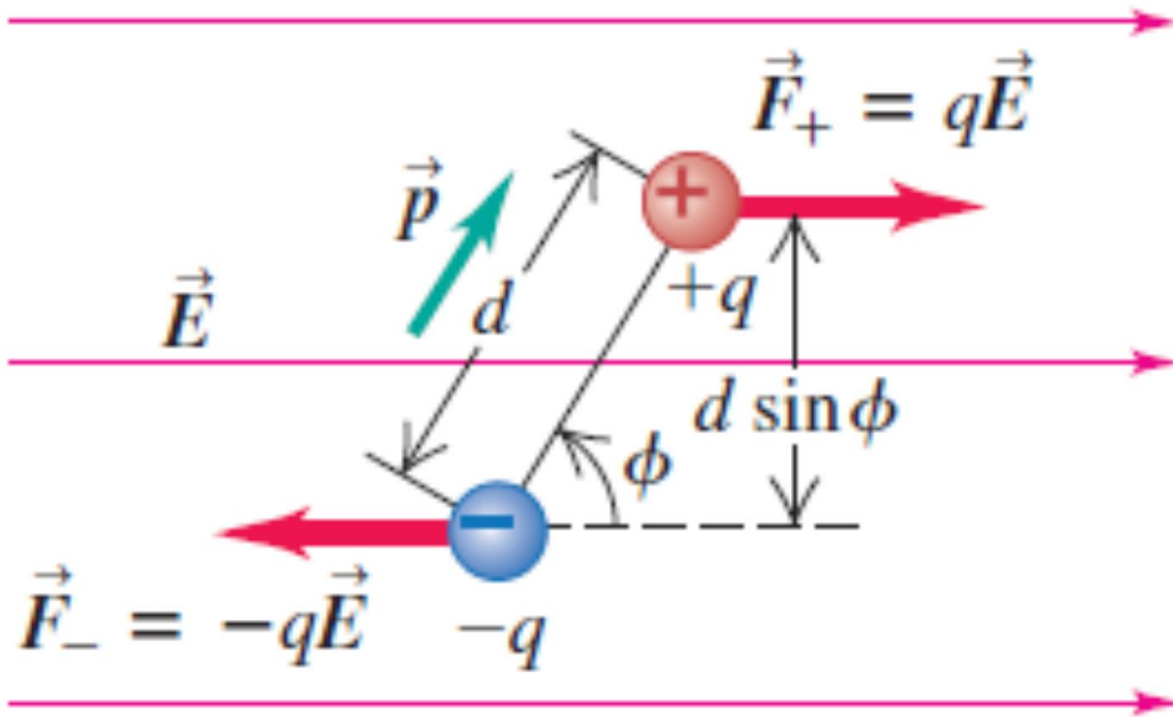
Диполь моменті:

$$\vec{p} = q\vec{l}$$

Мұндағы $\vec{p}$ – диполь моменті (векторлық шама, С·м), оның бағыты $-q$ -тен $+q$ -ке қарай.

Диполь потенциалы (өрістің алыс нүктелерінде, $r \gg l$):

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3}$$



Диполь бір-біріне жақын орналасқан, модульдері бірдей, таңбалары қарама-қарсы екі зарядтан тұратын жүйе. Мұндай жүйенің потенциалы әр зарядтың потенциалдарының алгебралық қосындысына тең.

Диполь өрісі:

жалпы түрде өріс кернеулігі $\vec{E} = -\nabla\varphi$ арқылы табылады. Арнайы бағыттар:

- Диполь осі бойында ($\theta = 0$):

$$E_{\text{ось}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

- Экваторлық бағытта ($\theta = 90^\circ$):

$$E_{\text{экв}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

Мұнда θ – $\vec{p}$ мен $\vec{r}$ арасындағы бұрыш.

Дипольдің біртекті электр өрісіндегі қасиеттері:

- Дипольге әсер ететін күштер жұбы моменті:

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

- Дипольдің потенциалдық энергиясы:

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE \cos \theta$$

Диполь өріске параллель бағытталған кезде ($\theta = 0$) энергия минимал болады, бұл – тепе-тең күй.

Электр өрісінің энергиясы – зарядтар жүйесін шексіздіктен осы күйге әкелу үшін жасалған жұмыспен анықталады.

Екі нүктелік заряд жүйесі үшін:

$$W = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}}, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Көп зарядтар жүйесі үшін (жүйенің толық энергиясы):

$$W = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i$$

Мұнда φ_i – i -ші заряд орналасқан нүктедегі потенциал (қалған зарядтар туғызған).

Үздіксіз зарядталған орта үшін энергия:

$$W = \frac{\epsilon_0}{2} \int E^2 dV$$

Осыдан **энергия тығыздығы** (бірлік көлемдегі энергия):

$$w = \frac{dW}{dV} = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}$$

Диэлектрик – ішінде еркін зарядтары аз, бірақ байланысқан зарядтары бар (атомдар, молекулалар) оқшаулағыш орта. Электр өрісі түскенде диэлектрик **поляризацияланады**.

Поляризация векторы $\vec{P}$:

бірлік көлемге келетін диполь моментінің векторы:

$$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dV}$$

Поляризация нәтижесінде **байланысқан зарядтар** пайда болады:

- Көлемдік байланысқан заряд тығыздығы:

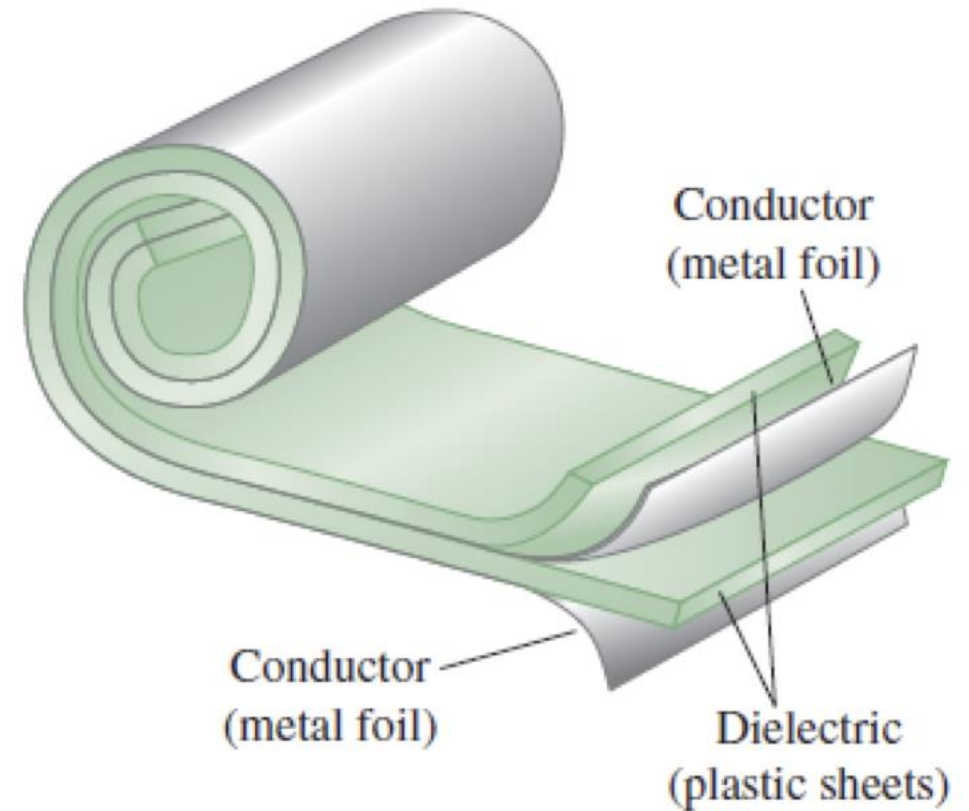
$$\rho_{\text{байл}} = -\nabla \cdot \vec{P}$$

- Беттік байланысқан заряд тығыздығы:

$$\sigma_{\text{байл}} = \vec{P} \cdot \vec{n}$$

($\vec{n}$ – бетке сыртқа жүргізілген бірлік нормаль).

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.



Электр индукциясы векторы $\vec{D}$:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Сызықты, изотропты, біртекті диэлектрик үшін:

$$\vec{P} = \chi_e \varepsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

мұндағы χ_e – диэлектриктің электр осалғыштығы, ε – салыстырмалы диэлектрлік өтімділік.

Гаусс заңы диэлектрикте:

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum q_{\text{еркін}}$$

Яғни интегралға тек еркін зарядтар кіреді, байланысқан зарядтар $\vec{P}$ арқылы $\vec{D}$ -ге «енгізілген».

Шекаралық шарттар (екі диэлектрик шекарасында):

- Жолақ бойындағы E_τ үздіксіз:

$$E_{1\tau} = E_{2\tau}$$

- Нормаль бойындағы D_n еркін беткі зарядқа байланысты өзгереді:

$$D_{2n} - D_{1n} = \sigma_{\text{еркін}}$$

Диэлектриктің әсері: бірдей зарядтар үшін **өріс кернеулігі азаяды**, себебі $\varepsilon > 1$:

$$E_{\text{диэл}} = \frac{E_{\text{вак}}}{\varepsilon}$$

1) Нүктелік зарядқа әсер ететін күш

Электр өрісіндегі зарядқа әсер ететін негізгі күш:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Егер $q > 0$, күш өріс бағытымен, $q < 0$ болса – оған қарсы.

2) Электр дипольге әсер ететін күш пен момент

- Біртекті өрісте дипольге әсер ететін **нәтижелік күш** нөлге жуық (күштер тең, қарама-қарсы).
- Бірақ **айналдырушы момент** бар:

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Бұл момент дипольді $\vec{E}$ -ге параллель бағыттауға тырысады.

Өрістің градиенті болғанда дипольге **нәтижелік күш** пайда болады:

$$\vec{F} \approx (\vec{p} \cdot \nabla) \vec{E}$$

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.