Цель:

1. Изучить основные характеристики электростатических полей.
2. Ознакомиться с методом моделирования электростатических полей.
3. Изучить закон изменения потенциала электростатического поля диполя в дальней зоне.

Средства измерения:

макет плоского электростатического поля диполя, вольтметр, зонд и блокапитания

Методическое обоснование:

Напряженность $\vec{}$ электрического поля в некоторой его точке – векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой электрического поля и равная отношению силы , действующей со стороны поля на помещенный в данную точку неподвижный точечный пробный заряд qпр, к этому заряду:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q_{\text{пр}}}.$$

(только к заменить на 1/4ПЕ0)

СИ [E] = В/м. Вектор напряженности электрического поля точечного заряда q в точке с радиусвектором r относительно этого заряда определяется на основе закона Кулона как

$$\vec{E}(\vec{r}) = k\frac{q}{r^3}\vec{r}, \qquad (1)$$

Для электрических полей справедлив *принцип суперпозиции*: напряженность в каждой точке электрического поля, созданного несколькими неподвижными источниками, равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым источником по отдельности в этой точке. Для системы *n* точечных зарядов:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^{n}\vec{E}_i(\vec{r}),$$

Потенциал $\varphi(\vec{r})$ точки электростатического поля – скалярная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой этого поля в дан-

Рис. 3

ной точке и равная отношению потенциальной энергии $W^p(\vec{r})$, которой обладает находящийся в данной точке пробный точечный заряд $q_{\text{пр}}$, к этому заряду:

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{W^p(\vec{r})}{q_{\text{пр}}}.$$

В СИ $[\varphi]$ = В.

Из определения потенциальной энергии, закона кулона и потенциала:

$$\varphi(r) = k\frac{q}{r}. \qquad (2)$$

что равно работе внешней силы, совершаемой при перемещении единичного положительного заряда (q1 = 1 Кл) из бесконечности в рассматриваемую точку

Для *произвольного* перемещения $d\vec{r}$ заряда q в электростатическом поле (рис. 6) проекция вектора напряженности поля E_r на это направление находится из решения уравнения $E \cdot |d\vec{r}| \cdot \cos\alpha = E_r \cdot |d\vec{r}| = -d\varphi$ как

$$E_r = -\frac{d\varphi}{dr}, \qquad (4)$$

$$\vec{E} = -\mathrm{grad}\,\varphi = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\cdot\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\cdot\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\cdot\vec{k}\right). \qquad (6)$$

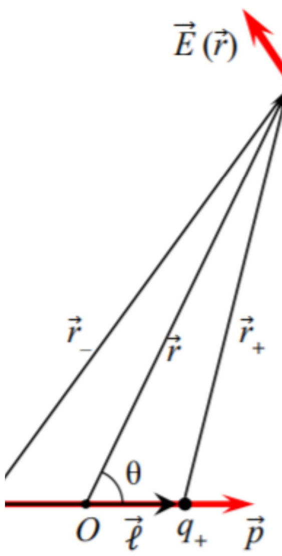

Рис. 7

Электрическим диполем называется совокупность двух равных по величине разноименных точечных зарядов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Количественной мерой способности диполя участвовать в электрическом взаимодействии и создавать электрическое поле является дипольный электрический момент $\vec{p} = q\cdot\vec{\ell}$, где $q = q_+ = |q_-|$ – модуль одного из точечных зарядов диполя, $\vec{\ell}$ – плечо диполя – вектор, проведенный от отрицательного к положительному заряду.

Геометрическое место точек на плоскости, для которых $\ell << r$ (рис. 7) определим как *дальняя зона* поля диполя. В таком приближении упрощается расчет потенциала электростатического поля, который находится по принципу суперпозиции:

$$\varphi(r) = k\cdot q\cdot\left(\frac{1}{r_+} - \frac{1}{r_-}\right) = k\cdot q\cdot\frac{r_- - r_+}{r_- r_+} \approx k\cdot q\cdot\frac{\ell\cos(\theta)}{r^2}, \qquad (7)$$

е $r_- - r_+ \approx \ell\cos(\theta)$, $r_- r_+ \approx r^2$, окончательно, получаем

$$\varphi(r,\theta) \approx k\cdot\frac{p\cos(\theta)}{r^2}. \qquad (8)$$

r^2

Применяя связь напряженности электростатического поля и потенциала $\vec{E} = -\mathrm{grad}\,\varphi$ в полярной системе координат (r,θ), можно из выражения (7) получить формулу для модуля вектора напряженности электрического диполя, которая будет иметь вид: $E(r,\theta) \approx k\frac{p}{r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$. На рис. 3 приведен график векторного поля $\vec{E}$, со-