Если в точке с потенциалом φ находится заряд q, то он обладает потенциальной энергией $W = q\varphi$. Пусть потенциальная энергия заряда в данной точке поля равна $W_1 = q\varphi_1$, в другой $W_2 = q\varphi_2$, тогда при перемещении заряда из первой точки во вторую поле совершает работу A, равную произведению заряда на разность потенциалов начальной и конечной точек пути:

$$A = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2). \qquad (8.3)$$

Поскольку конечный результат предпочтительно выражать в виде разности значений функции в конечной и начальной точках, выражению (8.3) обычно придают вид

$$A = -(W_2 - W_1) = -q(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Выбор начального уровня потенциальной энергии (в нашем изложении — бесконечности), конечно, произволен, поэтому потенциал всегда определяется с точностью до аддитивной постоянной. В практических приложениях всегда имеют дело с разностью потенциалов двух точек поля (напряжением), которая определяется однозначно. Из определения потенциала вытекает, что положительные заряды под действием поля перемещаются в сторону убывания потенциала, отрицательные — в сторону возрастания потенциала.

Единицей потенциала в СИ служит вольт (обозначается В);

$$1\ \text{В} = \frac{1}{300}\ \text{ед. потенциала СГС}.$$

Отметим важное свойство потенциала, связанное с его энергетическим смыслом: потенциал повсюду, в том числе и на границе двух сред, остается непрерывным, т. е. не испытывает скачка. Исключением является так называемый «двойной слой», который в данном руководстве не рассматривается.

Из выражения (8.3) вытекает часто применяемое равенство

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \frac{A}{q} = -\int_2^1 \vec{E}\,d\vec{l} = \int_1^2 \vec{E}\,d\vec{l} \equiv \int_1^2 E_l\,dl. \qquad (8.4)$$

В однородном поле

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = El.$$

Эта формула находит широкое применение в школьном курсе физики.

§ 9. ПОТЕНЦИАЛ ПОЛЯ ТОЧЕЧНЫХ, ОБЪЕМНЫХ, ПОВЕРХНОСТНЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ЗАРЯДОВ В ОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Формула, определяющая потенциал поля точечного заряда на расстоянии r от заряда, получается из формулы работы поля по перемещению заряда q из точки r_1 в точку r_2 (см. 7.3). Полагая $r_1 = r$ и $r_2 = \infty$, получим:

$$A_\infty = \int_r^\infty f\,dr = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}.$$

На основании определения (8.1) находим искомый потенциал

$$\varphi = \frac{A_\infty}{q} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}. \qquad (9.1)$$

Потенциал поля точечных зарядов в точках, не занятых этими зарядами, конечен, непрерывен и в бесконечности обращается в нуль. В точках истока потенциал обращается в бесконечность

Принцип суперпозиции полей распространяется и на потенциалы: если поле обусловлено несколькими точечными зарядами, то потенциал результирующего поля находится как алгебраическая сумма потенциалов полей отдельных зарядов

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots . \qquad (9.2)$$

Принцип суперпозиции справедлив для потенциалов полей и при других распределениях зарядов.

Вывод формулы для вычисления потенциала объемных зарядов аналогичен выводу формулы напряженности поля таких зарядов: внутри объемно заряженного тела выделяют элемент объема dV столь малый, чтобы он и его заряд $dQ = \rho\,dV$ могли бы считаться точечными. Соответственно элементарный потенциал $d\varphi$ в точке наблюдения определяется как

$$d\varphi = \frac{dQ}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} = \frac{\rho\,dV}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}.$$

Результирующий потенциал в точке наблюдения находится интегрированием по всему объему заряженного тела V:

$$\varphi = \int_V \frac{\rho\,dV}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}. \qquad (9.3)$$

При объемном распределении зарядов в конечном объеме потенциал поля повсюду (в том числе и внутри заряженных тел) конечен, непрерывен и в бесконечности равен нулю.

В случае поверхностного распределения зарядов аналогичные рассуждения приводят к формуле

$$\varphi = \int_S \frac{\sigma\,dS}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}, \qquad (9.4)$$

а при линейном распределении зарядов

$$\varphi = \int_l \frac{k\,dl}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}. \qquad (9.5)$$