

Диэлектрики. Типы диэлектриков и их поляризация

В 1729 г. английский физик Стефан Грей обнаружил, что электрический заряд может перемещаться по одним телам и не перемещаться по другим. Например, по металлической проволоке электричество в его опытах распространялось, а по шелковой нити нет. С тех пор все вещества стали делиться на проводники и непроводники электричества. Последние были названы Фарадеем диэлектриками.

Введённый Фарадеем в 1837 г. термин «диэлектрики» образован от двух слов - греческого «диа» (что значит «через») и английского electric (электрический).

Диэлектриком называют вещество, которое не проводит электрический ток, следовательно в это вещество отсутствуют свободные заряженные частицы (т.е. таких заряженных частиц, которые способны свободно перемещаться по всему объёму тела). Такими частицами могли бы быть электроны, но в идеальном диэлектрике все электроны связаны с ядром атома, т.е. принадлежат отдельным атомам, и свободно перемещаться по телу не могут. Чтобы нарушить эту связь, нужны сильные воздействующие факторы.

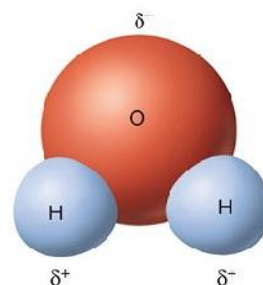
Диэлектрики обладают способностью пропускать через себя электростатическое поле. Проникая через диэлектрики электростатическое поле ослабевает, но всё-таки не до нуля, как это происходит в металлах.

Диэлектриками могут быть вещества в трёх агрегатных состояниях: газообразном (азот, водород), жидком (чистая вода), твёрдом (янтарь, фарфор, кварц).

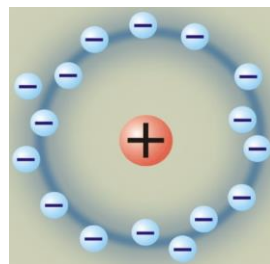
Всякая молекула представляет собой систему с суммарным зарядом, равным нулю. Поведение молекулы во внешнем электрическом поле эквивалентно диполю. Положительный заряд такого диполя равен суммарному заряду ядер, помещён в «центр тяжести» положительных зарядов; отрицательный заряд равен суммарному заряду электронов и помещён в «центр тяжести» отрицательных зарядов.

Все диэлектрики делятся на три группы: полярные, неполярные и кристаллические.

• **Полярные диэлектрики** состоят из молекул, которые имеют асимметричное строение, что приводит к несовпадению «центров тяжести» положительных и отрицательных зарядов в молекуле. Молекула в этом случае представляет собой диполь. В отсутствие внешнего поля E_0 , благодаря тепловому движению молекул, дипольные моменты ориентированы хаотически и суммарный дипольный момент всех молекул равен нулю $\sum_{i=1}^n \vec{p} = 0$. К таким диэлектрикам относятся фенол, нитробензол.



• **Неполярные диэлектрики** состоят из атомов и молекул, которые имеют симметричное строение, т.е. «центры тяжести» положительных и отрицательных зарядов совпадают в отсутствие внешнего электрического поля и, следовательно, не обладают собственным дипольным моментом. К ним относят инертные газы, бензол, парафин, водород, кислород.



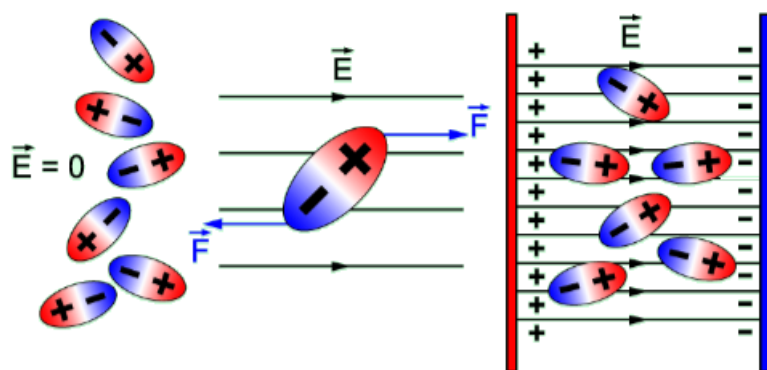
• **Кристаллические диэлектрики** имеют ионную структуру, - это слабополярные диэлектрики. К ним относятся NaCl, KCl.

При помещении диэлектрика в электрическое поле в его объёме и на поверхности появляются макроскопические заряды. Указанные заряды возникают в результате поляризации диэлектриков.

Поляризацией диэлектрика называется процесс ориентации диполей, т.е. смещение положительных и отрицательных зарядов внутри диэлектрика в противоположные стороны.

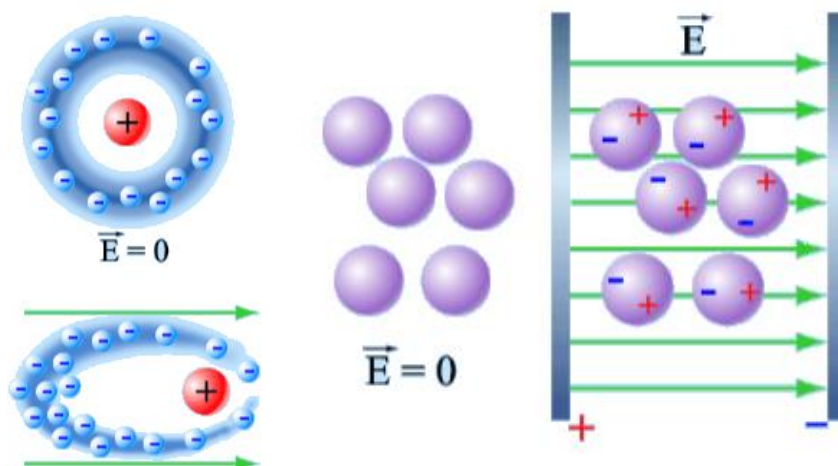
Трёх группам диэлектриков соответствует три вида поляризации.

Дипольная (ориентационная) поляризация. При отсутствии внешнего поля дипольные моменты полярных молекул вследствие теплового движения ориентированы в пространстве хаотично и их результирующий момент равен нулю (рис.12.22, а) . Если такой диэлектрик поместить во внешнее поле (рис.12.22, б) , то силы этого поля будут стремиться повернуть



диполи вдоль поля и возникает отличный от нуля результирующий момент. Эта ориентация дипольных моментов молекул по полю тем сильнее, чем больше напряжённость электрического поля и ниже температура.

Электронная поляризация. Если неполярную молекулу поместить во внешнее электрическое поле E_0 , то под действием электрического поля происходит деформация её



электронных орбит и молекулы диэлектрика превращаются в диполи, сразу ориентированные вдоль внешнего поля (ядра молекулы при этом смещаются по полю, а электронная оболочка вытягивается против поля и молекула приобретает дипольный момент (рис. 12.23).

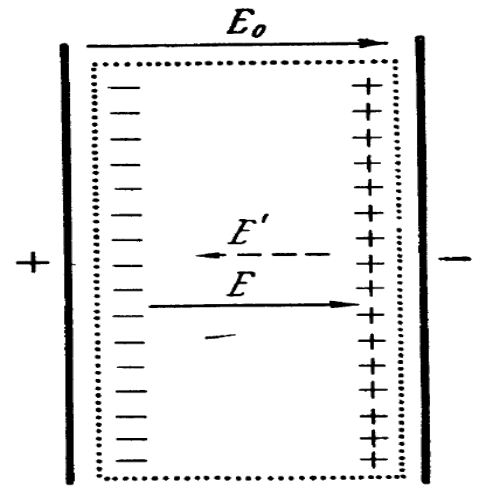
Ионная поляризация. Если кристаллический диэлектрик (NaCl) имеющий кристаллическую решётку, в узлах которой правильно чередуются положительные и отрицательные ионы, поместить во внешнее электрическое поле E_0 , то произойдёт смещение положительных ионов решётки вдоль направления поля, а отрицательных ионов – в противоположную сторону. В результате диэлектрик поляризуется.

Такого рода поляризация называется ионной. Степень ионной поляризации зависит от свойств диэлектрика и от напряжённости поля.

Пусть однородное внешнее поле создано двумя бесконечными параллельными разноимённо заряженными плоскостями. В это поле внесём пластинку из однородного диэлектрика. Под действием поля диэлектрик поляризуется, т.е. происходит смещение зарядов положительных по полю, отрицательных – против поля. В результате этого на правой грани диэлектрика, обращённой к отрицательной плоскости, будет избыток положительного заряда с поверхностной плотностью $+\sigma'$, на левой – отрицательного заряда с поверхностной плотностью $-\sigma'$. Эти нескомпенсированные заряды, появляющиеся в результате поляризации называются

связанными, они принадлежат молекулам диэлектрика и не могут быть удалены с его поверхности. Так как поверхностная плотность связанных зарядов σ' меньше поверхностной плотности σ свободных зарядов плоскостей, то не всё поле E компенсируется полем зарядов диэлектрика: часть линий напряжённости пройдёт сквозь диэлектрик, другая же часть обрывается на связанных зарядах. Следовательно, поляризация диэлектрика вызывает уменьшение в нём поля по сравнению с первоначальным внешним полем. Вне диэлектрика $E = E_0$.

Таким образом, появление связанных зарядов приводит к возникновению дополнительного электрического поля E' (поле связанных зарядов), которое направлено против внешнего E_0 (поле, создаваемое свободными зарядами) и ослабляет его. Результирующее поле внутри диэлектрика $E = E_0 - E'$



Величину ϵ называют **относительной диэлектрической проницаемостью среды**. Тогда,

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}$$

т.е. *относительная диэлектрическая проницаемость среды показывает, во сколько раз поле ослабляется диэлектриком.*

Так как напряжённость пропорциональна силе, то можно сказать, что диэлектрическая проницаемость показывает, во сколько раз уменьшится сила взаимодействия зарядов, находящихся в вакууме, если он заполнится однородным изотропным диэлектриком.

Диэлектрическая проницаемость зависит от структуры вещества и внешних условий, так при 20°C у воды $\epsilon=81$, у воздуха $\epsilon=1$.

Все полученные в предыдущих параграфах формулы, описывающие электрические поля и взаимодействия электрических зарядов в вакууме, остаются справедливыми и в случае, когда эти явления имеют место в однородном изотропном диэлектрике. Только в формулы, содержащие электрическую постоянную ϵ_0 , необходимо вводить относительную диэлектрическую постоянную ϵ в качестве множителя при ϵ_0 (формулы не содержащие ϵ_0 не требуют никаких дополнений). Таким образом, например, выражение закона Кулона, напряжённости электрического поля точечного заряда, потенциала и теоремы Гаусса примут соответственно вид

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r^2}; \quad E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r^2}; \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r};$$

Явление поляризации позволяет объяснить простейшие опыты по притяжению наэлектризованных телом лёгких кусочков бумаги. Эти кусочки в целом нейтральны. Однако в электрическом поле наэлектризованного тела (например стеклянной палочки) они поляризуются. На более близкой поверхности кусочка появляется заряд, противоположный по знаку заряду палочки. Взаимодействие с ним и приводит к притяжению бумаги к наэлектризованной палочке.

Чем сильнее поляризуется диэлектрик, тем слабее получается результирующее поле, тем меньше становится его напряжённость в каждой точке при тех же зарядах, создающих основное поле, а следовательно, диэлектрическая проницаемость ϵ такого диэлектрика больше.