# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

## Раздел 7

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
# И
# МАГНЕТИЗМ

# Раздел 7

# Электростатическое поле в вакууме

# 7.1 Электрические заряды

**Электрический заряд** – это свойство частиц материи, характеризующее интенсивность электромагнитного взаимодействия.

**Единица измерения в СИ:** 1 Кл = 1 А · с.
**Элементарный электрический заряд:** $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг , $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг.

# Фундаментальные свойства электрического заряда:

- ***Существует в двух видах: положительный и отрицательный.*** Одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются.
- Электрический заряд ***инвариантен.***
- Электрический заряд ***дискретен.***

- Электрический заряд ***аддитивен.***
- Электрический заряд ***подчиняется закону сохранения заряда.***

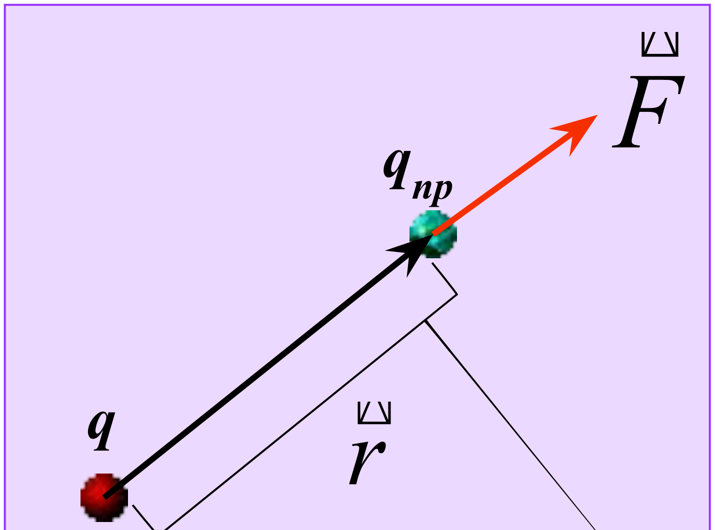
## Закон сохранения электрического заряда:

Алгебраическая сумма электрических зарядов любой изолированной системы сохраняется

$$\sum q_i = \text{const}.$$

# 7.2 Электрическое поле

## Напряженность электрического поля




$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}}$$

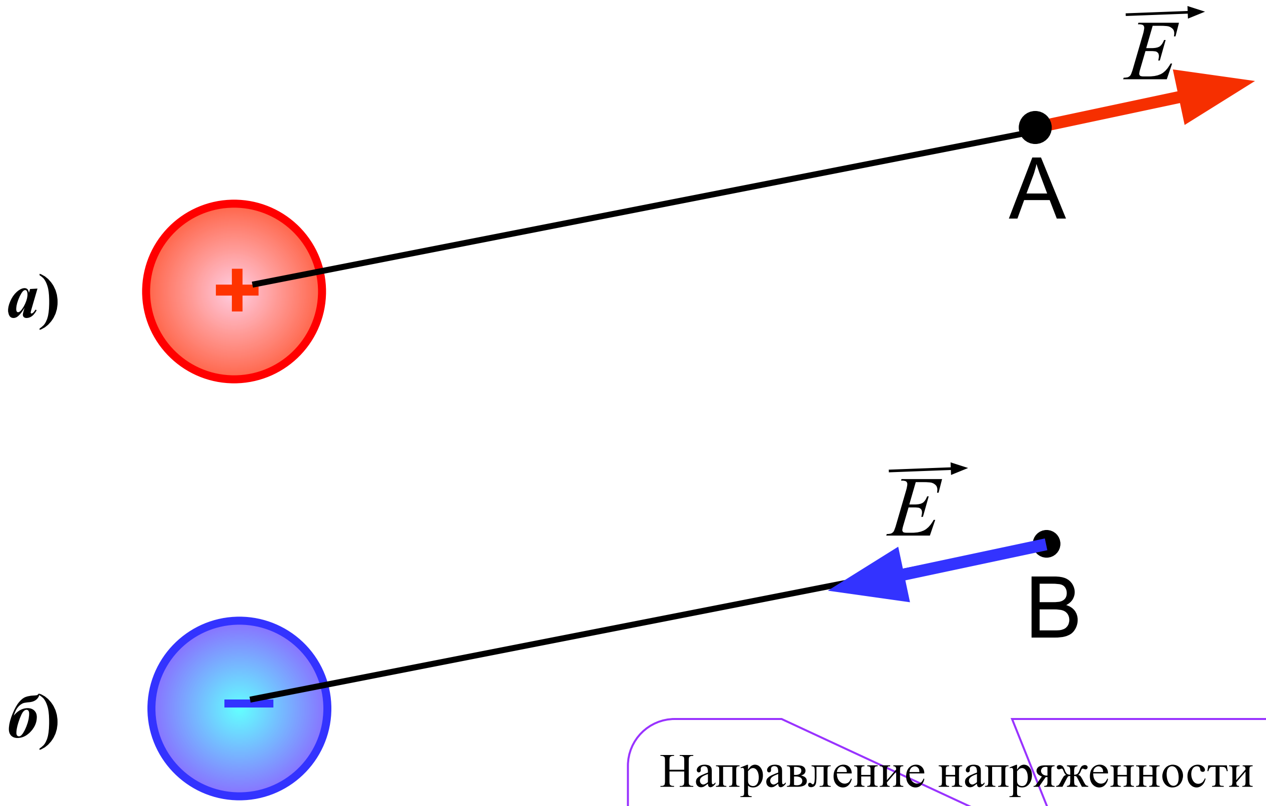
**Единица измерения в СИ:**
1Н/Кл = 1 В/м.

**Напряженность $\vec{E}$** численно равна силе, действующей со стороны электрического поля на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля.

Модуль напряженноти поля точечного заряда:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$$

# Направление вектора напряженности




Направление напряженности электрического поля, создаваемого положительным (*а*) и отрицательным (*б*) зарядами.

# Принцип суперпозиции

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots = \sum \vec{E}_i$$

принцип <u>**с у п е р п о з и ц и и**</u> (наложения) электрических полей

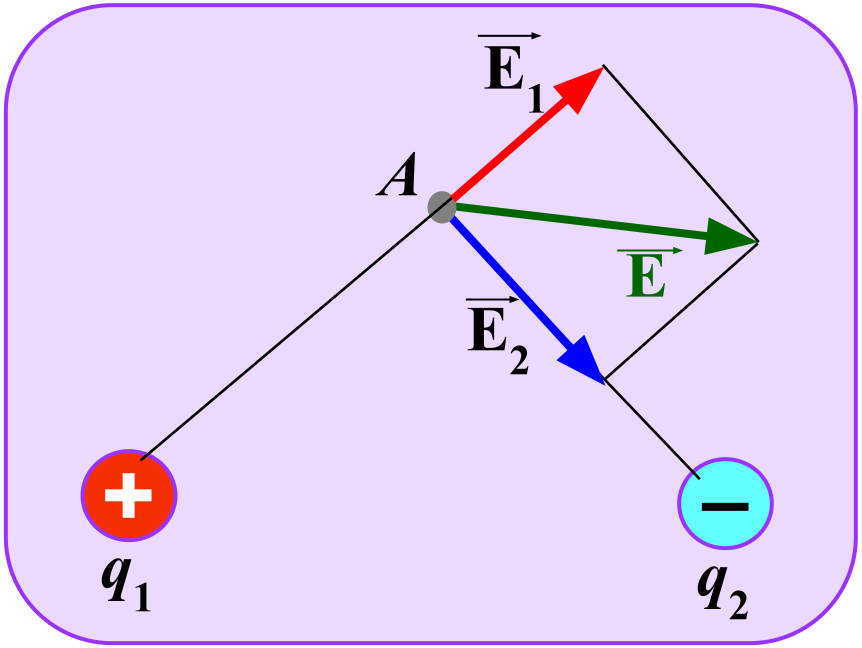



Рис. 1.2. Сложение электрических полей

# Распределение зарядов

$$\boxed{\rho = \frac{dq}{dV};}$$

объемная плотность заряда

$$\boxed{\sigma = \frac{dq}{dS};}$$

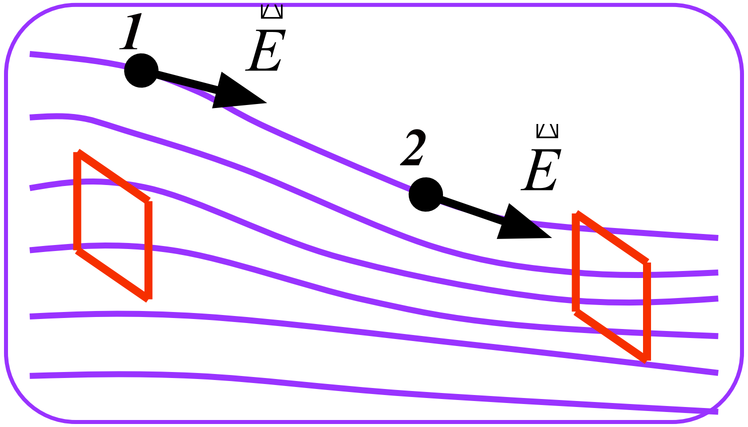
поверхностная плотность заряда

$$\boxed{\lambda = \frac{dq}{dl}}$$

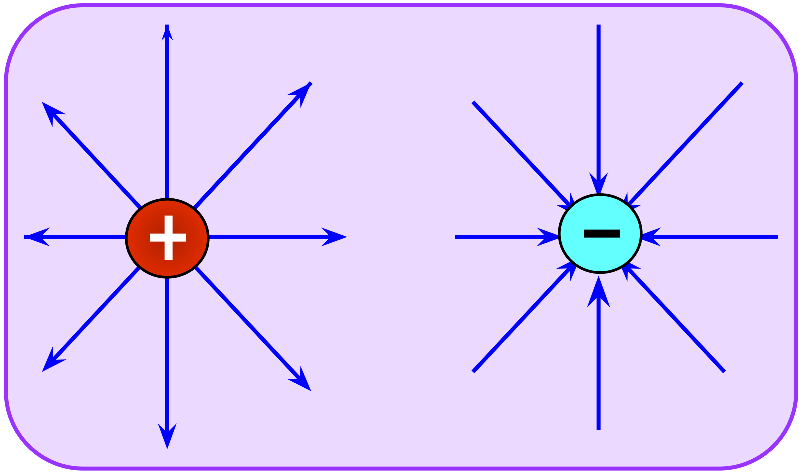
линейная плотность заряда

$dq$ – заряд, заключенный соответственно в объеме $dV$, на поверхности $dS$ и на длине $dl$.

# Линии напряженности электрического поля

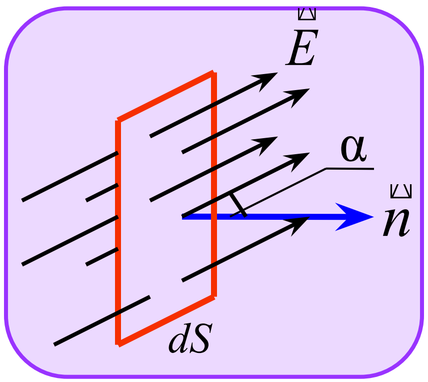



Силовые линии проводят так, чтобы касательная к ним в каждой точке совпадала с направлением вектора $\vec{E}$, а густота линий, была бы пропорционально модулю вектора $\vec{E}$




Линии напряженности точечного заряда

# 7.3. Теорема Гаусса для поля в вакууме




***Поток dΦ*** вектора $\vec{E}$ сквозь элементарную площадку ***dS*** равен числу силовых линий, пронизывающих площадку, нормаль ***n*** которой составляет угол ***α*** с вектором $\vec{E}$.

$$\boxed{d\Phi = EdS\cos\alpha = E_n dS = \vec{E}d\vec{S}}$$

$E_n$ – проекция вектора $\vec{E}$ на нормаль $\vec{n}$ к площадке $dS$; $d\vec{S}$ – вектор, модуль которого равен $dS$, направление совпадает с нормалью $\vec{n}$ к площадке.

# Теорема Гаусса

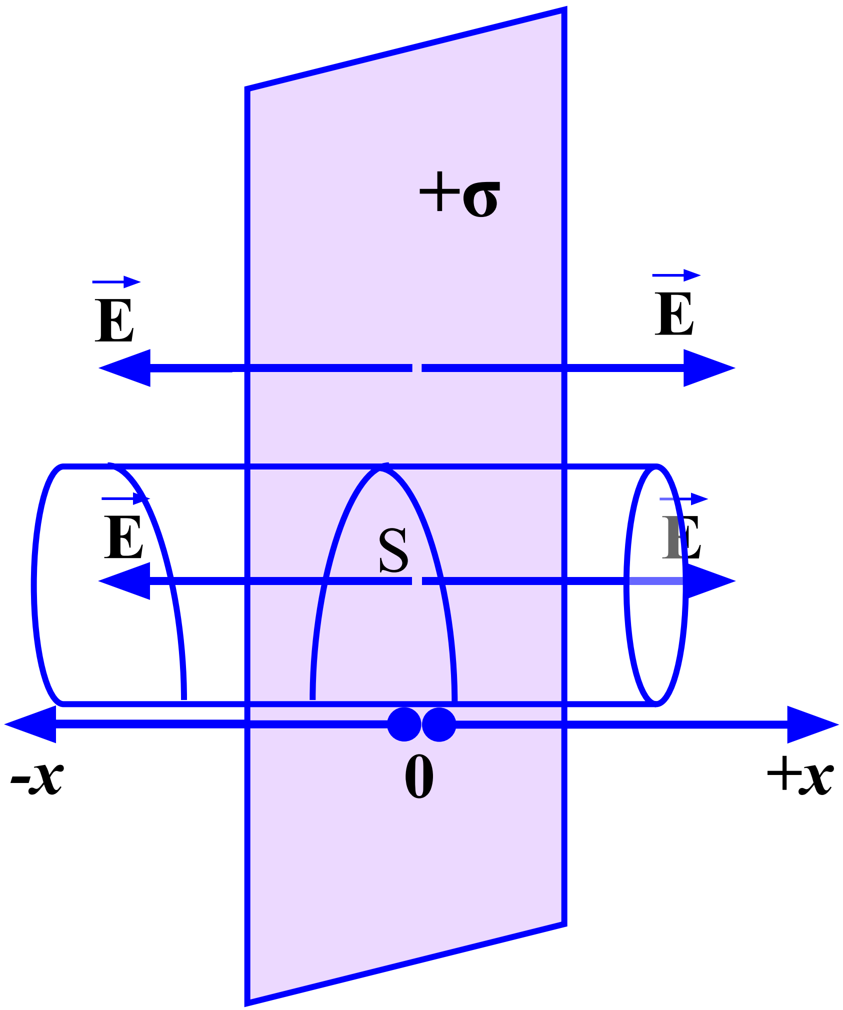
Поток $\Phi$ вектора $\vec{E}$ сквозь замкнутую поверхность равен
алгебраической сумме зарядов, заключенных внутри этой поверхности, деленной на $\varepsilon_0$:

$$\boxed{\Phi = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{n} q_i}$$

$$\boxed{div\, \vec{E} = \rho / \varepsilon_0}$$

# Применение теоремы Гаусса

## *Поле равномерно заряженной бесконечной плоскости*

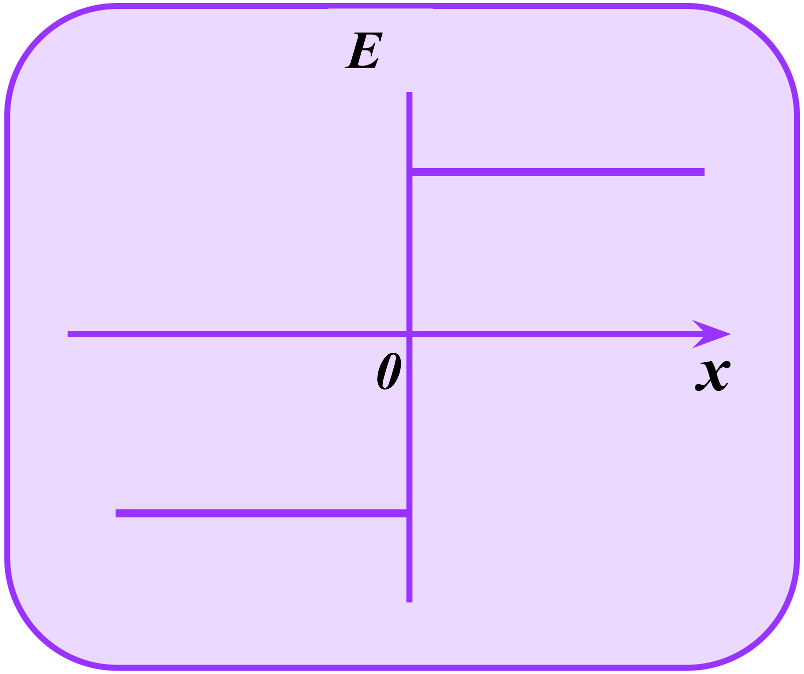



$$\oint\limits_{S_{цил}} \vec{E}d\vec{S} = \oint\limits_{S_{цил}} E_n dS = 2\int\limits_{S_{торца}} E\cos\alpha\, dS =$$

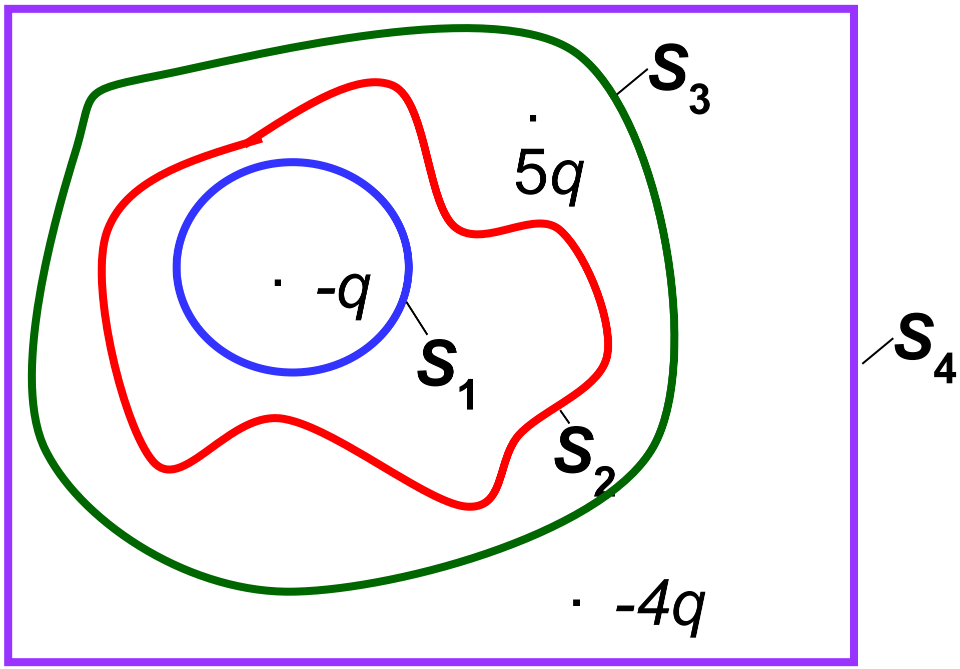
$$= 2E\int\limits_{S_{торца}} dS = 2E\cdot S = \frac{Q}{\varepsilon_o} = \frac{\sigma\cdot S}{\varepsilon_o}.$$

$$\boxed{E = \sigma/(2\varepsilon_o).}$$

$$\boxed{E = \sigma/(2\varepsilon_o).}$$



# Тестовые задания №1,2




$$\Phi_1 = -q/\varepsilon_0;$$

$$\Phi_2 = -q/\varepsilon_0;$$

$$\Phi_3 = 4q/\varepsilon_0;$$

$$\Phi_4 = 0,$$

$\boldsymbol{\Phi_1}$-поток через поверхность $\boldsymbol{S_1}$, $\boldsymbol{\Phi_2}$-поток через поверхность $\boldsymbol{S_2}$, $\boldsymbol{\Phi_3}$-поток через поверхность $\boldsymbol{S_3}$, $\boldsymbol{\Phi_4}$-поток через поверхность $\boldsymbol{S_4}$.

**№ 1**

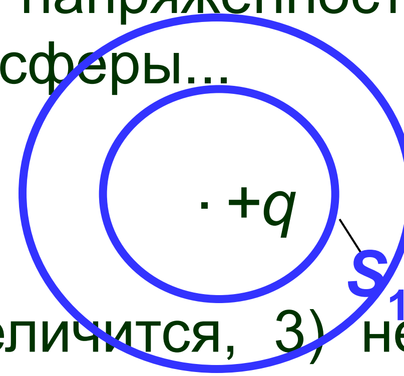
Дана система точечных зарядов в вакууме и замкнутые поверхности $S_1$,$S_2$, $S_3$ и $S_4$. Поток вектора напряженности электростатического поля **отличен от нуля** через поверхность…

**Задание: Укажите все верные варианты ответов**

**варианты ответов: 1) $S_1$, 2) $S_2$, 3) $S_3$, 4) $S_4$.**

**№ 2**

Точечный заряд ***+q*** находится в центре сферической поверхности. Если увеличить радиус сферической поверхности, то поток вектора напряженности электростатического поля через поверхность сферы…




**Задание: Укажите правильный ответ**

**варианты ответов:** 1) уменьшится, 2) увеличится, 3) не изменится.

# 7.4. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля

**Циркуляция** $\vec{E}$ электростатического поля вдоль любого замкнутого контура равна нулю.

$$\boxed{\oint_L \vec{E}d\vec{l} = \oint_L E_l dl = 0}$$

Силовое поле, циркуляция которого равна нулю, называют **потенциальным.**

**Линии** $\vec{E}$ электростатического поля **не замкнуты**:

! линии начинаются на положительных зарядах и кончаются на отрицательных (или уходят в бесконечность).

# 7.5. Потенциал электростатического поля

**Потенциал** – это величина, численно равная потенциальной энергии единичного положительного заряда в данной точке поля.

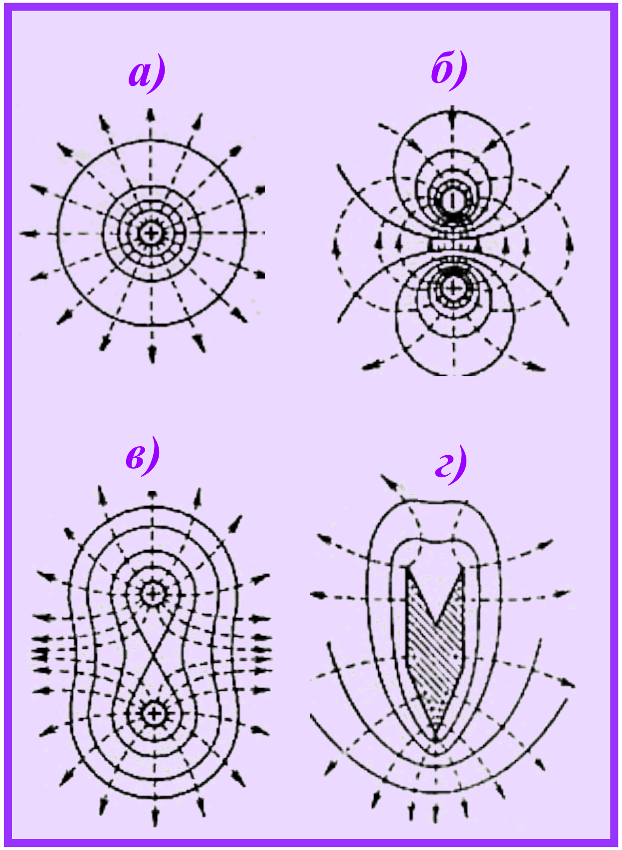
$$\varphi = \frac{W_p}{q_o}$$

**Единица измерения потенциала в СИ:** 1 В = 1 Дж/Кл.

Потенциал поля точечного заряда:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r}$$

# Эквипотенциальные поверхности




Эквипотенциальные линии (сплошные) и линии напряженности (пунктир) различных полей.

Поверхности, во всех точках которых потенциал $\phi$ имеет одно и то же значение, называют **эквипотенциальными**.

Эквипотенциальные поверхности строят так, чтобы разности потенциалов между любыми двумя соседними поверхностями были одинаковы.

Вектор напряженности электрического поля перпендикулярен в каждой точке эквипотенциальной поверхности и направлен в сторону убывания потенциала.

# 7.6. Связь между потенциалом и вектором $\vec{E}$

$$\boxed{\vec{E} = -grad\,\varphi \equiv -\nabla\varphi}$$

$$\boxed{grad\varphi = \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right),}$$

grad – это вектор, показывающий направление наибольшего роста скалярной функции;

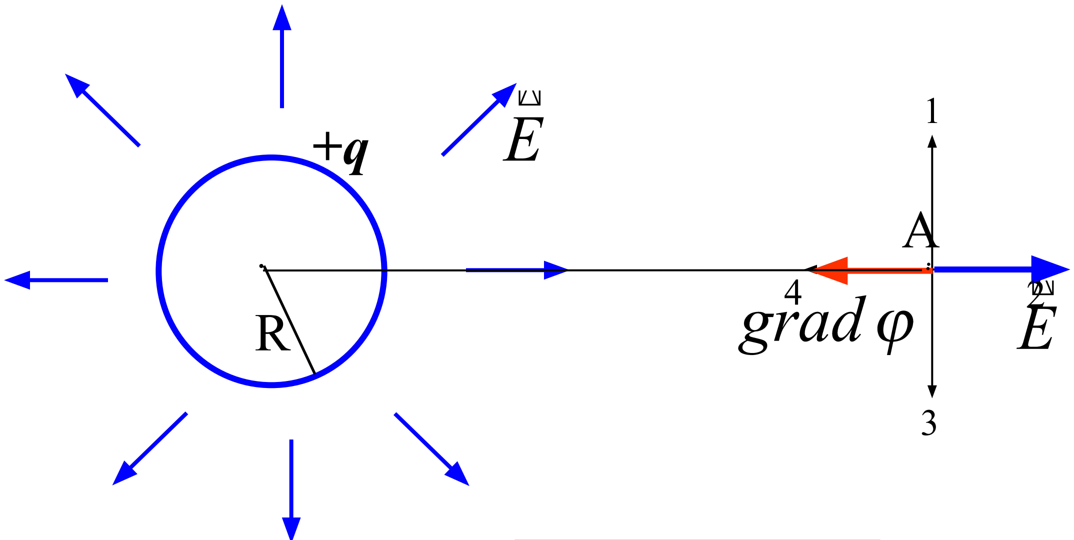
$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы координатных осей x, y, z.

! Знак минус показывает, что вектор направлен в сторону убывания потенциала.

# <u>Тестовое задание №3</u>

Поле создано равномерно заряженной сферической поверхностью с зарядом $+q$. Укажите направление вектора градиента потенциала в точке А.

Варианты ответов: А-1; А-2; А-3; А-4.




$$\boxed{\vec{E} = -grad\,\varphi}$$