Электростатика

теории, объясняющие взаимодействие зарядов

действие на расстоянии

близкодействие

- Одно тело действует на другое непосредственно через пустоту и это действие передается мгновенно

- Любое взаимодействие осуществляется с помощью промежуточных агентов и распространяется с конечной скоростью

- Электрическое поле – особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие зарядов.

- Электрическое поле неподвижных зарядов называют электростатическим. Оно не меняется со временем и неразрывно связано с зарядами.

- Отношение силы, действующей на помещаемый в данную точку поля заряд, к этому заряду в любой точке поля не зависит от помещенного заряда и может рассматриваться как характеристика поля. Эту силовую характеристику поля называют напряженностью электрического поля.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$\vec{E}$ – напряженность электрического поля

$\vec{F}$ – сила, с которой поле действует на пробный положительный заряд

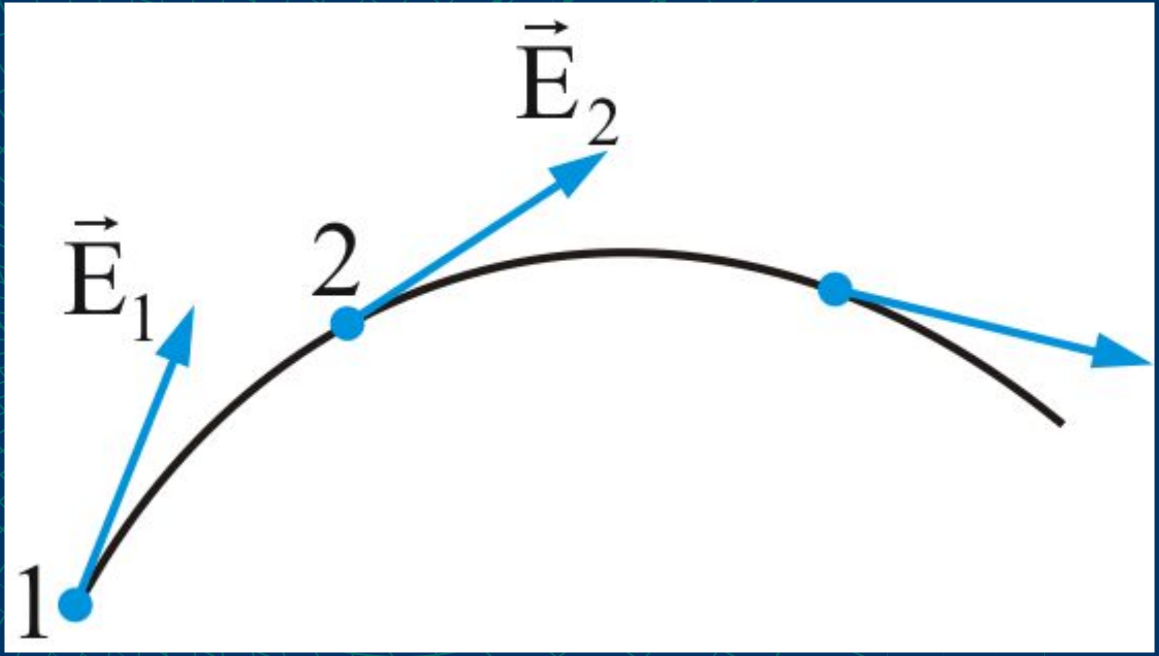
q – величина этого заряда

Принцип суперпозиции полей

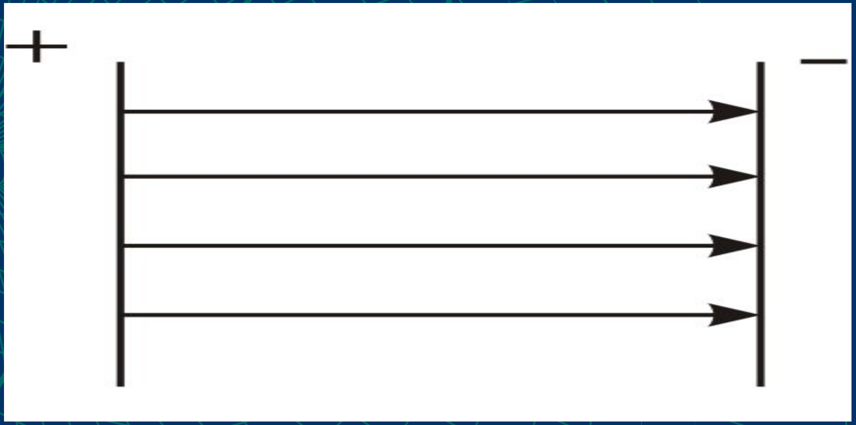
- Если в данной точке пространства различные заряды создают электрические поля, напряженности которых $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ и т.д., то результирующая напряженность поля в этой точке равна:

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

- **силовые линии** – это линии, касательная к которым в любой точке поля совпадает с направлением вектора напряженности



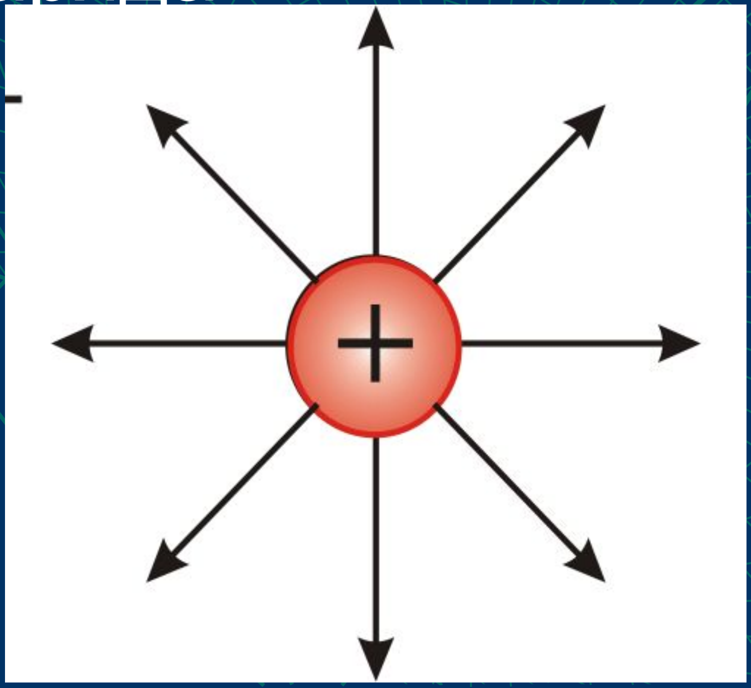
- **Однородным** *называется электростатическое поле, во* ***всех точках которого напряженность одинакова по величине и направлению,*** т.е. Однородное электростатическое поле изображается параллельными силовыми линиями на равном расстоянии друг от друга

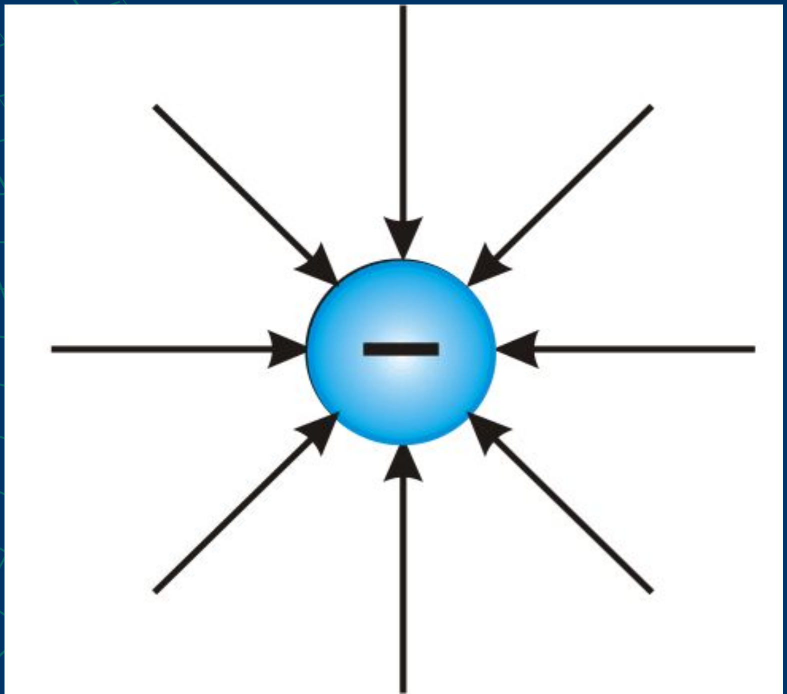


В случае точечного заряда, линии напряженности исходят из положительного заряда и уходят в бесконечность; и из бесконечности входят в отрицательный заряд.

Т.к. $E \sim 1/r^2$,

то густота силовых линий обратно пропорциональна квадрату расстояния от заряда





Расчётная формула напряжённости

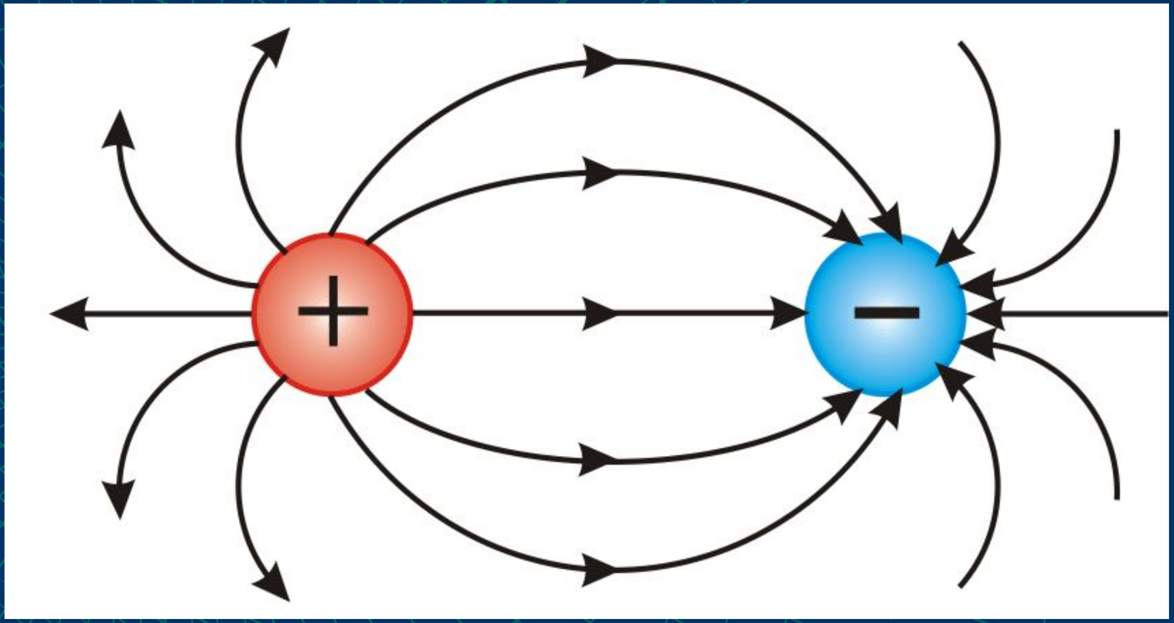
- С учётом формулы

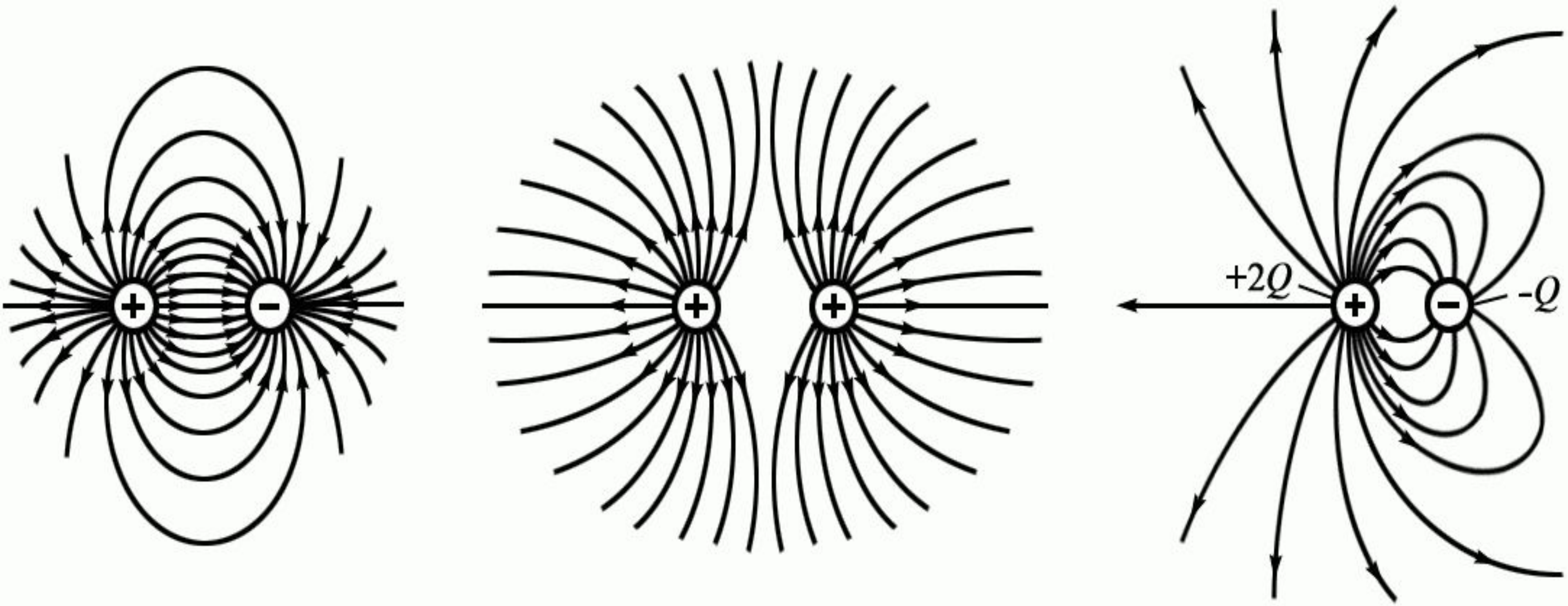
$$F_{q_0} = k\frac{Qq_0}{r^2}$$

Напряжённость поля, созданного точечным зарядом Q , в точке, находящейся на расстоянии *r* от него, равна

$$\boxed{E = k\frac{Q}{r^2}}$$

- Для системы зарядов, как видим, силовые линии направлены от положительного заряда к отрицательному

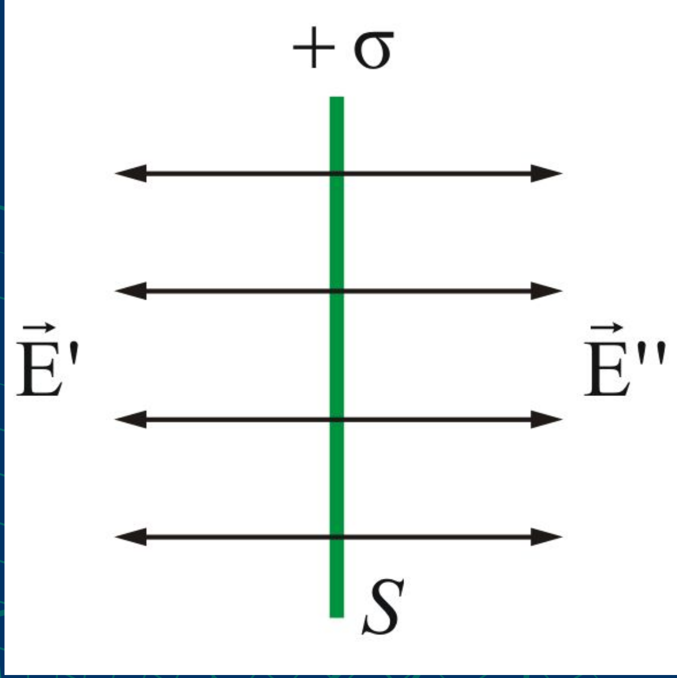



+2Q
-Q

- **Гаусс Карл Фридрих** (1777 – 1855) *немецкий математик, астроном и физик.*
- Исследования посвящены многим разделам физики.
- В 1832 г. создал абсолютную систему мер (СГС), введя три основных единицы: единицу времени – 1 с, единицу длины – 1 мм, единицу массы – 1 мг.
- В 1833 г. совместно с В. Вебером построил первый в Германии электромагнитный телеграф.
- Еще в 1845 г. пришел к мысли о конечной скорости распространения электромагнитных взаимодействий. Изу чал земной магнетизм, изобрел в 1837 г. униполярный магнитометр, в 1838 г. – бифилярный. В 1829 г.
- Сформулировал принцип наименьшего принуждения (принцип Гаусса).
- Один из первых высказал в 1818 г. предположение о возможности существования неевклидовой геометрии.

- Основная ценность теоремы Остроградского-Гаусса состоит в том, что она позволяет *глубже понять природу электростатического поля и устанавливает* более общую *связь между зарядом и полем.*

- Электрические заряды могут быть «размазаны» с некоторой ***объемной плотностью*** различной в разных местах пространства: $\rho = \mathrm{d}q / \mathrm{d}V$
- Здесь d*V* – ***физически бесконечно малый объем***, под которым следует понимать такой *объем, который с одной стороны достаточно мал, чтобы в пределах его плотность заряда считать одинаковой, а с другой – достаточно велик, чтобы не могла проявиться дискретность заряда*, т.е. то, что любой заряд кратен целому числу элементарных зарядов электрона или протона .

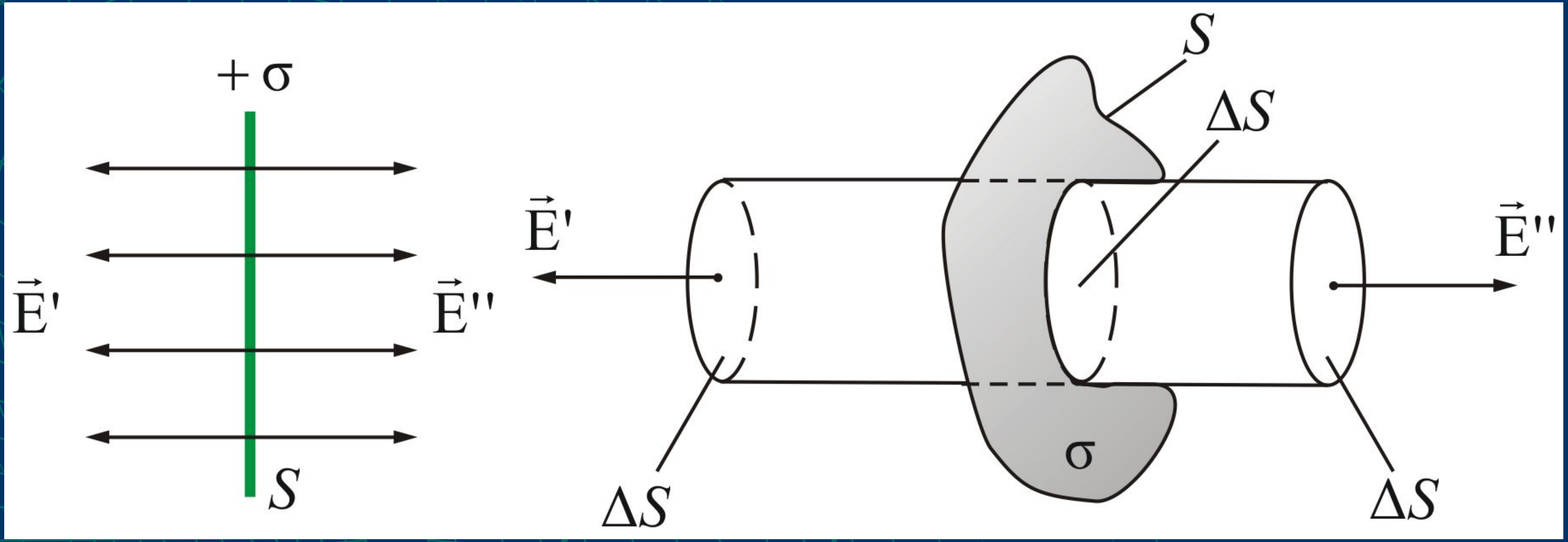


Поверхностная плотность заряда на произвольной плоскости площадью *S* определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{dq}{dS},$$

d*q* – заряд, сосредоточенный на площади d*S*;
d*S* – физически бесконечно малый участок поверхности.

- Представим себе цилиндр с образующими, перпендикулярными плоскости, и основаниями ΔS, расположенными симметрично относительно плоскости



- Тогда

$$E' = E'' = E.$$

- Суммарный поток через замкнутую поверхность (цилиндр) будет равна:

$$\Phi_E = 2\Delta SE.$$

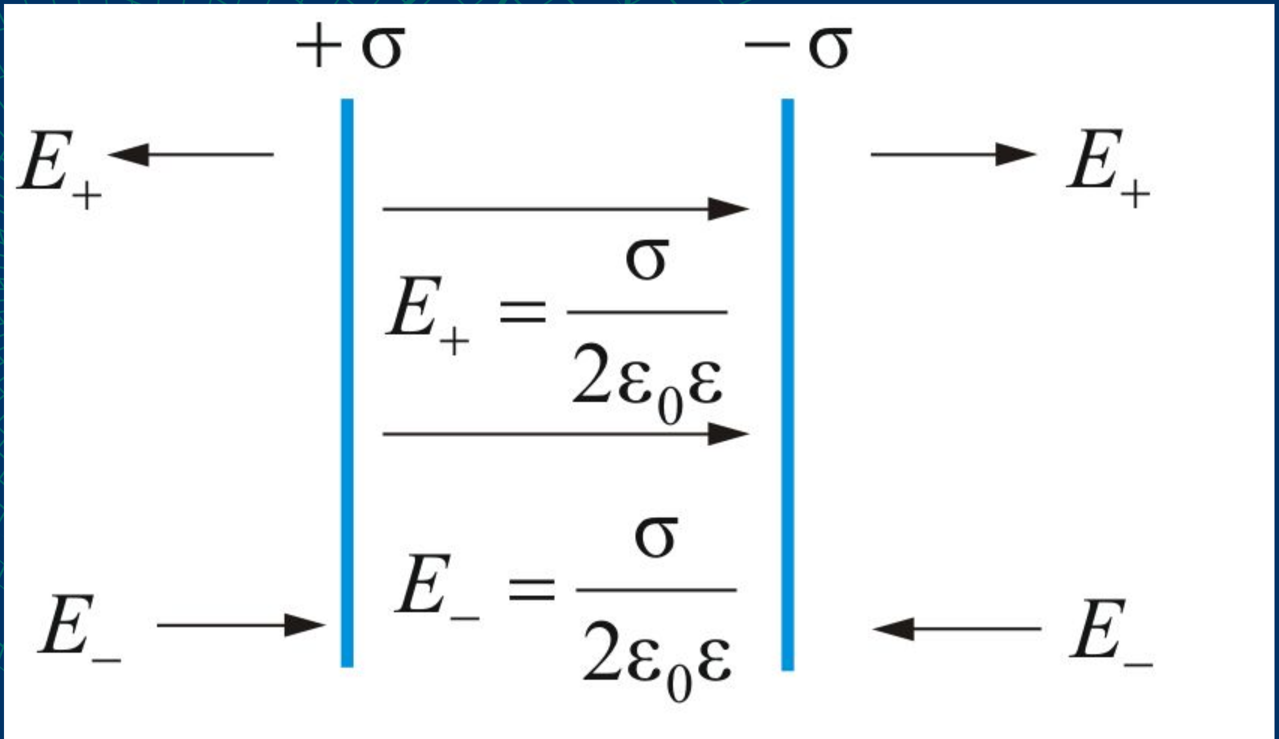
- Внутри поверхности заключен заряд . Следовательно, из теоремы Остроградского-Гаусса получим:

$$\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0} = 2\Delta SE = \sigma\Delta S\frac{1}{\varepsilon_0}$$

- откуда видно, что напряженность поля плоскости S равна:
- $$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}.$$

Поле двух равномерно заряженных плоскостей

- Пусть две бесконечные плоскости заряжены разноименными зарядами с одинаковой по величине плотностью σ



- **Результирующее поле**, как было сказано выше, находится как суперпозиция полей, создаваемых каждой из плоскостей. Тогда *внутри плоскостей*

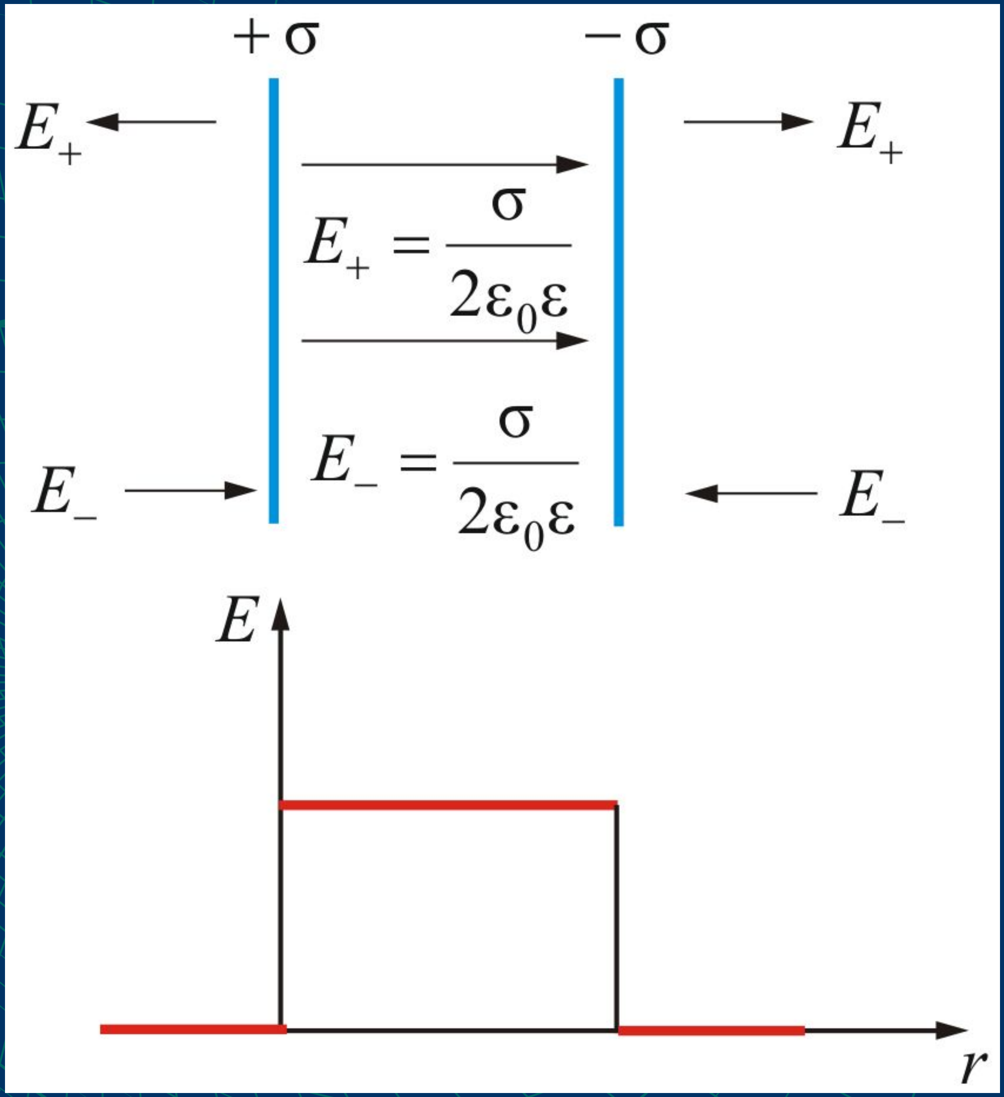
$$E = E_+ + E_- \text{ отсюда } E = \sigma / \varepsilon_0$$

- ***Вне плоскостей напряженность поля***

$$E = 0.$$

- Полученный результат справедлив и для плоскостей конечных размеров, если расстояние между плоскостями гораздо меньше линейных размеров плоскостей (плоский конденсатор).

• ***Распределение напряженности*** электростатического поля между пластинами конденсатора показано на рисунке:



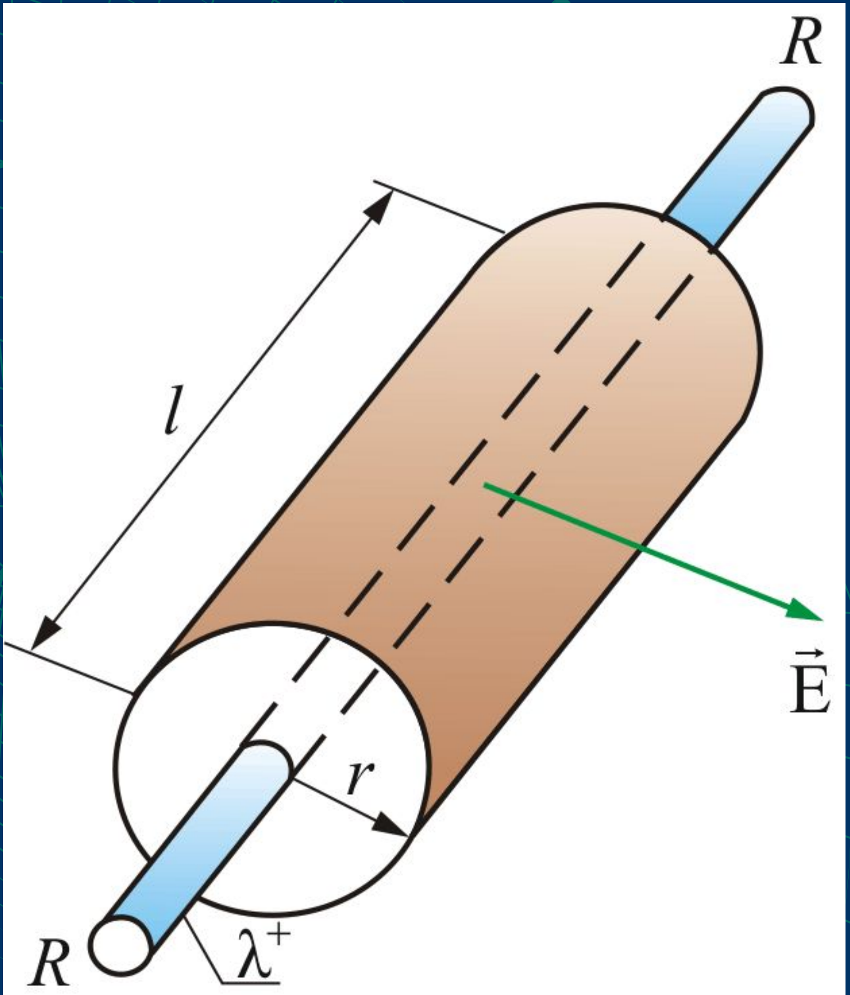
Поле заряженного бесконечного цилиндра (нити)

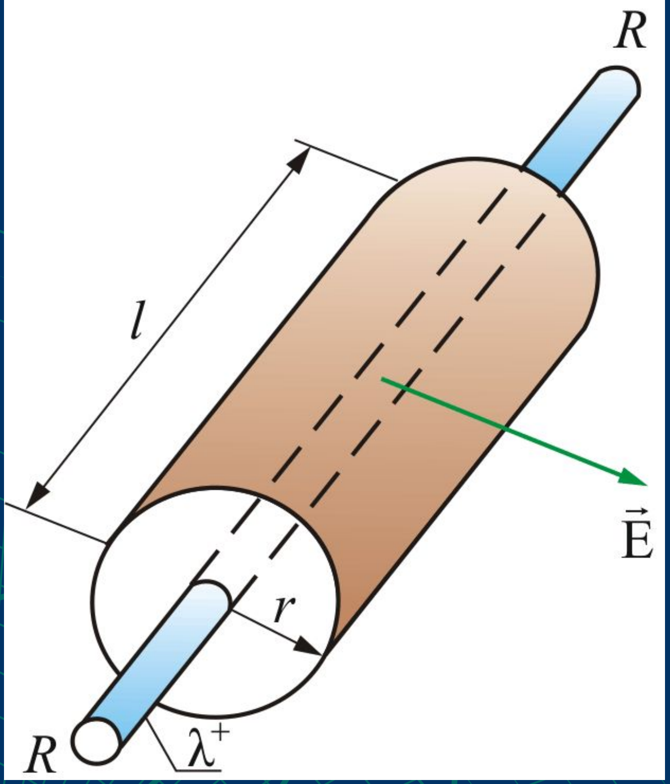
- Пусть поле создается бесконечной цилиндрической *поверхностью радиуса R*, заряженной с постоянной линейной плотностью

$$\lambda^{+} = \frac{dq}{dl}$$

- где d*q* – заряд, сосредоточенный на отрезке цилиндра

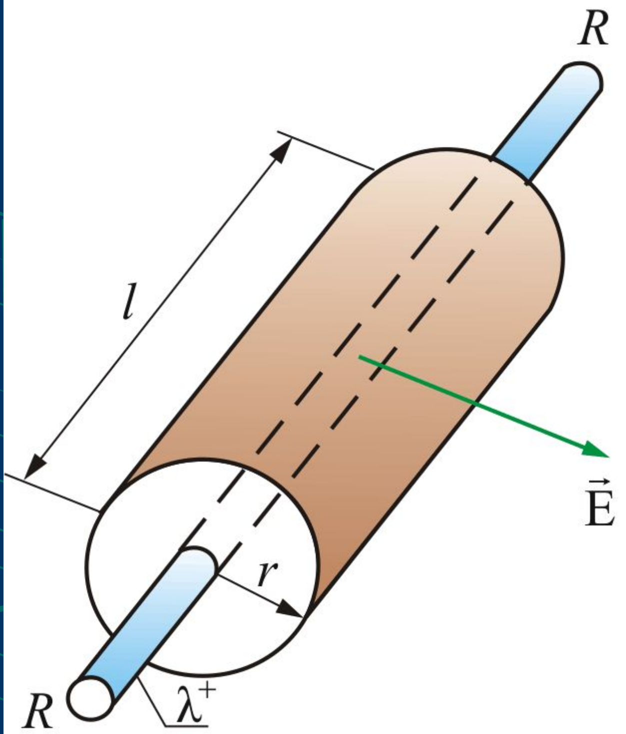
Представим вокруг цилиндра (нити) *коаксиальную* замкнутую поверхность (*цилиндр в цилиндре*) радиуса *r* и длиной *l* (основания цилиндров перпендикулярно оси).





- Для оснований цилиндров $E_n = 0,$
- для боковой поверхности $E_n = E(r),$ т. е. зависит от расстояния *r*.
- *Следовательно, поток вектора через рассматриваемую поверхность, равен*

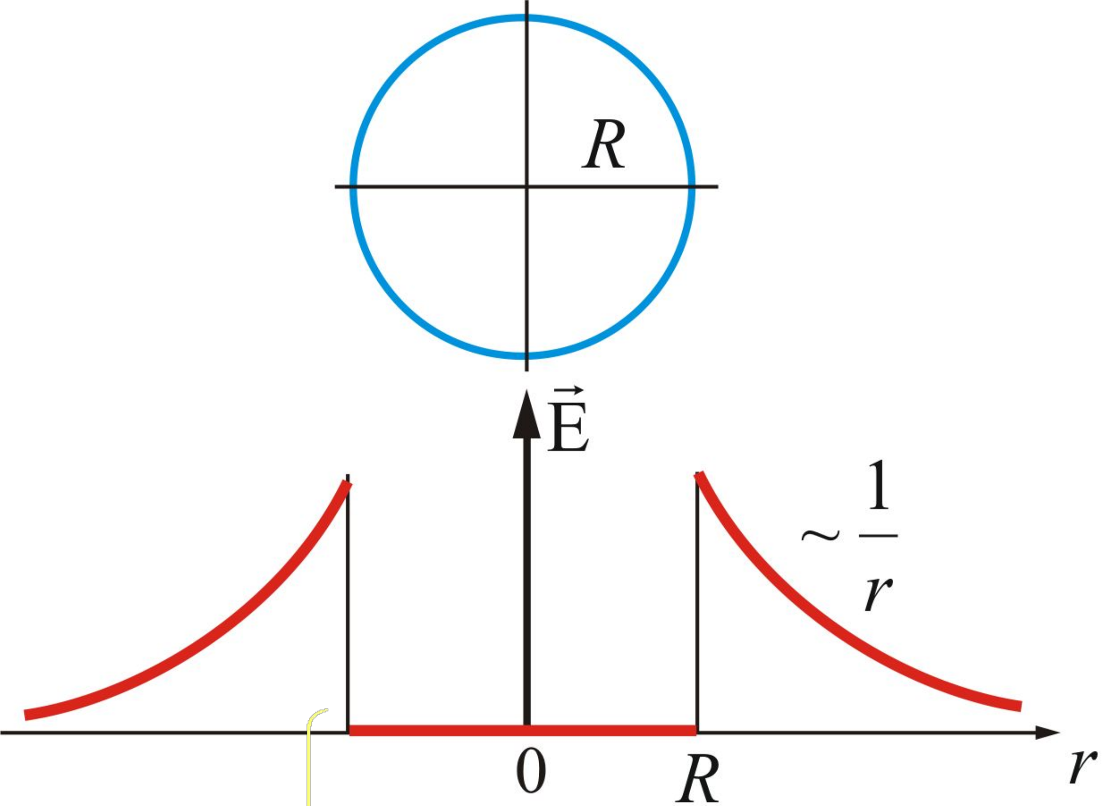
$$\Phi_E = E(r)S = E(r)2\pi rl.$$



- При $r \geq R,$ на поверхности будет заряд $q = \lambda l.$
- По теореме Остроградского-Гаусса $E(r) 2\pi r l = \dfrac{\lambda l}{\varepsilon_0}$
- Тогда

$$E(r) = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} \text{ при } r \geq R$$

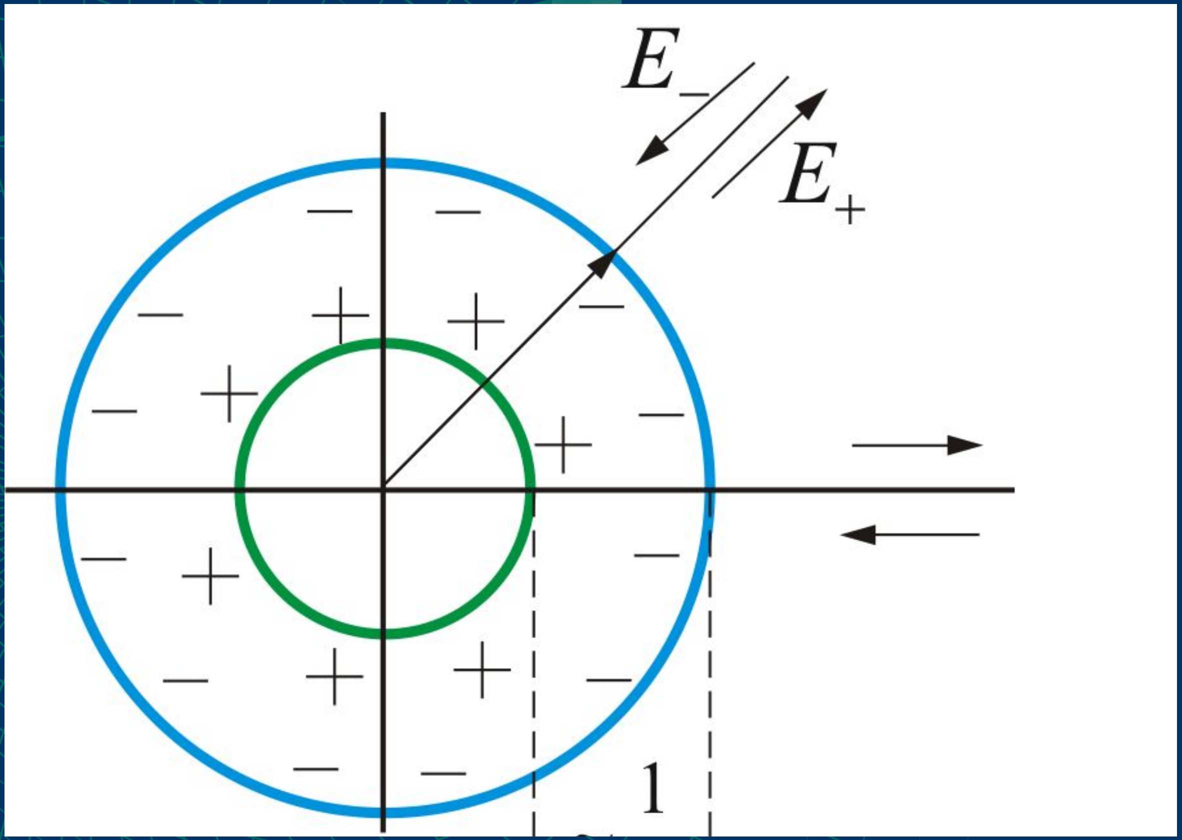
- Если $r < R,$ $E(r) = 0$, т.к. внутри замкнутой поверхности зарядов нет.



- Графически распределение напряженности электростатическо го поля цилиндра показано на рис

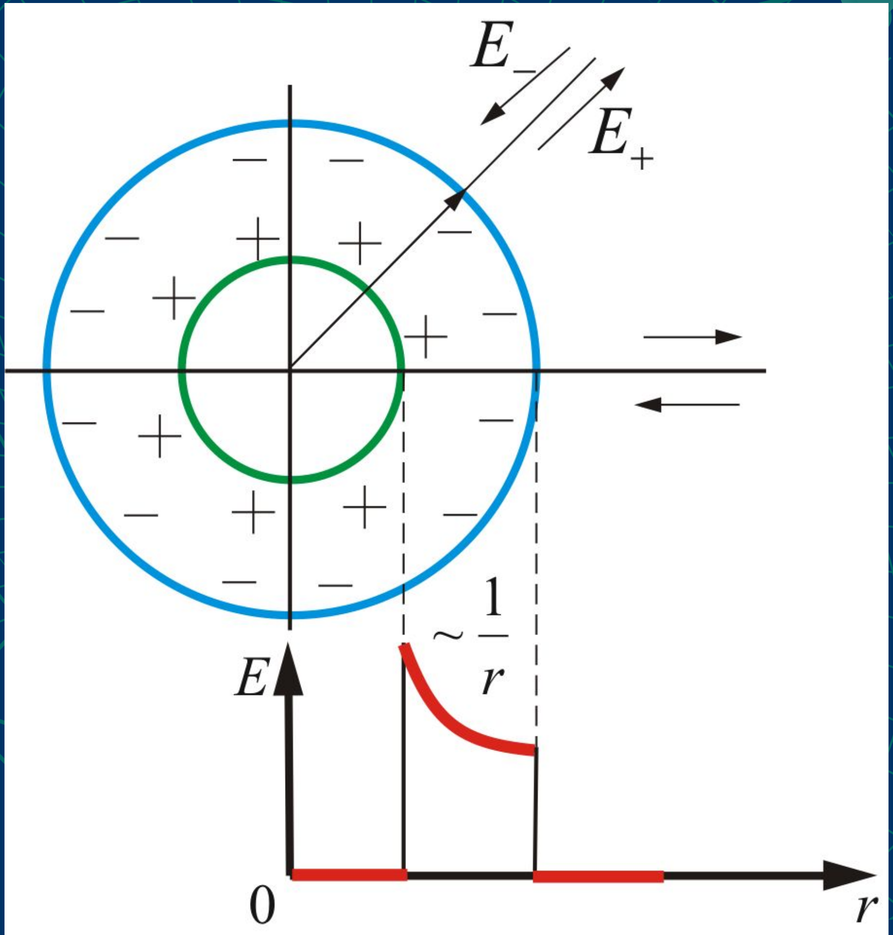
$$E=\begin{cases}0 - \text{внутри цилиндра, тт.ктта нет зарядов}\\ \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 R}\ \text{или}\ \dfrac{q}{2\pi\varepsilon_0 Rl}\ \text{на поверхности цилиндр}\\ \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}\ \text{или}\ \dfrac{q}{2\pi\varepsilon_0 rl}\ \text{вне цилиндра}\end{cases}$$

2.5.4. Поле двух коаксиальных цилиндров с одинаковой линейной плотностью λ, но разным знаком



- *Внутри меньшего и вне большего цилиндров поле будет отсутствовать* $E = 0$

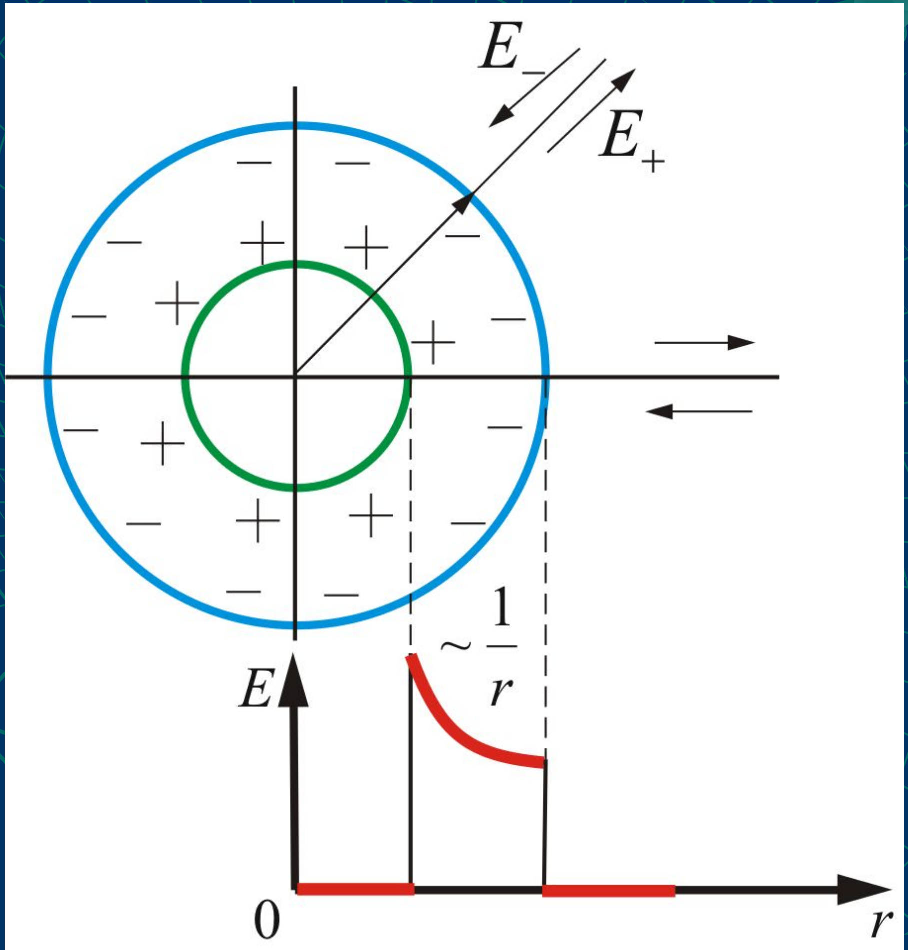
- В зазоре между цилиндрами, поле определяется так же, как в п. 2.5.3:



$$E(r) = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}.$$

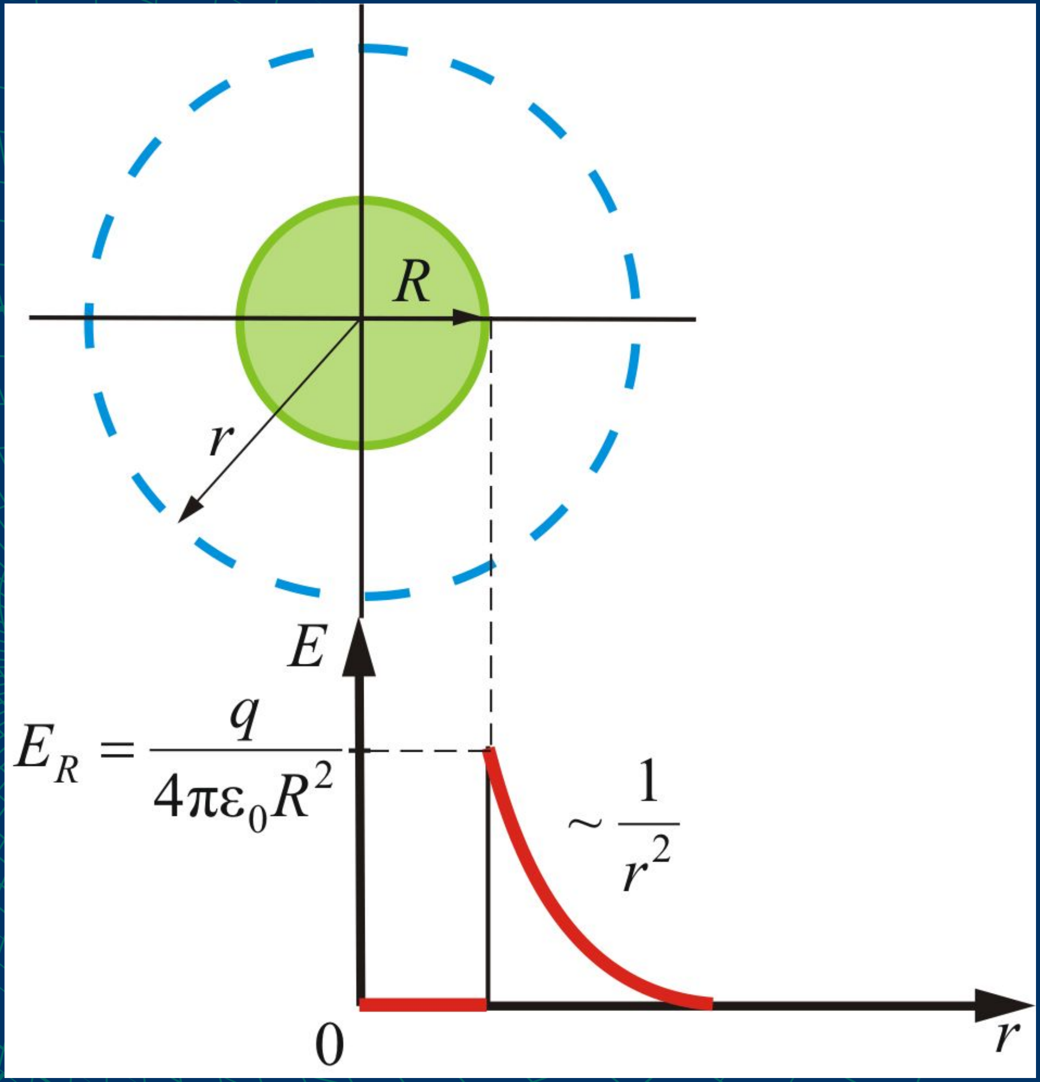
Таким образом для коаксиальных цилиндров имеем:

$$E = \begin{cases} 0 - \text{внутри меньшего и вне большего цилиндров зарядов нет} \\ \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} - \text{между цилиндрами, когда } R_1 < r < R_2 \end{cases}$$

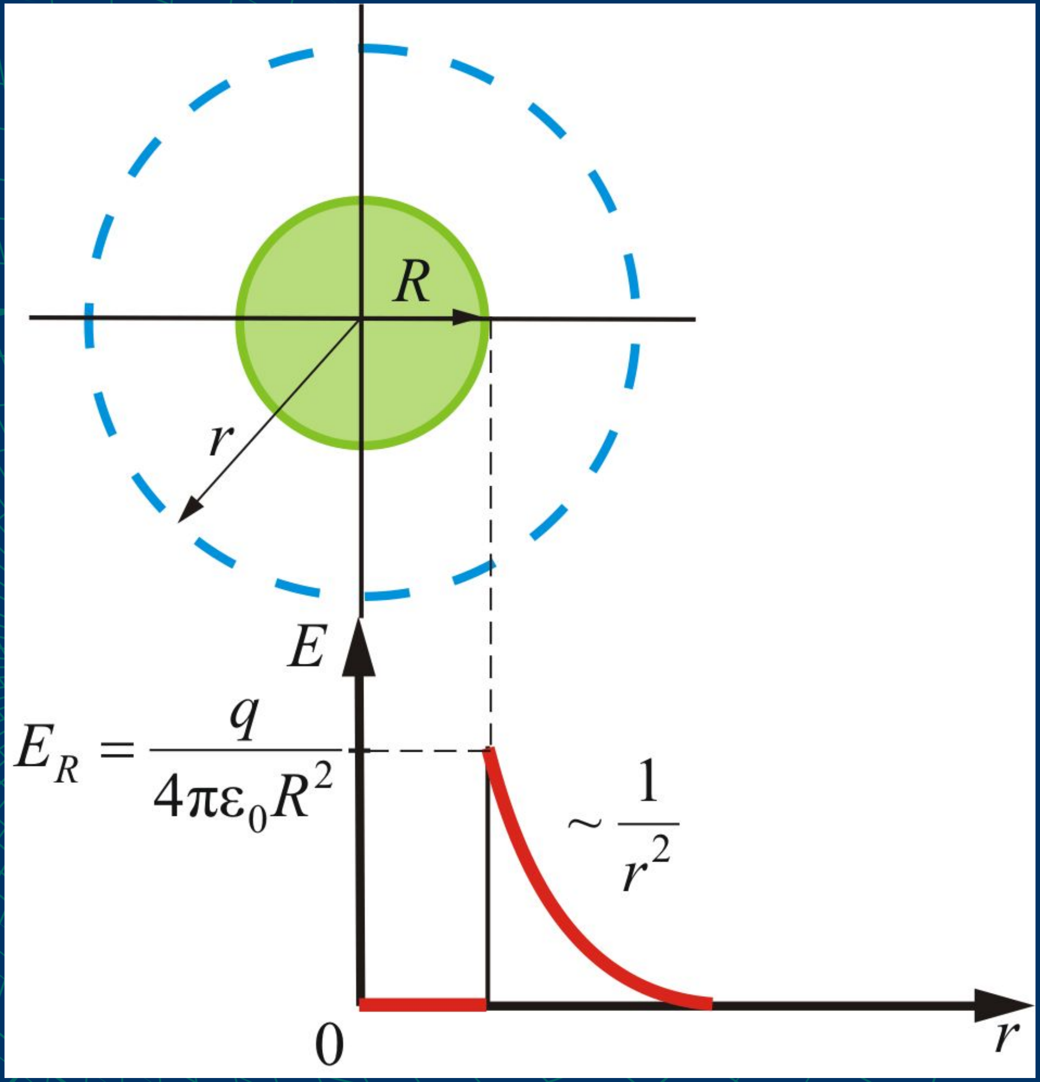


- Это справедливо и для бесконечно длинного цилиндра, и для цилиндров конечной длины, если зазор между цилиндрами намного меньше длины цилиндров (цилиндрический конденсатор).

Поле заряженного пустотелого шара



- Вообразим вокруг шара – сферу радиуса *r* (рис).



- Если $r \geq R$, то внутрь воображаемой сферы попадет весь заряд *q*, распределенный по сфере, тогда

$$\Phi_E = E(r)S = E(r)4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

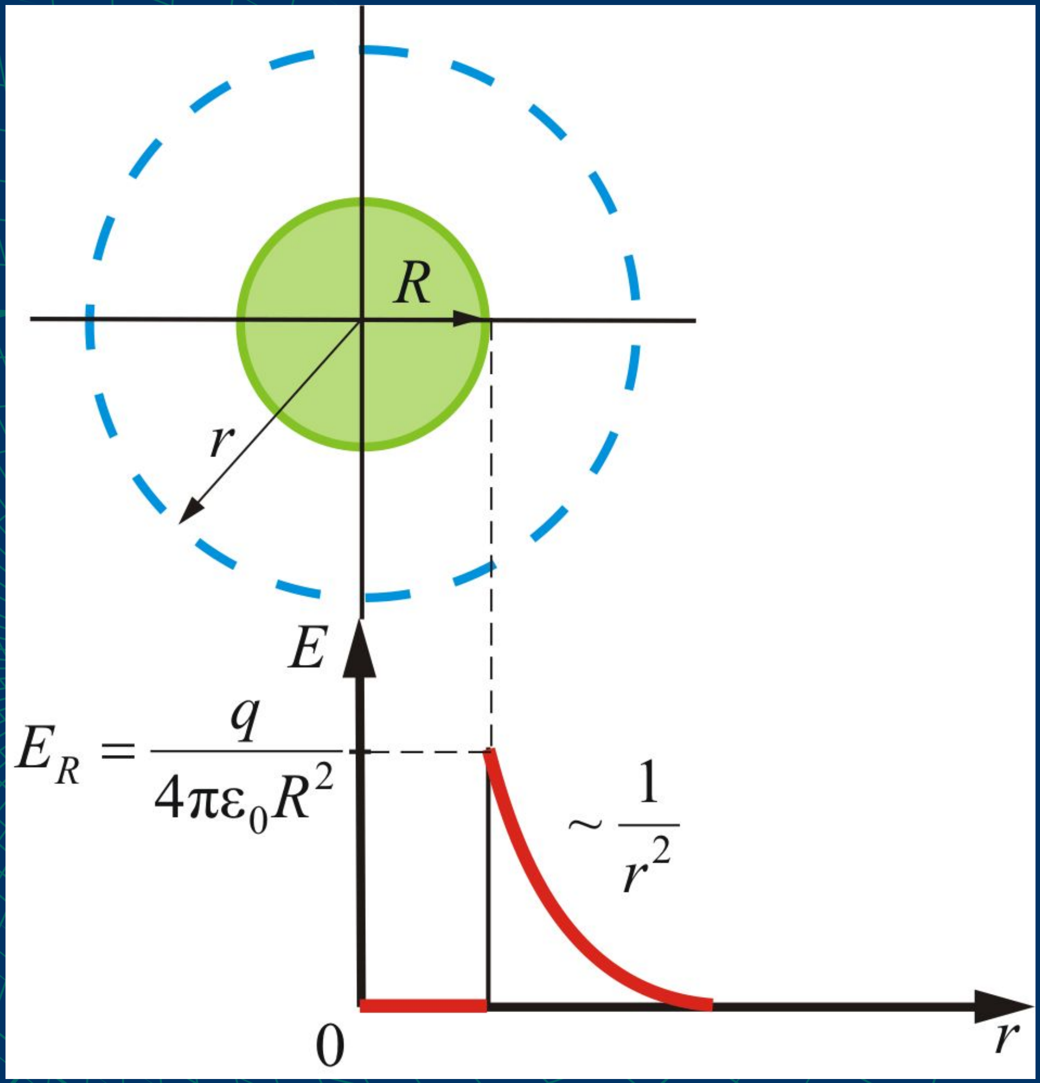
- откуда ***поле вне сферы***:

$$E(r) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.$$

- ***Внутри сферы***, при $r < R$, поле будет равно нулю, т.к. там нет зарядов:

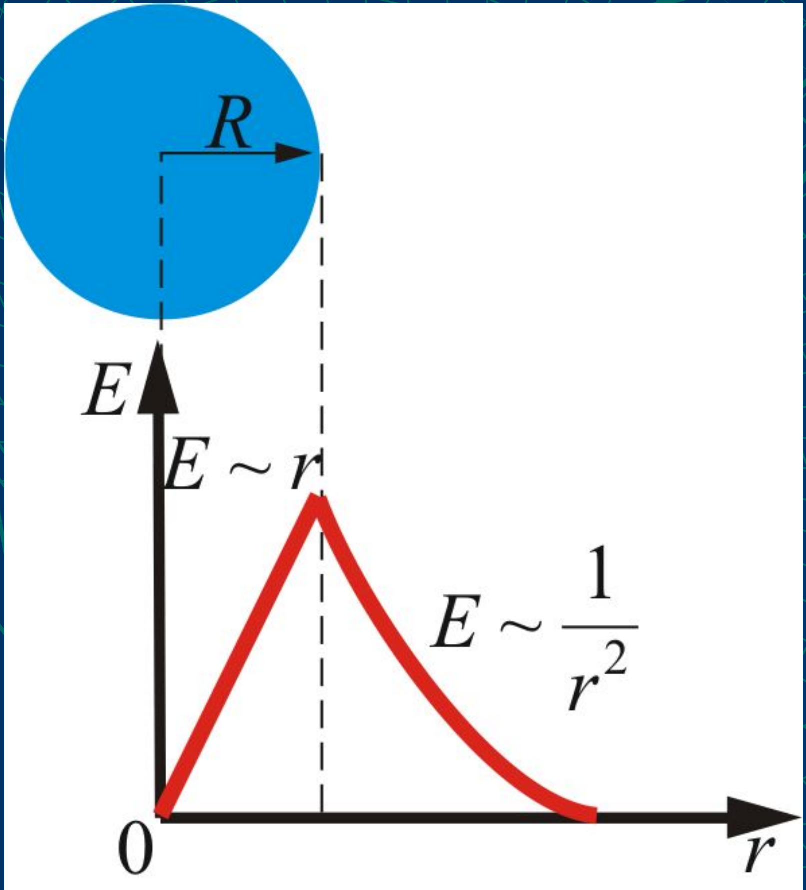
$$E(r) = 0.$$

Как видно, вне сферы поле тождественно полю точечного заряда той же величины, помещенному в центр сферы.



Поле объемного заряженного шара

- Для поля ***вне шара*** радиусом *R* получается тот же результат, что и для пустотелой сферы, т.е. справедлива формула:



$$E(r) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

- Внутри шара при $r < R$, сферическая поверхность будет содержать в себе заряд, равный

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

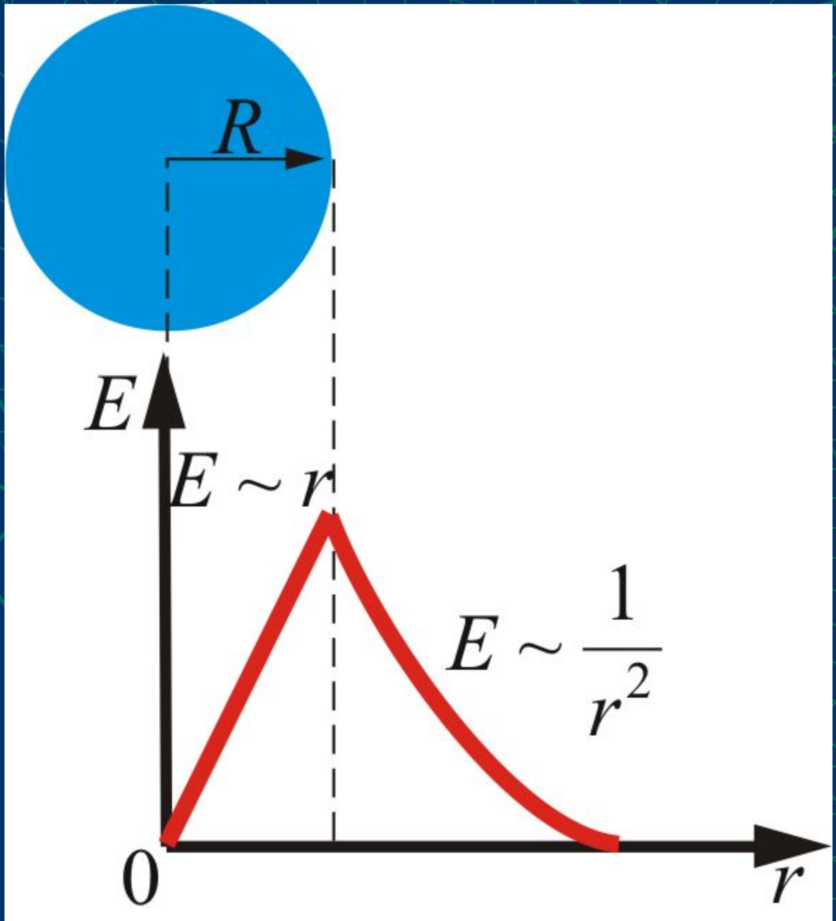
- где ρ – объемная плотность заряда: $\rho = \frac{q}{V}$
объем шара:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

-
- Тогда по теореме Остроградского-Гаусса запишем

$$\Phi_E = E(r)S = E(r)\cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho\frac{4}{3}\pi r^3$$

- Т.е. ***внутри шара***
- $$E(r) = \frac{\rho r}{3\varepsilon_0}$$
- Т.е., внутри шара имеем $E \sim r.$



Таким образом, имеем:
поле объемного заряженного шара

$$E = \begin{cases} \dfrac{qr}{4\pi\varepsilon_0 R^3} = \dfrac{\rho r}{3\varepsilon_0} - \text{внутри шара}(r < R) \\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} - \text{на поверхности шара}(r = R) \\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} - \text{вне шара}\ (r > R) \end{cases}$$

Задание на дом:

- **§§ 1.7 – 1.15**


Урок окончен!!!