

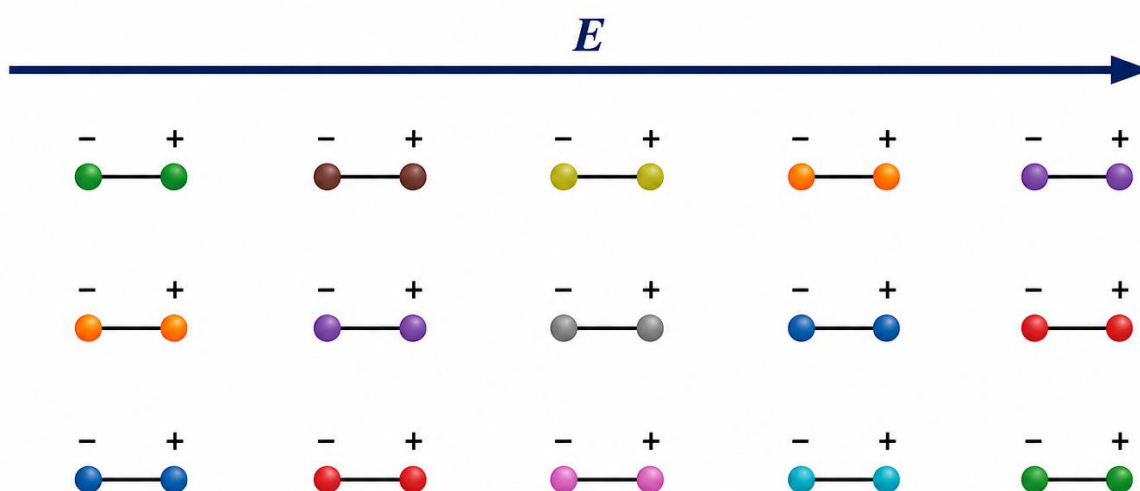
Muhitning dielektrik xossalari va ularning o‘zaro bog‘liqligini ilmiy-uslubiy o‘rganish

Dielektrik muhitning elektr maydonga javobini miqdoriy tavsiflashda dielektrik singdiruvchanlik va dielektrik qabul qiluvchanlik asosiy parametrlar hisoblanadi. Tashqi elektr maydon ta’sirida modda qutblanadi va hosil bo‘lgan bog‘langan zaryadlar dastlabki maydonni o‘zgartiradi. Qutblanish vektori P ning E maydonga javobi χ_e qabul qiluvchanlik orqali, elektr siljish vektori D ning E bilan bog‘lanishi esa ϵ dielektrik singdiruvchanlik orqali ifodalanadi. Chiziqli, izotrop va bir jinsli muhitda bu parametrlar $\epsilon_r = 1 + \chi_e$ munosabat bilan bog‘langan.

Darsning maqsadi

Talabalarga absolyut va nisbiy dielektrik singdiruvchanlik, elektr qabul qiluvchanlik, qutblanish vektori va elektr siljish vektori orasidagi bog‘lanishni ilmiy asosda tushuntirish; $\epsilon_r = 1 + \chi_e$ formulasini chiqarish; dielektrik parametrlarning elektr maydon va kondensator sig‘imiga ta’sirini misollar orqali tahlil qilish.

Qutblanish — dielektrik javobining mikroskopik asosi



- ✓ Elektr maydon E dielektrikdagi molekullarning musbat va manfiy zaryad markazlarini bir-biriga nisbatan siljitadi.
- ✓ Har bir molekula dipol hosil bo‘ladi ($-$ chapda, $+$ o‘ngda).
- ✓ Ko‘pgina molekullarning tartibli yo‘nalishi natijasida qutblanish vektori P yuzaga keladi (P maydon yo‘nalishiga qarab yo‘nalgan).

1-rasm. Dielektrik javobining mikroskopik asosi — dipollarning qutblanishi

Mikroskopik qutblanish makroskopik darajada P vektori bilan ifodalanadi. Aynan shu javob kuchi χ_e va ϵ_r kabi material parametrlarining fizik mazmunini belgilaydi.

1. Dielektrik singdiruvchanlik tushunchasi

Dielektrik singdiruvchanlik ϵ muhitning elektr maydon bilan o'zaro ta'sirini tavsiflovchi elektromagnit parametrdir. Chiziqli izotrop muhitda elektr siljish vektori va elektr maydon kuchlanganligi orasida:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

Absolyut dielektrik singdiruvchanlik ϵ ning SI birligi F/m. U vakuum singdiruvchanligi ϵ_0 va nisbiy singdiruvchanlik ϵ_r orqali:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

$\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12}$ F/m. Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik o'lchamsiz bo'lib, muhitning vakuumga nisbatan elektr javobini ko'rsatadi.

Kattalik	Belgi	Birlik	Mazmun
Vakuum singdiruvchanligi	ϵ_0	F/m	Elektrostatik doimiy bilan bog'liq fundamental parametr
Absolyut singdiruvchanlik	ϵ	F/m	Muhitning D–E proporsionallik koeffitsienti
Nisbiy singdiruvchanlik	ϵ_r	1	ϵ/ϵ_0 nisbati

1-misol

$\epsilon_r=4$ bo'lgan chiziqli dielektrik uchun absolyut singdiruvchanlik:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r = 8.854 \times 10^{-12} \cdot 4 \approx 3.54 \times 10^{-11} \text{ F/m}$$

Bu qiymat vakuumdagidan to'rt marta katta D javobini beradi, agar E bir xil saqlansa.

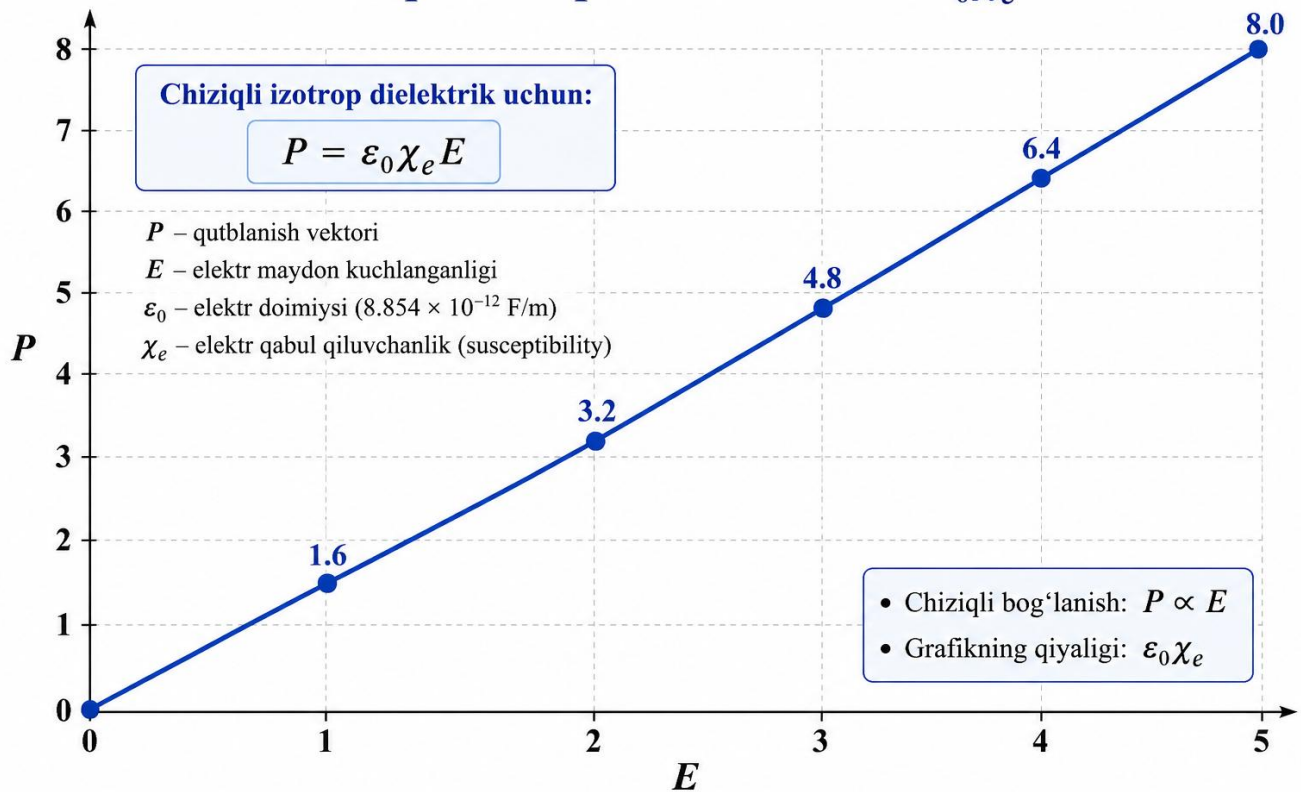
2. Dielektrik qabul qiluvchanlik χ_e

Dielektrik qabul qiluvchanlik χ_e tashqi elektr maydon ta'sirida muhitning qanchalik oson qutblanishini tavsiflaydi. Chiziqli izotrop muhit uchun:

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$$

χ_e o'lchamsiz kattalikdir. χ_e qancha katta bo'lsa, berilgan E maydonda qutblanish P shuncha kuchli bo'ladi. Qutblanishning mikroskopik manbai elektron bulutlar deformatsiyasi, ionlarning siljishi va qutbli molekulalarning orientatsiyasi bo'lishi mumkin.

Chiziqli izotrop dielektrik: $P = \varepsilon_0 \chi_e E$



2-rasm. Chiziqli dielektrikda P ning E ga proporsional bog‘lanishi

2-misol

$\chi_e = 2.5$ bo‘lgan muhit $E = 3 \times 10^4$ V/m maydonda joylashgan. Qutblanish:

$$P = \varepsilon_0 \chi_e E = 8.854 \times 10^{-12} \cdot 2.5 \cdot 3 \times 10^4 \approx 6.64 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

Bu qiymat birlik hajmdagi natijaviy dipol momentining makroskopik o‘lchovini ifodalaydi.

Chiziqli modelning chegarasi

$P = \varepsilon_0 \chi_e E$ munosabat barcha sharoitda universal emas. Kuchli maydonlarda saturatsiya, ferroelectric materiallarda nochiziqlilik va gisterezis, anizotrop kristallarda esa χ_e ning tensor tabiatini hisobga olish talab etiladi.

3. ϵ_r va χ_e ning o'zaro bog'liqligi

Elektr siljish vektori umumiy holda vakuum hissasi va qutblanish hissasining yig'indisi:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Chiziqli izotrop dielektrik uchun $\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$ ni qo'yamiz:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E}$$

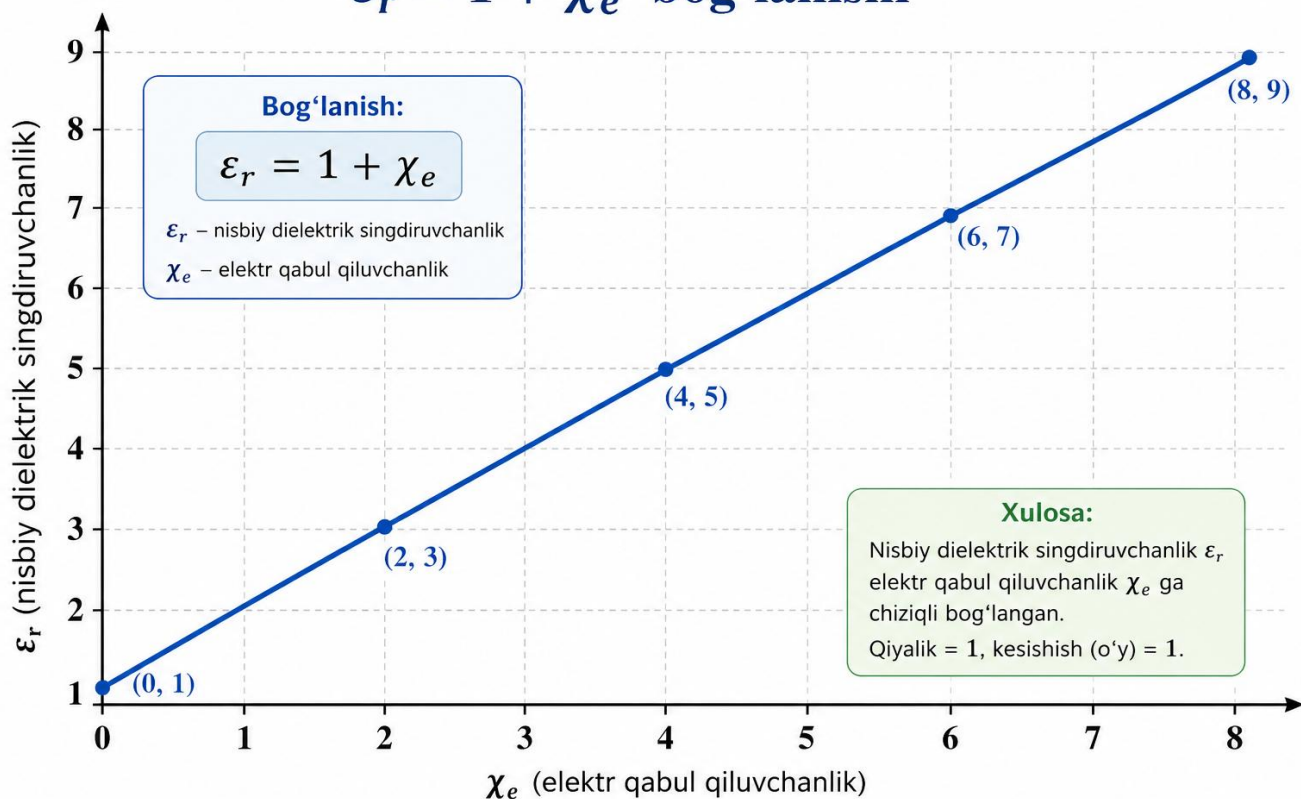
Boshqa tomondan $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$. Tenglashtirib:

$$\epsilon_r = 1 + \chi_e$$

Shuningdek:

$$\chi_e = \epsilon_r - 1$$

$\epsilon_r = 1 + \chi_e$ bog'lanishi



3-rasm. Chiziqli izotrop muhitda ϵ_r va χ_e orasidagi bog'lanish

3-misol

Nisbiy dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon_r = 6.2$ bo'lgan material uchun $\chi_e = 5.2$. Agar $E = 10^4$ V/m bo'lsa:

$$\vec{P} = \epsilon_0 \cdot 5.2 \cdot 10^4 \approx 4.60 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

Shu muhitda $\vec{D} = \epsilon_0 \cdot 6.2 \cdot 10^4 \approx 5.49 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$. Tekshiruv sifatida $\epsilon_0 E + \vec{P} \approx 8.85 \times 10^{-8} + 4.60 \times 10^{-7} \approx 5.49 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$.

4. Dielektrik parametrlarning fizik talqini

ϵ_r va χ_e bir xil fizik hodisa — moddaning elektr maydonga qutblanish javobini turli nuqtai nazardan tavsiflaydi. χ_e bevosita P ning E ga sezgirligini ko'rsatsa, ϵ_r umumiy D javobini vakuumdagi $\epsilon_0 E$ hissasiga nisbatan ifodalaydi.

Savol	χ_e orqali talqin	ϵ_r orqali talqin
Muhit qanchalik qutblanadi?	$P = \epsilon_0 \chi_e E$	$\epsilon_r - 1$ qutblanish hissasini beradi
D qanday aniqlanadi?	$D = \epsilon_0 E + P$	$D = \epsilon_0 \epsilon_r E$
Vakuum holati	$\chi_e = 0$	$\epsilon_r = 1$
Chiziqli dielektrik	$\chi_e = \text{const}$	$\epsilon_r = \text{const}$

Vakuumda qutblanuvchi modda yo'q, shuning uchun $P=0$ va $\chi_e=0$. Natijada $\epsilon_r=1$. Oddiy dielektrlarda elektrostatik sharoitda ϵ_r odatda birdan katta bo'ladi.

4-misol: vakuum va dielektrikni taqqoslash

Bir xil $E=2 \times 10^5$ V/m maydon uchun vakuumda $D_0 = \epsilon_0 E \approx 1.77 \times 10^{-6}$ C/m². $\epsilon_r=3$ muhitda $D \approx 5.31 \times 10^{-6}$ C/m². Farq $P = D - \epsilon_0 E \approx 3.54 \times 10^{-6}$ C/m² bo'lib, bu qutblanish hissidir.

Shu natija $\chi_e = \epsilon_r - 1 = 2$ va $P = \epsilon_0 \chi_e E$ orqali ham aynan olinadi.

5. Kondensator orqali dielektrik singdiruvchanlikni tushuntirish

Yassi kondensator dielektrik singdiruvchanlikning fizik ta'sirini ko'rsatish uchun qulay modeldir. Vakuumda:

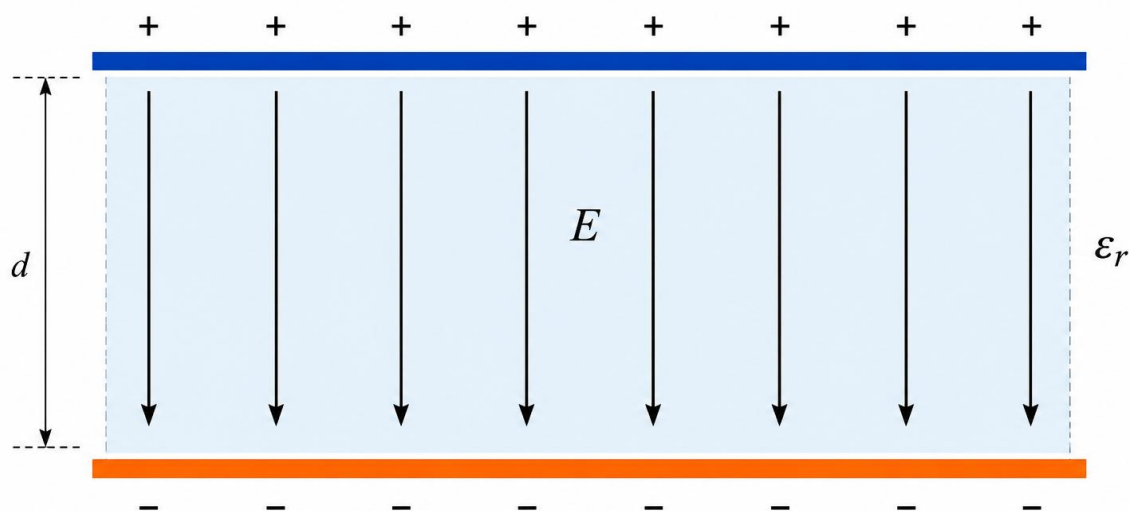
$$C_0 = \epsilon_0 S/d$$

Oraliq to'liq chiziqli dielektrik bilan to'ldirilganda:

$$C = \epsilon S/d = \epsilon_0 \epsilon_r S/d$$

$$C/C_0 = \epsilon_r$$

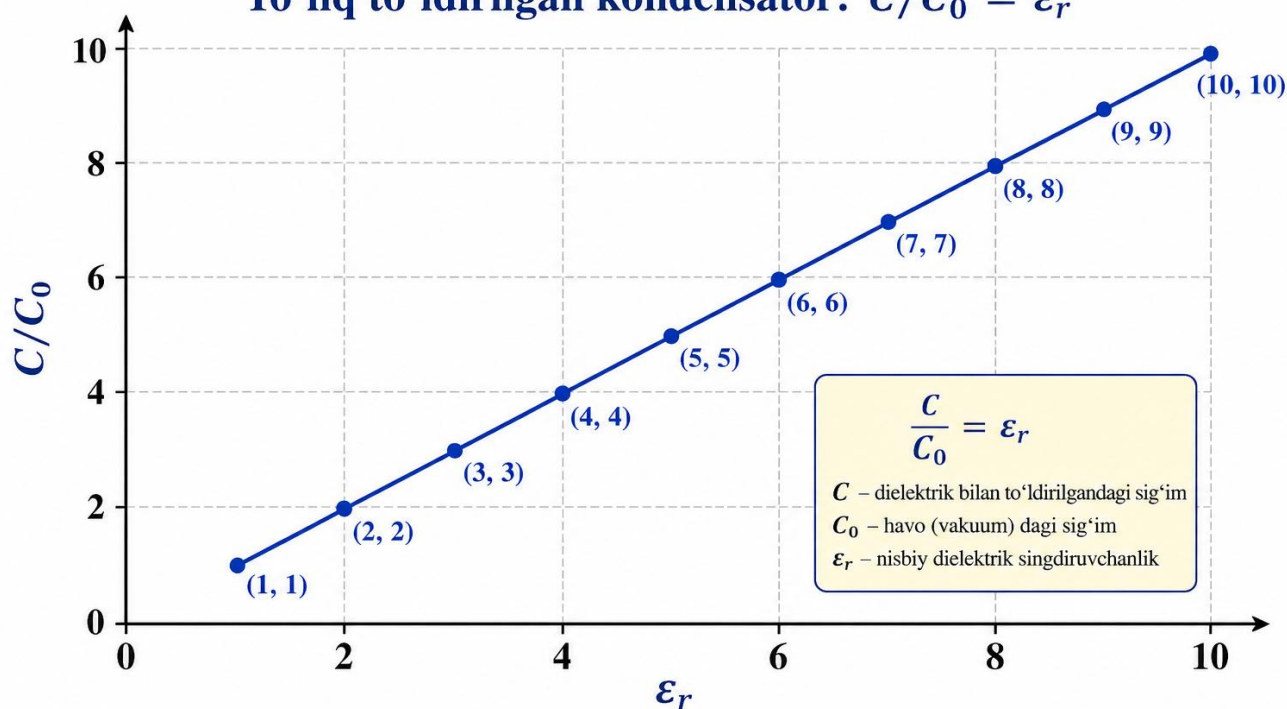
Dielektrik bilan to'ldirilgan yassi kondensator



- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Yuqori plastina: musbat zaryadlangan (+) • Pastki plastina: manfiy zaryadlangan (-) • Plastinalar orasidagi masofa: d | <ul style="list-style-type: none"> • Dielektrik: nisbiy dielektrik singdiruvchanlik ϵ_r • E – elektr maydon kuchlanganligi (bir jinsli) • Elektr maydon yo'nalishi: musbatdan manfiga (pastga) |
|--|--|

4-rasm. Dielektrik bilan to'ldirilgan yassi kondensator

To'liq to'ldirilgan kondensator: $C/C_0 = \epsilon_r$



- Grafik chiziqli bog'lanishni ko'rsatadi: $\frac{C}{C_0}$ qiymat ϵ_r ga teng bo'ladi.

5-rasm. Kondensator sig'imining ϵ_r ga chiziqli bog'lanishi

5-misol

Vakuumdagi sig'imi $C_0=80$ pF bo'lgan kondensator $\epsilon_r=5$ dielektrik bilan to'liq to'ldirildi. Yangi sig'im:

$$C = \epsilon_r C_0 = 5 \cdot 80 \text{ pF} = 400 \text{ pF}$$

Demak, sig‘imning tajribada necha marta ortgani ϵ_r ni aniqlashning sodda usullaridan biridir.

6. Erkin zaryad doimiy bo‘lganda elektr maydonning o‘zgarishi

Yassi kondensator manbadan uzilgan bo‘lsin. Plastinalardagi erkin zaryad Q o‘zgarmaydi, demak $D_n = \sigma_f$ ham o‘zgarmaydi. Dielektrik kiritilganda:

$$E = D/\epsilon = D/(\epsilon_0 \epsilon_r)$$

Vakuumdagi $E_0 = D/\epsilon_0$ bilan taqqoslab:

$$E = E_0/\epsilon_r$$

Bu kamayish qutblanish zaryadlari hosil qilgan qarshi maydon bilan tushuntiriladi. Biroq kondensator kuchlanish manbaiga ulangan bo‘lsa U va d doimiy bo‘lib, ideal yassi geometriyada $E = U/d$ o‘zgarmaydi; manba qo‘shimcha erkin zaryad yetkazib beradi.

6-misol

Manbadan uzilgan kondensatorda vakuumdagi $E_0 = 4 \times 10^5 \text{ V/m}$. $\epsilon_r = 8$ dielektrik kiritilgach:

$$E = 4 \times 10^5 / 8 = 5 \times 10^4 \text{ V/m}$$

$$\chi_e = 7. \text{ Qutblanish } P = \epsilon_0 \chi_e E \approx 3.10 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2. D = \epsilon_0 \epsilon_r E \approx 3.54 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2.$$

Muhim metodik farq

Shart	Doimiy kattalik	Dielektrik kiritilganda
Manbadan uzilgan	Q, D	E va U kamayadi
Manbaga ulangan	U , ideal holda E	Q va D ortadi

7. Singdiruvchanlikning chastota va haroratga bog‘liqligi

Real dielektriklarda ϵ va χ_e ko‘pincha faqat materialning nomiga bog‘liq doimiy sonlar emas. Ular maydon chastotasi, harorat, bosim, namlik va materialning mikrostrukturasi bilan o‘zgarishi mumkin. Elektrostatik mavzuda odatda nol chastotaga yaqin — statik singdiruvchanlik ko‘riladi.

Maydon chastotasi ortganda sekin qutblanish mexanizmlari tashqi maydon o‘zgarishiga ergashishga ulgurmay qoladi. Shu sababli umumiy qutblanish va real singdiruvchanlik chastota bo‘yicha kamayishi mumkin. Juda yuqori chastotalarda asosan tez elektron qutblanish saqlanadi.

Kompleks singdiruvchanlik haqida qisqacha

O‘zgaruvchan maydonlarda energiya yo‘qotishlarini hisobga olish uchun ϵ kompleks kattalik sifatida qaraladi. Uning real qismi energiya saqlash, mavhum qismi esa dielektrik yo‘qotishlar bilan bog‘liq. Mazkur tushuncha elektrostatik kursdan keyingi elektromagnit to‘lqinlar va materiallar fizikasi mavzularida chuqurlashtiriladi.

Anizotrop va noxiziqli muhitlar

Kristallarda P va E bir yo‘nalishda bo‘lmasligi mumkin. Bunday holda χ skalyar emas, tensor sifatida qaraladi. Ferroelectric materiallarda esa $P(E)$ bog‘lanish noxiziqli

va gisterezisli bo'lishi mumkin. Shuning uchun $\epsilon_r=1+\chi_e$ sodda skalyar formula aynan chiziqli, izotrop muhit uchun yozilganini ta'kidlash muhim.

Model	P–E munosabati	Parametr tavsifi
Chiziqli izotrop	$P=\epsilon_0\chi_e E$	χ_e skalyar, const
Anizotrop	$P_i=\epsilon_0\sum_j\chi_{ij}E_j$	χ tensor
Nochiziqli	$P=f(E)$	χ samarali va E ga bog'liq

8. Masala yechish algoritmi va dars metodikasi

Bosqich	Bajariladigan amal
1	Berilgan parametr ϵ , ϵ_r yoki χ_e ekanini aniqlash.
2	$\epsilon=\epsilon_0\epsilon_r$ va $\epsilon_r=1+\chi_e$ bog'lanishlarini tanlash.
3	P kerak bo'lsa $P=\epsilon_0\chi_e E$ dan foydalanish.
4	D kerak bo'lsa $D=\epsilon E$ yoki $D=\epsilon_0 E+P$ orqali tekshirish.
5	Kondensatorda $C=\epsilon S/d$ yoki $C=\epsilon_r C_0$ ni qo'llash.
6	Q yoki U qaysi biri doimiyligini aniqlab, E o'zgarishini tahlil qilish.
7	Birliklar va chiziqli-izotrop model shartlarini tekshirish.

7-misol: kompleks hisoblash

$\epsilon_r=4.8$ va $E=2.5\times 10^4$ V/m bo'lgan dielektrik uchun $\chi_e=3.8$. Absolyut singdiruvchanlik:

$$\epsilon=\epsilon_0\epsilon_r\approx 4.25\times 10^{-11} \text{ F/m}$$

Qutblanish:

$$P=\epsilon_0\chi_e E\approx 8.41\times 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

Siljish vektori:

$$D=\epsilon E\approx 1.06\times 10^{-6} \text{ C/m}^2$$

Tekshiruv: $\epsilon_0 E+P\approx 2.21\times 10^{-7}+8.41\times 10^{-7}\approx 1.06\times 10^{-6} \text{ C/m}^2$.

Muammoli savollar

Nima uchun vakuum uchun $\chi_e=0$ va $\epsilon_r=1$? ϵ_r bilan χ_e nega bir xil kattalik emas? Dielektrik kiritilganda E har doim kamayadimi? Qaysi shartda $C/C_0=\epsilon_r$ munosabati bajariladi? Nima sababdan real materiallarda ϵ_r chastotaga bog'liq bo'lishi mumkin?

Ko'p uchraydigan xatolar

ϵ bilan ϵ_r ni aralashtirish; ϵ_r ga F/m birligini yozish; χ_e ni ϵ_r ga teng deb olish; $\epsilon_r=1+\chi_e$ formulasini anizotrop yoki kuchli nochiziqli muhitlarga izohsiz qo'llash; kondensator masalasida manba ulangan yoki uzilganini e'tibordan chetda qoldirish.

9. Asosiy formulalar, mustahkamlash va xulosa

Formula	Mazmuni
$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$	Absolyut va nisbiy singdiruvchanlik
$P = \epsilon_0 \chi_e E$	Dielektrik qabul qiluvchanlik ta'rifi
$D = \epsilon_0 E + P$	D, E va P bog'lanishi
$D = \epsilon_0 \epsilon_r E$	Chiziqli izotrop muhit
$\epsilon_r = 1 + \chi_e$	Asosiy o'zaro bog'lanish
$\chi_e = \epsilon_r - 1$	Qabul qiluvchanlikni ϵ_r dan topish
$C = \epsilon S/d$	Dielektrikli yassi kondensator
$C/C_0 = \epsilon_r$	To'liq to'ldirilgan kondensator

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. $\epsilon_r = 7.5$ bo'lgan muhit uchun χ_e va ϵ ni toping.
2. $\chi_e = 3$ va $E = 4 \times 10^4$ V/m bo'lsa P va D ni hisoblang.
3. Absolyut singdiruvchanlik $\epsilon = 5.31 \times 10^{-11}$ F/m bo'lsa ϵ_r ni aniqlang.
4. Vakuumdagi $C_0 = 60$ pF kondensatorning sig'imi dielektrik kiritilgach 270 pF bo'ldi. ϵ_r va χ_e ni toping.
5. Manbadan uzilgan kondensatorga $\epsilon_r = 6$ dielektrik kiritilsa E va U necha marta o'zgaradi?
6. $\epsilon_r = 2.8$, $E = 10^5$ V/m uchun $D = \epsilon_0 E + P$ tengligini sonli tekshiring.

Xulosa

Dielektrik singdiruvchanlik va qabul qiluvchanlik moddaning elektr maydonga javobini tavsiflovchi o'zaro bog'langan fundamental kattaliklardir. χ_e qutblanish vektori P ning E ga sezgirligini, ϵ esa D va E orasidagi makroskopik bog'lanishni ifodalaydi. Chiziqli izotrop muhitda $D = \epsilon_0 E + P$, $P = \epsilon_0 \chi_e E$ va $D = \epsilon_0 \epsilon_r E$ tenglamalaridan $\epsilon_r = 1 + \chi_e$ munosabat kelib chiqadi. Vakuum uchun $\chi_e = 0$ va $\epsilon_r = 1$. Dielektrikning qutblanishi kondensator sig'imini oshiradi va erkin zaryad doimiy bo'lgan sharoitda ichki elektr maydonni kamaytiradi. Real materiallarda bu parametrlar chastota, harorat va strukturaga bog'liq bo'lishi mumkin; shu sababli sodda skalyar formulalarning amal qilish shartlarini fizik tahlil qilish muhimdir.

Tavsiya etiladigan adabiyotlar

1. Griffiths D. J. Introduction to Electrodynamics. Cambridge University Press.
2. Jackson J. D. Classical Electrodynamics. Wiley.
3. Young H. D., Freedman R. A. University Physics with Modern Physics. Pearson.
4. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. Wiley.