Урок №4 (15.09.2006)
Электрическое поле в диэлектриках и проводниках.

Завтра встречаемся в 14:00 в зале пригородных касс Белорусского вокзала!

1. *Электрическое поле в разных средах.*

- Отсутствие поля в металлах (проводниках).
- Следствия: 1.) если проводник заряжен, то заряды располагаются на поверхности проводника; 2.) если в центр проводящей сферы поместить заряд, то силовые линии на проводнике обрываются, а потом продолжаются так, как будто никакой сферы нет; 3.) силовые линии перпендикулярны поверхности проводника.
- Поле в диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость ε.

2. *Силовые линии электрического поля.*

Свойства силовых линий:

– касательная к силовой линии в любой её точке совпадает с направлением вектора поля $\vec{E}$ в этой точке;

– «густота» силовых линий (т.е. число силовых линий проходящих через перпендикулярную единичную площадку) пропорциональна модулю вектора поля $\vec{E}$;

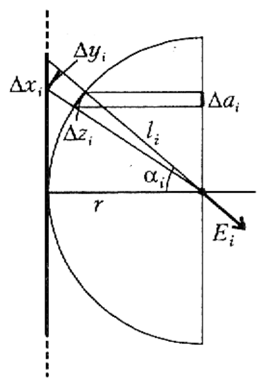
– силовые линии начинаются и заканчиваются только на зарядах;

– количество силовых линий, начинающихся или заканчивающихся на заряде, пропорционально заряду.

Как ведут себя силовые линии в диэлектрике и проводнике?

3. *Принцип суперпозиции.*

Мы уже считали поле, создаваемое заряженным кольцом, на оси этого кольца. Попытаемся теперь посчитать **поле, создаваемое бесконечной заряженной нитью** с плотностью заряда λ на расстоянии r от нити[1]. Разобьем нить на маленькие кусочки и запишем принцип суперпозиции:



$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i ,$$

где

$$E_i = \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 l_i^2}, \; q_i = \lambda \Delta x_i , \; l_i^2 = r^2 + x_i^2 .$$

Параллельные составляющие, очевидно, сокращаются, поэтому для модуля результирующего поля получим:

[1] По статье Д.Александрова «Принцип суперпозиции и напряженность электрического поля», см. «Приложение к журналу Квант», №3/2001

$$E = \sum E_{i\perp} = \sum \frac{\lambda \Delta x_i}{4\pi\varepsilon_0 l_i^2} \cos\alpha_i .$$

Эту ужасную сумму можно посчитать, воспользовавшись геометрической интерпретацией. Для этого проведём касающуюся нити окружность с центром в точке наблюдения. Тогда $\Delta y_i = \Delta x_i \cos\alpha_i$, $\dfrac{\Delta z_i}{\Delta y_i} = \dfrac{r}{l_i} = \cos\alpha_i$. Подставляя это в нашу сумму и вынося константы, получаем:

$$E = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \sum \frac{r\Delta y_i}{l_i} \frac{r}{l_i} = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \sum \Delta z_i \cos\alpha_i =$$

$$= \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \sum \Delta a_i = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 r^2} 2r = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} .$$ ■

Посчитаем теперь поле **равномерно заряженной плоскости**. Пусть поверхностная плотность заряда равна σ. Разрежем плоскость на тонкие полоски, шириной Δx. Заряд единицы длины такой полоски равен $\lambda = \sigma\, \Delta x$, а поле, создаваемое *i*-той полоской равно

$$E_i = \frac{\sigma \Delta x_i}{2\pi\varepsilon_0 l_i} .$$

Согласно принципу суперпозиции

$$E = \sum E_i \cos\alpha_i = \sum \frac{\sigma \Delta x_i \cos\alpha_i}{2\pi\varepsilon_0 l_i} .$$

Подставляя аналогично предыдущей задаче, получаем:

$$E = \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0} \sum \frac{\Delta x_i \cos\alpha_i}{l_i} = \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0} \sum \frac{\Delta y_i}{l_i} = \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0 r} \sum \frac{\Delta y_i r}{l_i} =$$

$$= \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0 r} \sum \Delta z_i = \frac{\sigma\pi r}{2\pi\varepsilon_0 r} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} .$$ ■

Мы получили удивительный факт: поле заряженной плоскости *не зависит от расстояния до плоскости*! Такое поле называется *однородным*.