

## 10.4. Принцип суперпозиции

**10.4.1.** Два тонких равномерно заряженных одинаковым зарядом стержня составлены под прямым углом друг к другу (рис. 10.4.1). При этом напряженность электрического поля в точке  $A$  равна  $E_0$ . Чему станет равной напряженность поля в этой же точке, если один из стержней убрать?

**10.4.2.** Равномерно заряженный проводник согнут в форме правильного шестиугольника. Если из проводника вырезать и убрать одно звено, то напряженность электрического поля в геометрическом центре (точка  $O$ , рис. 10.4.2) будет равна  $E_0$ . Чему равна напряженность поля в этой точке, если: а) вырезать и убрать еще одно звено проводника, соседнее с первым вырезанным; б) вырезать и убрать еще два звена, соседние с первым вырезанным? Считать, что удаленные части проводника не приводят к перераспределению заряда.

**10.4.3.** Найдите напряженность электрического поля в точке, находящейся посередине между зарядами  $q_1 = -4$  нКл и  $q_2 = 9$  нКл. Расстояние между зарядами  $l = 20$  см. В какой точке на прямой, проходящей через оба заряда, напряженность электрического поля равна нулю?

**10.4.4.** Два одинаковых заряда  $q = 18$  нКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a = 2$  см. Определите напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника, если заряды: а) одноименные; б) разноименные.

**10.4.5.** Диполь образован двумя разноименными зарядами  $q = 10^{-9}$  Кл каждый. Расстояние между зарядами  $l = 12$  см. Найдите напряженность электрического поля в точке, находящейся на перпендикуляре к середине отрезка, соединяющего заряды, на расстоянии  $r = 8$  см от него.

**10.4.6.** Два одинаковых по модулю разноименных заряда расположены на расстоянии  $l$  друг от друга. При этом напряженность электрического поля в некоторой точке  $A$  на прямой, перпендикулярной линии, соединяющей заряды, равна  $E_1$  (рис. 10.4.3). Если один из зарядов убрать, то в той же точке  $A$  напряженность элект-

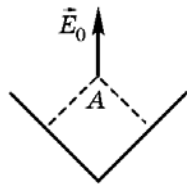


Рис. 10.4.1

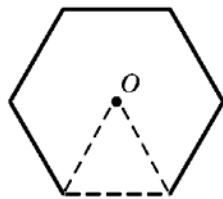


Рис. 10.4.2

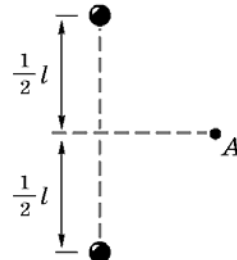


Рис. 10.4.3

рического поля будет равна  $E_2$ . Найдите расстояние от точки  $A$  до линии, соединяющей заряды.

• **10.4.7.** Два одинаковых точечных заряда  $q$  расположены на расстоянии  $2a$  друг от друга. Определите максимальное значение напряженности  $E_{\max}$  электрического поля этой системы зарядов на прямой, перпендикулярной линии, соединяющей заряды, и проходящей через ее середину.

• **10.4.8.** В трех вершинах квадрата со стороной  $a = 40$  см находятся одинаковые положительные заряды  $q = 5 \cdot 10^{-9}$  Кл каждый. Найдите напряженность  $E$  поля в четвертой вершине.

**10.4.9.** Три одинаковых заряда  $q = 10^{-9}$  Кл каждый расположены в вершинах прямоугольного треугольника с катетами  $a = 40$  см и  $b = 30$  см. Найдите напряженность электрического поля в точке пересечения гипотенузы треугольника с перпендикуляром, опущенным на нее из вершины прямого угла.

**10.4.10.** В трех вершинах правильной треугольной пирамиды находятся заряды  $q$ ,  $q$  и  $-q$ . Определите напряженность поля в четвертой вершине пирамиды, если длина ребра ее равна  $a$ .

**10.4.11.** Три одинаковых заряда  $q$  расположены на окружности радиусом  $R$  на равных расстояниях один от другого. Найдите напряженность электрического поля на оси окружности на расстоянии  $h$  от ее центра.

**10.4.12.** В вершинах квадрата со стороной  $a = 10$  см расположены четыре заряда: два  $-q = 10^{-9}$  Кл каждый и два  $q_1 = -10^{-9}$  Кл каждый. Определите напряженность электрического поля в точке пересечения диагоналей квадрата.

**10.4.13.**  $N$  точечных зарядов  $q$  равномерно распределены по окружности радиусом  $R$ . Найдите напряженность электрического поля на оси окружности на расстоянии  $h$  от ее центра.

**10.4.14.** Электрический заряд  $q = 5 \cdot 10^{-8}$  Кл равномерно распределен по тонкому кольцу радиусом  $R = 7$  см. Определите максимальное значение напряженности электрического поля на оси кольца.

• **10.4.15.** Тонкий стержень согнут в виде кольца радиусом  $R = 0,5$  м так, что между его концами остался воздушный зазор шириной  $d = 2$  мм (рис. 10.4.4). Стержень равномерно заряжен зарядом  $q = 3,14 \cdot 10^{-7}$  Кл. Определите модуль и направление вектора напряженности электрического поля в точке  $A$ , находящейся на оси кольца на расстоянии  $x = 0,5$  м от его центра.

**10.4.16.** Известно, что у поверхности Земли имеется однородное электростатическое поле напряженностью  $E = 100$  В/м. Каков полный заряд Земли? Радиус Земли  $R_3 = 6400$  км.

**10.4.17.** Пусть в шарике диаметром  $d = 1$  см, изготовленном из угля, на каждый миллион ато-

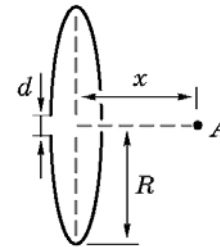


Рис. 10.4.4

мов приходится один свободный электрон. Какова напряженность электрического поля вблизи поверхности шарика? Плотность угля  $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$ . Считать, что уголь состоит из углерода  $^{12}_6\text{C}$ . Заряд электрона  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .

**10.4.18.** Проводящая сфера радиусом  $R = 10 \text{ см}$  равномерно заряжена с поверхностной плотностью  $\sigma = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2$ . Определите напряженность электрического поля: а) в центре сферы; б) на расстоянии от центра сферы, равном половине ее радиуса; в) вблизи поверхности сферы; г) на расстоянии от центра сферы, равном удвоенному радиусу. Постройте график зависимости напряженности поля от расстояния.

**10.4.19.** Поверхность сферы радиусом  $R$  равномерно заряжена зарядом  $Q$ . В сфере высверлили небольшое отверстие (радиус отверстия много меньше радиуса сферы). Определите напряженность электрического поля в отверстии.

**10.4.20.** Заряд  $Q$  равномерно распределен по объему шара радиусом  $R$  из непроводящего материала. Найдите напряженность  $E$  электрического поля на расстоянии  $r$  от центра шара. Постройте график зависимости  $E$  от  $r$ . Диэлектрическая проницаемость материала шара  $\epsilon = 1$ .

**10.4.21.** На каком расстоянии  $r_1$  от центра шара радиусом  $R = 2 \text{ см}$ , равномерно заряженного по объему, напряженность электрического поля равна напряженности поля вне шара на расстоянии  $r = 2R$  от центра шара?

**10.4.22.** Подсчитайте среднюю плотность электрических зарядов в атмосфере, если известно, что напряженность электрического поля вблизи поверхности Земли  $E_0 = 120 \text{ В/м}$ , а на высоте  $h = 1,5 \text{ км}$   $E = 25 \text{ В/м}$ . Радиус Земли  $R \gg h$ .

Ответы:

$$10.4.1. E = \frac{E_0}{\sqrt{2}}.$$

$$10.4.2. \text{ а) } E = \sqrt{3} E_0; \text{ б) } E = E_0.$$

$$10.4.3. E = \frac{4k(|q_1| + q_2)}{l^2} = 11,7 \text{ кВ/м}$$

(здесь и далее  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$ ); в точке на расстоянии  $x = l \frac{|q_1| + \sqrt{q_1 q_2}}{q_2 - |q_1|} = 40 \text{ см}$  слева от первого заряда.

$$10.4.4. \text{ а) } E = \frac{\sqrt{3}k|q|}{a^2} = 701 \text{ кВ/м};$$

$$\text{ б) } E = \frac{k|q|}{a^2} = 405 \text{ кВ/м}.$$

$$10.4.5. E = \frac{4kql}{(4r^2 + l^2)^{3/2}} \approx 10^8 \text{ В/м}.$$

$$10.4.6. d = \frac{l}{2} \sqrt{4\left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2 - 1}.$$

$$10.4.9. E = 246 \text{ В/м}.$$

$$10.4.10. E = \frac{\sqrt{3}kq}{a^2}.$$

$$10.4.11. E = \frac{3kqh}{(R^2 + h^2)^{3/2}}.$$

$$10.4.12. E = \frac{4\sqrt{2}kq}{a^2} \approx 5,1 \cdot 10^3 \text{ В/м}$$

или  $E = 0$ .

$$10.4.13. E = \frac{Nkqh}{(R^2 + h^2)^{3/2}}.$$

$$10.4.14. E_{\text{max}} = \frac{2kq}{3\sqrt{3}R^2}.$$

$$10.4.16. q = \frac{ER_3^2}{k} \approx 4,56 \cdot 10^5 \text{ Кл}.$$

$$10.4.17. E = \frac{Z\epsilon\rho dN_A}{\epsilon_0 M} \approx 1,54 \times$$

$\times 10^{15} \text{ В/м}$ , где  $Z$  — порядковый номер углерода,  $M$  — его молярная масса.

$$10.4.18. \text{ а) и б) } E = 0; \text{ в) } E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \approx$$

$$\approx 1,2 \cdot 10^4 \text{ В/м}; \text{ г) } E = \frac{\sigma}{4\epsilon_0} \approx 3 \text{ кВ/м}.$$

$$10.4.19. E = \frac{kQ}{2R^2}.$$

**10.4.20.** Рис. 32;

$$E = \frac{kQr}{\epsilon R^3}, \text{ если } r < R; E_0 = \frac{kQ}{R^2}, \text{ если}$$

$$r = R; E = \frac{kQ}{r^2}, \text{ если } r > R.$$

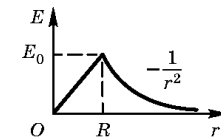


Рис. 32

$$10.4.21. r_1 = 0,5 \text{ см}.$$

**10.4.22.**

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\epsilon_0(E - E_0)}{h} = -5,6 \cdot 10^{-13} \text{ Кл/м}^3.$$

**П р и м е ч а н и е.** Вблизи поверхности Земли электрическое поле создает только заряд Земли, а на высоте  $h$  над ее поверхностью — заряд Земли и заряд слоя атмосферы, заключенной в сферическом слое толщиной  $h$ .