

во всех точках проводника одинаковы:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V,$$

где V есть потенциал проводника. Вынося в формуле (9) V за скобки, получим в скобках суммарный заряд проводника:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

Таким образом, находим, что энергия наэлектризованного проводника определяется простым соотношением

$$W = \frac{1}{2} QV. \quad (10)$$

Электрическая энергия проводника равна половине произведения его заряда на потенциал.

Потенциал проводника равен отношению заряда к емкости проводника: $V = \frac{Q}{C}$ [формула (2)]. Следовательно,

$$W = \frac{Q^2}{2C}. \quad (11)$$

Мы видим, что *электрическая энергия проводника при его зарядке возрастает пропорционально квадрату заряда.*

Другое, часто применяемое выражение для энергии наэлектризованного проводника мы получим, если в общем уравнении энергии (10) заменим заряд Q из формулы (2) через произведение CV :

$$W = \frac{CV^2}{2}. \quad (12)$$

Если в этих формулах заряд Q выражен в кулонах, потенциал в вольтах, а емкость в фарадах, то энергия будет выражена в джоулях.

§ 16. Энергия поля

Воспользуемся формулой (12) для электрической энергии и применим ее к плоскому конденсатору, емкость которого $C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$; разность потенциалов $V = E \cdot d$, где E — напряженность электрического поля в конденсаторе. Подставляя эти значения в выражение (12), получаем:

$$W = \frac{\epsilon E^2}{8\pi} Sd. \quad (13)$$

В этой формуле Sd означает объем, занятый диэлектриком, разъединяющим обкладки конденсатора. Учитывая также, что напряженность поля E внутри, между пластинами конденсатора, всюду одинакова, мы видим, что электрическая энергия конденсатора равна величине, которая получается, если каждому кубическому

сантиметру поля конденсатора приписать энергию, равную $\frac{\epsilon E^2}{8\pi}$ эргов (предполагаем, что E выражена в абсолютных электростатических единицах).

В связи с этим возникает необходимость разрешить вопрос, где же в действительности сосредоточена энергия конденсатора: на обкладках или в пространстве между обкладками.

Когда господствовала *теория дальнего действия*, считали, что энергия сосредоточена там, где находятся электрические заряды, т. е. на металлических пластинах конденсатора. По *теории ближнего действия*, развитой Фарадеем и Максвеллом, электрическая энергия связана с особым напряженным состоянием материальной среды — *поля*, где проявляются электрические силы. Стало быть, с этой точки зрения, энергия конденсатора локализована в среде между обкладками конденсатора. Формула (13) показывает, что электрическую энергию можно представить как *сумму количеств энергии, распределенных по отдельным участкам объема поля* и зависящих по величине от напряженности поля. Результат этот, очевидно, имеет значение не только для конденсатора. Каково бы ни было распределение зарядов, везде, где имеется напряженность электрического поля E , эта напряженность поля указывает на некоторое особое состояние среды, на некоторые скрытые движения в среде, заполняющей пространство. Эти скрытые движения и проявляются в наличии электрического поля, в каждом объеме которого сосредоточено тем больше электрической энергии, чем больше тут напряженность поля.

Назвав энергию поля в единице объема *объемной плотностью энергии*, приходим к общему чрезвычайно важному заключению:

В электрическом поле с напряженностью E в вакууме объемная плотность энергии $\omega = \frac{E^2}{8\pi}$.

Для поля внутри диэлектрика с диэлектрической постоянной ϵ объемная плотность электрической энергии $\omega = \frac{\epsilon E^2}{8\pi}$.

Суммарная энергия поля

$$W = \int \frac{\epsilon E^2}{8\pi} dV. \quad (14)$$

В согласии с законом сохранения энергии (главный смысл которого заключается во взаимопревращаемости различных видов энергии) энергия электрического поля может превращаться, например, в механическую энергию и, обратно, механическая энергия может быть превращена в энергию электрического поля. Обратимся опять к примеру плоского конденсатора. Разноименно заряженные пластины конденсатора притягиваются друг к другу. Обозначим эту силу притяжения пластин конденсатора друг к другу через F ; площадь каждой пластины пусть будет S , а расстояние между ними d .

Из формулы для напряженности поля плоского конденсатора [формула (а) § 14] легко видеть, что если пластинам конденсатора мы предоставим возможность сближаться, то напряженность поля в пространстве между пластинами, а стало быть, и сила притяжения F пластин друг к другу будут оставаться неизменными. Следовательно, работа, которая может быть произведена пластинами конденсатора при их сближении до соприкосновения (когда произойдет нейтрализация заряда), равна произведению неизменной силы F на проходимый пластинами путь d .

Таким образом, энергия поля конденсатора $W = \frac{\epsilon E^2}{8\pi} \cdot Sd$ [формула (13)] эквивалентна механической энергии Fd . Из равенства $Fd = \frac{\epsilon E^2}{8\pi} \cdot Sd$ находим, что *пластины конденсатора притягиваются с силой, которая, будучи рассчитана на единицу площади пластины, равна плотности энергии поля:*

$$\frac{F}{S} = \frac{\epsilon E^2}{8\pi}. \quad (15)$$

Силы взаимодействия между телами, находящимися в динамическом поле, обычно называют *пондеромоторными* ¹⁾ *силами*. Происхождение пондеромоторных сил в электрическом поле можно было бы представить себе наглядно, если допустить, что электрические силовые линии, отвечающие некоторому особому состоянию среды (пространства), находятся в натяжении. Тогда следовало бы признать, что *продольное натяжение силовых линий измеряется плотностью энергии поля*.

Если с этой точки зрения обратиться к анализу изображений поля посредством силовых линий (например, по рис. 17), то обнаруживается, что наряду с натяжением должно существовать также *поперечное давление силовых линий друг на друга*, по величине одинаковое с натяжением. Существованием этого поперечного давления можно, например, объяснить упомянутую в § 14 неоднородность поля плоского конденсатора у краев пластин: силовые линии как бы выталкиваются из пространства между пластинами наружу (рис. 35).

§ 17. Электрометры

Для измерения заряда и потенциала проводников служат приборы, называемые *электрометрами*. Так как простейший электрометр с легкими алюминиевыми листочками недостаточно чувствителен, то часто применяют более чувствительные *струнные электрометры*. Схема одного из таких приборов показана на рис. 38.

Тончайшая платиновая нить диаметром 1—2 μ и длиной около 6 см слабо натянута между двумя лезвиями, которым сообщают

¹⁾ От лат. *p o n d u s* — вес и *m o t u s* — движение.