

Диелектрик в електростатично поле. Видове диелектрици. Поляризация на диелектриците. Диелектрична възприемчивост и диелектрична проницаемост

Видове диелектрици. Диполен момент

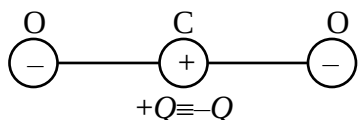
Диелектриците са вещества, които не съдържат свободни електрични заряди. Те са изградени като всички тела от атоми и молекули. За да се разбере тяхното поведение в електростатично поле, е необходимо да се разгледа поведението на електричните заряди на отделните диелектрични атоми или молекули. Всеки атом от диелектрика може да се представи във вид на точково положително ядро и съвкупност от електрони, които обикалят около ядрото по електронни орбити. Като цяло атомите и молекулите са електронеутрални, тъй като съдържат еднакво количество положителни и отрицателни електрични заряди. При прилагане на външно електростатично поле те не се движат, а само се преориентират по посока на полето. Електричните заряди в диелектриците не могат да напускат границите на атомите или молекулите и се наричат свързани заряди.

С известно приближение молекулите на диелектриците могат да се разглеждат като електрични диполи. Електричен дипол се нарича система от два разноименни заряда с еднаква големина Q , които са разположени на определено разстояние един от друг. Всеки електричен дипол се характеризира с величините рамо на дипола $\vec{l}$ и електричен диполен момент $\vec{p}_l$. Векторът, съединяващ двата електрични заряда с посока от отрицателния към положителния, се нарича рамо на дипола. Диполният момент се определя от равенството:

$$(1) \vec{p}_l = Q\vec{l}.$$

Посоката на диполния момент се определя от посоката на рамото (от „-“ към „+“). Мерната единица е [C.m]. Действието на положителните и отрицателните заряди в една диелектрична молекула е такова, че те могат да се разглеждат като съсредоточени в две различни точки, наречени съответно център на положителните и център на отрицателните заряди. Ако с l означим разстоянието между тези два центъра, а с $+Q$ и $-Q$ – съответно общия положителен и отрицателен заряд на молекулата, нейният диполен момент ще се определя от равенството (1).

В зависимост от строежа на молекулите, от които са изградени, диелектриците се разделят на две групи: неполярни и полярни диелектрици. Неполярните диелектрици съдържат неполярни молекули, а полярните диелектрици – полярни молекули. Ще се спрем накратко на характерните особености на двата вида молекули и ще разгледаме поведението им във външно електростатично поле.



фиг. 1

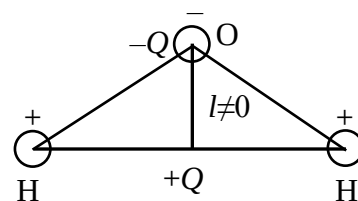
Неполярните молекули имат симетричен строеж. При тях центровете на положителните и отрицателните заряди съвпадат ($\vec{l} = 0$), поради което те нямат собствен диполен момент ($\vec{p}_l = 0$) и затова се наричат неполярни. Примери за неполярни диелектрици са въглеродният диоксид (CO_2) (фиг. 1), водородът (H_2), азотът (N_2), кислородът (O_2) и др. Ако поставим една неполярна молекула във външно електростатично поле,

двата центъра (на положителните и отрицателните заряди) се отдалечават един от друг. Ядрата на атомите се отместват в една посока, а електроните в противоположната. В резултат на това молекулата придобива диполен момент $\vec{p}_l \neq 0$, който се нарича индуциран и се определя от следното равенство:

$$\vec{p}_l = \beta \epsilon_0 \vec{E}.$$

Величината β се нарича поляризуемост на молекулата и зависи от обема ѝ, $\vec{E}$ е интензитетът на приложеното електростатично поле.

Полярните молекули имат несиметричен строеж. При тях центровете на положителните и отрицателните заряди не съвпадат и те притежават собствен диполен момент $\vec{p}_l \neq 0$ ($\vec{l} \neq 0$). Наричат се полярни, тъй като имат диполен момент, различен от нула и в отсъствие на приложено електростатично поле. Примери за полярни диелектрици са водата (H_2O) (фиг. 2), амонякът (NH_3), солната киселина (HCl), въглеродният оксид (CO) и др. Когато поставим една полярна молекула във външно електростатично поле, нейният диполен момент се завърта и се ориентира по посока на полето, но големината му практически не се променя.



фиг. 2

Нека сега разгледаме поведението на двата вида диелектрици в отсъствие и при наличие на външно електростатично поле. Неполярният диелектрик в отсъствие на електростатично поле е

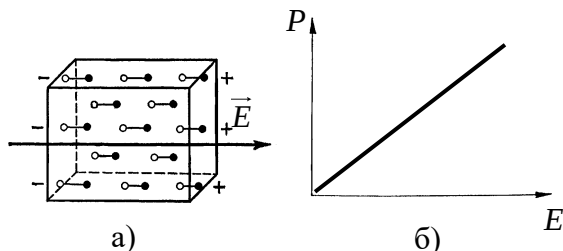
електронеутрален. Отделните молекули, от които е изграден, нямат диполни моменти, следователно и общият диполен момент на диелектрика е равен на нула. Полярният диелектрик се характеризира с различни от нула диполни моменти на отделните молекули. В отсъствие на електростатично поле вследствие на хаотичното топлинно движение диполните моменти на отделните молекули са ориентирани в най-различни посоки. Общият диполен момент на диелектрика в този случай също е равен на нула.

Поляризация на диелектриците. Диелектрична възприемчивост и диелектрична проницаемост

При поставянето на кой да е от двата вида диелектрици във външно електростатично поле настъпва процес на диелектрична поляризация: явление, при което на две срещуположни повърхности на диелектрика, разположени перпендикулярно на посоката на приложеното електростатично поле, се появяват разноименни електрични заряди. Тези заряди се характеризират с величината повърхнинна плътност на свързаните заряди, която се означава със σ_p и по големина е еднаква за двете повърхности ($\sigma_p^+ = \sigma_p^- = \sigma_p$). Поляризацията на диелектрика е процес на привеждането му в състояние, при което в рамките на малък обем от веществото геометричната сума от векторите на диполните моменти се оказва различна от нула. Всеки диелектрик, в който е протекъл процес на поляризация, се нарича поляризиран. Като количествена мярка за степента на поляризация на диелектрика се въвежда векторната физична величина диелектрична поляризация, която се определя от общия диполен момент на единица обем от диелектрика:

$$(2) \quad \vec{P} = \frac{\vec{P}_V}{V} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_i}{V},$$

където V е общият обем на диелектрика, $\vec{p}_i$ – диполният момент на една отделна молекула, N – броят на молекулите в целия обем V , а $\vec{P}_V$ – пълният диполен момент за целия обем V . От (2) се вижда, че мерната единица за диелектрична поляризация е $[C/m^2]$. Механизмът на процеса поляризация е различен за неполярните и полярните диелектрици, затова ще разгледаме поотделно двата случая.



фиг. 3

Ако в дадено електростатично поле внесем неполярен диелектрик, в него настъпва електронна поляризация. В неполярните молекули се осъществява отместване на центровете на положителните и отрицателните заряди, в резултат на което те се превръщат от неполярни в полярни молекули с индуциран диполен момент. Индуцираните диполни моменти са по посока на интензитета на полето. В действителност това отместване на центровете представлява деформация на електронните орбити в атомите, затова и настъпилата поляризация се нарича

електронна. Тя не зависи от температурата на диелектрика, тъй като топлинното движение не влияе на положението на центровете на положителните и отрицателните заряди (фиг. 3а). Интерес представлява зависимостта на електронната поляризация на диелектрика от големината на интензитета на приложеното електростатично поле. Ако неполярният диелектрик, който разглеждаме, е еднороден (съставен от еднакъв вид молекули) и полето е хомогенно ($\vec{E} = \text{const}$), индуцираните диполни моменти на всички молекули ще бъдат еднакви по големина и строго ориентирани по посока на полето (поляризацията е пълна). Общият индуциран диполен момент за единица обем ще бъде $\vec{P} = n\vec{p}_i$, където n е концентрацията на молекулите, а $\vec{p}_i = \beta\epsilon_0\vec{E}$ диполният момент на една молекула. Тогава диелектричната поляризация е:

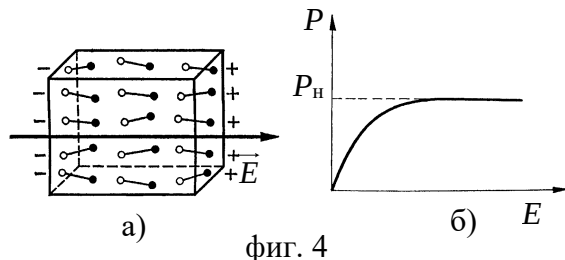
$$(3) \quad \vec{P} = n\beta\epsilon_0\vec{E} = \chi\epsilon_0\vec{E}.$$

Коефициентът $\chi = n\beta$ се нарича диелектрична възприемчивост и характеризира свойството на всеки диелектрик да се поляризира във външно поле (χ е безразмерна величина, винаги по-голяма от нула).

На фиг. 3б е показана зависимостта на електронната поляризация от интензитета, тя е линейна, което следва и от (3). С нарастването на интензитета се увеличава и общият диполен момент за единица обем на диелектрика. (За различните диелектрици наклонът на правата е различен.)

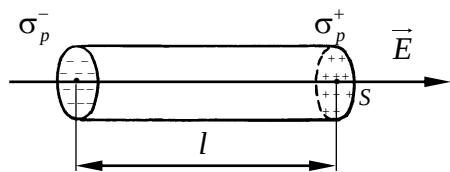
А сега нека внесеният във външно електростатично поле диелектрик е полярен. Поляризацията, която настъпва, се нарича ориентационна. Различно ориентирани диполни моменти на отделните

молекули (поради топлинното хаотично движение) се ориентират по посока на полето. Поляризацията на диелектрика в този случай не е пълна, тъй като тя се влияе от температурата на диелектрика (фиг. 4а). Електростатичното поле се стреми да ориентира диполите на диелектрика в една определена посока, а топлинното движение променя тази ориентация. Ориентацията ще бъде толкова по-пълна, колкото интензитетът на приложеното поле е по-голям и топлинното движение на молекулите е по-слабо интензивно (ниска температура на диелектрика). Ориентационната поляризация зависи нелинейно от интензитета на полето (фиг. 4б). За малки стойности на интензитета зависимостта е линейна. С нарастването на E увеличаването на P се забавя и при определена стойност на E настъпва насищане, при което диполните моменти на всички молекули се ориентират по полето.



фиг. 4

Нека да определим връзката между диелектричната поляризация и повърхнинната плътност на свързаните заряди. Да разгледаме един малък цилиндричен образец от някакъв диелектрик с основа S и височина l , който е поставен в електростатично поле с интензитет $\vec{E}$ насочен по оста на цилиндъра (фиг. 5).



фиг. 5

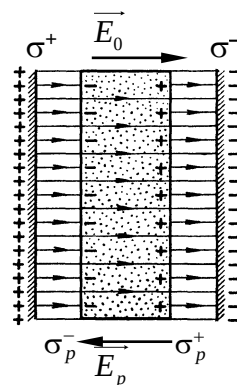
Повърхнинните плътности на свързаните заряди, появяващи се върху двете срещуположни стени на образца, които са перпендикулярни на $\vec{E}$, ще бъдат съответно σ_p^+ и σ_p^- ($\sigma_p^+ = \sigma_p^- = \sigma_p$). Общите количества положителни и отрицателни заряди, които са разпределени равномерно по двете основи S , ще бъдат съответно $Q^+ = \sigma_p^+ S$ и $Q^- = \sigma_p^- S$. Цилиндърът

можем да разгледаме като електричен дипол с големина на диполния момент $p_l = Ql = \sigma_p S l = \sigma_p V$. Тогава големината на диелектричната поляризация P на дипола ще бъде:

$$(4) P = \frac{\sigma_p V}{V} = \sigma_p.$$

Следователно диелектричната поляризация на образца се определя от повърхнинната плътност на свързаните заряди на срещуположните стени на дадения диелектрик.

Накрая ще определим интензитета на резултантното електростатично поле, което възниква при поставяне на неполярен диелектрик във външно електростатично поле. Нека две безкрайни, успоредни и равномерно заредени равнини с повърхнинна плътност на свободните електрични заряди σ^+ и σ^- създават хомогенно електростатично поле с интензитет $\vec{E}_0$ във вакуум. Силите линии на интензитета са насочени от положително към отрицателно заредената равнина и са перпендикулярни на двете равнини (фиг. 6). Ако внесем пластинка от еднороден неполярен диелектрик в това поле, под влияние на полето диелектрият се поляризира, като на двете срещуположни стени на пластинката се появяват некомпенсирани свързани електрични заряди с повърхнинна плътност съответно σ_p^+ и σ_p^- . Те създават в диелектрика собствено еднородно електростатично поле с интензитет $\vec{E}_p$, насочен в посока, обратна на $\vec{E}_0$. Следователно интензитетът на сумарното (резултантно) поле в диелектрика ще има големина $E = E_0 - E_p$. Големината на интензитета E_p можем да определим, като използваме формулата за интензитет на полето между две успоредни равнини (24 въпрос), (4) и (3):



фиг. 6

$$E_p = \frac{\sigma_p}{\epsilon_0} = \frac{P}{\epsilon_0} = \frac{\chi \epsilon_0 E}{\epsilon_0} = \chi E$$

и за големината на интензитета E получаваме:

$$E = E_0 - \chi E$$

$$E = \frac{E_0}{1 + \chi} = \frac{E_0}{\epsilon_r}.$$

Величината $\epsilon_r = 1 + \chi$ се нарича относителна диелектрична проникваемост. Тя е характерна величина за всеки диелектрик и също както χ определя количествено свойството му да се поляризира при поставяне във външно електростатично поле. Както и диелектричната възприемчивост χ , диелектричната

проницаемост ϵ_r е безразмерна величина. За вакуум $\epsilon_r=1$, а $\chi=0$, а за всяка диелектрична среда, различна от вакуум, $\epsilon_r>1$. Относителната диелектрична проницаемост показва колко пъти интензитетът на електростатичното поле в диелектрична среда е по-малък от интензитета на електростатичното поле във вакуум.

Стойностите на относителната диелектрична проницаемост ϵ_r зависят от стойностите на диелектричната възприемчивост χ . За повечето диелектрици χ и ϵ_r имат стойности, по-малки от **10**. Например за хартията $\epsilon_r=2$, за стъклото $\epsilon_r=5\div 10$, за слюдата $\epsilon_r=4\div 8$, а за порцелана $\epsilon_r=6$. Изключение прави водата, за която $\epsilon_r=81$.