

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Часть 2

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:
С.Н. Дрождин,
А.М. Косцов,
А.М. Солодуха

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2009

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 5. Изучение электростатического поля	4
Работа № 6. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона	12
Работа № 7. Исследование вольт-амперной характеристики полупроводниковых диодов.....	18
Работа № 8. Изучение явления гистерезиса ферромагнетиков	26
Рекомендуемая литература	40

Поскольку на участках $d\vec{s}$ работа не совершается, то с учетом (2) и (5) из формулы (4) получим:

$$A = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \int_a^b \frac{dr}{r^2} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r_a} - \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r_b} \quad (6)$$

Из (6) видно, что работа по перемещению заряда q в поле заряда Q не зависит от формы пути, а лишь от положения в поле начальной (r_a) и конечной (r_b) точек. Отсюда следует, что работа по перемещению заряда в электростатическом поле по любому замкнутому контуру равна нулю, что можно записать в следующем виде:

$$q \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (7)$$

Поскольку $q \neq 0$, то из (7) следует принципиальный для электростатического поля результат: *циркуляция вектора напряженности электростатического поля вдоль произвольного замкнутого контура равна нулю:*

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (8)$$

Полученные результаты (формулы (6)–(8)) свидетельствуют о том, что *электростатическое поле является потенциальным*, а следовательно, работа в нем может быть представлена как убыль потенциальной энергии:

$$A = W_a - W_b, \quad (9)$$

где W_a и W_b – значения потенциальной энергии заряда q в точках поля a и b .

Сравнивая формулы (6) и (9) для работы, можно написать выражение для потенциальной энергии взаимодействия зарядов Q и q (или, другими словами, для потенциальной энергии заряда q в электростатическом поле, созданном зарядом Q):

$$W = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (10)$$

Индексы в (10) опущены, поскольку эта формула справедлива для любой точки поля.

Выражение (9) позволяет найти лишь изменение потенциальной энергии заряда q , но не ее абсолютное значение, которое может быть определено лишь с точностью до произвольной постоянной, добавление которой в правую часть (10) ничего не меняет при вычислении работы по формуле (9). Поэтому, для того, чтобы определить абсолютное значение потенциальной энергии, надо условиться, в какой точке поля считать ее значение равным нулю. Из (10) видно, что потенциальную энергию следует считать равной нулю в бесконечно удаленной точке ($r \rightarrow \infty$).

Потенциальная энергия заряда q не может служить характеристикой поля, т. к. она зависит от самого заряда, но отношение W/q от q не зависит и

поэтому является характеристикой самого поля. Это отношение называется *потенциалом электрического поля*:

$$\varphi = \frac{W}{q}. \quad (11)$$

В частности, потенциал поля точечного заряда в произвольной точке может быть найден по формуле:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (12)$$

Естественно, что абсолютная величина потенциала также определена с точностью до произвольной постоянной, т. е. зависит от выбора точки, в которой $\varphi = 0$. Обычно считают равным нулю потенциал бесконечно удаленной точки поля: $\varphi_\infty = 0$.

Работа сил любого электростатического поля по перемещению заряда q из одной точки поля в другую, как следует из (9) и (11), может быть представлена в виде:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (13)$$

откуда можно определить физический смысл разности потенциалов двух точек поля: *разность потенциалов двух точек поля – это физическая величина, численно равная работе по перемещению единичного положительного заряда из первой точки поля во вторую.*

Аналогично определяется и физический смысл потенциала данной точки поля. Для этого надо положить, что вторая точка (конечная точка траектории) является бесконечно удаленной и, следовательно, для нее $\varphi_2 = 0$. Тогда в соответствии с (13), *потенциал данной точки поля – это физическая величина, численно равная работе по перемещению единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность.*

В системе СИ за единицу разности потенциалов принимается 1 вольт (В), т. е. разность потенциалов двух таких точек поля, при перемещении между которыми заряда в 1 кулон (Кл) совершается работа в 1 джоуль (Дж).

Совокупность всех точек поля, имеющих одинаковый потенциал ($\varphi = \text{const}$), называется эквипотенциальной поверхностью. При перемещении заряда по эквипотенциальной поверхности работа не совершается. Силовые линии поля всегда расположены перпендикулярно к эквипотенциальным поверхностям.

Две физические величины – вектор напряженности \mathbf{E} и потенциал φ , характеризующие один и тот же объект – электрическое поле – связаны между собой. Эту связь легко установить, вычислив элементарную работу dA при перемещении заряда q на малое расстояние dx вдоль силовой линии поля между двумя близкими эквипотенциальными поверхностями с потенциалами φ и $\varphi + d\varphi$ (рис. 2) по формулам:

$$dA = qE \cdot dx , \quad (14)$$

$$dA = q [\varphi - (\varphi + d\varphi)] . \quad (15)$$

Из (14) и (15) получаем:

$$E = -\frac{d\varphi}{dx} \quad (16)$$

Следовательно, вектор напряженности численно равен изменению потенциала, приходящемуся на единицу длины в направлении силовой линии, а направлен этот вектор в сторону убывания потенциала, о чем говорит знак «минус» в правой части (16).

В общем случае \vec{E} и φ связаны следующим соотношением:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi, \quad (17)$$

где вектор $\text{grad}\varphi$ называется градиентом потенциала. В трехмерном случае:

$$\text{grad}\varphi = \vec{e}_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{e}_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{e}_z \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \quad (18)$$

где $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ — единичные орты координатных осей.

Если известна совокупность эквипотенциальных поверхностей, то можно по ней найти величину и направление напряженности поля. Для этого нужно построить систему силовых линий, проводя их так, чтобы они пересекали эк-

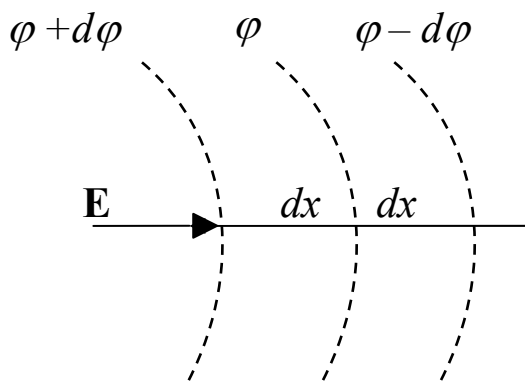


Рис. 2

випотенциальные поверхности (эквипотенциальные линии на плоскости) под прямым углом. На рис. 3 показаны эквипотенциальные (пунктирные) и силовые (сплошные) линии электрического поля. Если потенциалы двух соседних эквипотенциальных поверхностей (линий), отстоящих друг от друга на расстояние d , равны φ_1 и φ_2 то абсолютное значение напряженности поля в этом месте будет:

$$E = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d} . \quad (19)$$

Если эквипотенциальные поверхности проводить так, чтобы разность потенциалов между любыми соседними поверхностями была одинаковой, то напряженность поля будет тем больше, чем меньше расстояние между поверхностями.