

## Диэлектрики в электрическом поле

Темы кодификатора ЕГЭ: диэлектрики в электрическом поле.

В отличие от проводников, в *диэлектриках* нет свободных зарядов. Все заряды являются *связанными*: электроны принадлежат своим атомам, а ионы твёрдых диэлектриков колеблются вблизи узлов кристаллической решётки.

Соответственно, при помещении диэлектрика в электрическое поле не возникает направленного движения зарядов<sup>1</sup>. Поэтому для диэлектриков не проходят наши доказательства свойств проводников — ведь все эти рассуждения опирались на возможность появления тока. И действительно, ни одно из четырёх свойств проводников, сформулированных в предыдущей статье, не распространяется на диэлектрики.

1. Напряжённость электрического поля внутри диэлектрика может быть не равна нулю.
2. Объёмная плотность заряда в диэлектрике может быть отличной от нуля.
3. Линии напряжённости могут быть не перпендикулярны поверхности диэлектрика.
4. Различные точки диэлектрика могут иметь разный потенциал. Стало быть, говорить о «потенциале диэлектрика» не приходится.

### Диэлектрическая проницаемость

Но тем не менее, одно важнейшее общее свойство у диэлектриков имеется, и вам оно известно (вспомните формулу напряжённости поля точечного заряда в диэлектрике!). *Напряжённость поля уменьшается внутри диэлектрика в некоторое число  $\epsilon$  раз по сравнению с вакуумом.* Величина  $\epsilon$  даётся в таблицах и называется *диэлектрической проницаемостью* диэлектрика.

Давайте разберёмся, каковы причины ослабления поля в диэлектрике. Рассмотрим диэлектрик, помещённый во внешнее однородное (для простоты) поле  $E_0$ . Опыт показывает, что на противоположных поверхностях диэлектрика появляются заряды разных знаков.

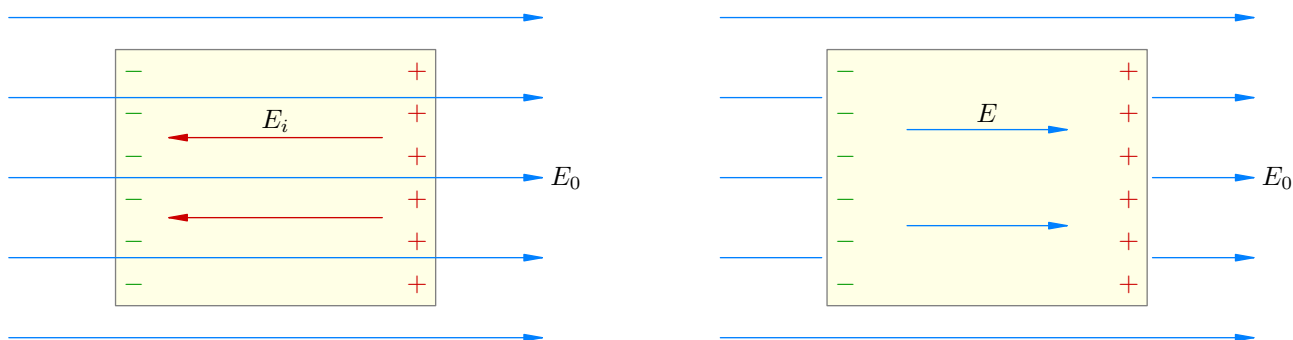


Рис. 1. Ослабление поля внутри диэлектрика

Эти индуцированные заряды расположены так, что создаваемое ими поле  $E_i$  внутри диэлектрика направлено *против* внешнего поля  $E_0$  (рис. 1, слева). При этом  $E_i < E_0$ , так что

<sup>1</sup>Впрочем, в достаточно сильном электрическом поле может случиться *пробой диэлектрика* (пример — молния во время грозы). Подобное явление мы изучим позже, при рассмотрении электрического тока в газах.

внешнее поле ослабляется лишь частично (а не гасится полностью, как внутри проводника). Результирующее поле внутри диэлектрика равно:

$$E = E_0 - E_i.$$

Мы видим, что  $E < E_0$ . Данный факт как раз и подчёркивается следующей формой записи:

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon}.$$

Результирующее поле  $E$  направлено в ту же сторону, что и внешнее поле  $E_0$  (рис. 1, справа; искажение поля снаружи диэлектрика считаем пренебрежимо малым).

Хорошо, но откуда в диэлектрике берутся поверхностные индуцированные заряды? Это — явление *поляризации*, свойственное всем диэлектрикам. Механизмы поляризации могут быть различными. Мы рассмотрим два типа поляризации: ориентационную и электронную.

### Полярные диэлектрики

Молекулы *полярных* диэлектриков с точки зрения электрических свойств являются диполями.

*Диполь* — это система двух одинаковых по модулю и противоположных по знаку зарядов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга (рис. 2).



Рис. 2. Диполь

Например, в молекуле поваренной соли NaCl одинокий внешний электрон натрия захватывается атомом хлора (которому как раз недостаёт одного электрона до полного комплекта из 8 электронов на внешней оболочке). Молекула становится диполем, состоящим из положительного иона  $\text{Na}^+$  и отрицательного иона  $\text{Cl}^-$ .

Как диполи ведут себя молекулы воды. Это связано с геометрией их строения: молекула воды похожа на треугольник, в вершинах которого расположены два атома водорода и один атом кислорода. В результате центры положительных и отрицательных зарядов молекулы оказываются в разных местах, что и наделяет молекулу свойствами диполя.

К полярным диэлектрикам относятся также низкомолекулярные спирты и ряд других веществ.

При отсутствии внешнего электрического поля молекулы-диполи полярного диэлектрика, совершая хаотическое тепловое движение, ориентированы в самых разных направлениях. Электрические поля этих диполей полностью компенсируют друг друга, и результирующее поле равно нулю во всех областях диэлектрика.

Но если поместить такой диэлектрик во внешнее поле  $E_0$ , то оно «развернёт» диполи так, что они окажутся ориентированными вдоль линий напряжённости («минусы» диполей повернутся влево — к тем «плюсам», которые создают внешнее поле). Это показано на рис. 3.

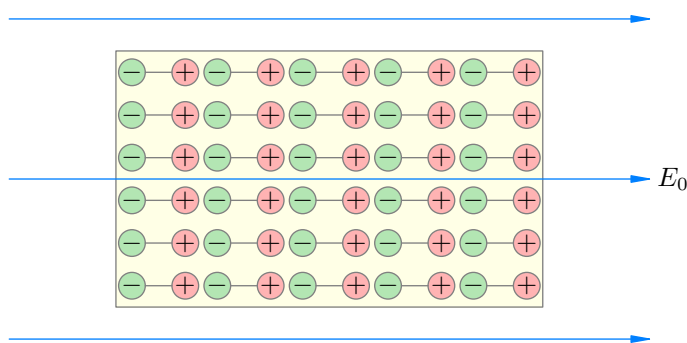


Рис. 3. Ориентационная поляризация

Разумеется, в реальности не будет столь идеально правильного порядка расположения диполей — ведь они по-прежнему совершают хаотическое тепловое движение. Но теперь у диполей появится *преимущественная* ориентация — вдоль линий напряжённости внешнего поля.

Итак, что же мы видим на рис. 3? Внутри диэлектрика заряды диполей по-прежнему компенсируют друг друга. Однако *на внешних поверхностях диэлектрика появляются нескомпенсированные заряды: справа — положительные, слева — отрицательные*. Именно эти заряды и показаны на рис. 1; благодаря им как раз и возникает встречное поле  $E_i$ , ослабляющее внешнее поле  $E_0$ .

Итак, механизм ориентационной поляризации ясен: поворот молекул-диполей и их ориентация вдоль линий напряжённости внешнего поля.

## Неполярные диэлектрики

Далеко не все диэлектрики являются полярными. Диэлектрик называется *неполярным*, если его молекулы имеют симметричное распределение положительных и отрицательных зарядов<sup>2</sup> и потому не ведут себя как диполи. К неполярным диэлектрикам относятся, например, керосин, масло, воздух, инертные газы.

Тем не менее, поляризация наблюдается и у неполярных диэлектриков. Каков механизм поляризации в данном случае?

На рис. 4 слева изображена симметричная электронная орбита в атоме неполярного диэлектрика. При наложении внешнего поля  $E_0$  эта орбита деформируется (рис. 4, справа): электрон смещается в сторону положительных зарядов, создающих внешнее поле.

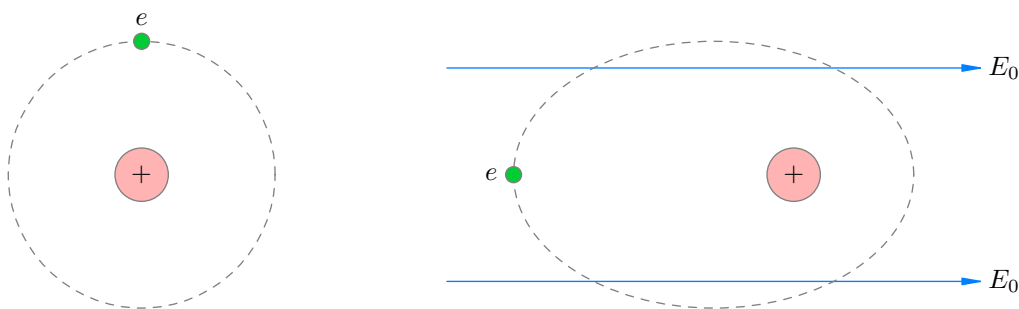


Рис. 4. Электронная поляризация

Мы видим, что во внешнем поле электрон будет проводить больше времени слева от ядра, нежели чем справа. Из-за этого центры положительных и отрицательных зарядов в атоме неполярного диэлектрика разойдутся в разные стороны. Соответственно, атомы или молекулы неполярного диэлектрика во внешнем поле также начнут вести себя подобно диполям, и мы приходим к такой же по сути картине, что и рис. 3 для случая ориентационной поляризации. Объяснение механизма ослабления поля внутри диэлектрика останется тем же самым.

Итак, электронная поляризация вызвана деформацией электронных оболочек атомов во внешнем электрическом поле. Разумеется, электронная поляризация присутствует и у полярных диэлектриков; но там она теряется на фоне куда более мощного эффекта разворота самих диполей.

<sup>2</sup>Разумеется, при отсутствии внешнего поля.