

Физика. 2 курс. 3 семестр, специалитет

Лекция 2. Электростатика. Потенциал.

В.И. Читайкин

кандидат физико-математических наук

доцент

План лекции



Наименование раздела	Номер слайда
Введение	3
Раздел 1. Понятие потенциала	4
Раздел 1.1. Работа сил электростатического поля	9
Раздел 2. Примеры: потенциал и напряжённость для «типовых» электрических зарядов	11



Во второй лекции продолжается изучение раздела «Электростатика».

Будет введена ещё одна важная характеристика электростатического поля – потенциал φ и установлена его связь с понятием напряжённости электростатического поля E , рассмотренном в первой лекции.

Понятия потенциала φ и напряжённости электростатического поля E позволяют определить и рассчитывать практически важные характеристики:

- работу сил поля,
 - собственно потенциал точечного, сферического и других зарядов,
- а также будут широко использоваться в других разделах «Электромагнетизма».



Раздел 1. Понятие потенциала

1. Понятие потенциала



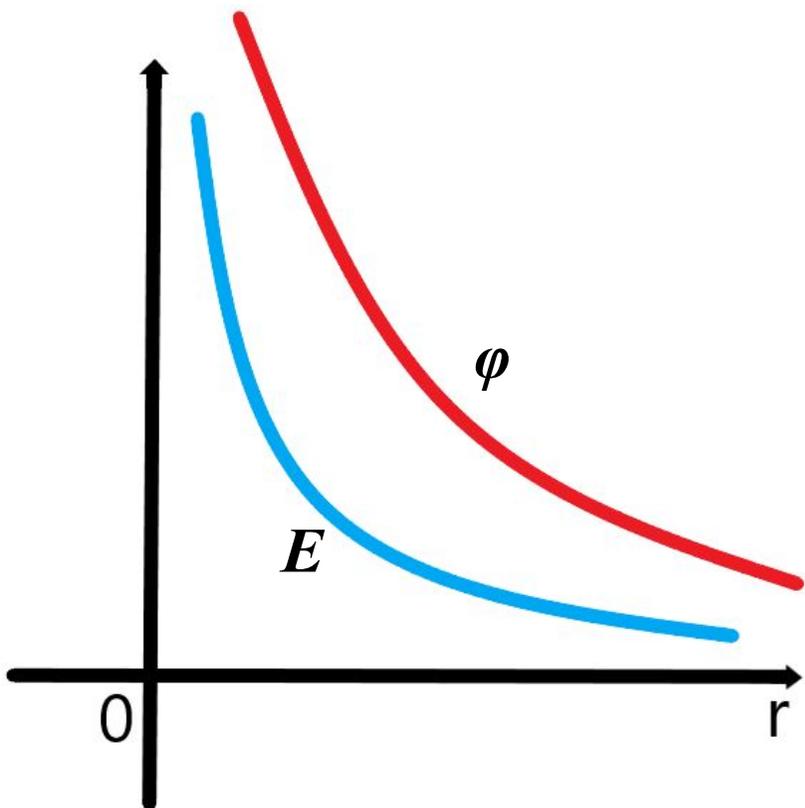
Потенциал — характеристика электростатического поля, создаваемого зарядом q на расстоянии r от этого заряда. Потенциал, наряду с напряжённостью (см. лекцию 1), являются характеристиками электростатического поля.

Напряжённость (E)	Потенциал (φ)
E — это сила Кулона в расчёте на «пробный» положительный заряд q_0 (или $q_{пр}$)	φ — это потенциальная энергия в расчёте на «пробный» положительный заряд q_0 (или $q_{пр}$)
$E = \frac{F}{q_{пр}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2}$	$\varphi = \frac{W}{q_0} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$
F — сила Кулона (см. лекцию 1)	W — потенциальная энергия поля, $W = F \cdot r$
Размерность [E] — В/м	Размерность [φ] — В = 1 Дж/Кл
E — векторная величина	φ — скалярная величина
E — силовая характеристика поля	φ — энергетическая характеристика поля
Связь между напряжённостью и потенциалом:	
- для постоянного по пространству поля: $E = \varphi / r$ или $\varphi = E \cdot r$	
- для переменного по пространству поля: $E = - d\varphi/dr$ или $\varphi = - \int E dr$	

1. Понятие потенциала



Важное различие между напряжённостью E и потенциалом φ : обе величины уменьшаются по мере удаления от заряда q , создавшего поле. Но напряжённость E убывает быстрее, чем потенциал φ .



$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2} \sim r^{-2} \text{ (синяя линия)}$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \sim r^{-1} \text{ (красная линия)}$$

Заряд q находится в точке O

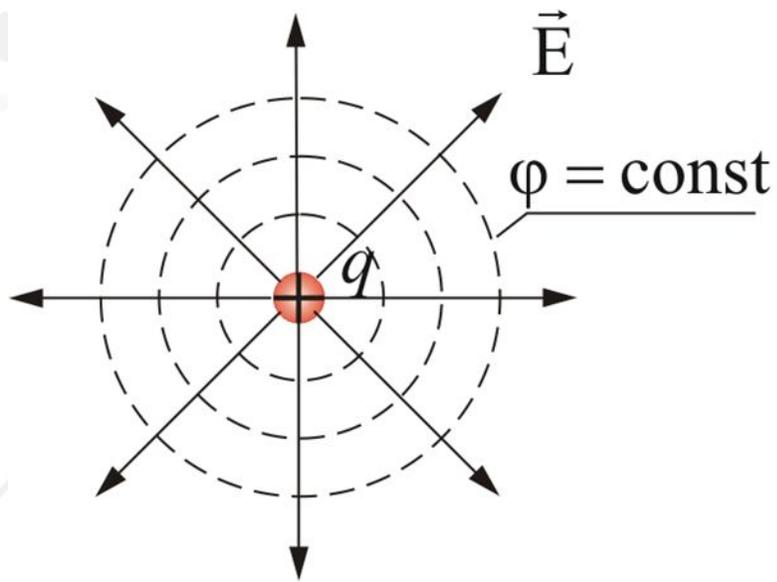
График $E(r)$ спадает «круче», чем график $\varphi(r)$

1. Понятие потенциала

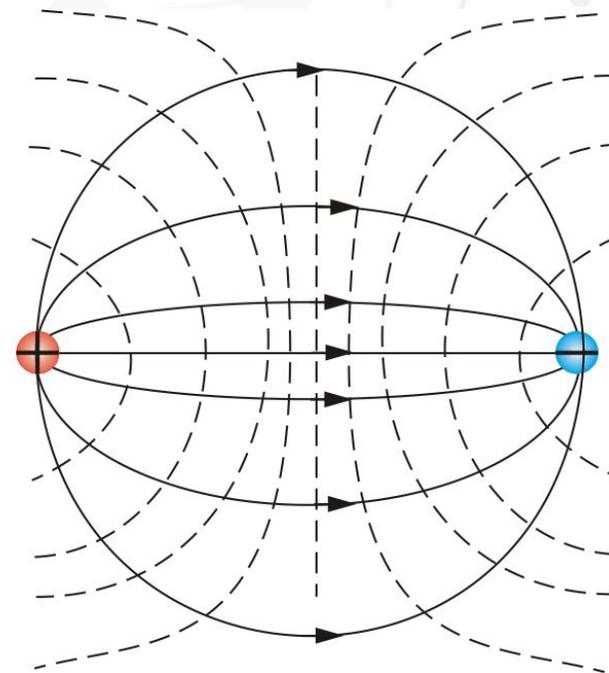


Эквипотенциальная поверхность – это поверхность (в 3D-пространстве) или линия (в 2D-пространстве), во всех точках которой потенциал φ имеет одно и то же значение.

Точечный заряд: $\varphi \sim r^{-1}$
эквипотенциальные линии в 2D-пространстве
– концентрические круги



Два разноимённых точечных заряда:
эквипотенциальные линии в 2D-пространстве
образуют более сложную картину.



1. Понятие потенциала



Разность потенциалов

Каждой окружности (эквипотенциальной линии) радиуса r соответствует определённое значение потенциала $\varphi = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$.

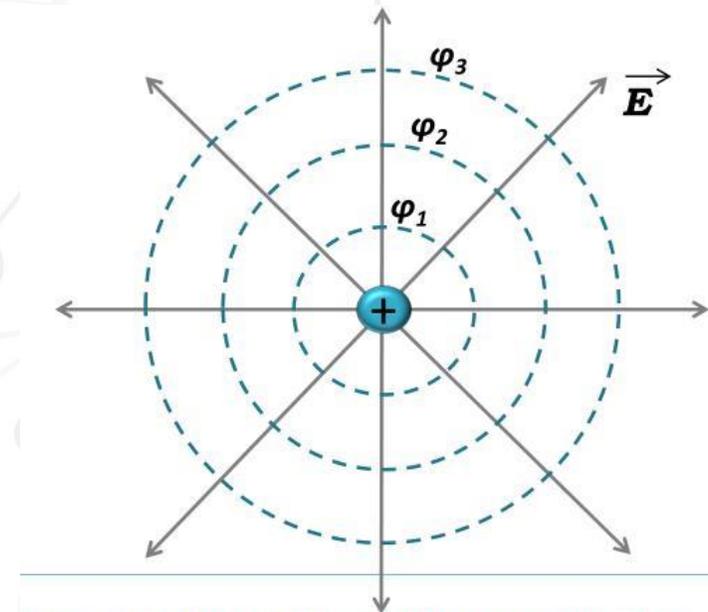
Разность потенциалов: $U = \varphi_i - \varphi_{i+1}$.

Например, разность потенциалов между эквипотенциальными линиями с радиусами r_1 и r_2 :

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

(принято: среда – вакуум, $\epsilon=1$)

Важный вывод: Разность потенциалов точек, расположенных на одной эквипотенциальной линии (поверхности) равна нулю, т.к. в этом случае $r_1 = r_2$.



1. Понятие потенциала



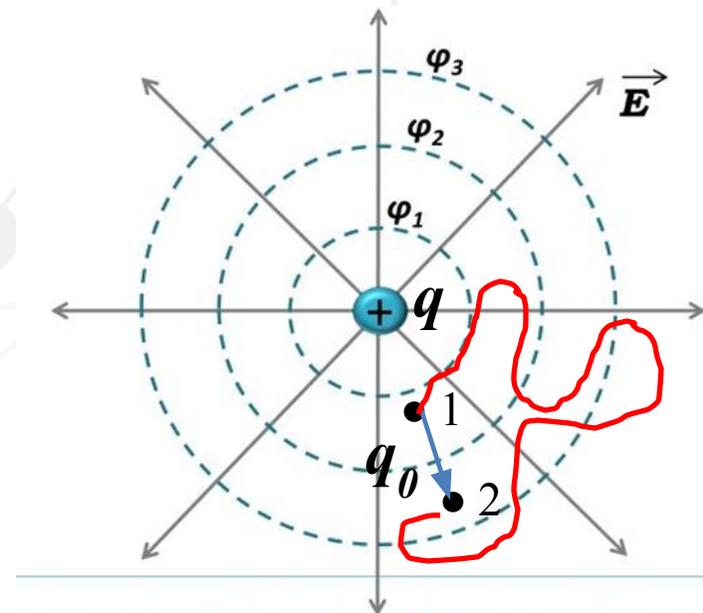
1.1. Работа сил электростатического поля определяется при перемещении какого-либо заряда q_0 в поле заряда q из одной точки в другую ($1 \rightarrow 2$), т.е. с одной эквипотенциальной поверхности радиуса r_1 на другую радиуса r_2 .

$$A = q_0 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = q_0 \cdot \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Важный вывод:

Траектория перемещения заряда q_0 в поле заряда q может быть любой, сколь угодно запутанной, например, красная линия на рисунке.

Но совершённая при этом работа A будет определяться только разностью потенциалов начальной точки 1 и конечной точки 2. Т.е. для обеих траекторий перемещения (кратчайшей и запутанной) работа будет одинаковой.



Траектории перемещения заряда q_0 в поле центрального заряда q из точки 1 в точку 2: **синий цвет** – кратчайшая, **красный цвет** – запутанная.

1. Понятие потенциала



1.1. Работа сил электростатического поля: важное следствие

Из вывода, сделанного на предыдущем слайде, вытекает следующее:

Если траектория перемещения заряда q_0 во внешнем электростатическом поле будет замкнутой (начальная и конечная точки совпадают – *жёлтая* линия), то совершаемая при этом работа будет равна нулю.

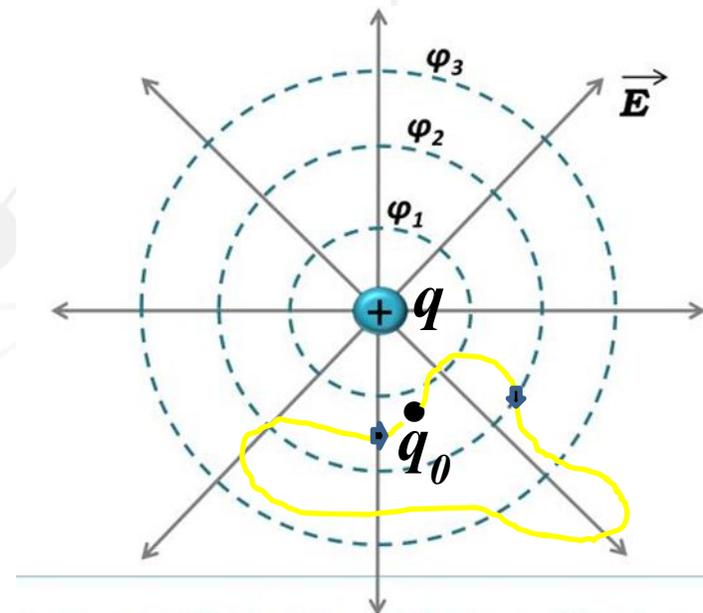
$$dA = \oint_L dA = 0. \quad L - \text{длина замкнутой траектории}$$

Элементарная работа dA , совершаемая полем E на элементарном участке траектории dl , равна $dA = E \cdot dl$.

Теорема о циркуляции вектора напряжённости:

Для замкнутой траектории справедливо утверждение:

$$\oint_L dA = \oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0.$$

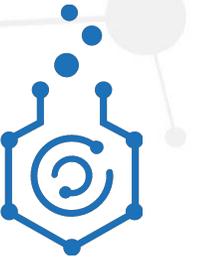


Замкнутая траектория перемещения заряда q_0 во внешнем поле центрального заряда q : *жёлтая* линия.



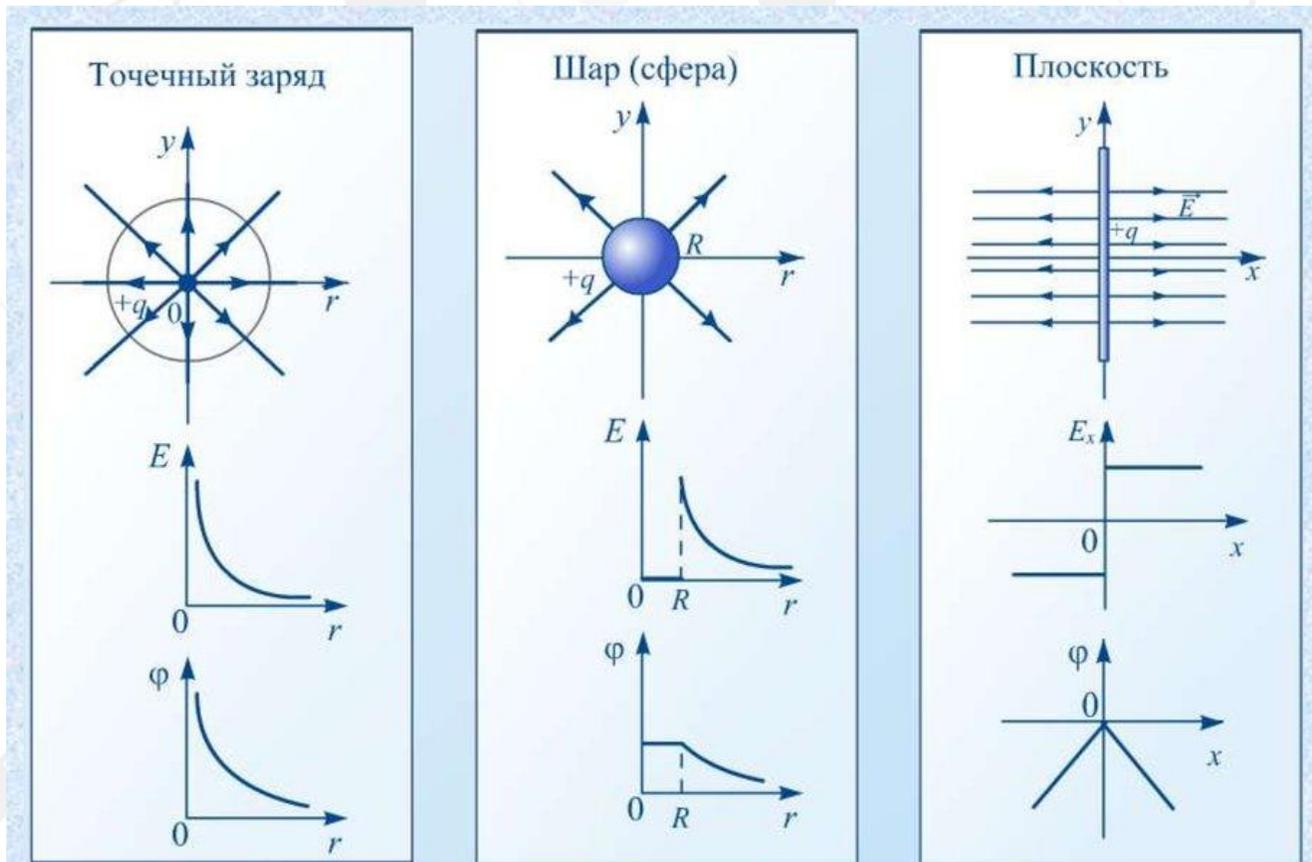
Раздел 2. Примеры: потенциал и напряжённость для «типовых» электрических зарядов

1. Примеры: « типовые » заряды



«Типовые» заряды и электрическое поле, создаваемое ими, будут подробно рассматриваться на семинарских занятиях.

Здесь приведены *качественные* рисунки для некоторых таких зарядов.



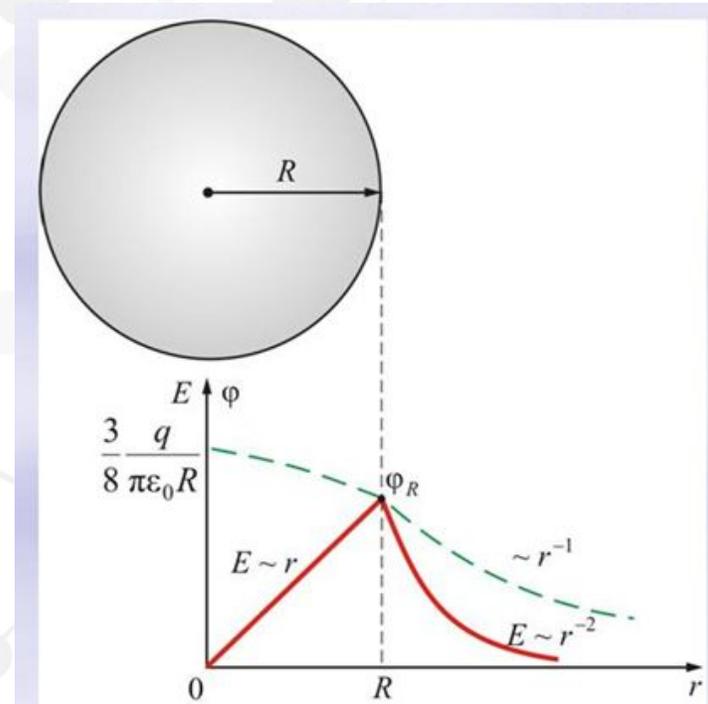
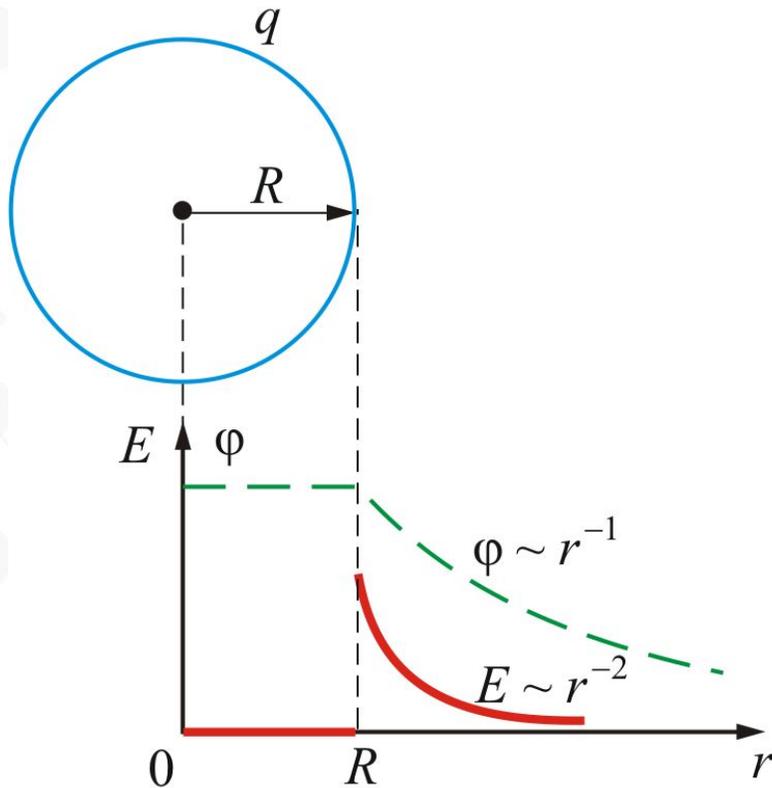
Прошу:

1. Ответить на вопрос: шар полый или сплошной?
2. Нарисовать потенциал и напряжённость для бесконечно тонкого заряженного цилиндра (проводник).

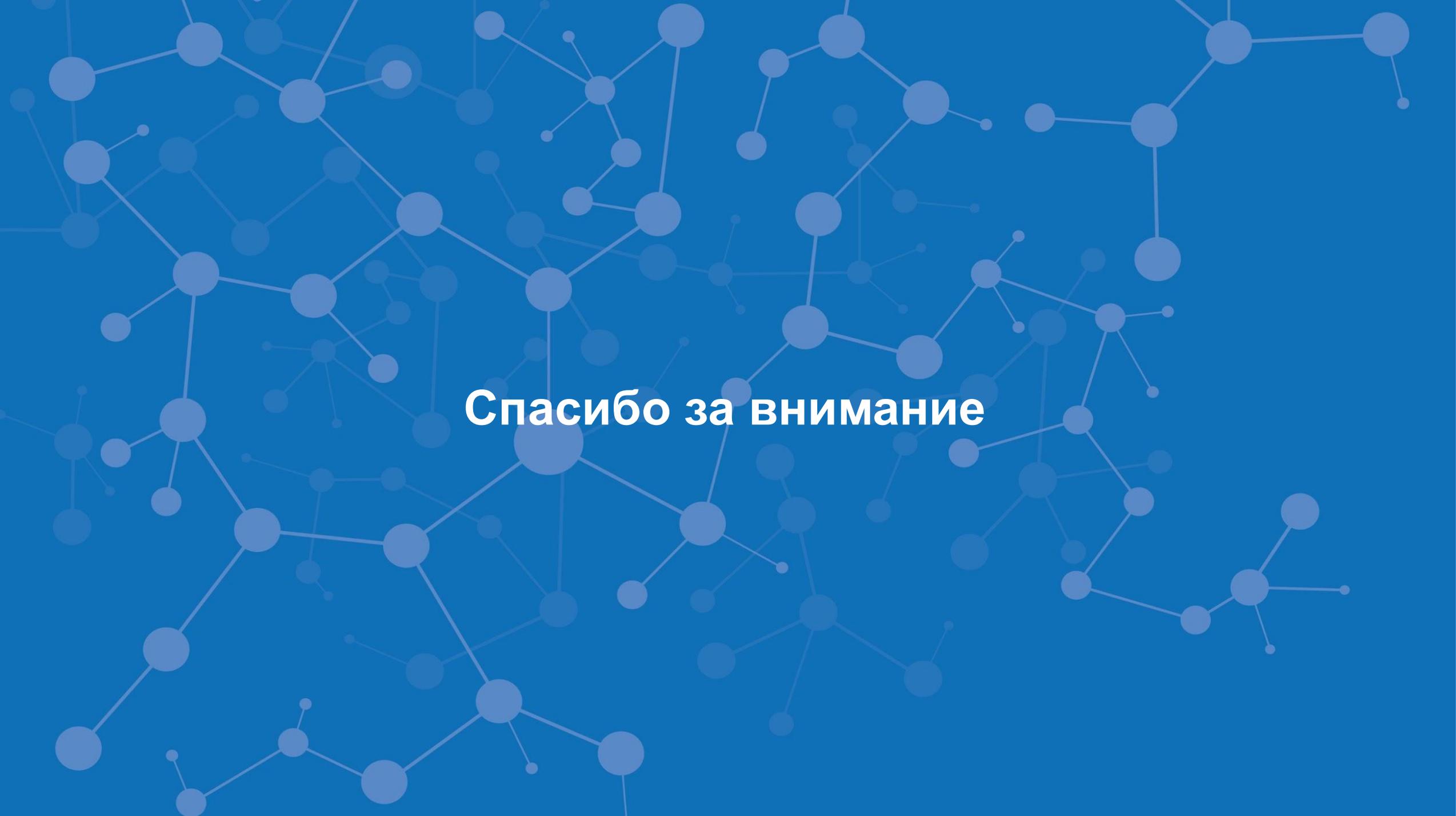
1. Примеры: « типовые » заряды



Подсказка для первого вопроса.



$$\rho = \frac{3q}{4\pi R^3}$$



Спасибо за внимание