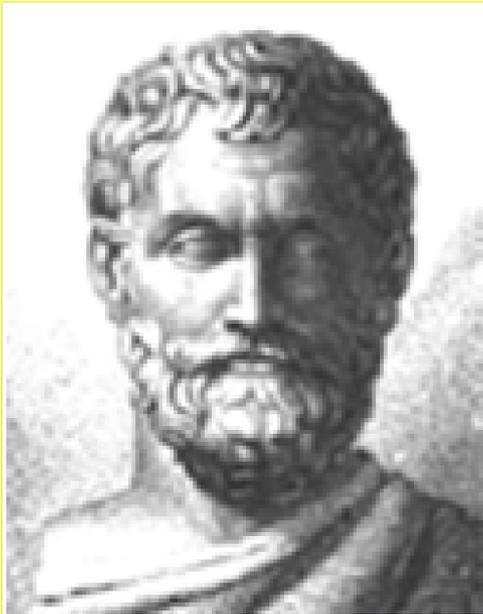


Электростатика.

Электродинамика-
раздел физики, в
котором изучают
электромагнитное
взаимодействие между
электрически
заряженными телами и
частицами.

*К созданию науки
электродинамики
привела длинная
цепь планомерных
исследований и
случайных
открытий, в чём
самое активное
участие принимали :*



В античной Греции философ Фалес, натирая меховой шкуркой янтарь, кусочек окаменевшей смолы хвойных деревьев, с удивлением наблюдал, как янтарь после этого начинал притягивать к себе перья птиц, пух и сухие листья.

Считается, что первым учёным, аргументировано отстаивавшим точку зрения о существовании двух видов зарядов, был француз Шарль Дюфе (1698–1739). В опубликованной в 1733 г. работе он вводит термины «смоляное» и «стекольное» электричество и указывает на характер взаимодействия между одноимёнными и разноимёнными зарядами.





Куллон Шарль Огюстен (1736 – 1806) французский физик, известный своими работами по электричеству и магнетизму. Наряду с изучением взаимодействия заряженных тел Куллон исследовал взаимодействие полюсов длинных магнитов.

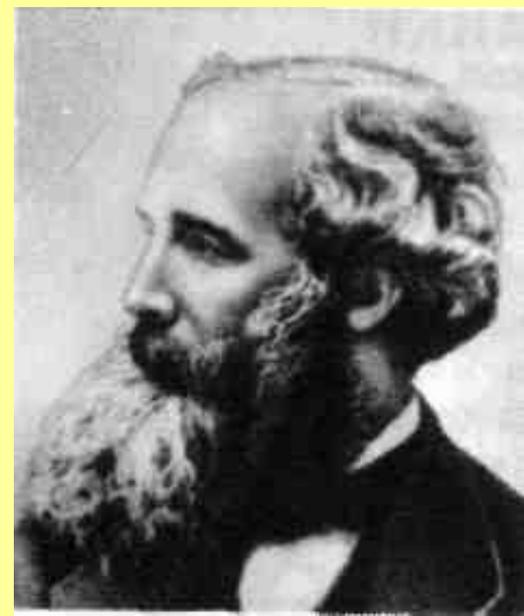
Самым убедительным оппонентом теории существования двух видов зарядов был знаменитый американец Бенджамин Франклин (1706–1790). Он первым ввёл понятие о положительных и отрицательных зарядах.





Фарадей Майкл (1791—1867) — великий английский ученый, творец общего учения об электромагнитных явлениях, в котором все явления рассматриваются с единой точки зрения. Фарадей впервые ввел представление об электрическом и магнитном полях.

Максвелл Джеймс Клерк (1831 – 1879) – великий английский физик, создатель теории электромагнитного поля. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля лежат в основе всей электродинамики, подобно тому как законы Ньютона составляют основу классической механики. Он впервые ввёл в физику представления о статических законах, использующих математическое понятие вероятности.



Электростатика

Электростатика-раздел электродинамики, изучающий взаимодействие неподвижных (статических) зарядов.

Электрический заряд.

- Электрический заряд- физическая величина, определяющая силу электромагнитного взаимодействия

- Существуют два вида электрических зарядов- положительные и отрицательные.

Заряды

- Единица измерения- Кулон(Кл)
- Обозначение- q, Q
Элементарный электрический заряд

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

- Электрический заряд дискретен (квантован)
 $Q = ne$, где n - целое число.

**Разноименные заряды притягиваются.
Одноименные заряды отталкиваются.**

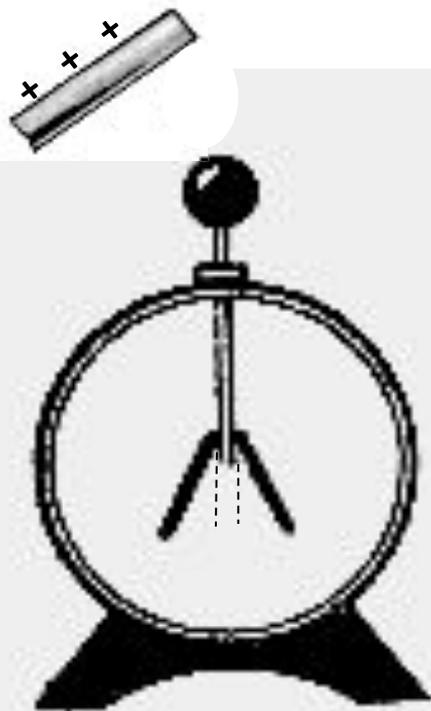
Единица заряда — кулон (1 Кл). Это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока в 1 А. Минимальный заряд, существующий в природе, — заряд электрона:

$$***e = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}***$$

Приборы для обнаружения электрического заряда

Электроскоп

Почему лепестки
из тонкой бумаги
расходятся?



Первый
электромметр
изобрёл
российский
учёный Г. Рихман

В чём
сходство

и

различие

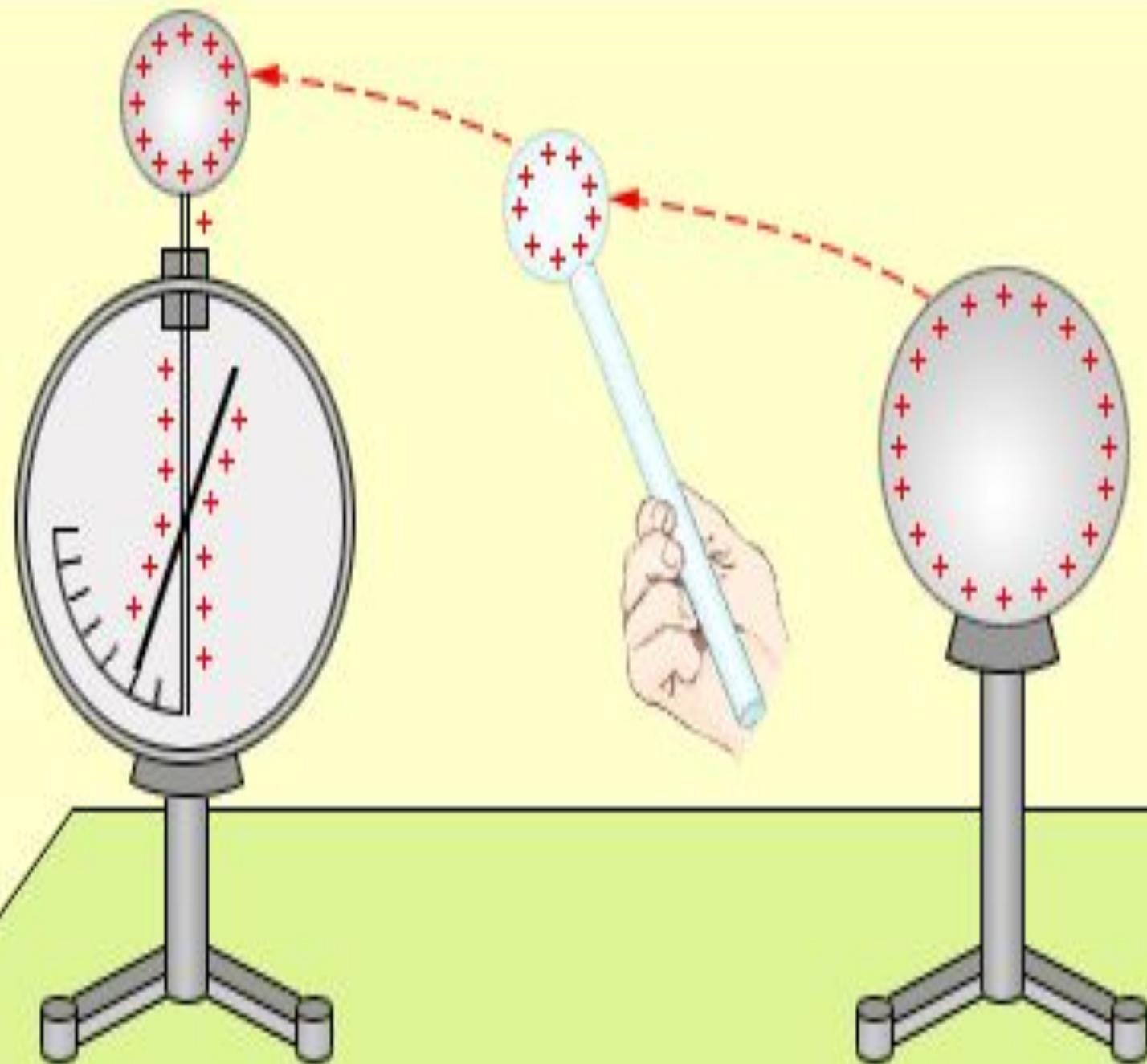
этих

приборов

?



Электромметр



Делимость электрического заряда.

Электрический заряд – физическая величина

Единица измерения
1 Кл
(Кулон)

Можно ли продолжать деление заряда бесконечно?

Опыты А.Ф. Иоффе и Р. Милликена доказали существование **самой малой** заряжённой частицы.

Эту частицу назвали **электрон**.
Электрон имеет **наименьший отрицательный заряд**.

Масса электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг

Заряд электрона равен $-1,9 \cdot 10^{-19}$ Кл



Абрам Фёдорович



Закон сохранения электрического заряда

- Электрически изолированная система тел-система тел, через границу которой не проникают заряды.
- Электрический заряд изолированной системы остается постоянным при любых физических процессах, происходящих в системе.
- *Положительные и отрицательные заряды в замкнутой системе могут возникать или исчезать, но при этом их алгебраическая сумма всегда остается постоянной.*

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$$

Электризация - процесс получения электрически заряженных тел из электронейтральных.

- Электризация **трением:**

- а) участвуют два тела;

- б) оба заряжаются: одно- положительно, другое- отрицательно.

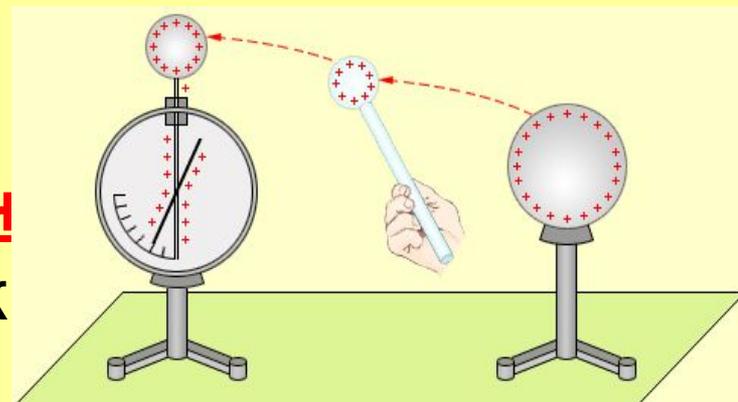
- в) заряды обоих тел одинаковы по величине.



- Электризация

- соприкосновением**
с заряженным телом.

- Электризация **через влияни**
(электростатическая индук

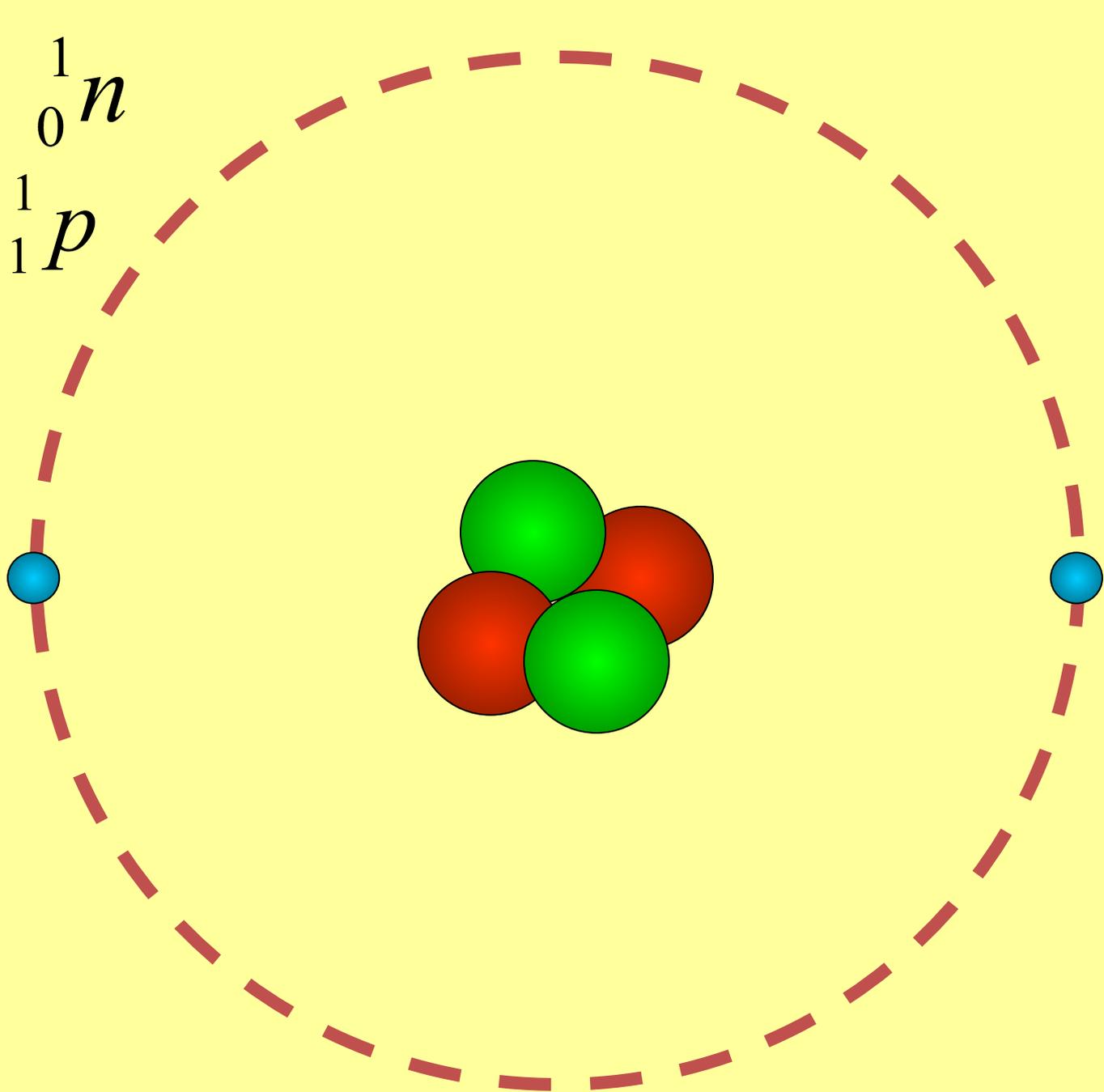


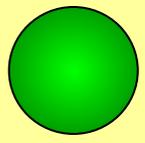
● нейтрон 1_0n

● протон 1_1p

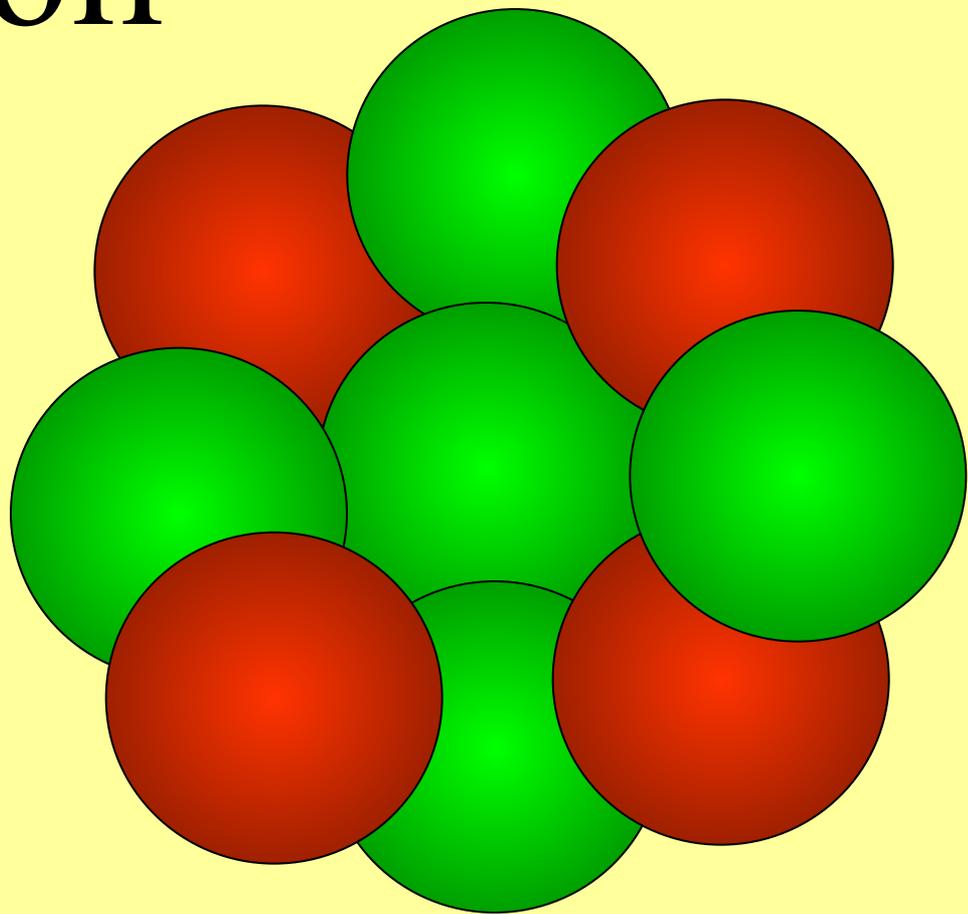
электрон
 ${}^0_{-1}e$

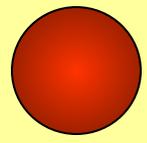
He⁴₂



 1_0n нейтрон

Be⁹₄

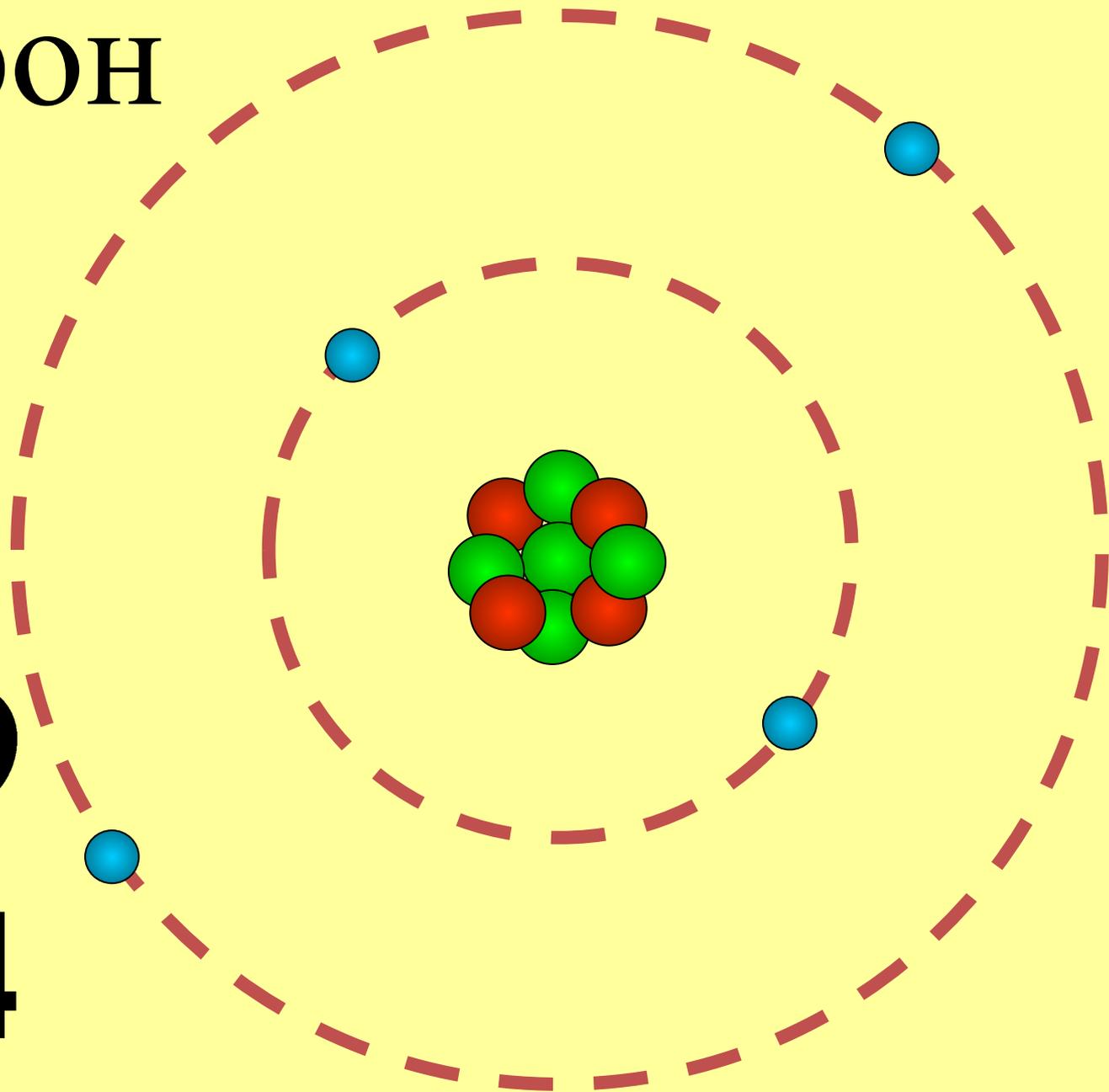


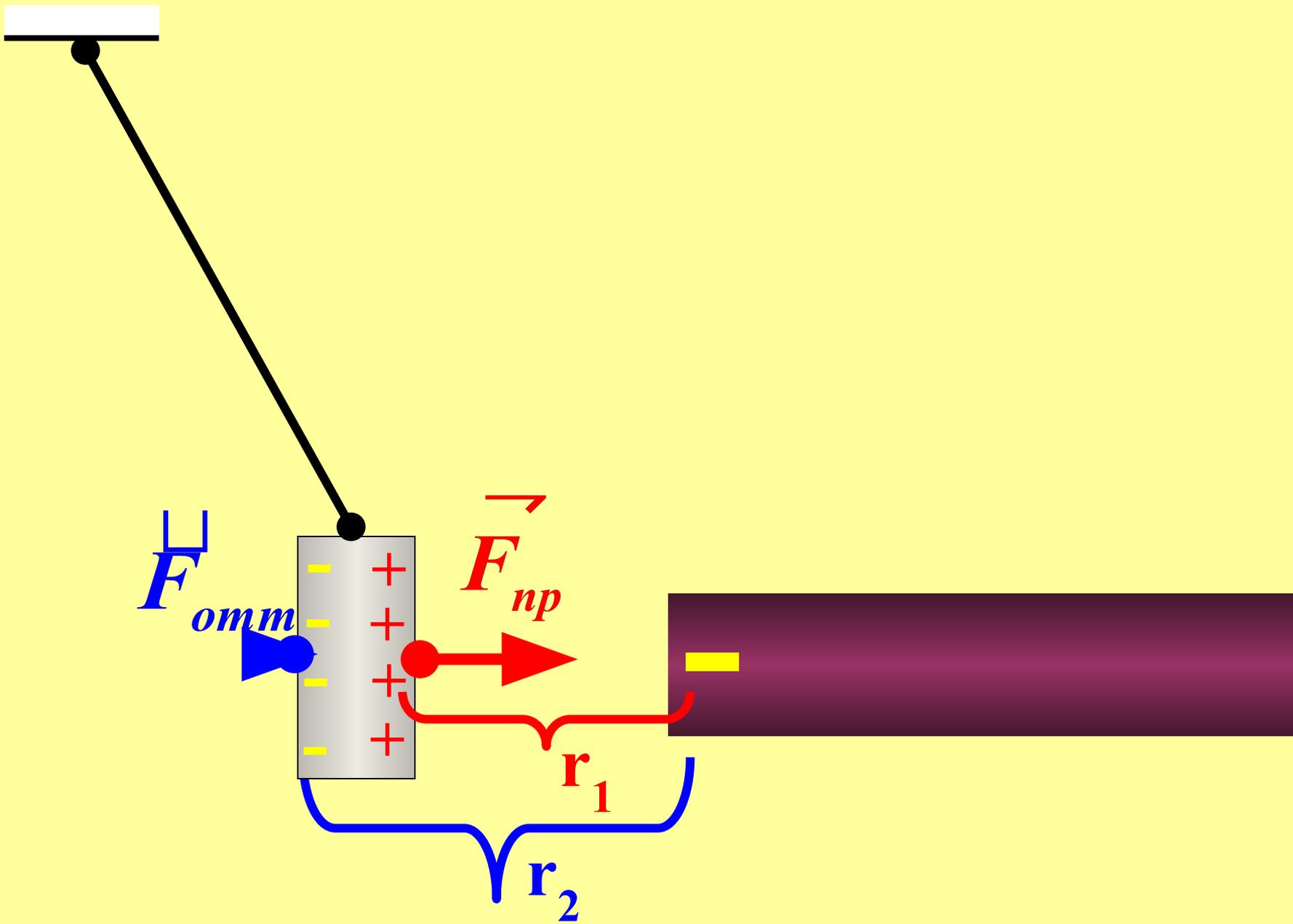
 1_1p протон

ЭЛЕКТРОН

• e_{-1}^0

Be_4^9





В определенных условиях на телах могут накапливаться *электрические заряды*.

Тело, несущее электрический заряд, называется *наэлектризованным*.

О пользе и вреде электризации .

«Что может быть не понятного для ума, чем история небольшого кусочка янтаря, столь покорно проявляющего силу, которая скрыта во всей природе, которая быть может и есть вся природа...»

Поль Валери



1. Стекло при трении о шелк заряжается:

а) положительно

б) отрицательно.

2. Если наэлектризованное тело отталкивается от эбонитовой палочки, потертой о мех, то оно заряжено:

а) положительно;

б) отрицательно.

3. Три пары легких шариков подвешены на нитях. Какая пара шариков не заряжена?

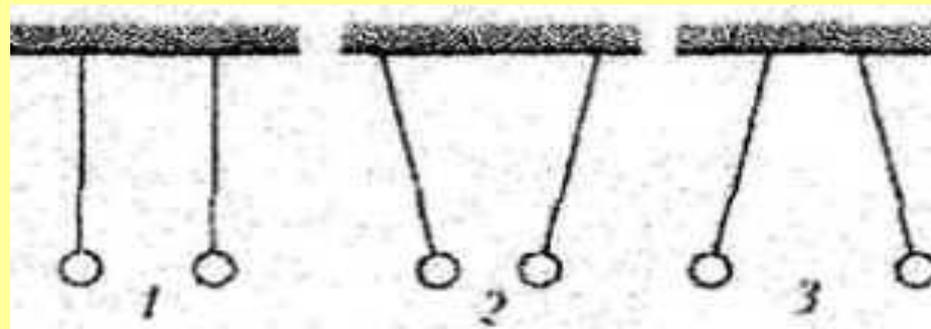
1; 2; 3.

4. Какая пара шариков (см. тот же рисунок) имеет одноименные заряды?

1; 2; 3.

5. Какая пара шариков (см. тот же рисунок) имеет разноименные заряды?

1; 2; 3.





С помощью явления электризации получают дактилоскопические отпечатки пальцев. Положительно заряженные частицы белка притягивают отрицательно заряженные частицы золотой пыли, наносимой на купюру, создавая видимые отпечатки

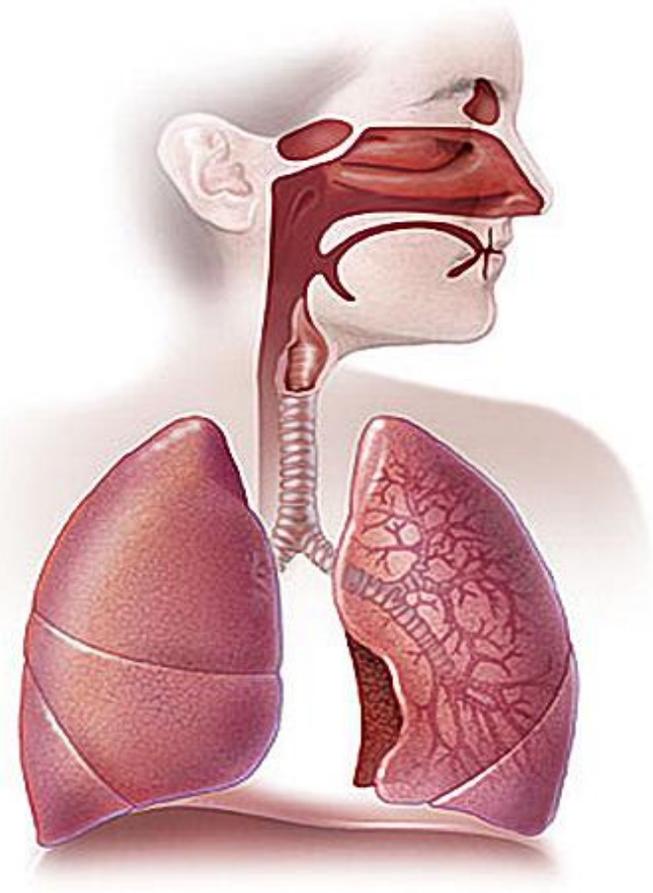
На автомобильных заводах,
для лучшей **покраски**
используют **электризацию**.



- Корпус автомобиля заряжают положительно, а частички краски отрицательно. Происходит взаимодействие и равномерная

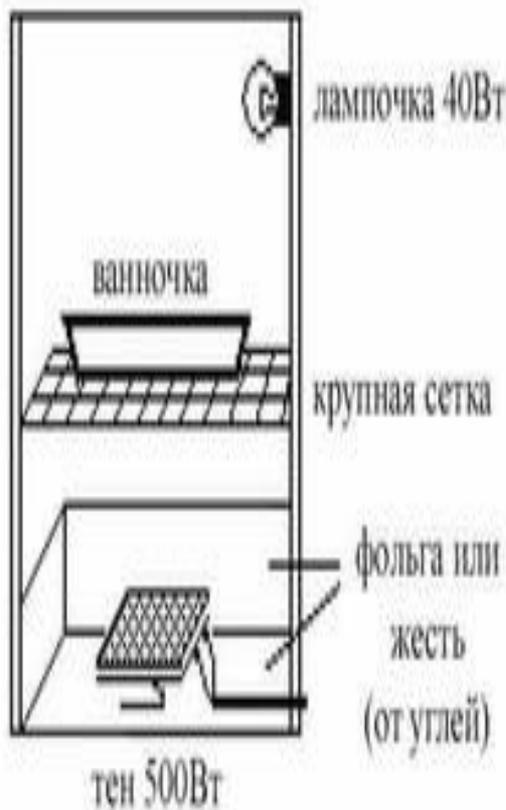
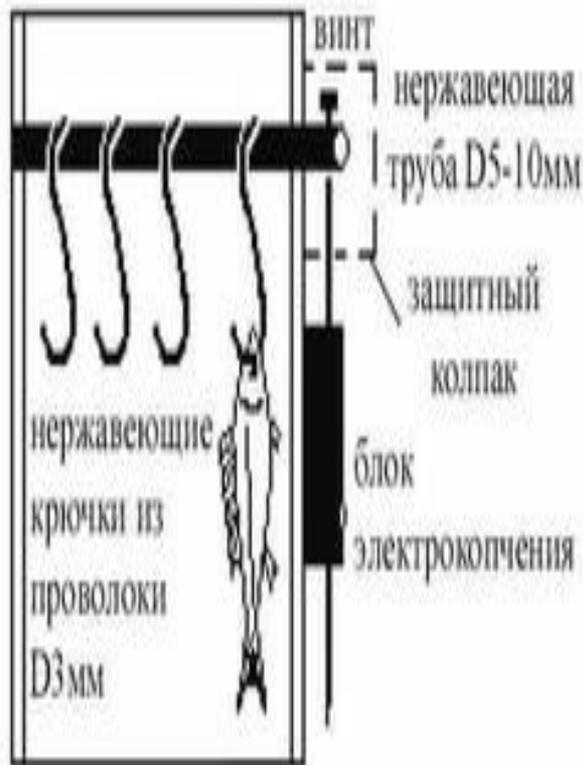


Сильные электрические поля используют в медицине. Для повышения устойчивости аэрозолей и лучшего проникновения их в ткани организма с помощью специальных аппаратов частицам аэрозолей придают электрический заряд. Электрический заряд способствует лучшему осаждению частиц на ткани и более глубокому проникновению в них лекарственного вещества .



Электрокопчение. Рыбу зарядили положительно, дым отрицательно. Копчение происходит за несколько минут.

КОПТИЛЬНАЯ КАМЕРА ВНУТРИ



Все машины из-за пыли быстрее изнашиваются. Газ в трубе электризуется, заряжает частички пыли, пыль оседает на стенках трубы. Периодически трубу встряхивают, и зола падает в специальный бункер. Происходит очищение промышленного дыма.



При трении о воздух электризуется самолёт. Если сразу подвести трап, может произойти сильный разряд. Возможен пожар. Вначале с самолёта спускают металлический трос, для снятия излишнего заряда. Происходит разрядка самолёта при взаимодействии троса с землёй.



- Во время перевозки и при переливании бензин электризуется, может возникнуть искра, и бензин вспыхнет. Чтобы этого не произошло, обе цистерны и соединяющий их трубопровод заземляют



- На целлюлозно-бумажных комбинатах часто обрываются быстро движущиеся бумажные ленты. Причина — электризация ленты при трении о валики. Такая электризация очень опасна. Она может вызвать пожар.



В текстильной промышленности электризация волокон вызывает их взаимное отталкивание, что мешает работе ткацких станков. Заряженную ткань трудно кроить. Она сильно загрязняется пылью.



А не вредят ли нам, электризованные тела?

- Влияние её на организм человека также изучается. В результате исследований было установлено, что электризация не вызывает заметных физиологических сдвигов в организме человека даже при длительном воздействии. Электризация синтетического белья, возникающая во время носки, оказывается даже полезной. Например, известно, что поливинилхлоридное белье помогает при лечении некоторых болезней.
- Отрицательные частицы воздуха благоприятно влияют на наш организм: они создают хорошее самочувствие и настроение и являются профилактикой простудных и сердечно-сосудистых заболеваний. Воздух в горах, в сосновом лесу или у водопада насыщен

- Если человек устал или болен, на нем накапливается положительный заряд и вызывает плохое самочувствие. Коты и кошки помогают снять положительный заряд, т. к. их шерсть заряжена





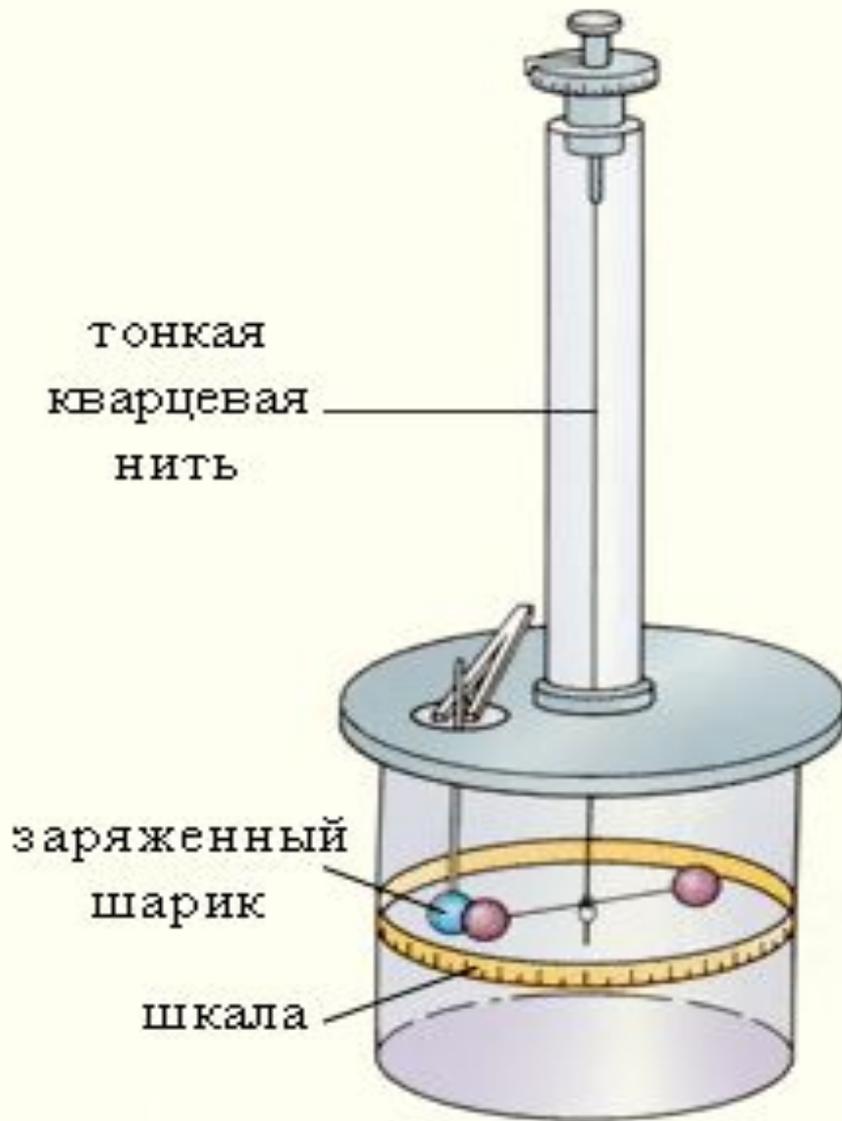
Куллон Шарль Огюстен (1736 – 1806) французский физик, известный своими работами по электричеству и магнетизму.

Закон Кулона

- Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, прямо пропорциональна произведению модулей зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

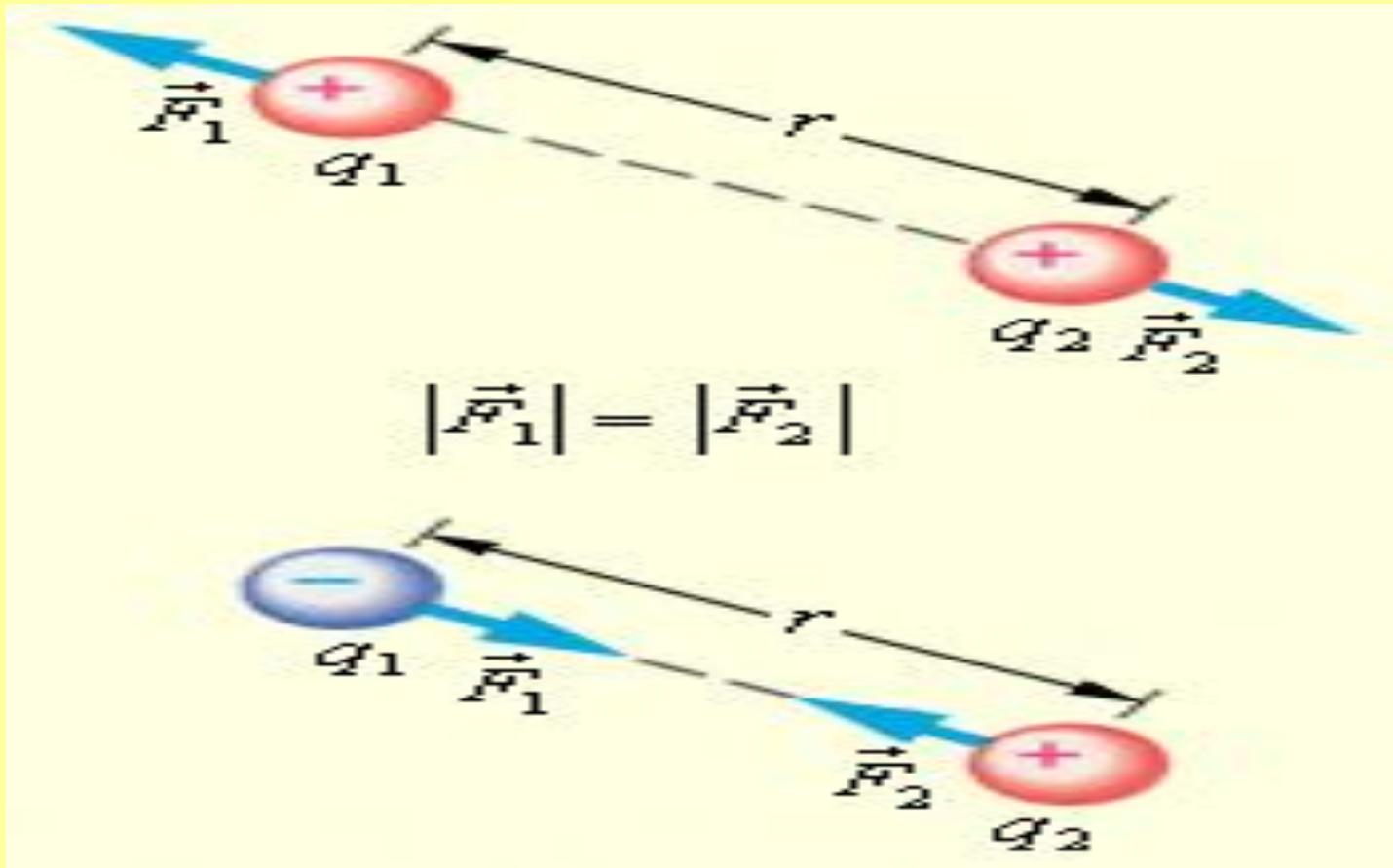
$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$$

Сила взаимодействия между точечными, а также сферически симметричными заряженными телами определяется законом Кулона:

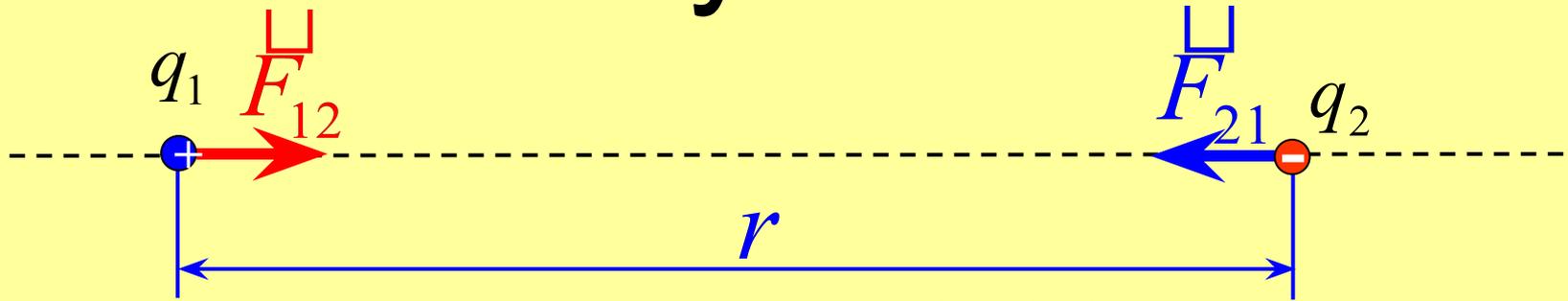


Впервые закон взаимодействия неподвижных зарядов был установлен Шарлем Кулоном в 1785 г. на крутильных весах.

Сила взаимодействия направлена по прямой, соединяющей заряды, а её направление зависит от знаков зарядов: одноимённые заряды-отталкиваются, а разноимённые- притягиваются.



Закон Кулона



$$F_{12} = F_{21} = F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2}$$

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

r – расстояние между зарядами

$|q_1| \cdot |q_2|$ – произведение модулей зарядов

ε – диэлектрическая проницаемость среды (диэлектрика)

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \quad k = 9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot M^2}{KJ^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad F = k \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{M}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{KJ^2}{H \cdot M^2}$$

1. Определить расстояние между двумя одинаковыми точечными зарядами по 3 мкКл каждый, находящимися в вакууме, если модуль силы взаимодействия между ними равен 100 мН.

Определить расстояние между двумя одинаковыми точечными зарядами по 3 мкКл каждый, находящимися в вакууме, если модуль силы взаимодействия между ними равен 100 мН.

Дано:

$$F = 100 \text{ мН}$$

$$q_1 = q_2 = q = 3 \text{ мкКл}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$r = ?$$

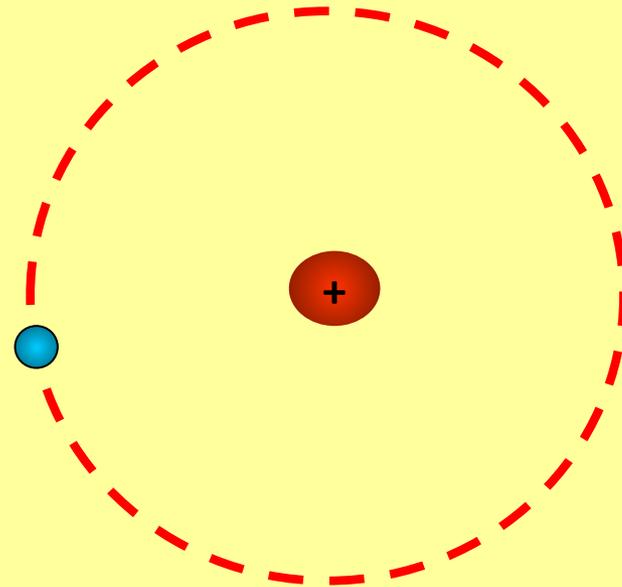
$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2} = k \frac{q^2}{\varepsilon r^2} = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$\Rightarrow r = q \sqrt{\frac{k}{\varepsilon F}}$$

$$r = 3 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9}{100 \cdot 10^{-3}}} = 3 \cdot 10^{-6} \sqrt{9 \cdot 10^{10}} = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^5 = 0,9 \text{ м}$$

Ответ: $r = 0,9 \text{ м}$

2. Во сколько раз электрическое притяжение протона и электрона в атоме водорода больше гравитационного?



Во сколько раз электрическое притяжение протона и электрона в атоме водорода больше гравитационного?

Дано:

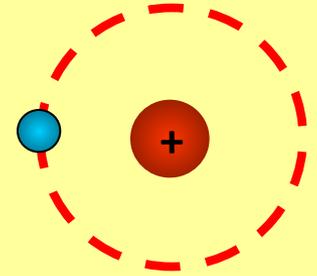
$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$q_e = q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{г}}} - ?$$

$$\left. \begin{aligned} F_{\text{э}} &= k \frac{e^2}{r^2} \\ F_{\text{г}} &= G \frac{m_p \cdot m_e}{r^2} \end{aligned} \right\} \frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{г}}} = \frac{ke^2}{G \cdot m_p \cdot m_e}$$



$$\frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{г}}} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} = 2,27 \cdot 10^{39}$$

Частицы взаимодействуют друг с другом силами, имеющими электрическую природу. Гравитационное взаимодействие между частицами пренебрежимо мало.

3. Во сколько раз уменьшится сила кулоновского отталкивания двух маленьких бусинок с равными зарядами, если, не изменяя расстояния между ними, перенести две трети заряда с первой бусинки на вторую бусинку?

Во сколько раз уменьшится сила кулоновского отталкивания двух маленьких бусинок с равными зарядами, если, не изменяя расстояния между ними, перенести две трети заряда с первой бусинки на вторую бусинку?

Дано:

$$q_1 = q_2 = q$$

$$q'_1 = \frac{1}{3}q$$

$$q'_2 = \frac{5}{3}q$$

$$F_1 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = k \frac{q \cdot q}{r^2}$$

$$F_2 = k \frac{q'_1 \cdot q'_2}{r^2} = k \frac{q \cdot 5q}{3 \cdot 3 \cdot r^2} = \frac{5}{9} k \frac{q \cdot q}{r^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = ?$$

Ответ: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{9}{5} = 1,8$

4. Два **одинаковых** металлических шарика, заряд одного из которых первоначально равен -5 мкКл, соприкасаются и затем снова разводятся. Заряд одного из шариков после разведения равен 3 мкКл. Определить в микрокулонах заряд второго шарика до соприкосновения.

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = 2q'$$

$$-5 + q_2 = 2 \cdot 3$$

$$q_2 = 11 \text{ мкКл}$$

Ответ: 11 мкКл

5. Два одинаковых шарика, имеющих заряды $+15 \cdot 10^{-8}$ Кл и $-5 \cdot 10^{-8}$ Кл, привели в соприкосновение, а затем раздвинули на расстояние 10 см. Определите силу взаимодействия между шариками.

Два одинаковых шарика, имеющих заряды $+15 \cdot 10^{-8}$ Кл и $-5 \cdot 10^{-8}$ Кл, привели в соприкосновение, а затем раздвинули на расстояние 10 см. Определите силу взаимодействия между шариками.

Дано:

$$q_1 = +15 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$r = 10 \text{ см}$$

$$F = ?$$

По закону сохранения электрического заряда

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = 2q'$$

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$F = k \frac{q' \cdot q'}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (5 \cdot 10^{-8})^2}{0,01} = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

Ответ: $F = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$

6. На концах отрезка длиной 4 см расположены точечные заряды +6 и +3 мкКл. Найти модуль силы, действующей на заряд 2 мкКл, помещенный в середине отрезка.

Дано:

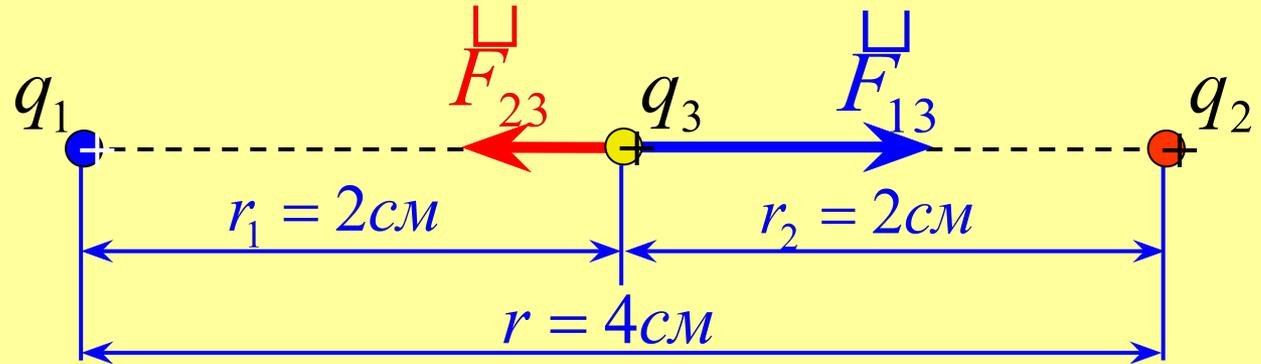
$$r = 4 \text{ см}$$

$$q_1 = 6 \text{ мкКл}$$

$$q_2 = 3 \text{ мкКл}$$

$$q_3 = 2 \text{ мкКл}$$

$$F = ?$$



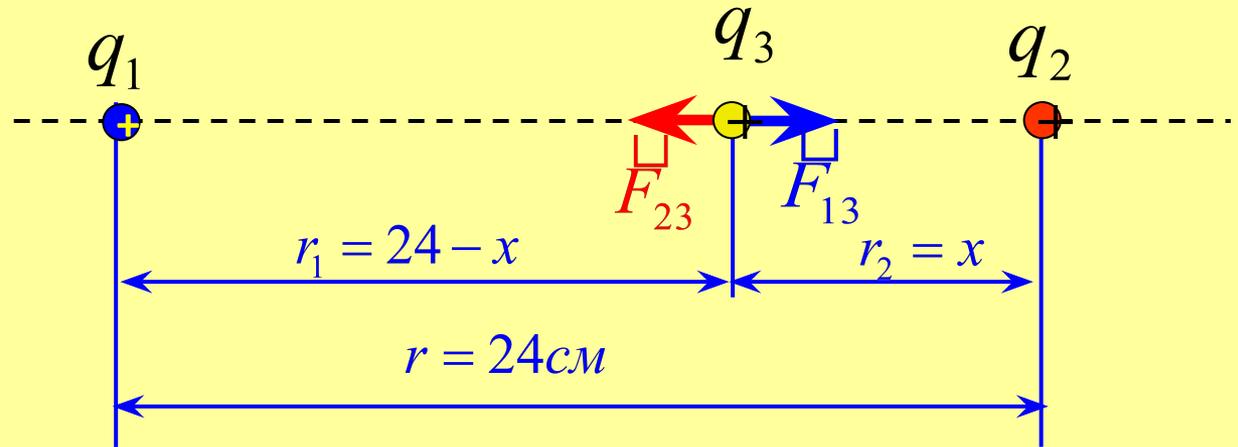
$$\vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$

$$\vec{F} = F_{13} - F_{23}$$

$$F_{13} = k \frac{q_1 \cdot q_3}{r_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-4}} = 270 \text{ Н}$$

$$F_{23} = \frac{1}{2} F_{13} = 135 \text{ Н} \quad F = 270 - 135 = 135 \text{ Н}$$

7. Заряды 90 и 10 нКл расположены на расстоянии 24 см друг от друга. Где надо поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии?



$$F_{13} = F_{23}$$

$$\frac{\cancel{k}q_1q_3}{(24-x)^2} = \frac{\cancel{k}q_2q_3}{x^2}$$

$$\frac{3}{(24-x)} = \frac{1}{x}$$

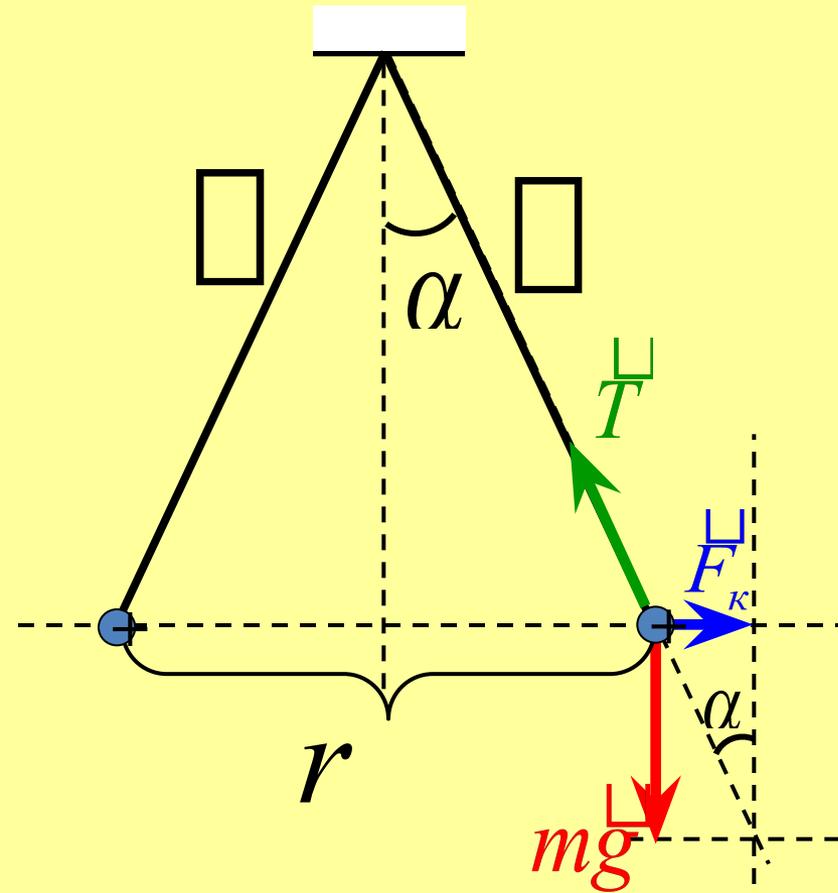
$$\frac{\sqrt{q_1}}{(24-x)} = \frac{\sqrt{q_2}}{x}$$

$$3x = 24 - x$$

$$4x = 24$$

$$x = 6 \text{ см}$$

8. Два маленьких шарика с одинаковыми массами m висят на нитях равной длины l . Какой заряд нужно сообщить шарикам, чтобы натяжение нитей стало равным T ?

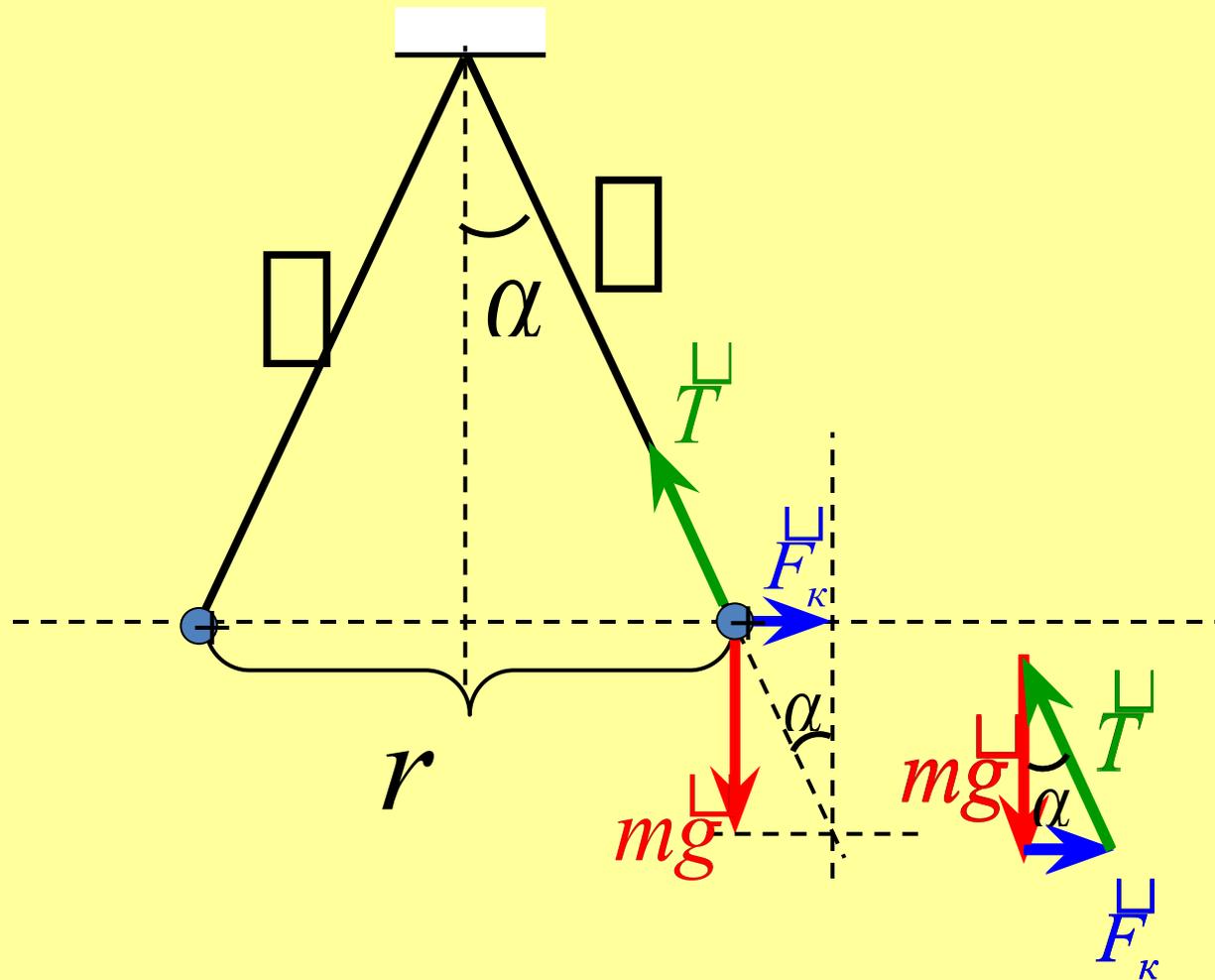


$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{T^2 - (mg)^2}}{T}$$

$$r = 2l \sin \alpha = 2l \frac{\sqrt{T^2 - (mg)^2}}{T}$$

$$F_K = \sqrt{T^2 - (mg)^2} = \frac{kq^2}{r^2}$$

9. Два одинаковых маленьких заряженных шарика, подвешенных на нитях равной длины, опускают в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был одинаков?



Два одинаковых маленьких заряженных шарика, подвешенных на нитях равной длины, опускают в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в в воздухе и керосине был одинаков?

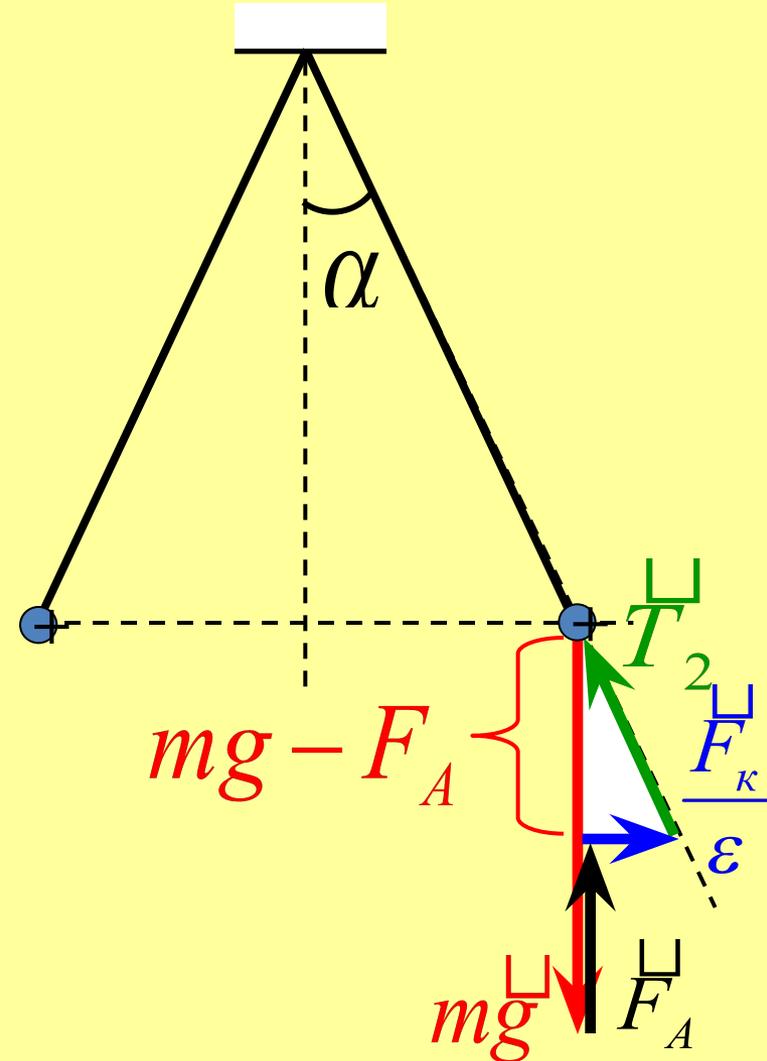
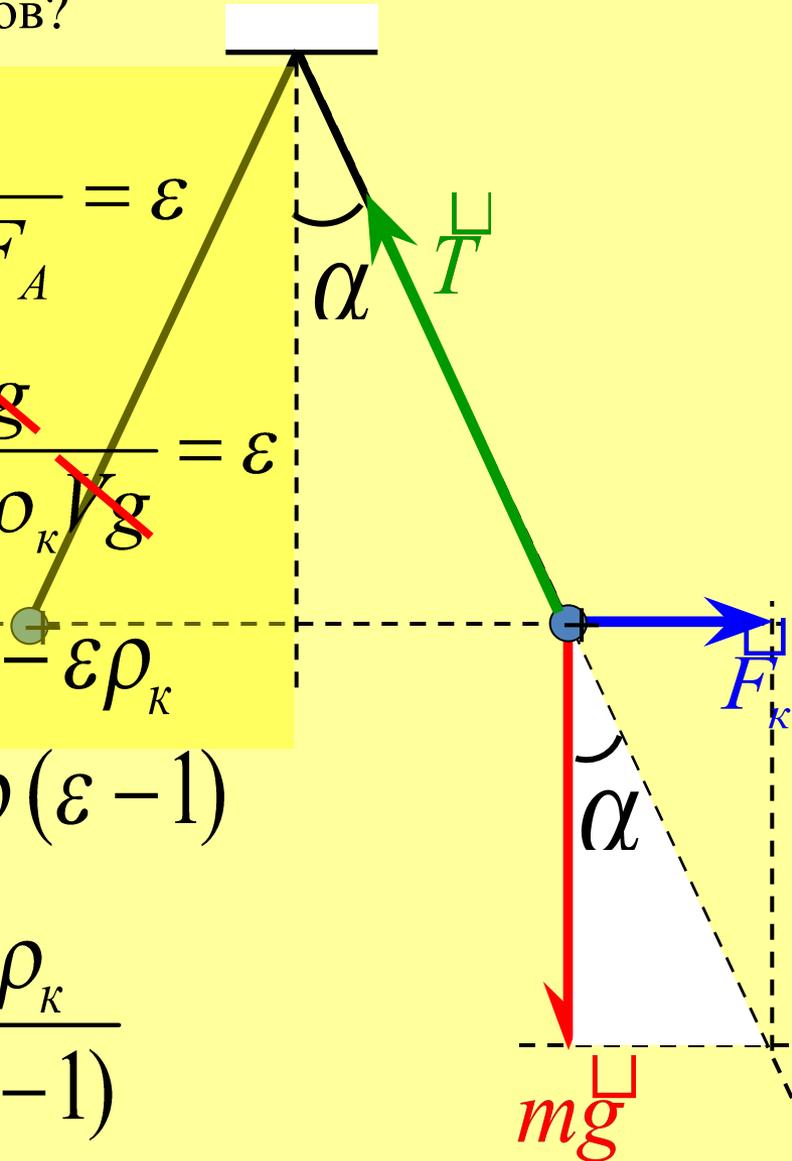
$$\frac{mg}{mg - F_A} = \varepsilon$$

~~$$\frac{\rho V g}{\rho V g - \rho_k V g} = \varepsilon$$~~

~~$$\rho = \varepsilon \rho - \varepsilon \rho_k$$~~

~~$$\varepsilon \rho_k = \rho (\varepsilon - 1)$$~~

$$\rho = \frac{\varepsilon \rho_k}{(\varepsilon - 1)}$$



Закон Кулона

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2}$$

Как изменится сила Кулона, если:

- Величину каждого заряда увеличить в 2 раза?
- Расстояние между зарядами уменьшить в 3 раза?
- Величину каждого заряда увеличить в 4 раза, а расстояние между ними уменьшить в 2 раза?
- Какова диэлектрическая проницаемость среды, если сила взаимодействия зарядов в ней уменьшилась в 4 раза по сравнению с вакуумом?

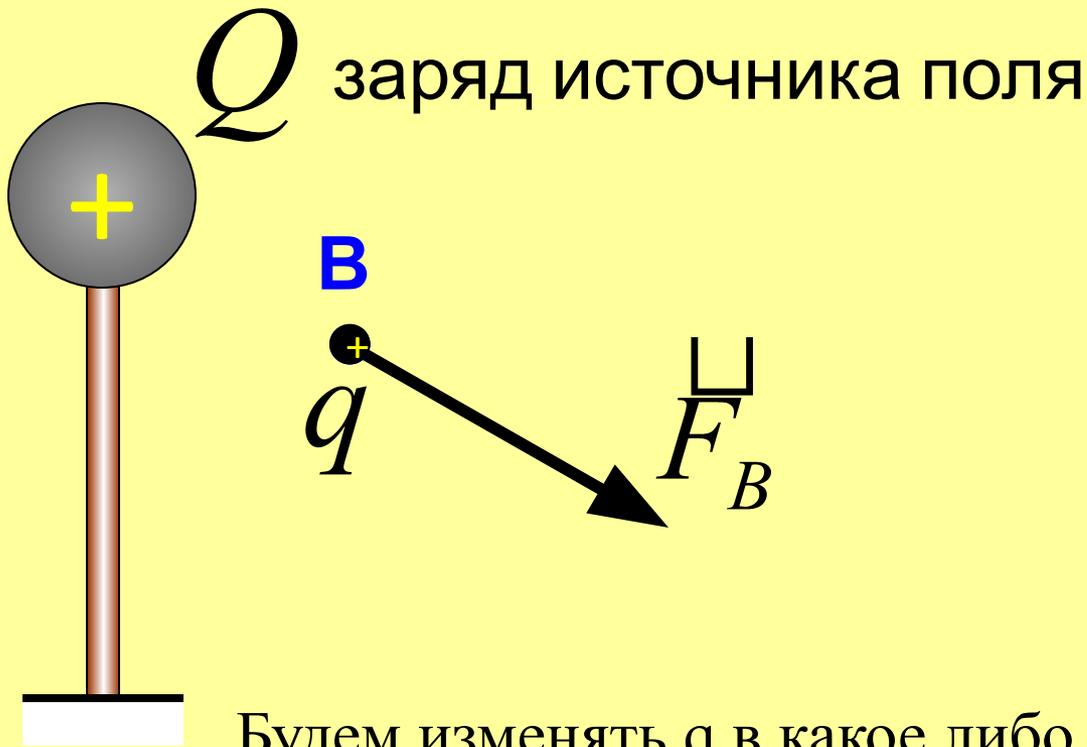
Физический диктант №1

- 1. Какая физическая величина определяет электромагнитное взаимодействие?
- 2. Как называется процесс, приводящий к появлению на телах электрических зарядов?
- 3. Может ли заряд существовать независимо от частицы?
- 4. В каких единицах измеряют электрический заряд?
- 5. Создаем ли мы заряды при электризации тел?
- 6. Способы электризации тел.
- 7. Если тело электрически нейтрально, то означает ли это, что оно не содержит электрических зарядов?
- 8. Верно ли утверждение, что в замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной?
- 9. При увеличении расстояния между зарядами в три раза сила их взаимодействия...
- 10. Величина, характеризующая электрические свойства среды.

Напряженность электрического поля

- **Электрическим полем** называют особый вид материи, данный в ощущениях, существующий независимо от нас и наших знаний о нём..
- Поле, создаваемое неподвижными зарядами, называют ***электростатическим***.
- **Свойства электрического поля:**
 - а) порождается электрическими зарядами;
 - б) обнаруживается по действию на заряд;
 - в) действует на заряды с некоторой силой.
- **Напряженность электрического поля** в данной точке численно равна отношению силы, с которой поле действует на электрический заряд, помещенный в эту точку, к величине этого заряда .

Напряженность электрического поля



Будем изменять q в какое либо число раз. Опыт покажет:

$$\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \dots = \frac{F_n}{q_n} = \text{const} = E$$

- **Напряженность**- силовая характеристика электрического поля. $E = \frac{F}{q}$

$$F = E \cdot q$$

- **Единица измерения.** $\frac{Н}{Кл}$; $\frac{В}{м}$

- **Напряженность поля точечного заряда.**

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

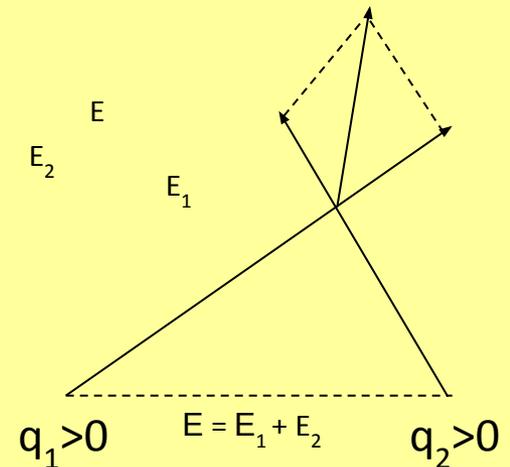
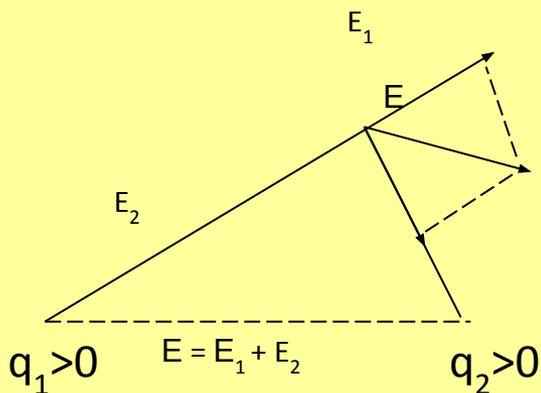
$$E = \frac{k \cdot |q|}{r^2}$$

Принцип суперпозиции полей

Если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, напряженности которых E_1, E_2, E_3 и т.д., то результирующая напряженность поля равна:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Для двух зарядов:



Напряженность электрического поля измеряют с помощью пробного заряда. Как изменится модуль напряженности, если величину пробного заряда увеличить в 2 раза?

А) Не изменится.

Б) Уменьшится в 2 раза.

В) Увеличится в 2 раза.

Г) Уменьшится в $\sqrt{2}$ раз.

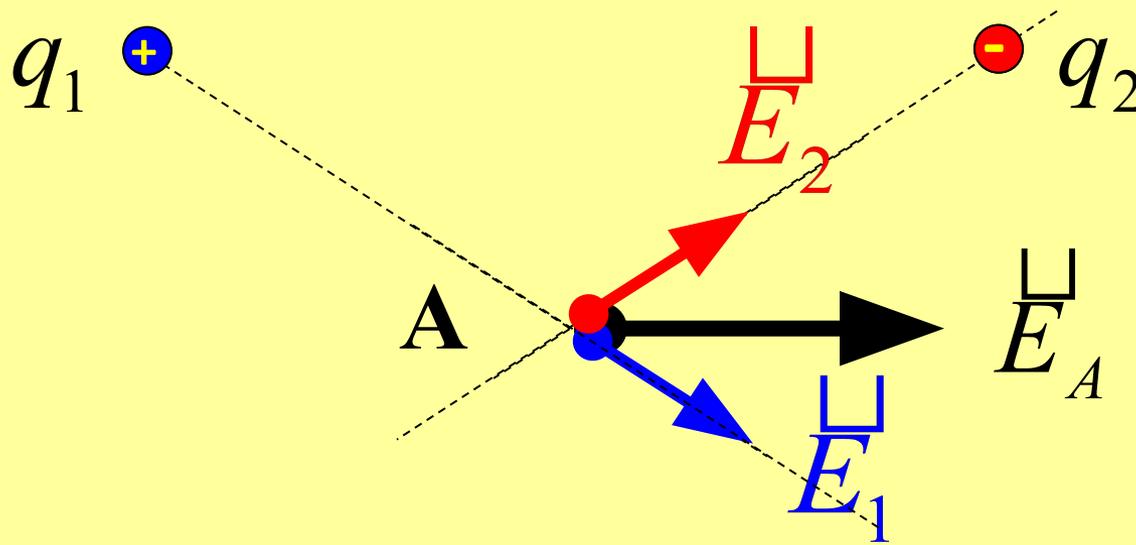
Д) Увеличится в $\sqrt{2}$ раз.

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

$$E = \frac{F}{q} = \frac{k\cancel{q}Q}{r^2\cancel{q}} = \frac{kQ}{r^2}$$

А) Не изменится.

Б) q_1 - положительный, q_2 - отрицательный.



Электрическое поле создается двумя одинаковыми по величине точечными зарядами q_1 и q_2 . Вектор напряженности электрического поля в точке А, равноудаленной от зарядов, направлен, как показано на рисунке. Каковы знаки зарядов?

А) q_1 - отрицательный, q_2 - отрицательный

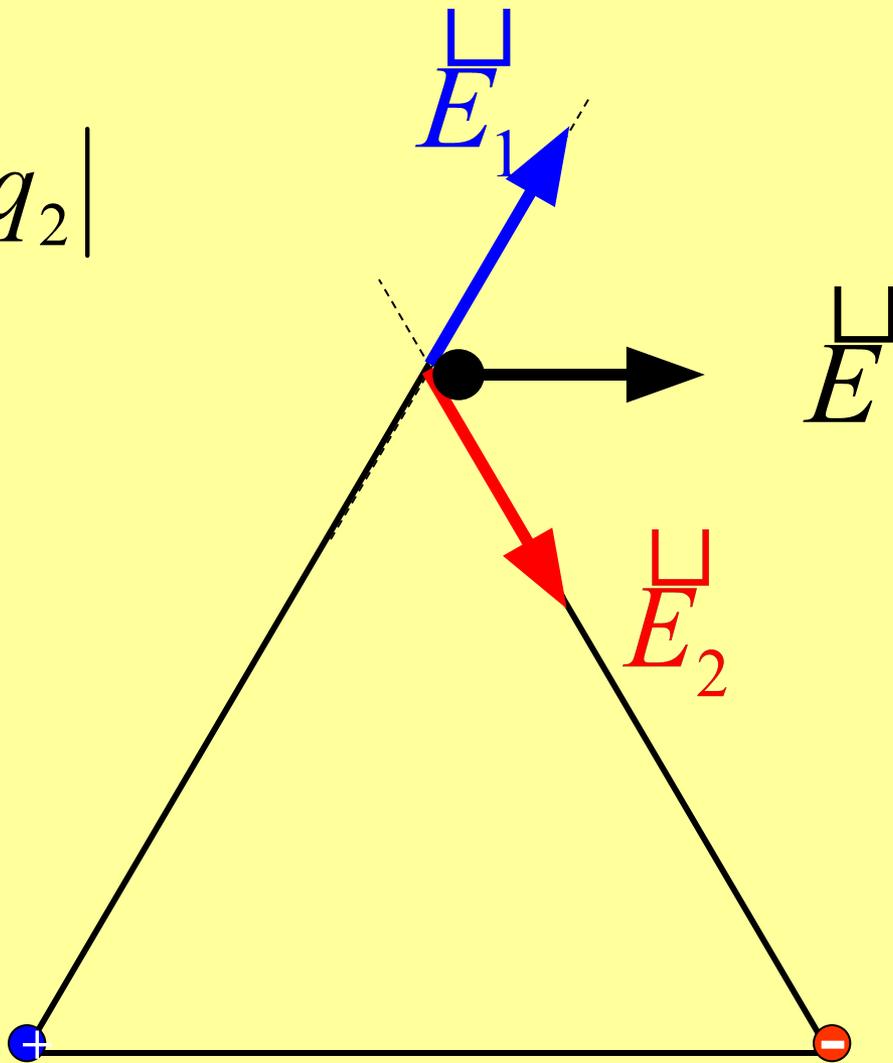
Б) q_1 - положительный, q_2 - отрицательный.

В) q_1 - отрицательный, q_2 - положительный.

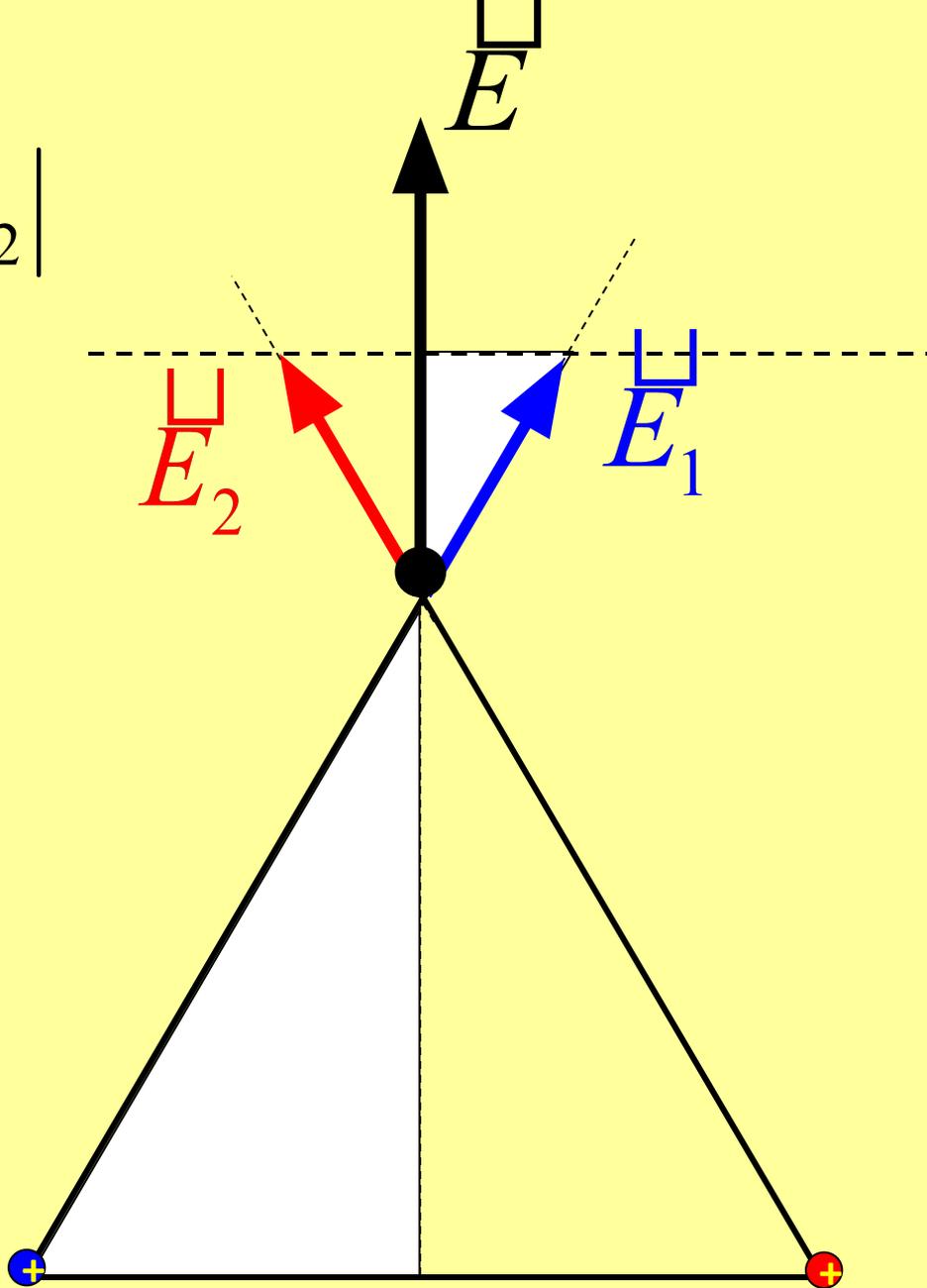
Г) q_1 - положительный, q_2 - положительный.

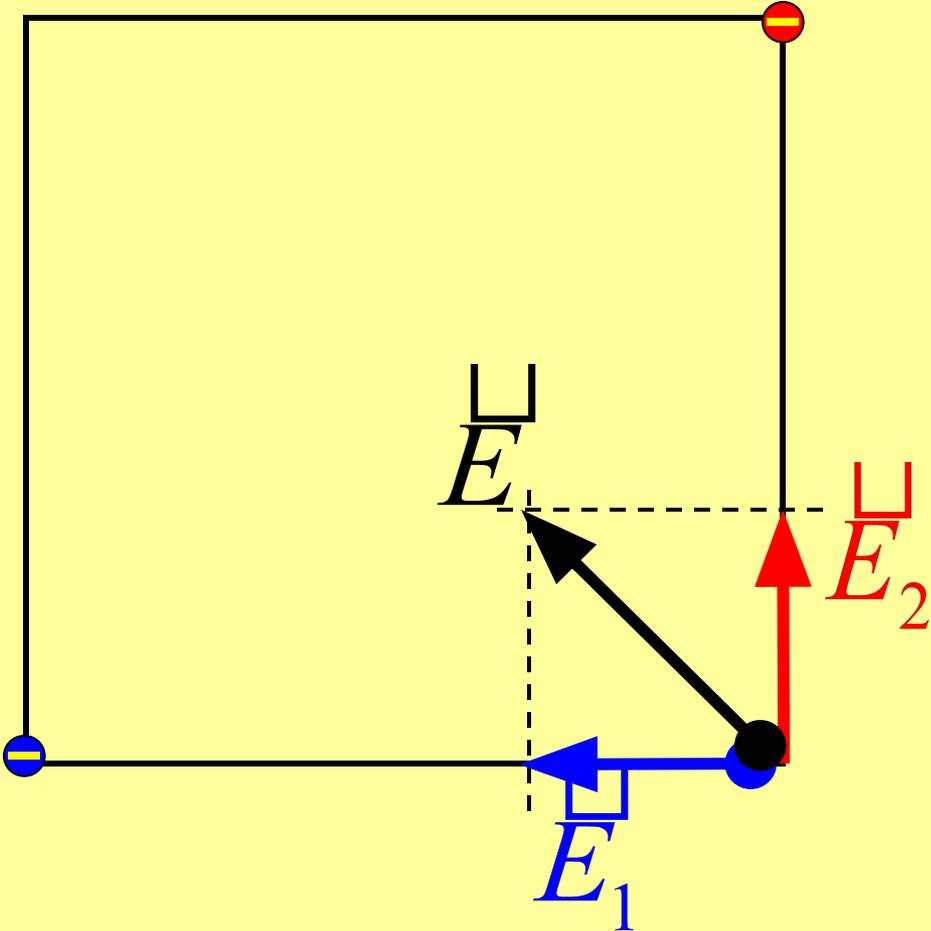
Д) Ответ не однозначен.

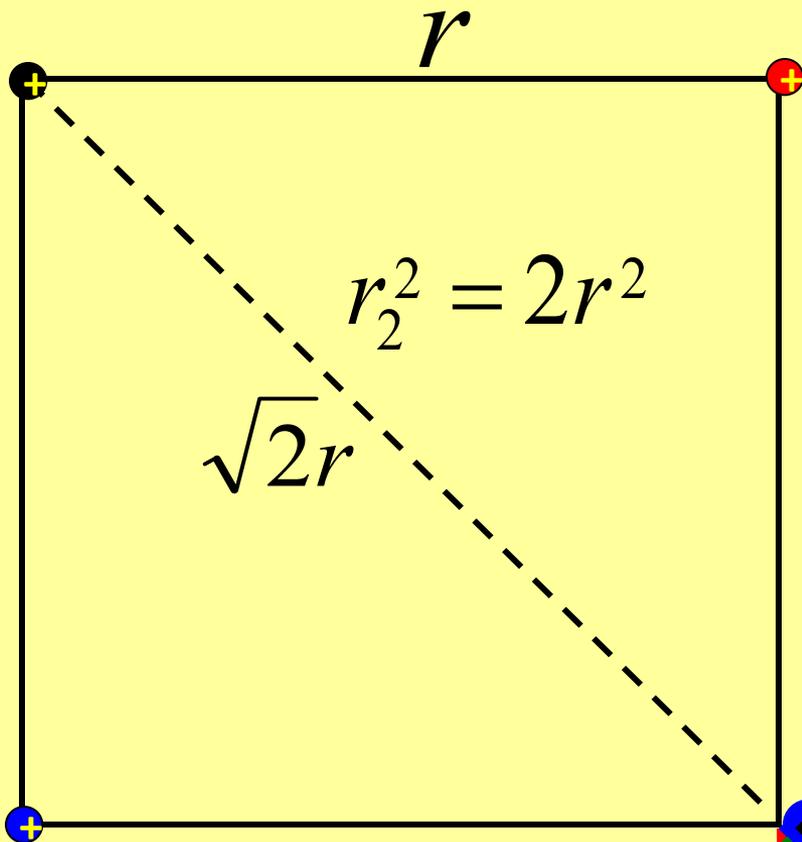
$$|q_1| = |q_2|$$



$$|q_1| = |q_2|$$

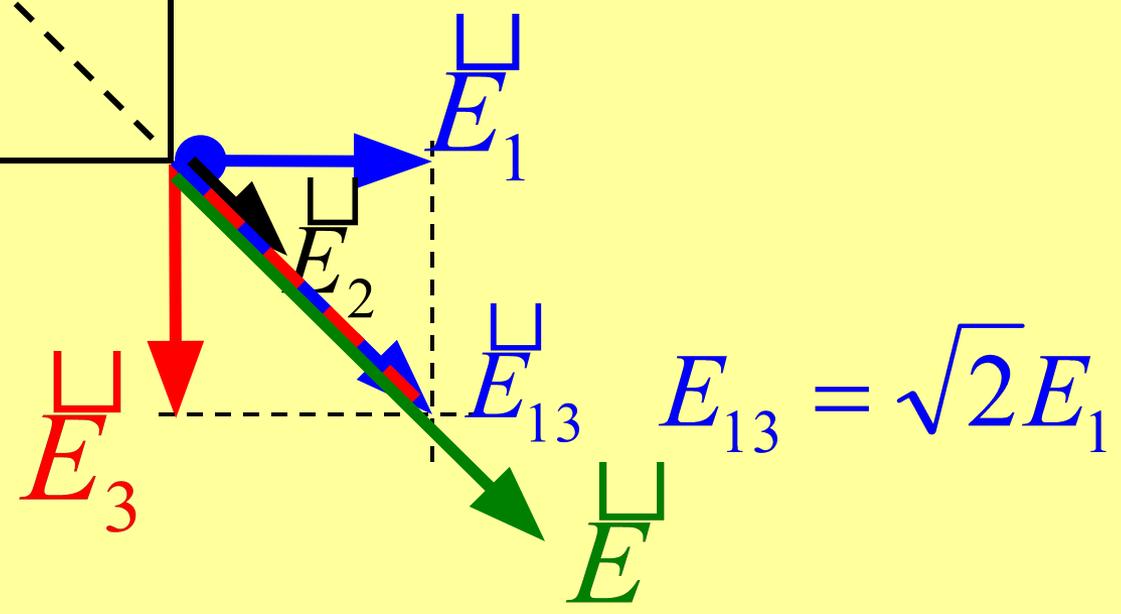






$$E_2 = \frac{1}{2} E_1$$

$$E = E_1 \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2} \right)$$



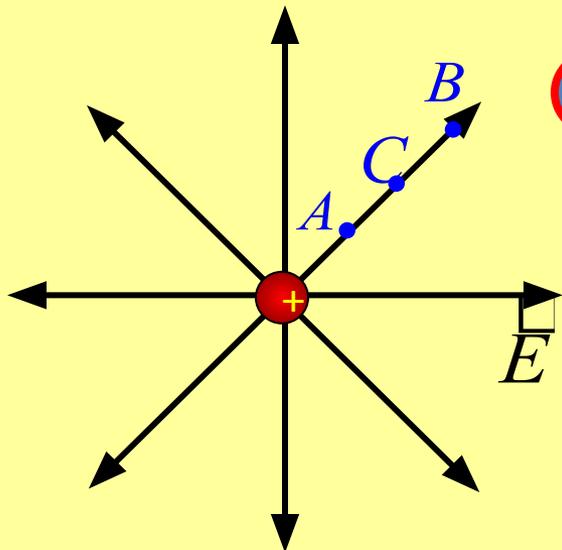
В точке А напряженность поля равна 63 Н/Кл, а в точке В – 7 Н/Кл. Найдите напряженность поля в точке С, лежащей посередине между точками А и В.

Дано:

$$E_A = 63 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$E_B = 7 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$AC = CB$$



1

$$\left. \begin{aligned} E_A &= \frac{kq}{r_A^2} \\ E_B &= \frac{kq}{r_B^2} \end{aligned} \right\} \frac{E_A}{E_B} = \frac{r_B^2}{r_A^2} = \frac{63}{7} = 9$$

$$\frac{r_B}{r_A} = 3 \Rightarrow r_B = 3r_A$$

$$E_C = ?$$

2

$$r_C = \frac{r_A + r_B}{2} = \frac{r_A + 3r_A}{2} = 2r_A$$

3

$$\left. \begin{aligned} E_C &= \frac{kq}{r_C^2} \\ E_A &= \frac{kq}{r_A^2} \end{aligned} \right\} \frac{E_C}{E_A} = \frac{r_A^2}{r_C^2} = \frac{1}{4}$$

$$E_C = \frac{E_A}{4} = \frac{63}{4} = 15,75 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

Заряды по $0,1 \text{ мкКл}$ расположены на расстоянии 6 см друг от друга. Найти напряженность в точке, удаленной на 5 см от каждого из зарядов. Решите задачу для двух случаев: а) оба заряда положительные; б) заряды разноименные.

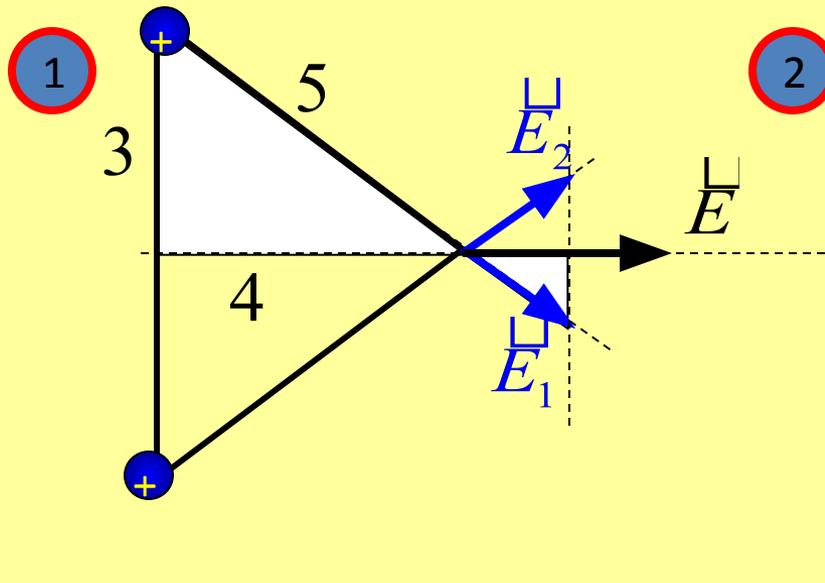
Дано:

$$q_1 = q_2 = q = 0,1 \text{ мкКл}$$

$$a = 6 \text{ см}$$

$$r_1 = r_2 = 5 \text{ см}$$

$E_A = ?$



$$\frac{0,5E}{E_1} = \frac{4}{5}$$

$$E = \frac{8}{5} E_1$$

$$E = \frac{8}{5} \frac{kq}{r_1^2} = \frac{8 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 25 \cdot 10^{-4}} = 576 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 576 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$$

Ответ: $E = 576 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$

Заряды по $0,1 \text{ мкКл}$ расположены на расстоянии 6 см друг от друга. Найти напряженность в точке, удаленной на 5 см от каждого из зарядов. Решите задачу для двух случаев: а) оба заряда положительные; б) заряды разноименные.

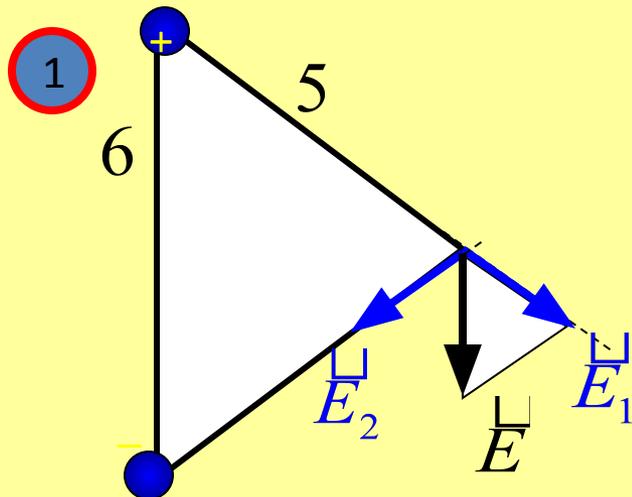
Дано:

$$q_1 = q_2 = q = 0,1 \text{ мкКл}$$

$$a = 6 \text{ см}$$

$$r_1 = r_2 = 5 \text{ см}$$

$E_A = ?$



$$\frac{E}{E_1} = \frac{6}{5}$$

$$E = \frac{6}{5} E_1$$

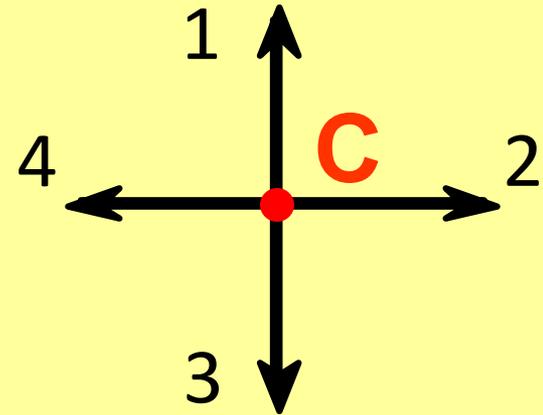
$$E = \frac{6}{5} \frac{kq}{r_1^2} = \frac{6 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 25 \cdot 10^{-4}} = 432 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 432 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$$

Ответ: $E = 432 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$

Какое направление имеет вектор напряженности в точке C электростатического поля двух одинаковых точечных электрических зарядов, расположенных относительно точки C так, как это представлено на рисунке.

- А. 1
- Б. 2
- В. 3
- Г. 4

А. 1

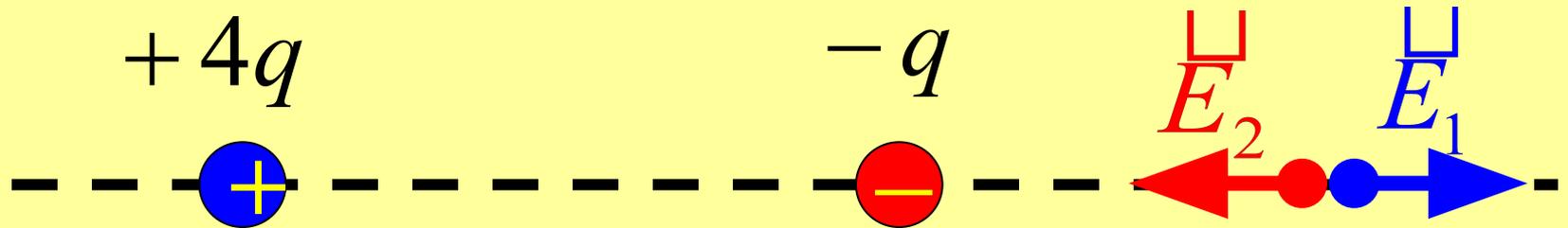


Какое направление имеет вектор кулоновской силы, действующей на отрицательный точечный заряд, помещенный в точку C ?

- А. 1
- Б. 2
- В. 3
- Г. 4

В. 3

В) Справа от заряда $-q$.



Два точечных заряда $+4q$ и $-q$ расположены на некотором расстоянии друг от друга. Где на прямой, проходящей через заряды, находится точка, напряженность электростатического поля в которой равна нулю?

А) Слева от заряда $+4q$

Б) Между зарядами

В) Справа от заряда $-q$.

Г) Такой точки не существует.

Д) Напряженность электростатического поля всюду равна нулю.

$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

Как изменится по модулю напряженность электрического поля точечного заряда при увеличении расстояния от заряда в 2 раза?

А. Увеличится в 4 раза.

Б. Увеличится в 2 раза.

В. Не изменится.

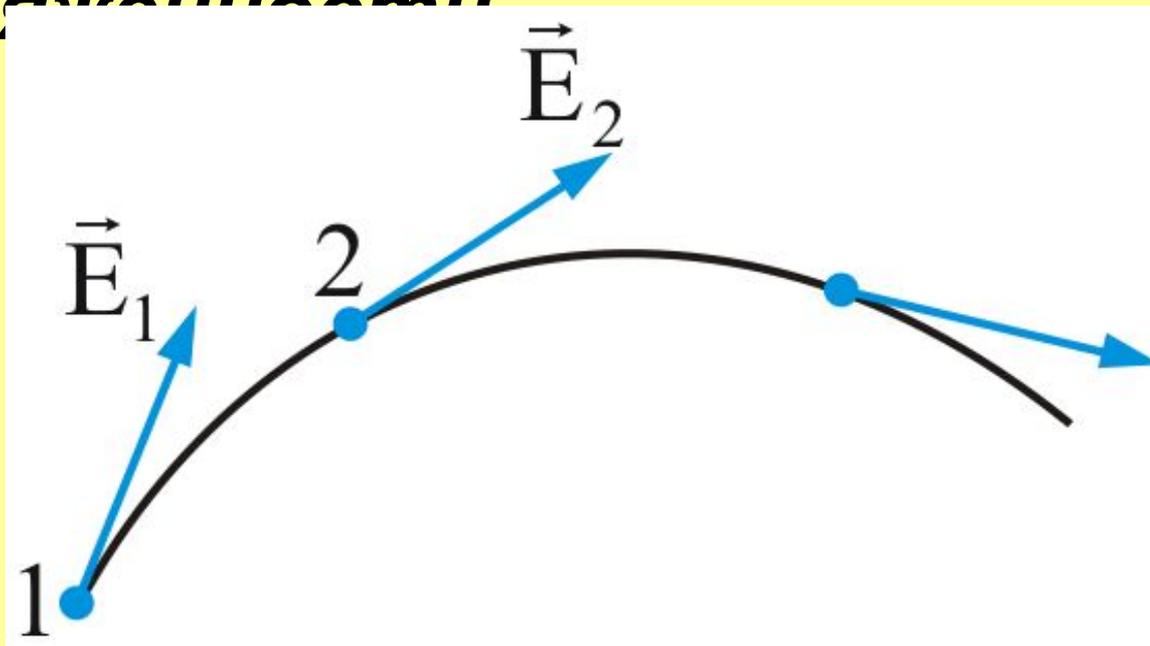
Г. Уменьшится в 4 раза.

Д. Уменьшится в 2 раза.

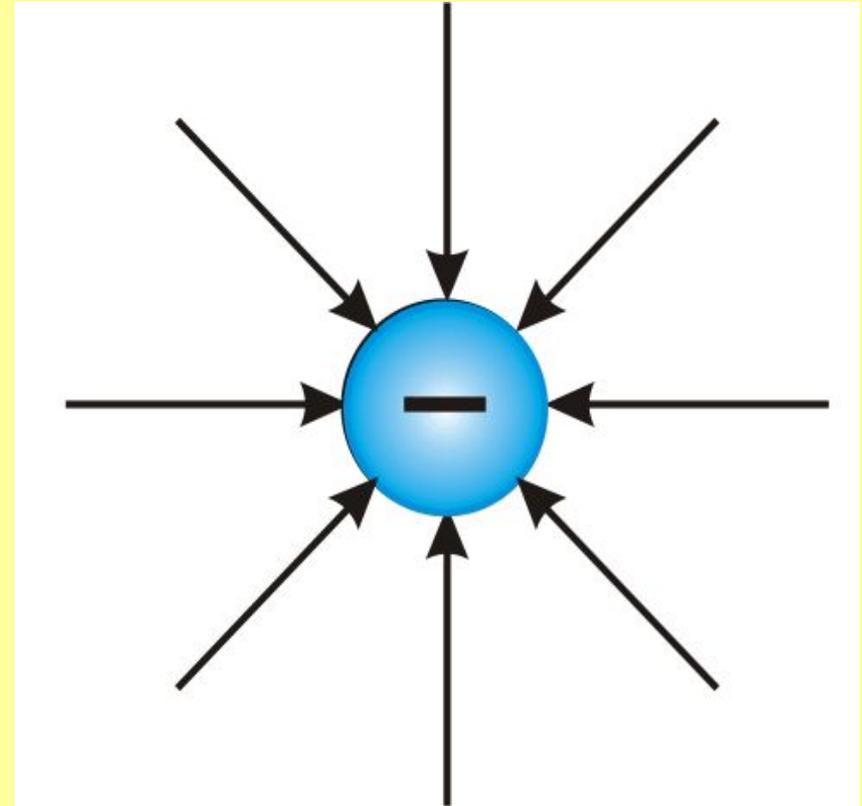
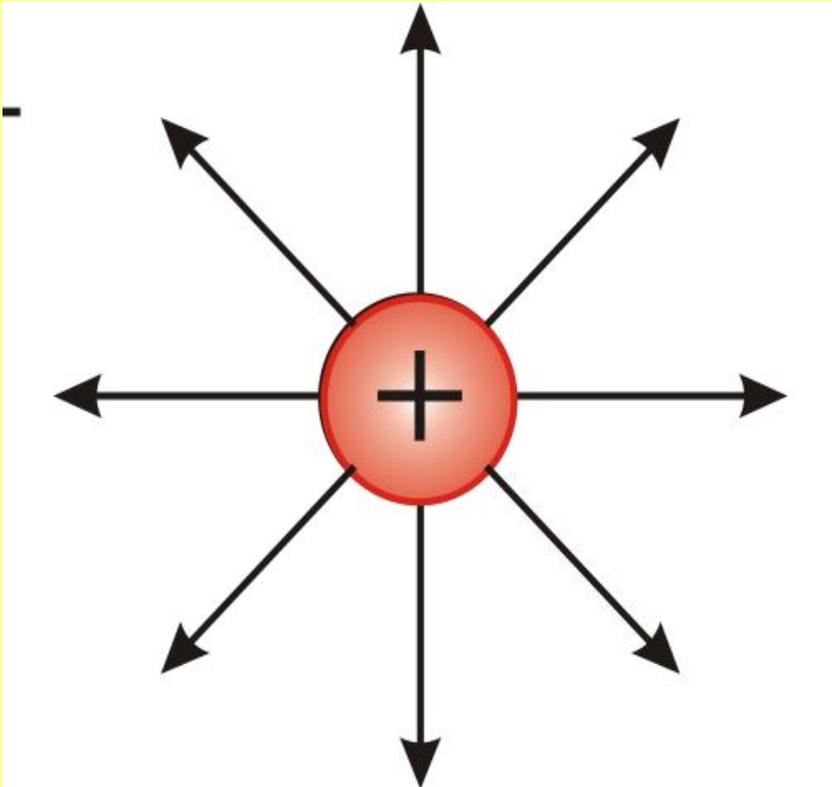
$$E_2 = k \frac{q}{\epsilon (2r)^2} = \frac{E}{4}$$

Г. Уменьшится в 4 раза

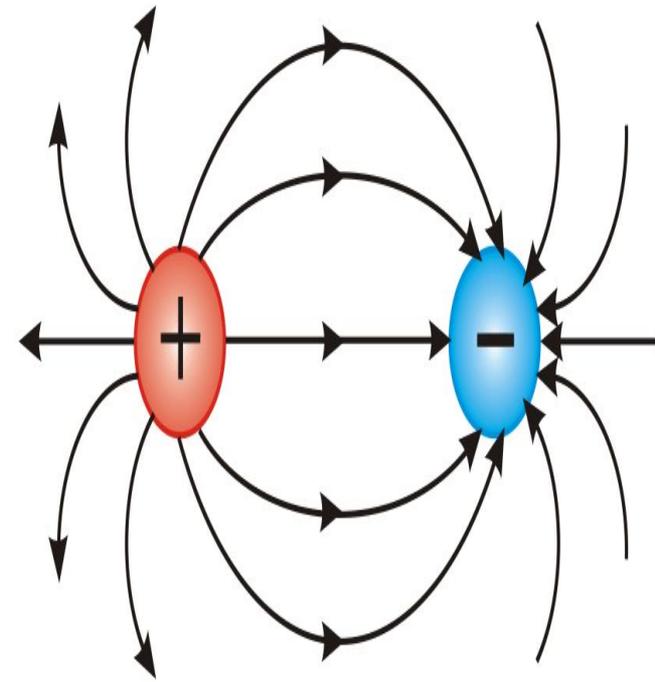
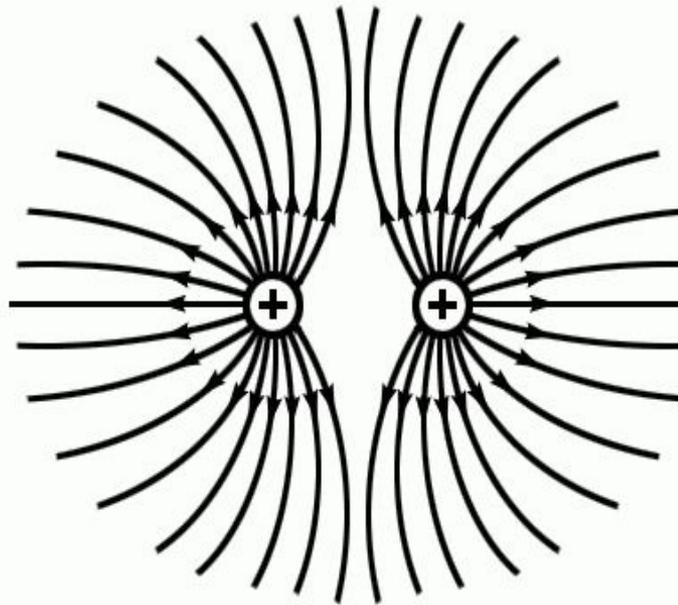
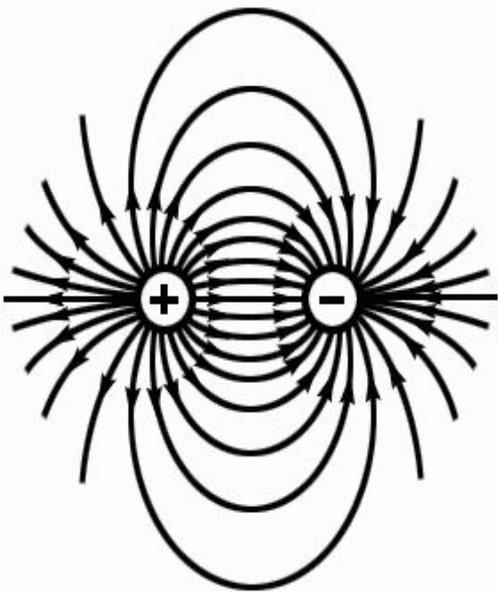
- **силовые линии или линии напряжённости** – это линии, касательная к которым в любой точке поля совпадает с направлением вектора напряжённости



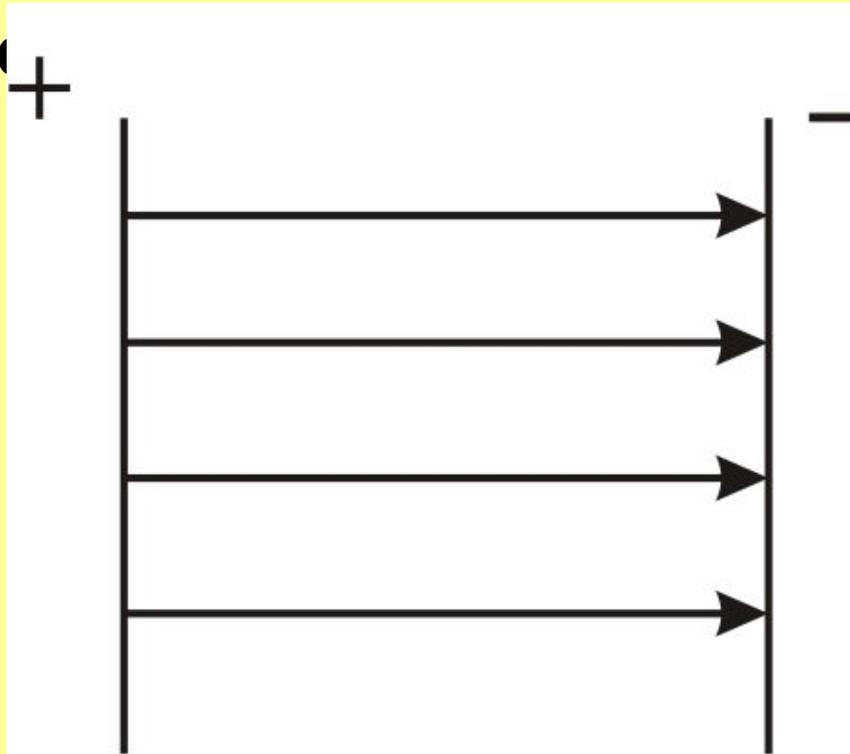
В случае точечного заряда, линии напряженности исходят из положительного заряда и уходят в бесконечность; и из бесконечности входят в отрицательный заряд.



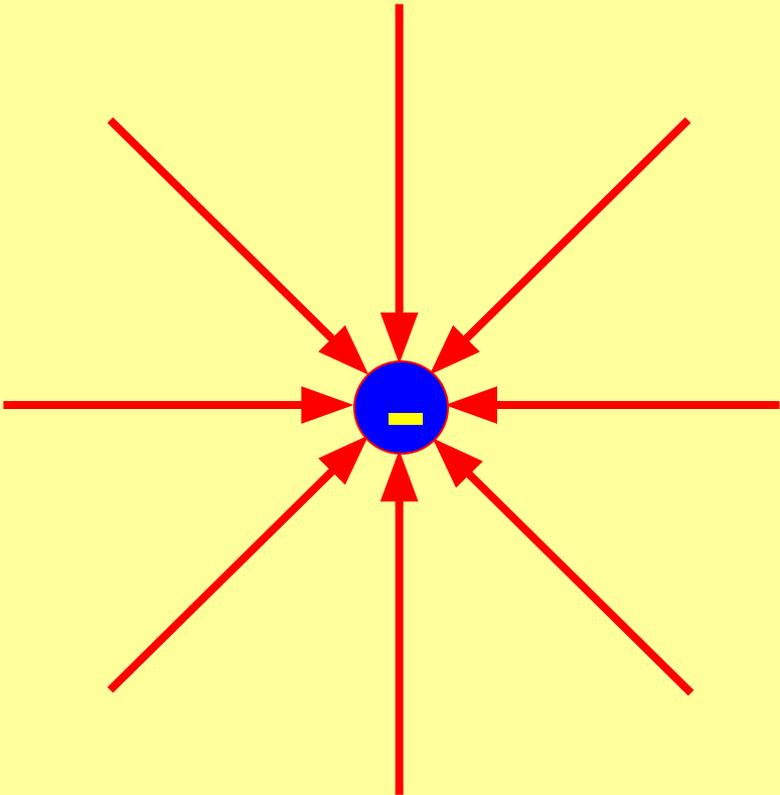
- **Силовые линии выходят из положительных зарядов и входят в отрицательные заряды.**
Линии напряженности непрерывны и не пересекаются.



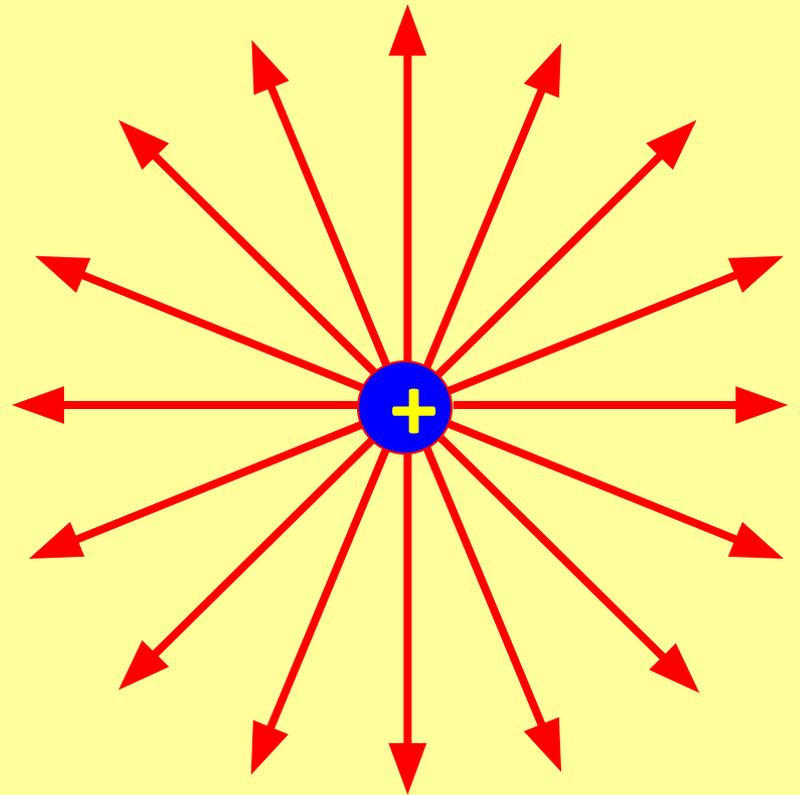
- **Однородным** называется электростатическое поле, во всех точках которого напряженность одинакова по величине и направлению, т.е. Однородное электростатическое поле изображается параллельными силовыми линиями на равном рас

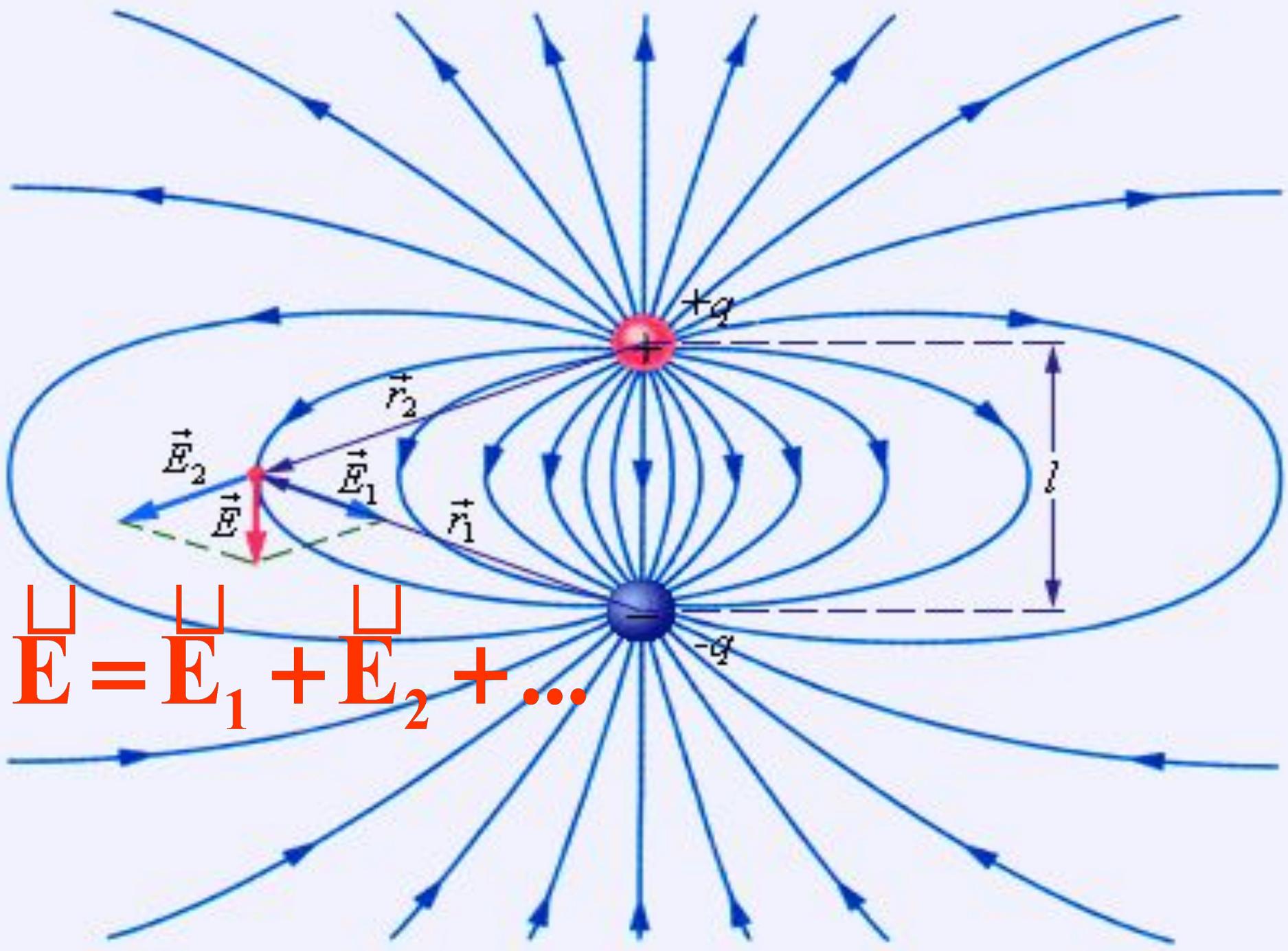


$-q$



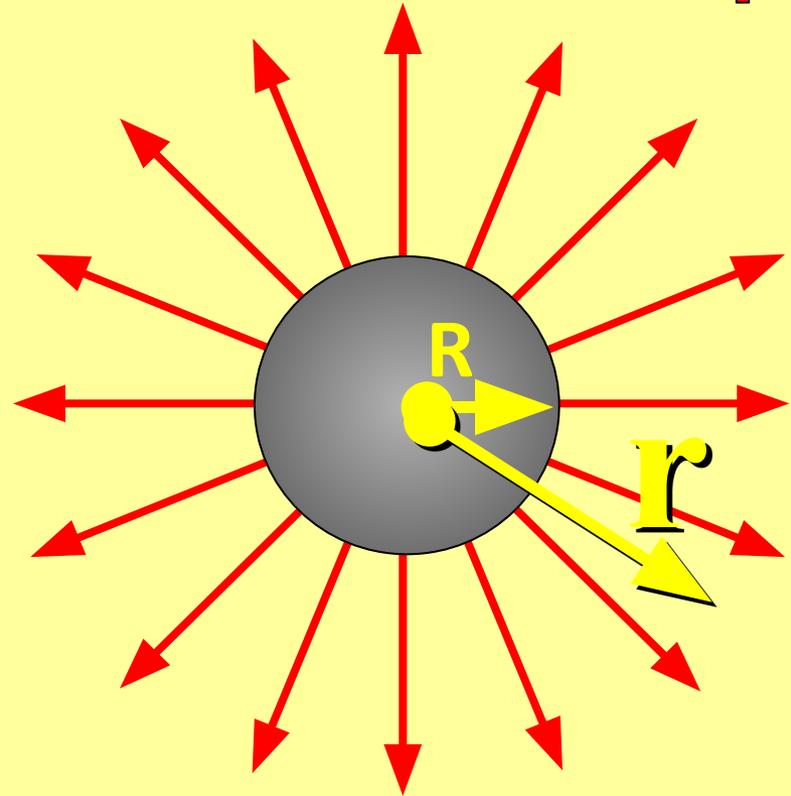
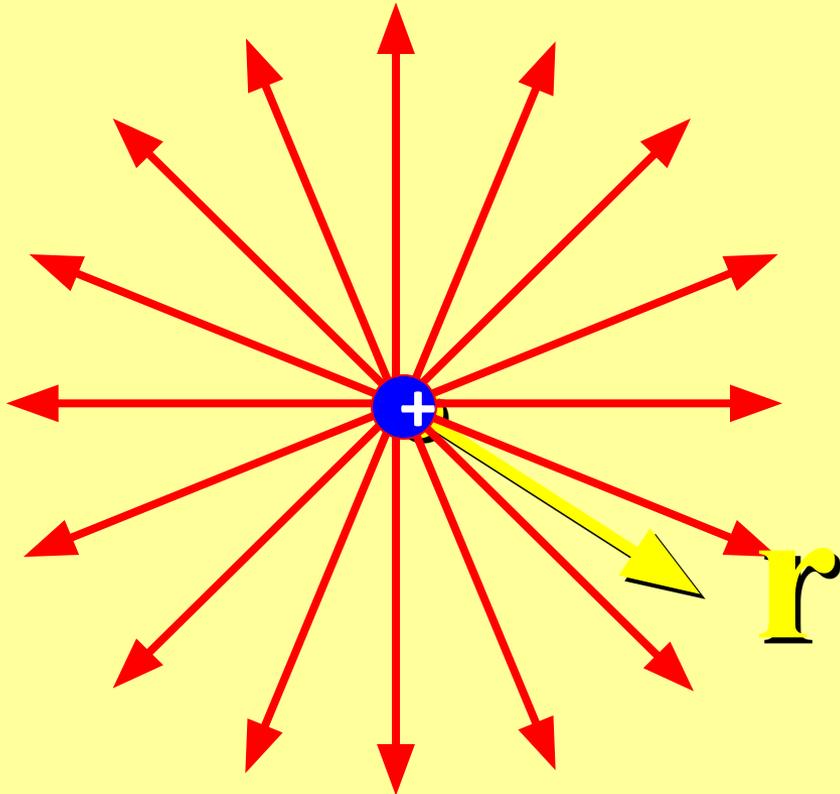
$+2q$





$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

Напряженность поля шара



$$\text{Если } k \frac{q}{\epsilon r^2}, R$$

$$\geq$$

$$E = 0, \text{ если } r < R$$

Напряженность поля на поверхности шара

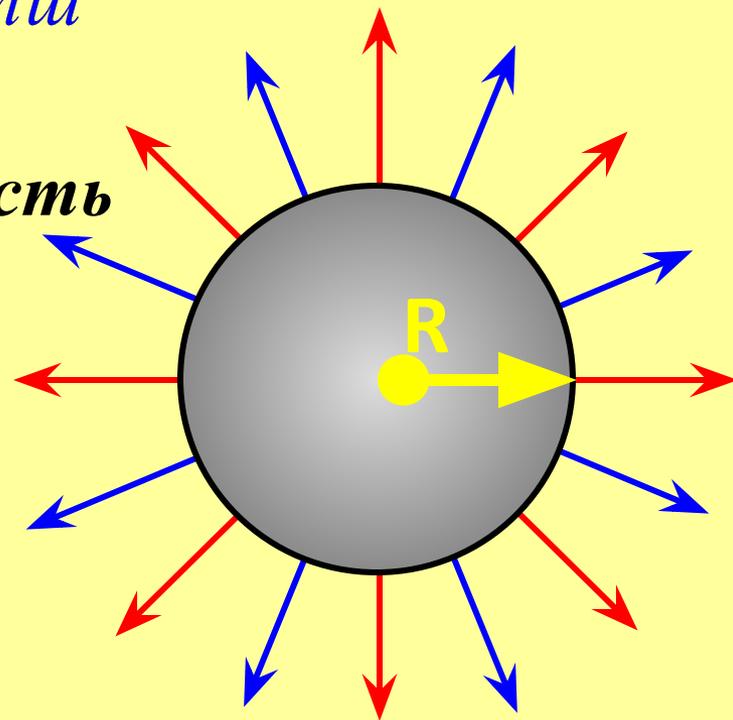
$$E_{\text{пш}} = k \frac{Q}{\epsilon R^2} \quad \bigcirc \quad \bigcirc = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0 S}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad 4\pi R^2 = S_{\text{пш}} = S$$

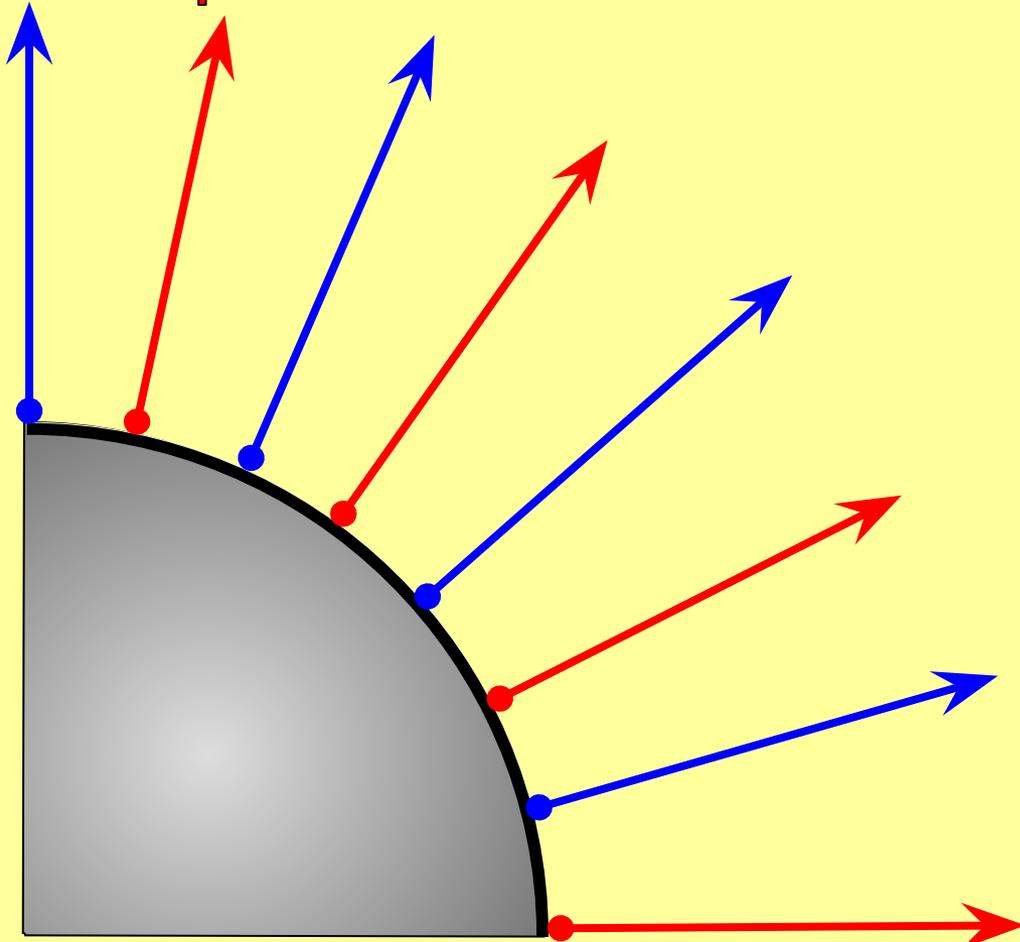
$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

*поверхностная плотность
электрического заряда*

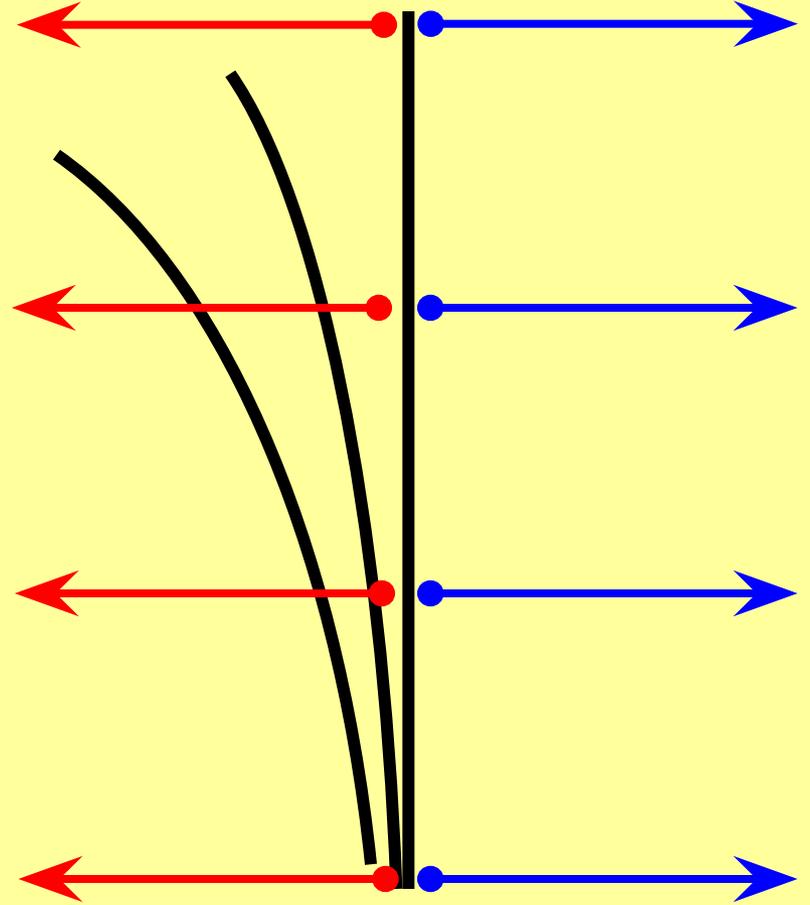
$$E_{\text{пш}} = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}$$



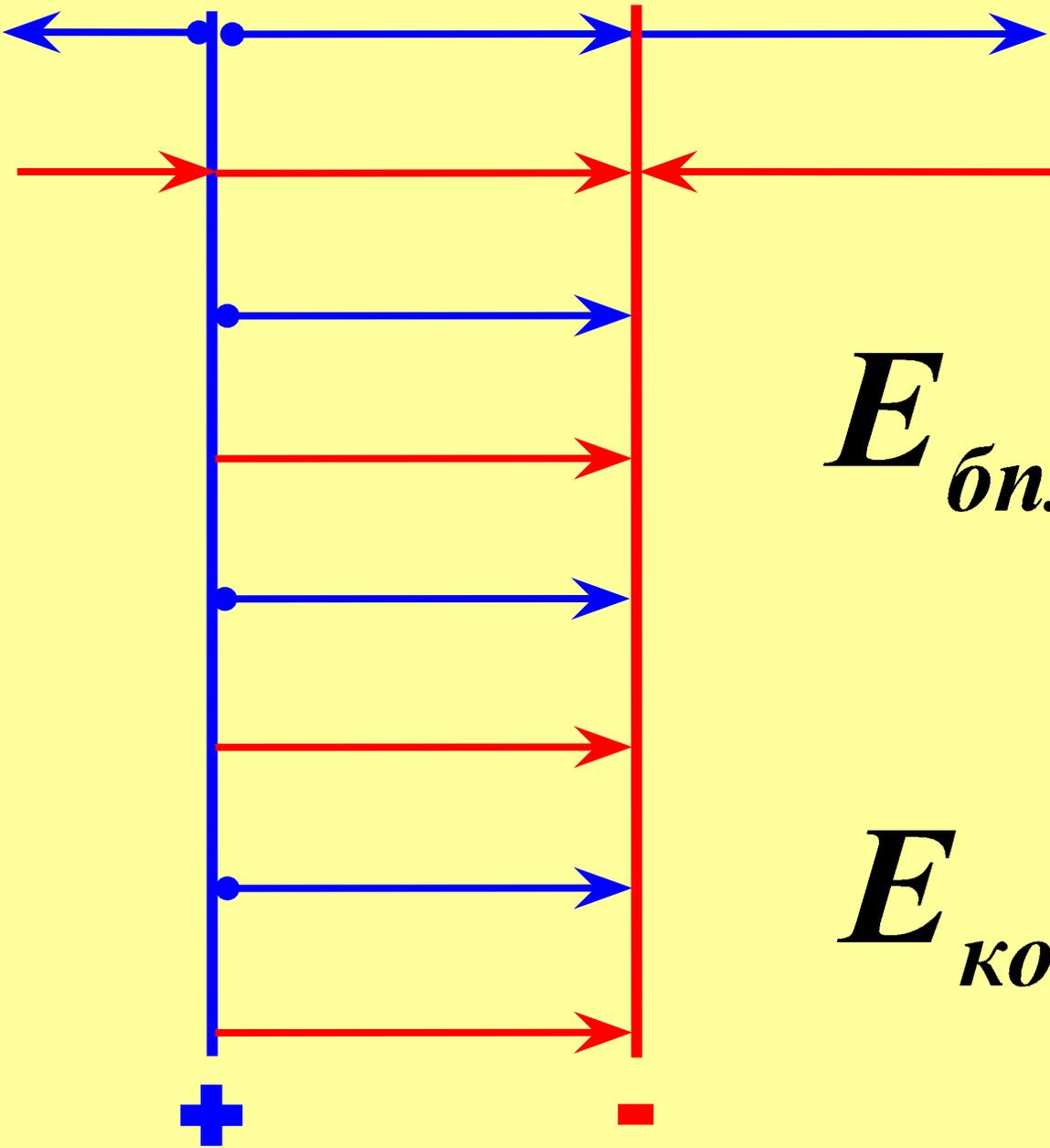
Напряженность поля бесконечной плоскости



$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}$$



$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



$$E_{\text{бпл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_{\text{конд}} = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$$

$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

Как изменится по модулю напряженность электрического поля точечного заряда при увеличении расстояния от заряда в 2 раза?

А. Увеличится в 4 раза.

Б. Увеличится в 2 раза.

В. Не изменится.

Г. Уменьшится в 4 раза.

Д. Уменьшится в 2 раза.

$$E_2 = k \frac{q}{\epsilon (2r)^2} = \frac{E}{4}$$

Г. Уменьшится в 4 раза

Точечный заряд 10^{-9} Кл находится на расстоянии 1 см от середины равномерно заряженной пластины площадью 400 см^2 и зарядом 10^{-6} Кл. Определите поверхностную плотность электрического заряда пластины и силу взаимодействия точечного заряда с пластиной.

Дано:

$$q = 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$Q = 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$S = 400 \text{ см}^2$$

$$r = 1 \text{ см}$$

σ - ?

F - ?

$$1) \quad \sigma = \frac{Q}{S} = \frac{10^{-6} \text{ Кл}}{4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} = 2,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$2) \quad r^2 = 1 \text{ см}^2 \ll S = 400 \text{ см}^2, \Rightarrow$$

надо воспользоваться моделью

«бесконечная плоскость» !

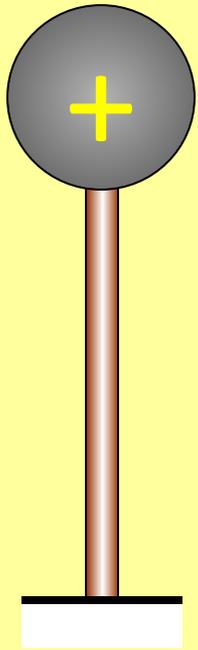
$$3) \quad F = qE = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{10^{-9} \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

Физический диктант № 2.



- 1. Какие виды материи вы знаете?
- 2. Как называется поле неподвижных зарядов?
- 3. Что является источником электрического поля?
- 4. Главное свойство любого электрического поля?
- 5. Какой закон определяет силу взаимодействия зарядов?
- 6. Как называется величина, характеризующая силовое действие электрического поля. Как её вычислить?
- 7. Как направлены силовые линии электрического поля?
- 8. Как изменится напряженность при увеличении электрического заряда?
- 9. Как изменится напряженность при увеличении расстояния от точки до заряда?
- 10. Как изменится сила, действующая на заряд, если напряженность электрического поля увеличить в два раза?

Потенциал электрического поля



Q заряд источника поля

B
 $+$
 q $W_B = q \cdot \varphi_B$

A
 $+$
 q $W_A = q \cdot \varphi_A$
пробный заряд

Будем изменять q в какое либо число раз. Опыт покажет:

$$\frac{W_1}{q_1} = \frac{W_2}{q_2} = \dots = \frac{W_n}{q_n} = \text{const} = \varphi$$

Потенциал и разность потенциалов

1. Потенциал- это энергетическая характеристика поля.

Потенциалом электростатического поля называют отношение потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду.

$$[\varphi] = B = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$$

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

скаляр

Потенциал поля в произвольной точке определяется как алгебраическая сумма потенциалов, создаваемых отдельными точечными зарядами.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n$$

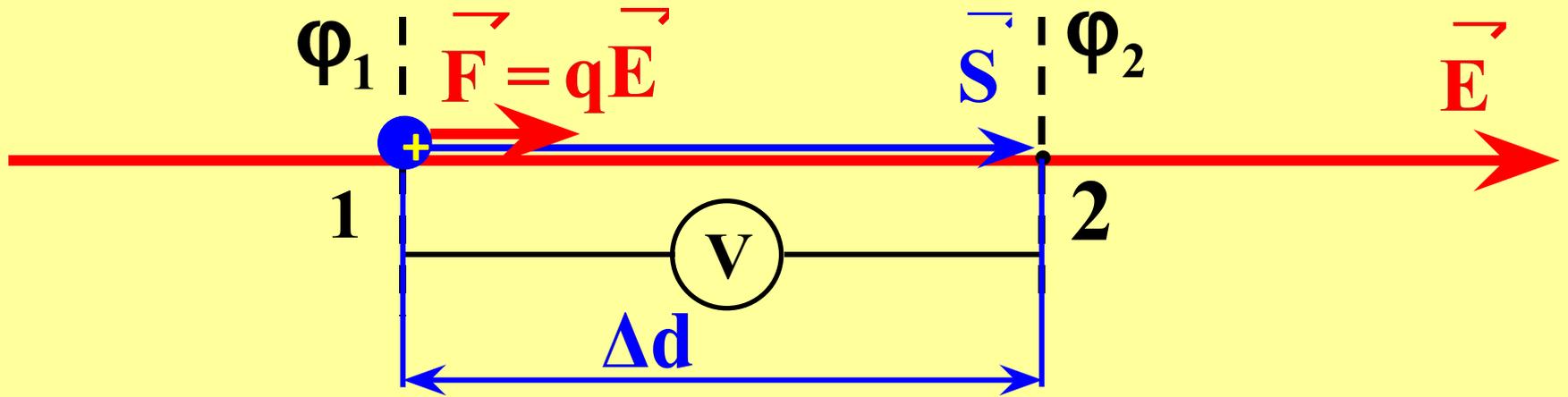
Разность потенциалов (напряжение)

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi = \frac{A}{q}$$

Эквипотенциальные поверхности – это поверхности равного потенциала.

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$$

Напряженность электростатического поля направлена в сторону убывания потенциала.



$$\Delta W = qE \Delta d \quad \Delta W = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU > 0$$

$\left. \begin{matrix} q(\varphi_1 - \varphi_2) > 0 \\ q > 0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \varphi_1 > \varphi_2$
 вектор \vec{E} направлен в сторону убывания φ

$$A = qU \quad U = \frac{A}{q}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = \frac{U}{\Delta d}$$

Заряженные тела, помещенные в электрическое поле, обладают потенциальной энергией.

Работа электрического поля при перемещении заряженного тела равна убыли потенциальной энергии тела:

$$A = qE \Delta d$$

Потенциал точки А равен 100 В.

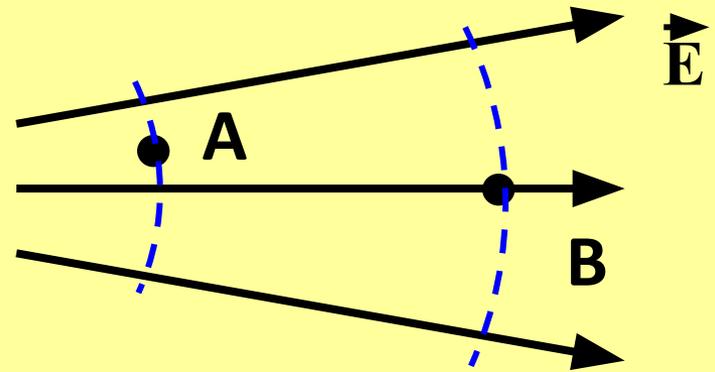
Потенциал точки В?

А. >100 В

Б. < 100 В

В. 100 В

Г. 0 В



вектор \vec{E} направлен
в сторону убывания ϕ

Заряд 20 Кл, внесенный в некоторую точку электрического поля приобрел потенциальную энергию 80 Дж. Потенциал данной точки поля равен

А. 2 В

Б. 4 В

В. 8 В

Г. 16 В

Заряд 4 Кл внесен в электрическое поле в точку с потенциалом 2 В. Его потенциальная энергия равна:

А. 2 Дж

Б. 4 Дж

В. 8 Дж

$$W = q \cdot \varphi = 2 \cdot 4 = 8 \text{ Дж}$$

Г. 16 Дж

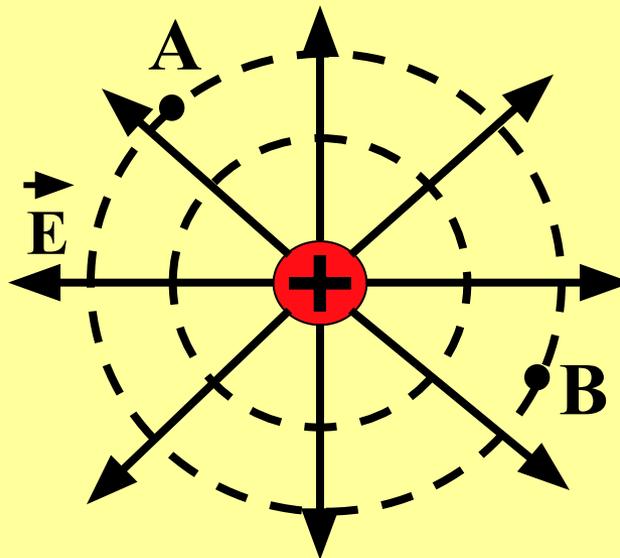
Потенциал точки А равен 100 В. Чему равен потенциал точки В?

А. 200 В

Б. 100 В

В. 50 В

Г. 0 В



$$\varphi_B = \varphi_A = 100 \text{ В}$$

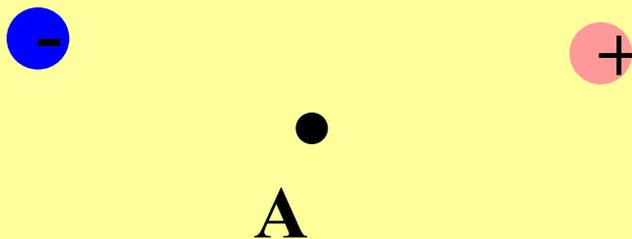
Заряд 1 создает в точке А потенциал 400 В, заряд 2 создает в этой точке потенциал – 300 В. Итоговый потенциал в точке А равен

А –120000 В

Б 500 В

В 100 В

Г -100В



$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 400 - 300 = 100 \text{ В}$$

В однородном поле напряженностью 1 кВ/м переместили заряд -25 нКл в направлении силовой линии на 2 см. Найти работу поля, изменение потенциальной энергии взаимодействия заряда и поля и напряжение между начальной и конечной точками перемещения.

Дано:

$$q = -25 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

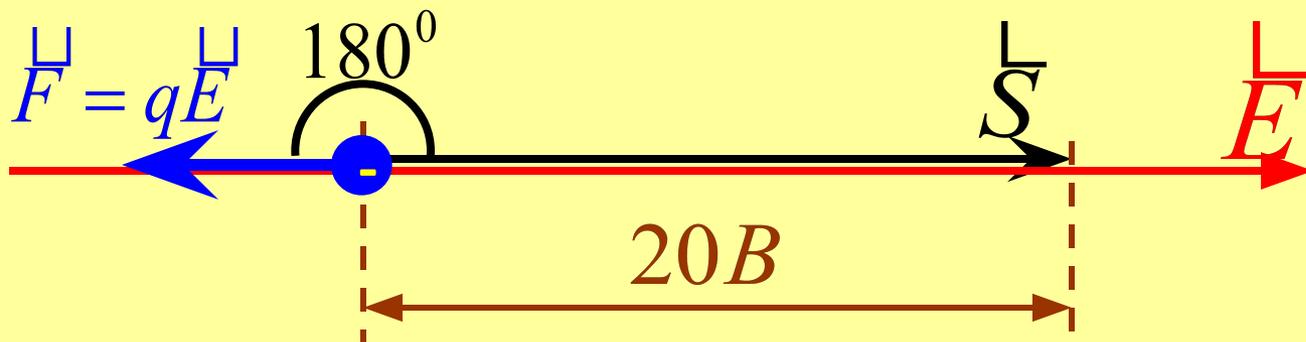
$$E = 1 \text{ кВ/м}$$

$$S = 2 \text{ см}$$

$$A - ?$$

$$\Delta W_n - ?$$

$$U - ?$$



$$A = |F \cdot S| \cdot \cos \alpha = |qE \cdot S| \cdot \cos 180^\circ = -|qES|$$

$$\underline{\underline{A = -25 \cdot 10^{-9} \cdot 1000 \cdot 0,02 = -0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}}}$$

$$A = W_{n1} - W_{n2} = -\Delta W_n \quad \underline{\underline{\Delta W_n = -A = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}}}$$

$$\underline{\underline{U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = \frac{-0,5 \cdot 10^{-6}}{-25 \cdot 10^{-9}} = 20В}}$$

В однородном поле напряженностью 60 кВ/м переместили заряд 5 нКл на 20 см под углом 60° к силовым линиям. Найти работу поля, изменение потенциальной энергии взаимодействия заряда и поля и напряжение между начальной и конечной точками перемещения.

Дано:

$$q = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$E = 60 \text{ кВ/м}$$

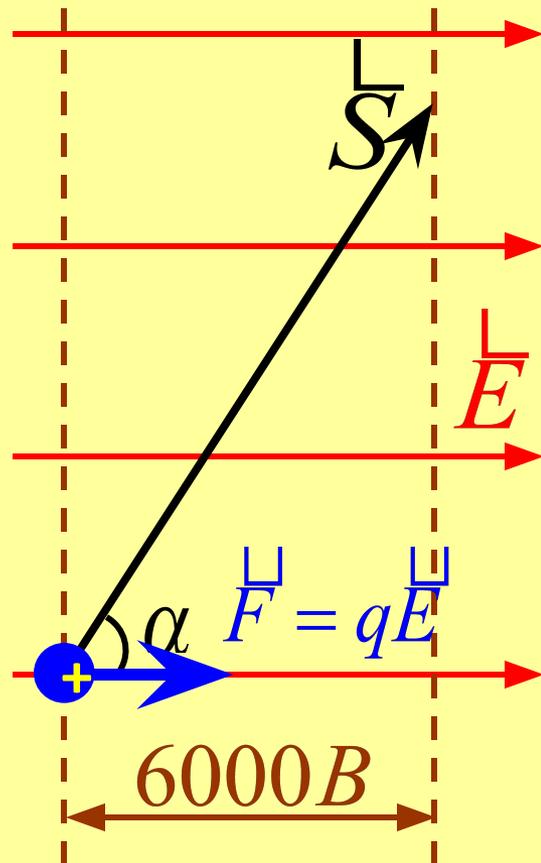
$$S = 20 \text{ см}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$A - ?$

$\Delta W_n - ?$

$U - ?$



$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$A = qE \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$A = 5 \cdot 10^{-9} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot \frac{1}{2}$$

$$A = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$A = W_{n1} - W_{n2} = -\Delta W_n$$

$$\Delta W_n = -A = -30 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = \frac{30 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-9}} = 6000 \text{ В}$$

В однородном поле напряженностью 60 кВ/м переместили заряд 5 нКл на 20 см под углом 60° к силовым линиям. Найти работу поля, изменение потенциальной энергии взаимодействия заряда и поля и напряжение между начальной и конечной точками перемещения.

Дано:

$$q = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$E = 60 \text{ кВ/м}$$

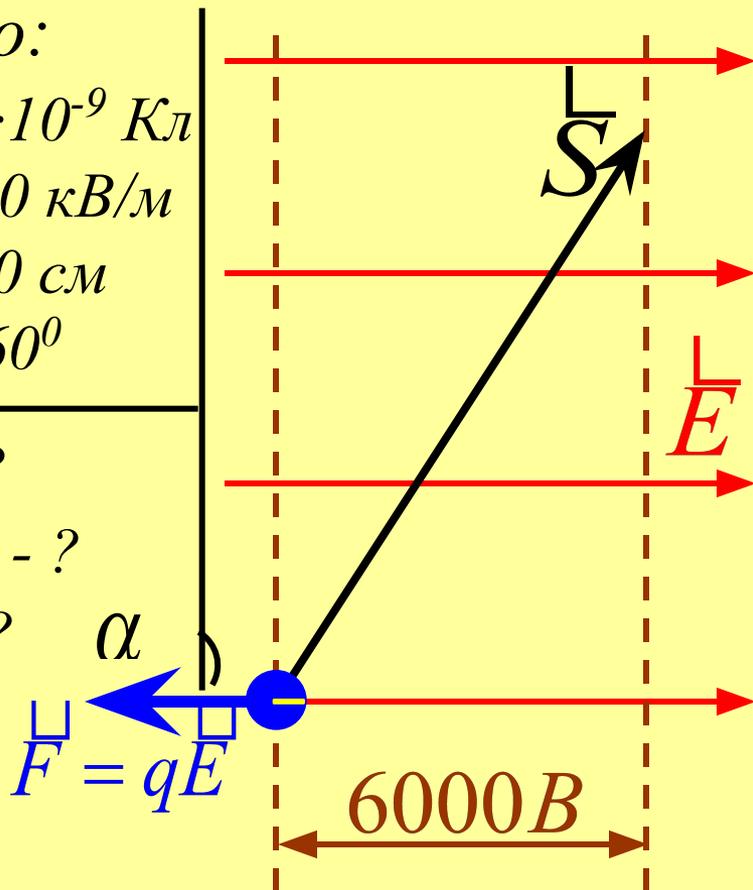
$$S = 20 \text{ см}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$A - ?$

$\Delta W_n - ?$

$U - ?$



$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$A = qE \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$A = 5 \cdot 10^{-9} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot \left(-\frac{1}{2} \right)$$

$$A = -30 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$A = W_{n1} - W_{n2} = -\Delta W_n$$

$$\Delta W_n = -A = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = \frac{-30 \cdot 10^{-6}}{-5 \cdot 10^{-9}} = 6000 \text{ В}$$

Физический диктант №3.

- 1. Чему равна работа сил электростатического поля на замкнутой траектории.
- 2. От каких величин зависит работа сил электрического поля?
- 3. Энергетическая характеристика электрического поля.
- 4. Чему равна работа сил электрического поля при перемещении заряда перпендикулярно силовым линиям поля?
- 5. Как связана работа с потенциалами начальной и конечной точек траектории?
- 6. Как называют поверхности равного потенциала?
- 7. Как называют разность потенциалов между двумя точками поля?
- 8. Как направлен вектор напряженности эл. поля относительно эквипотенциальной поверхности?
- 9. Как связаны напряжение и напряженность электростатического поля?
- 10. Чему равен потенциал поля точечного заряда (формула)?

Вещество в электрическом поле

По электрическим свойствам вещества делят



- **Проводники-** вещества, в которых свободные заряды перемещаются по всему объёму.
- Свободные заряды-заряженные частицы одного знака, способные перемещаться под действием электрического поля.

- **Диэлектрики-** вещества, содержащие только связанные заряды.
- Связанные заряды-разноимённые заряды, входящие в состав атомов и молекул, которые не могут перемещаться под

- **Напряженность электрического поля в диэлектрике меньше, чем в вакууме.**

ϵ

- **- диэлектрическая проницаемость, показывает во сколько раз напряженность электростатического поля в диэлектрике меньше, чем в вакууме.**

$$\epsilon = \frac{E_{\text{вак}}}{E_{\text{д}}}$$

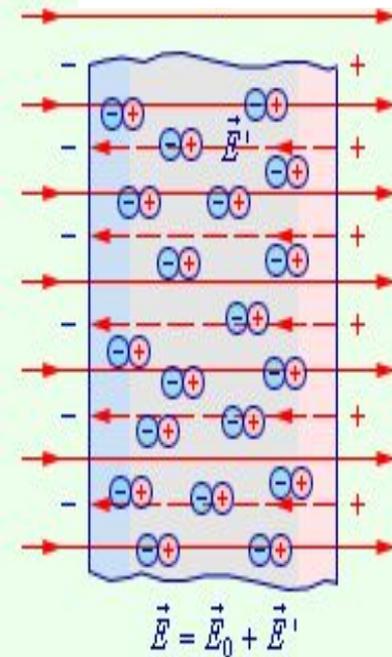
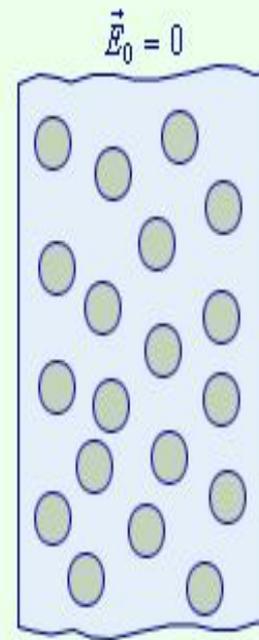
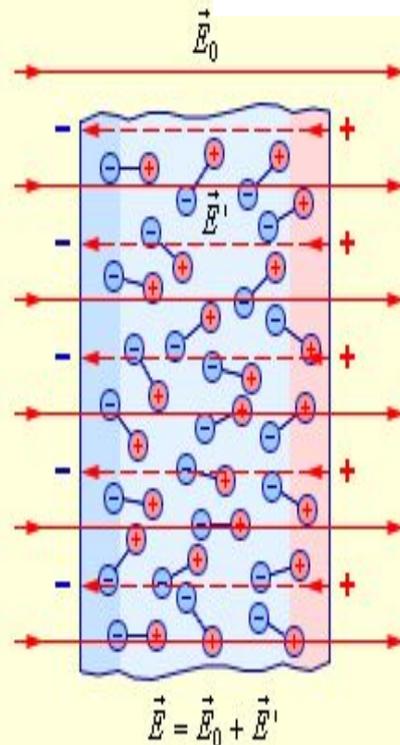
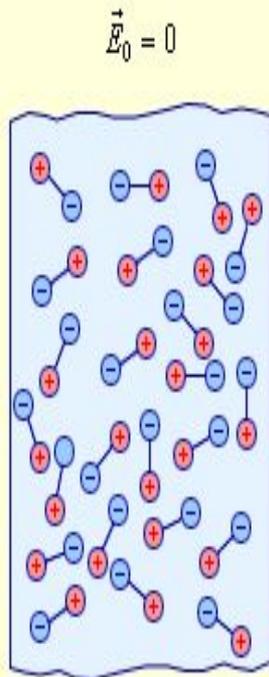
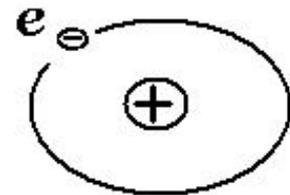
Диэлектрики в электрическом поле.

✓ Полярные.

Молекулы-дипол

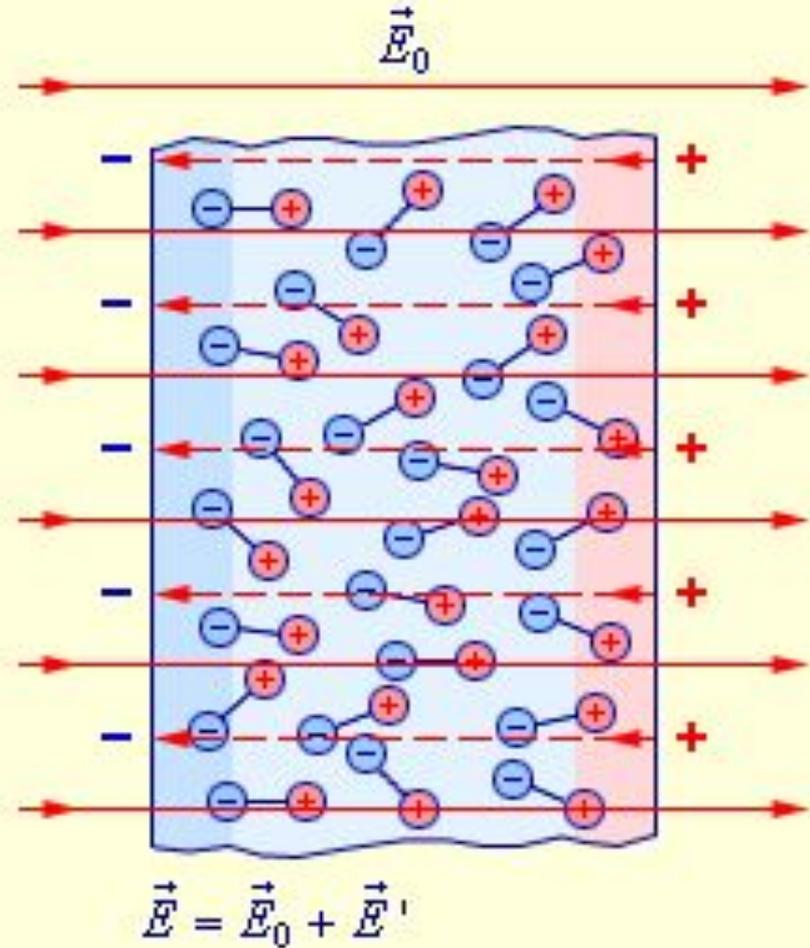
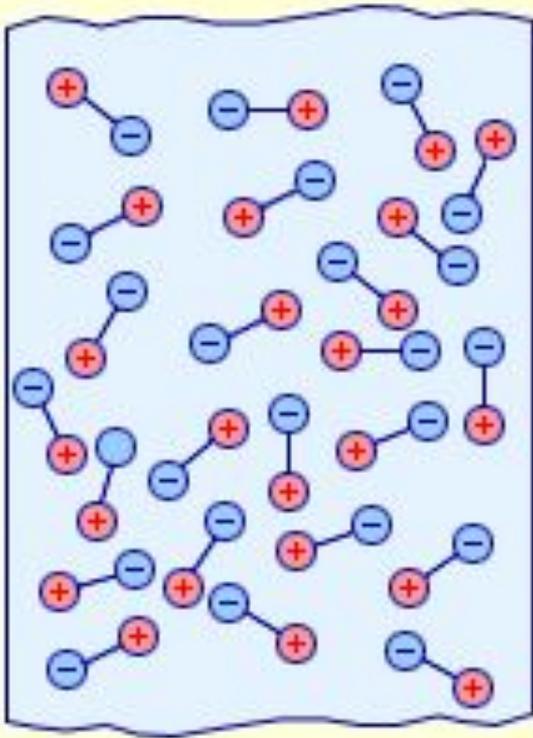


✓ Неполярны

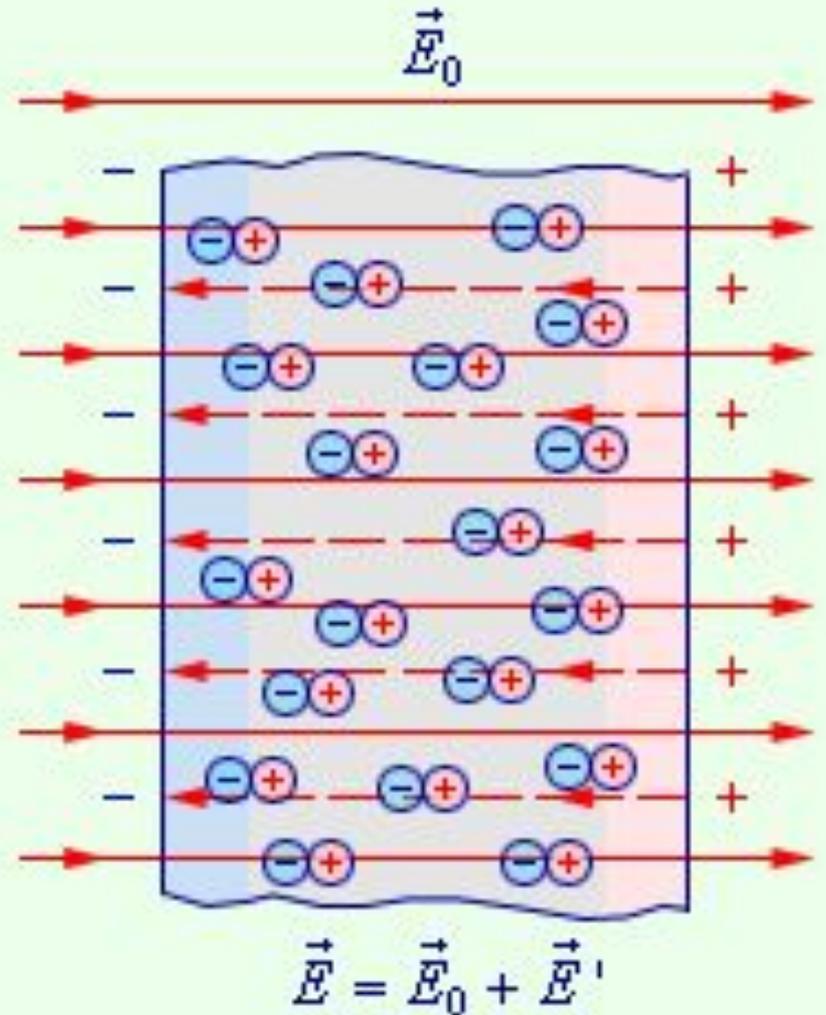
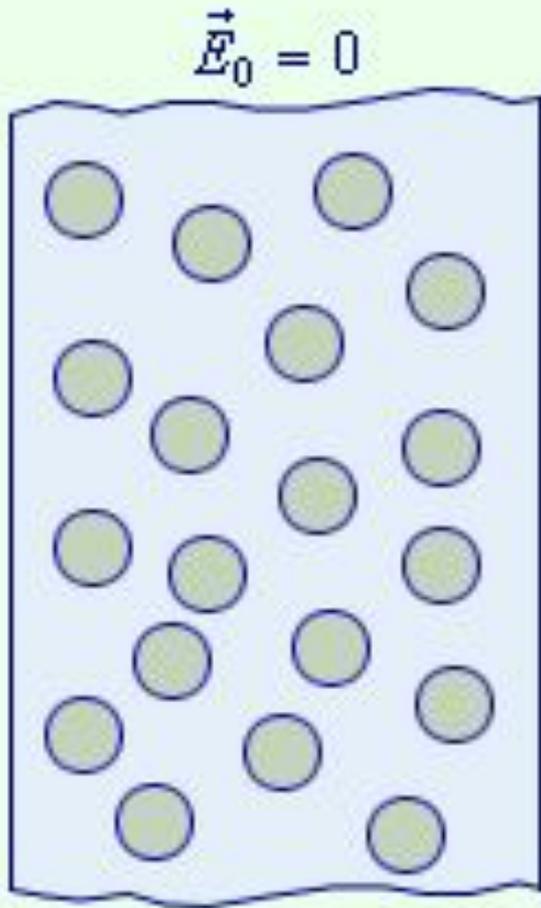


Поляризация полярного диэлектрика.

$$\vec{E}_0 = 0$$



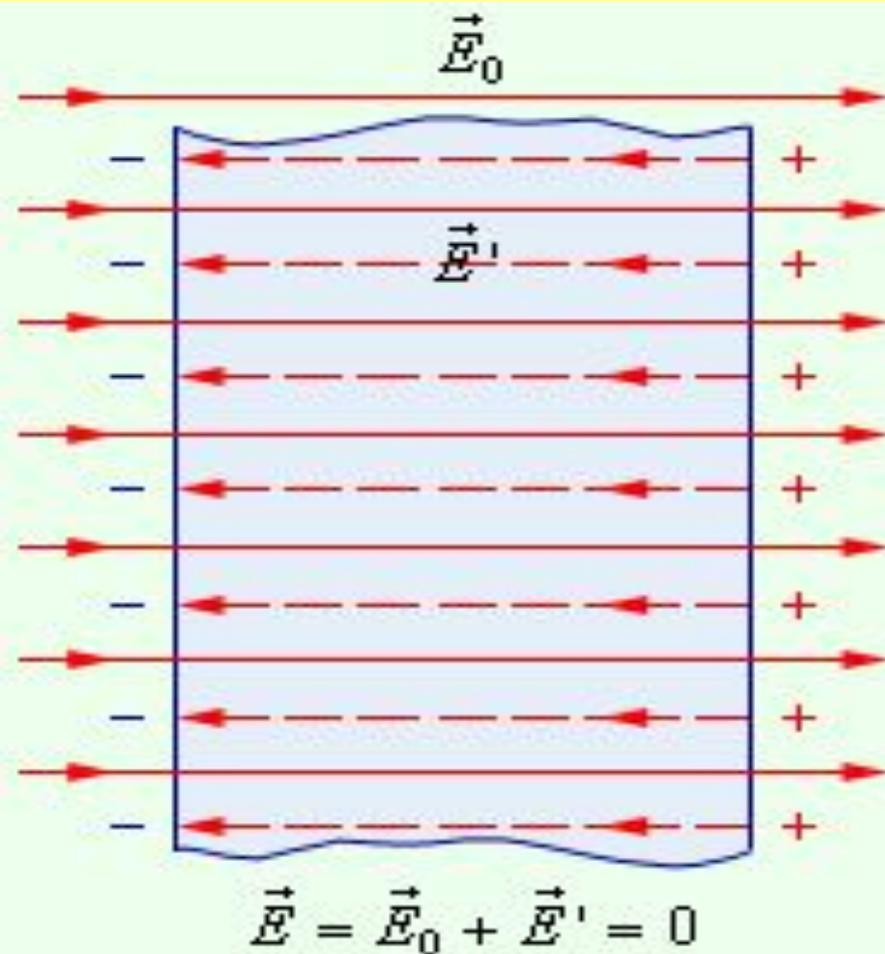
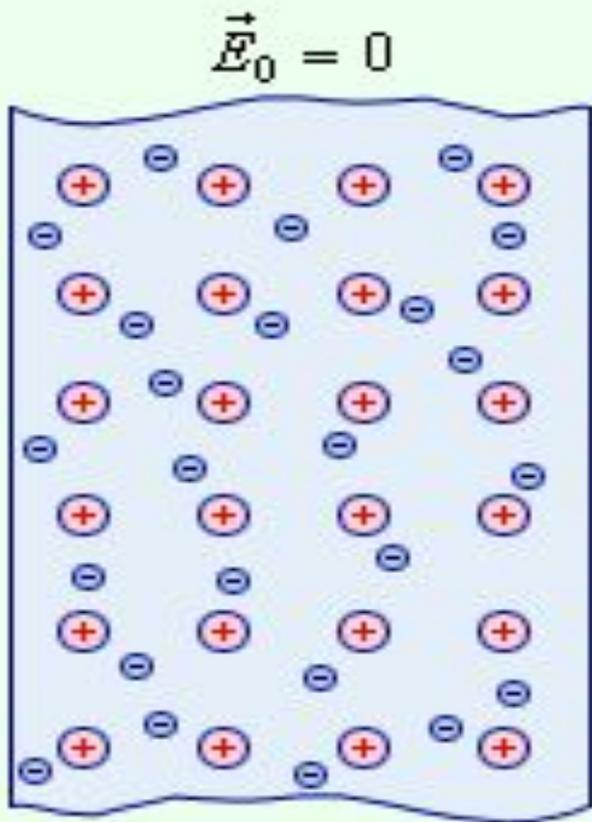
Поляризация неполярного диэлектрика.



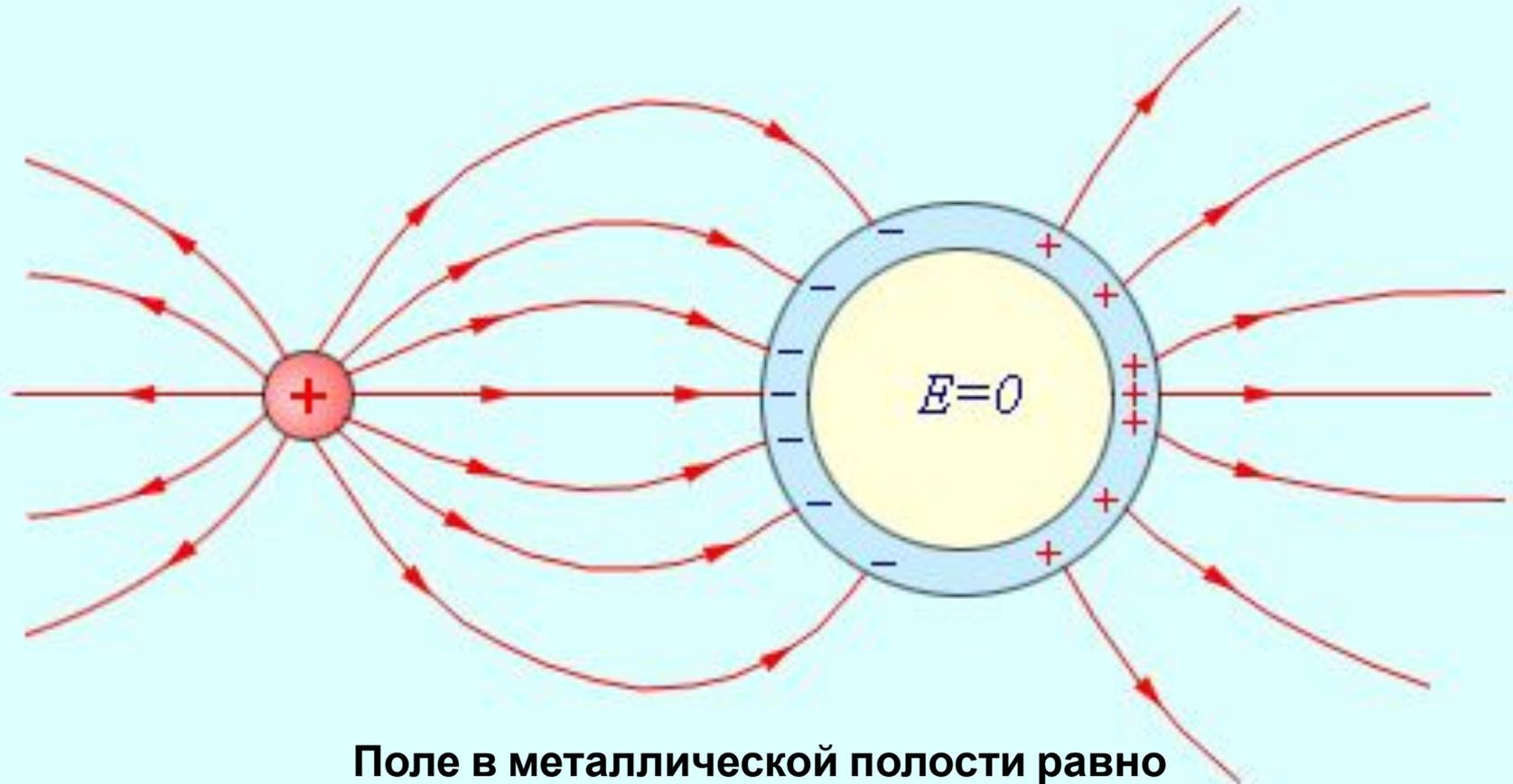
Проводники в электрическом поле.

- ✓ **Электростатическая индукция-перераспределение зарядов на поверхности проводника, помещенного в электростатическое поле.**
- ✓ **Напряженность поля внутри проводника равна нулю (электростатическая защита).**
- ✓ **Линии напряженности перпендикулярны поверхности проводника.**
- ✓ **Поверхность металла-эквипотенциальная поверхность.**
- ✓

В проводнике, помещенном в электрическое поле, происходит разделение положительных и отрицательных зарядов. Свободные заряды перераспределяются внутри проводника таким образом, что суммарное электрическое поле внутри него становится равным нулю (это явление называется *электростатической индукцией*).



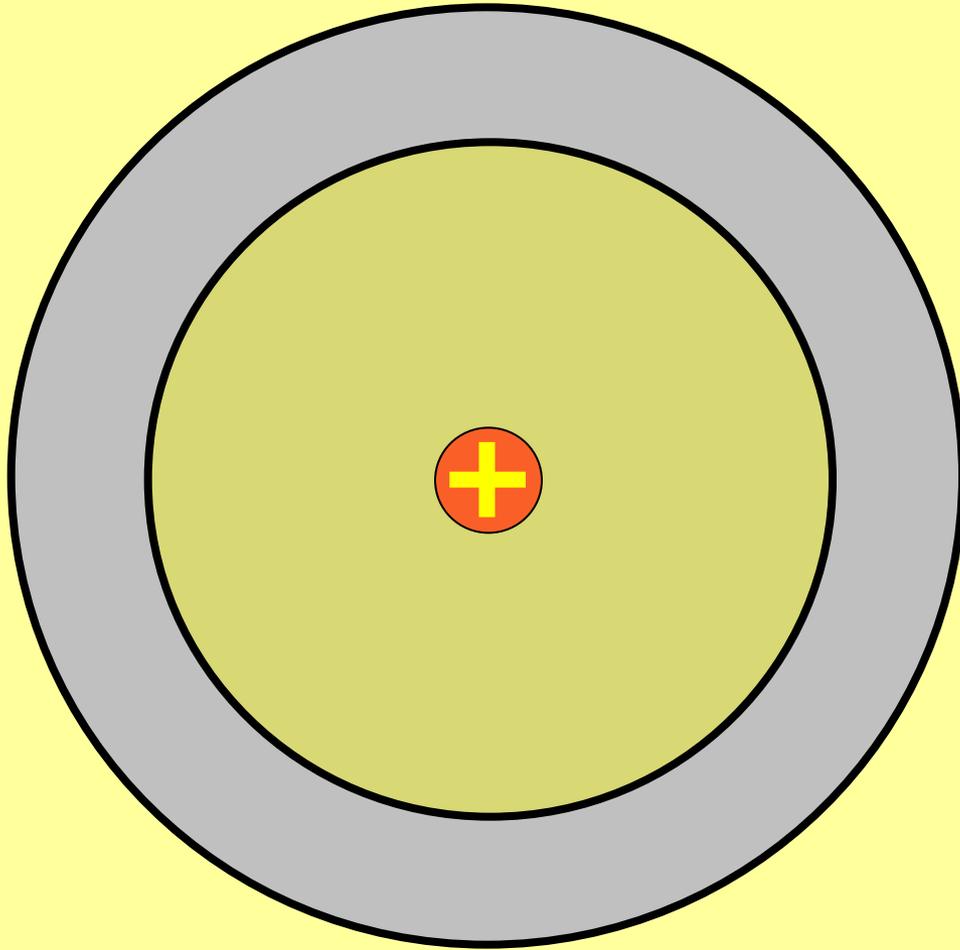
Электростатическая защита

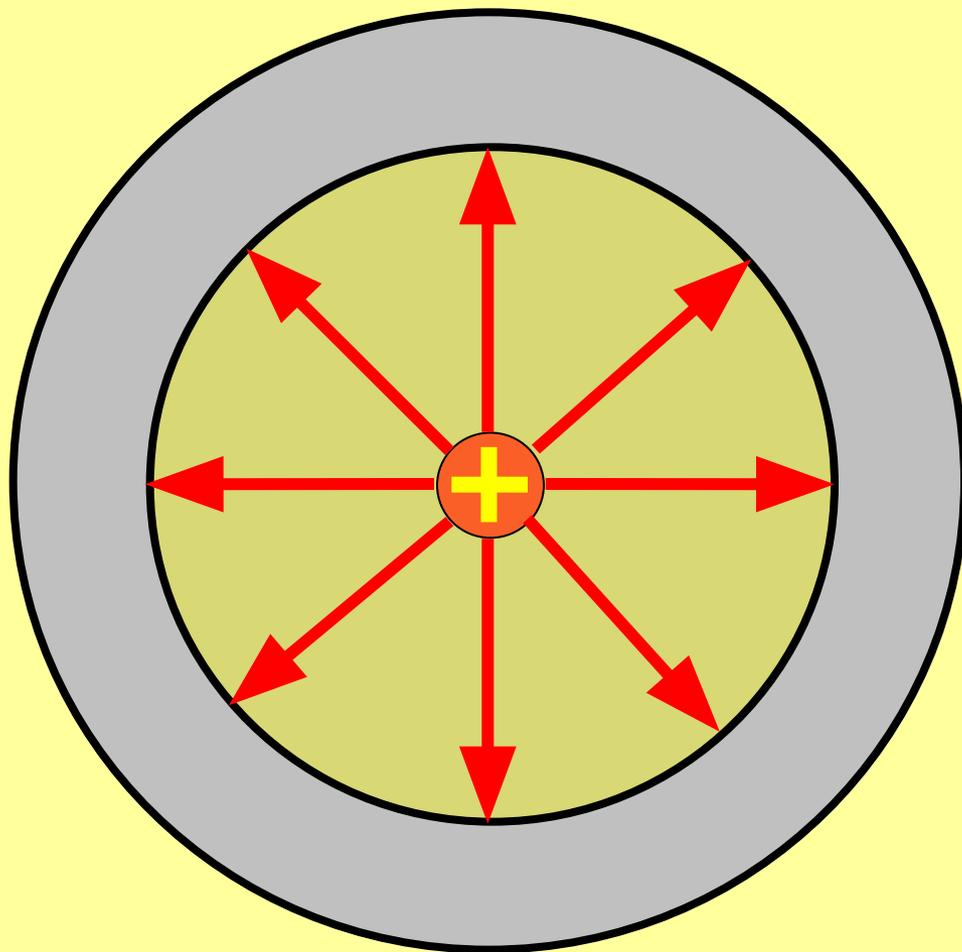


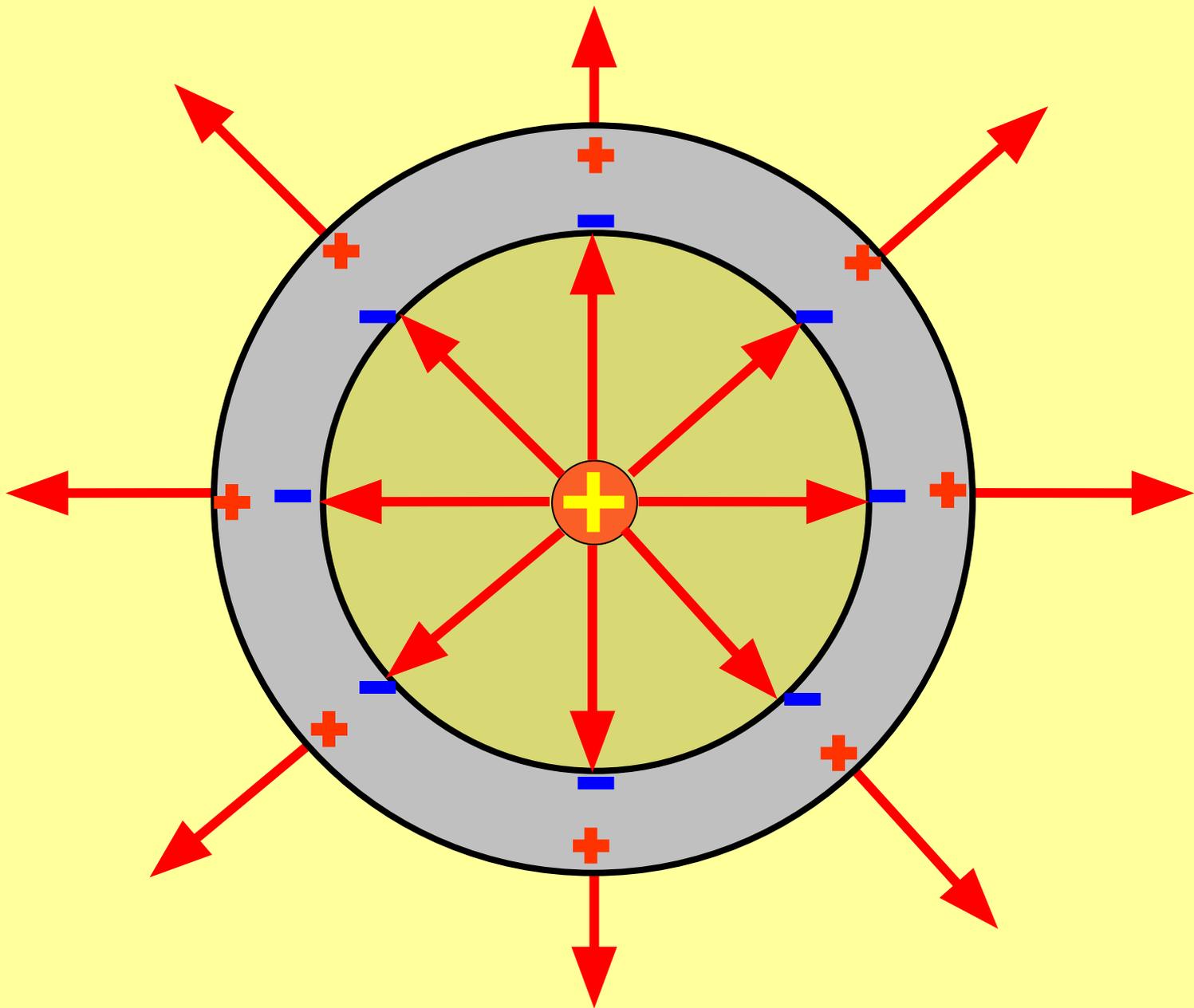
Поле в металлической полости равно нулю.

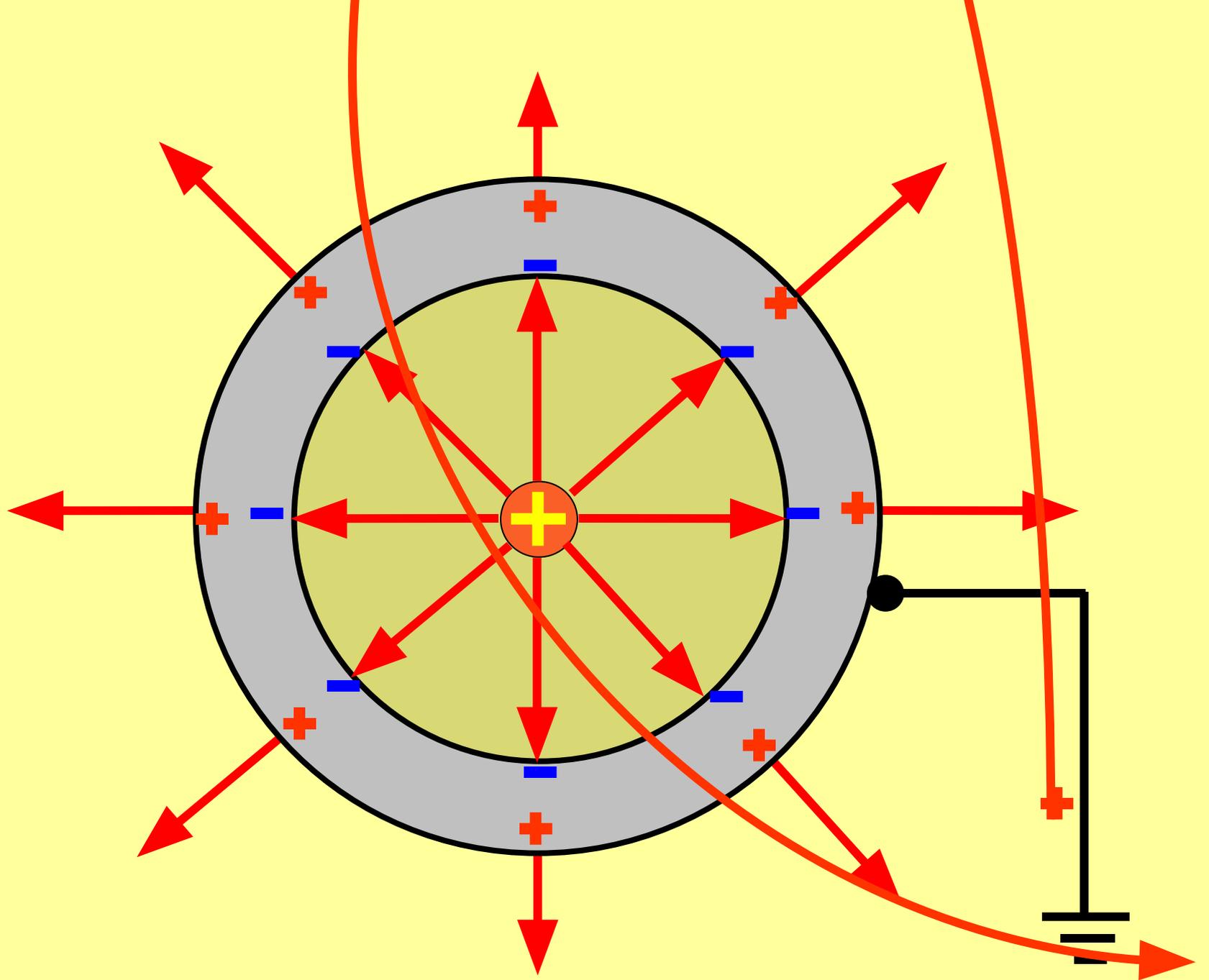
**Заключается в том, что чувствительные приборы
заклучают внутрь замкнутого металлического
корпуса**

**Не менее часто экранируют не прибор, а
источник поля:**









Конденсаторы



Практический интерес представляют системы из двух проводников, разделенных диэлектриком. Это конденсаторы, способные накапливать электрический заряд и соответственно энергию электростатического поля.



Энергия электрического поля внутри конденсатора равняется

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{U^2 C}{2}$$

Плоский конденсатор школьный

Електроємкость-это физическая величина, характеризующая способность конденсатора к накоплению электрического заряда.

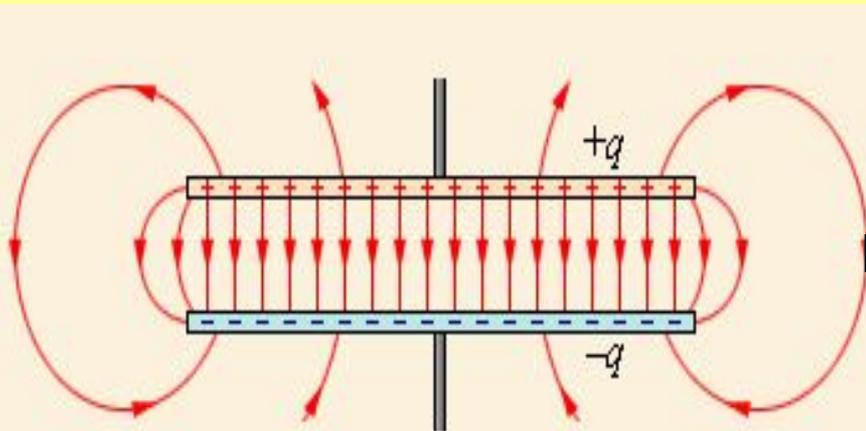
где q – заряд положительной обкладки,
 U – напряжение между обкладками.

$$C = \frac{q}{U}$$

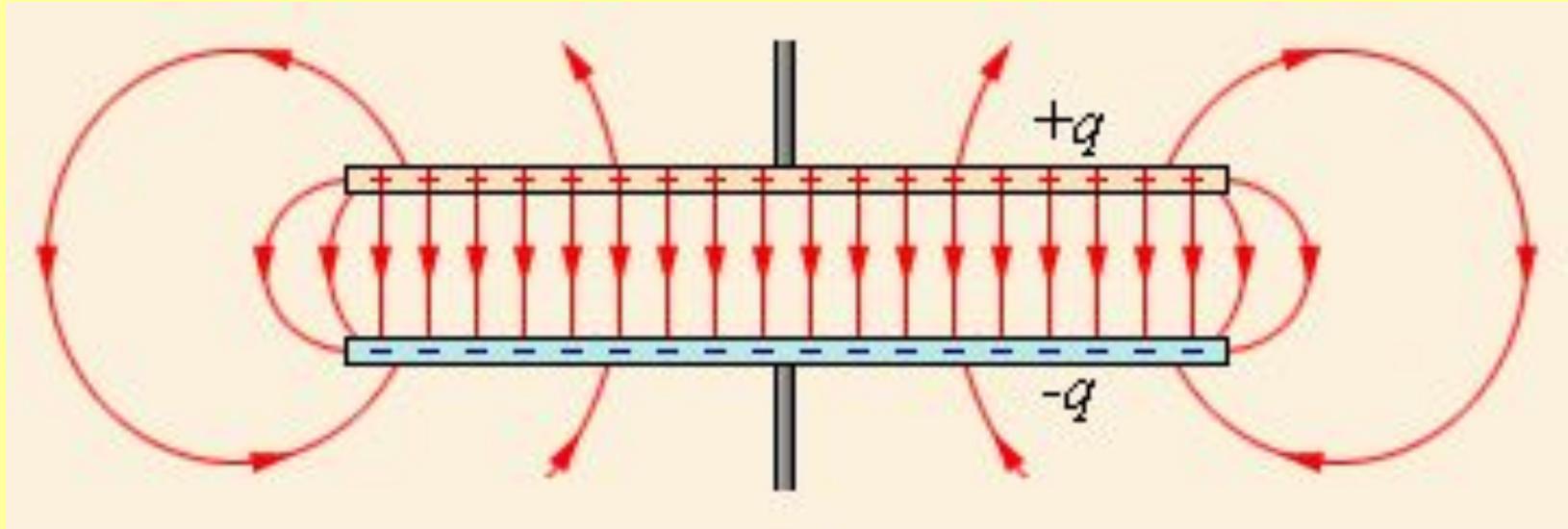
$$C = \frac{S \epsilon_0 \epsilon}{d}$$

Если увеличить площадь пластин S , уменьшить расстояние между ними d или ввести между ними диэлектрик (с большей диэлектрической проницаемостью вещества ϵ), то электроёмкость конденсатора увеличится.

Електроємкость конденсатора не зависит от заряда обкладок.
В СИ електроємкость измеряется в фарадах.

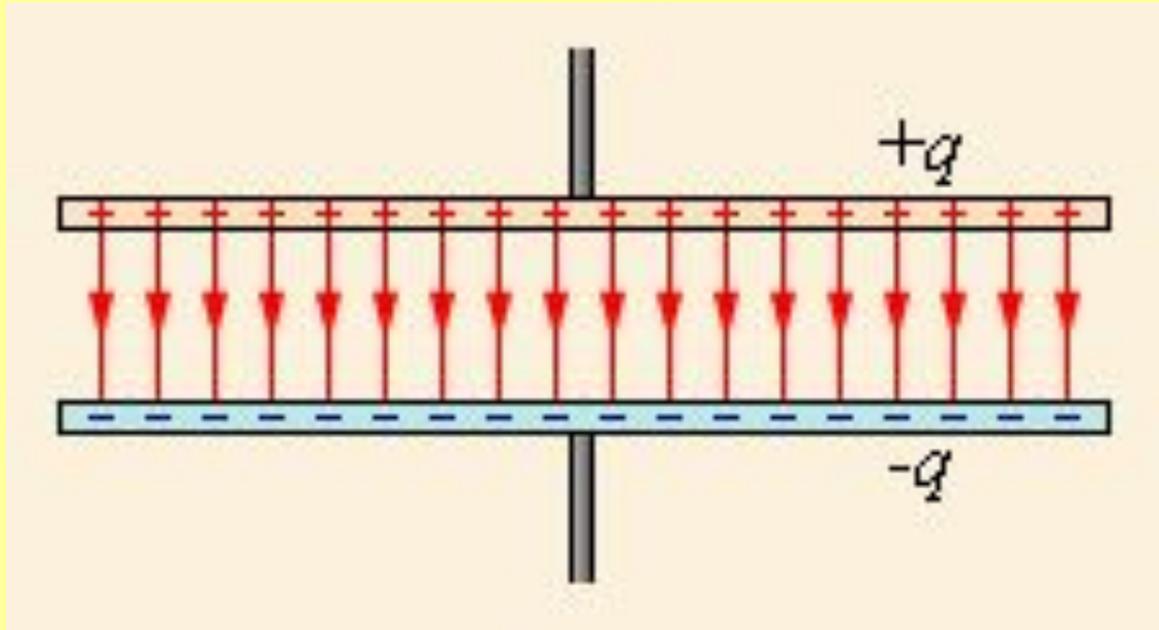


Поле плоского конденсатора:



Идеализированное представление поля плоского конденсатора:

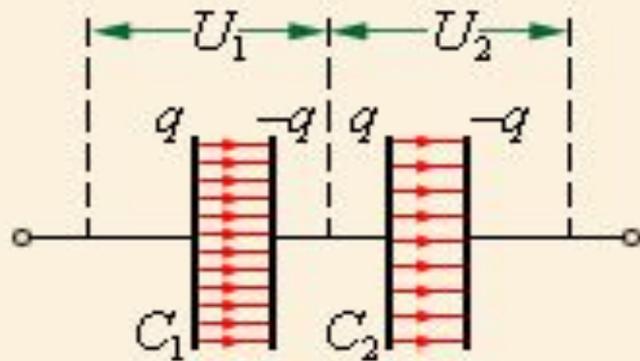
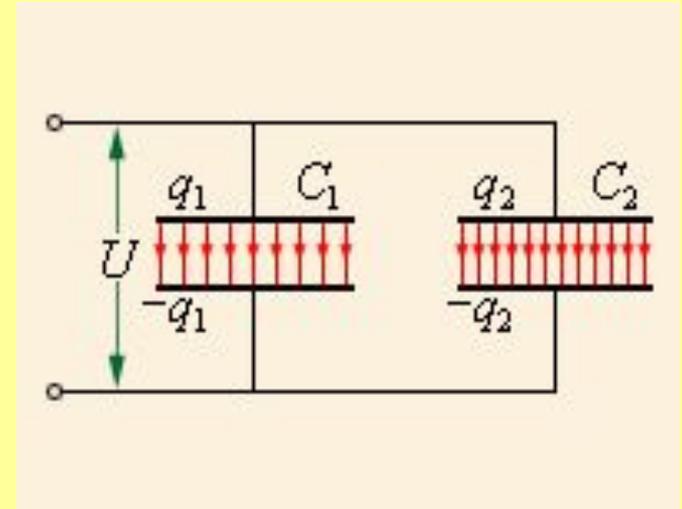
$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$



Электроемкость C батареи, составленной из параллельно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 , рассчитывается по формуле

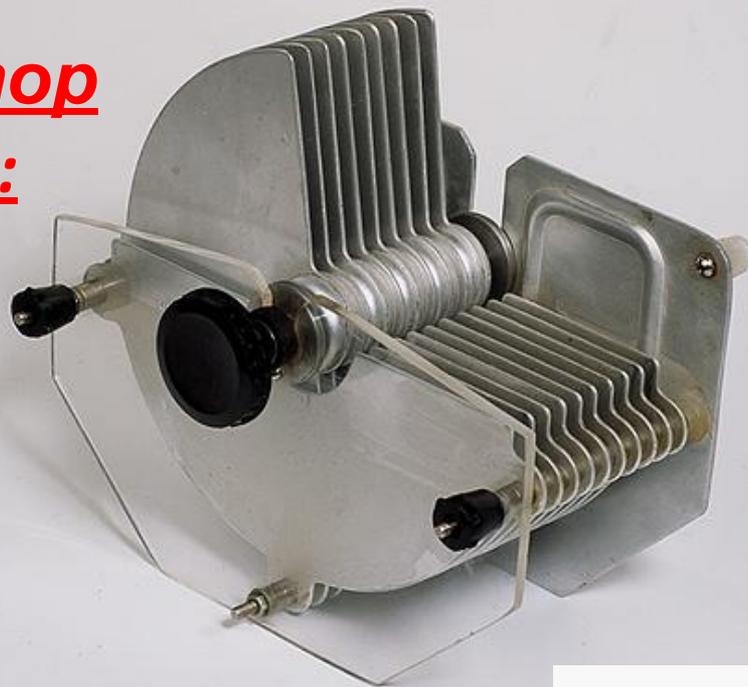
$$C = C_1 + C_2,$$

а батареи, составленной из последовательно соединенных конденсаторов, по формуле



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Конденсаторы бывают:

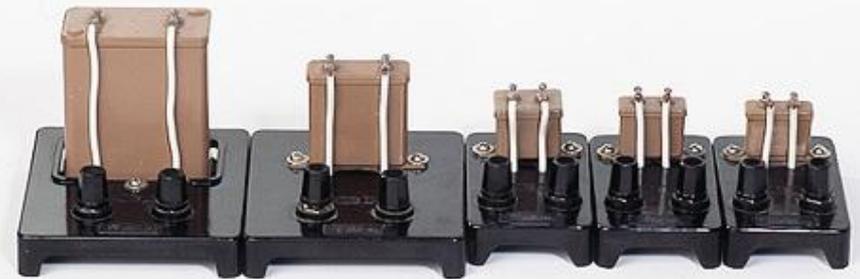


Конденсатор переменной емкости

Конденсаторы бумажные и электролитические

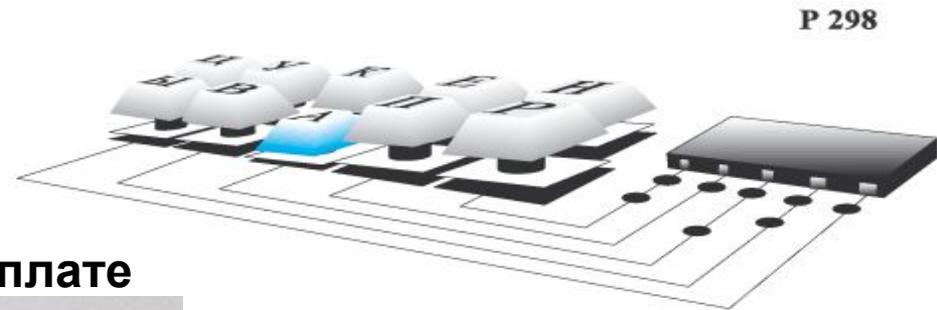


Конденсаторы бумажные разной емкости на одно напряжение



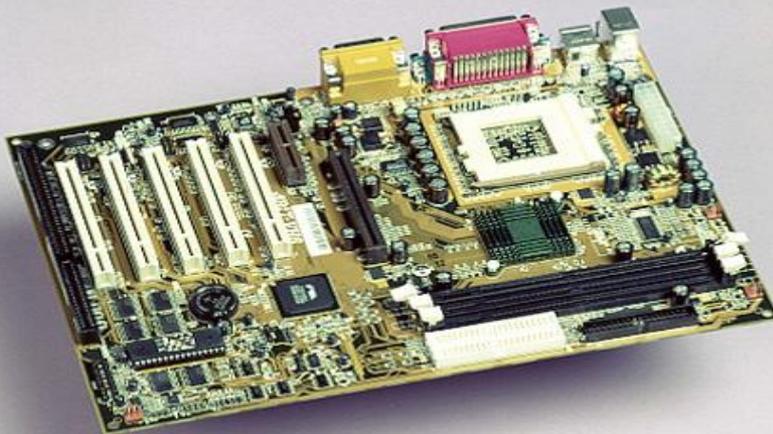


Осциллограф двулучевой

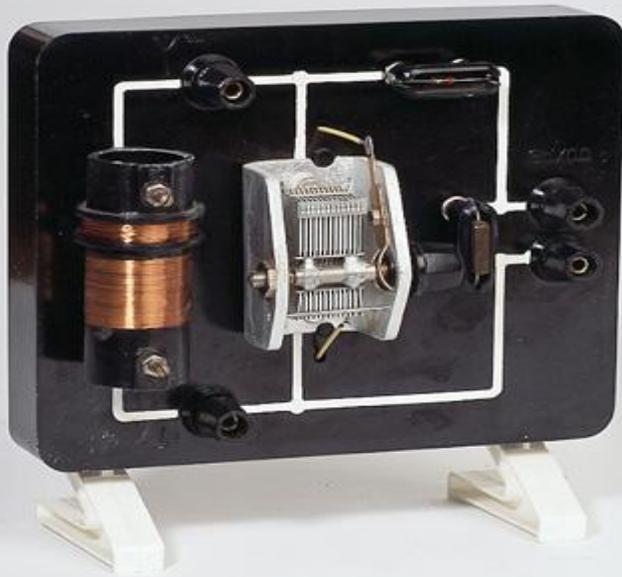


P 298

**Интегральные схемы на материнской плате
компьютера**

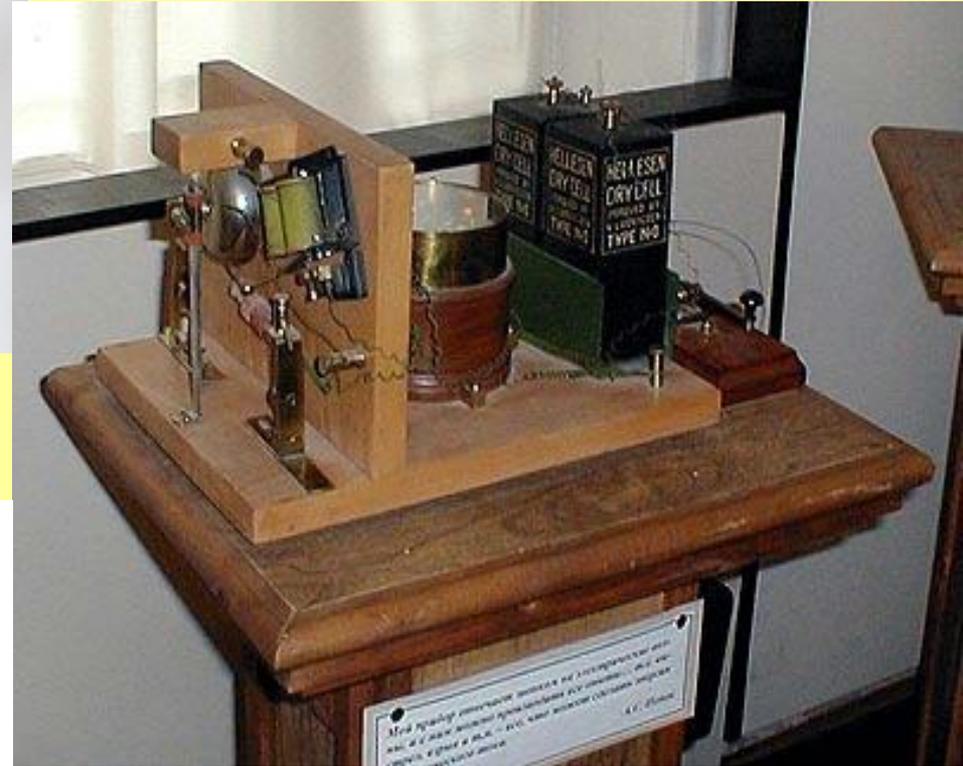


**Конденсаторы в
клавиатуре компьютера**



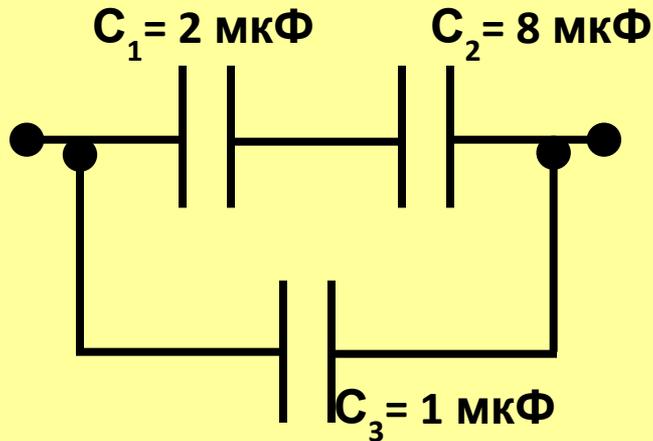
Колебательный контур

ФОТОВСПЫШКИ



Приемник А.С.Попова

Найти емкость батареи конденсаторов

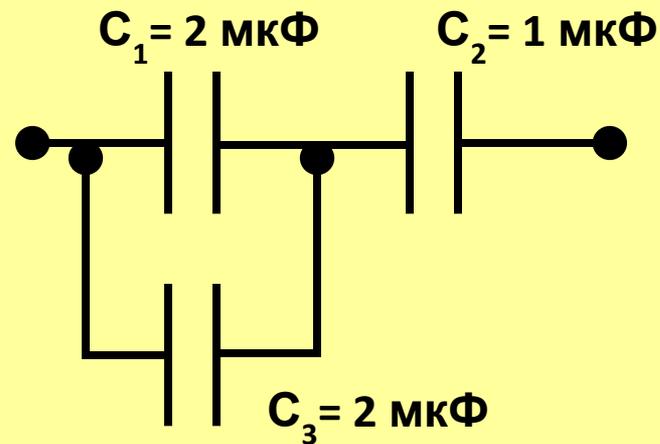


$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{12} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6 \text{ мкФ}$$

$$C = C_{12} + C_3 = (1,6 + 1) \text{ мкФ}$$

$$C = 2,6 \text{ мкФ}$$



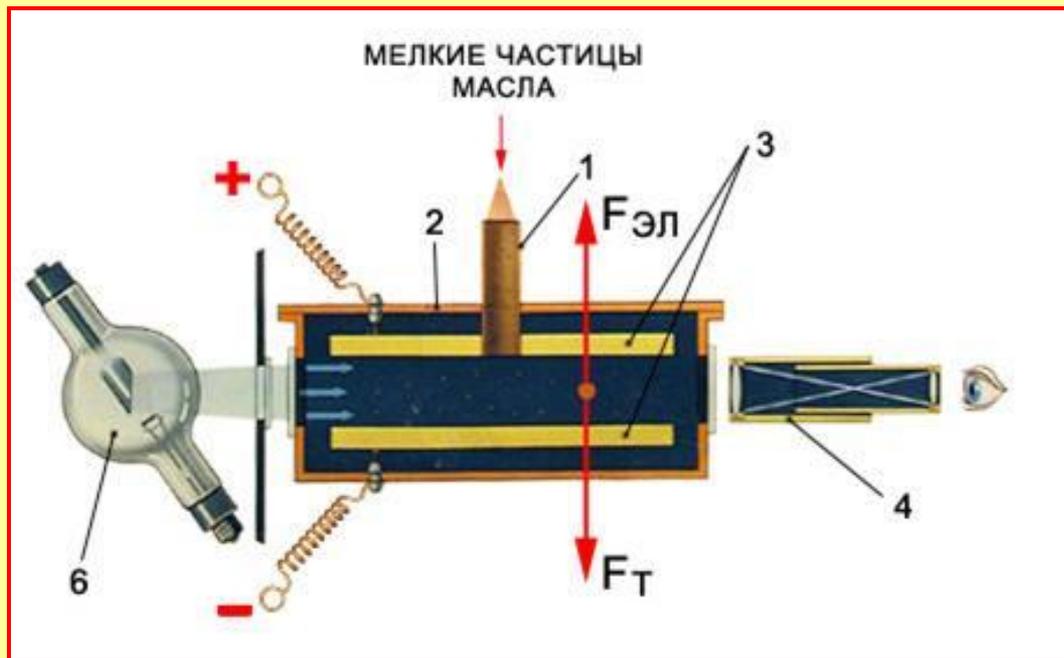
$$C_{13} = C_1 + C_3 = 4 \text{ мкФ}$$

$$C = \frac{C_{13} \cdot C_2}{C_{13} + C_2}$$

$$C = \frac{4 \cdot 1}{4 + 1} = 0,8 \text{ мкФ}$$

$$C = 0,8 \text{ мкФ}$$

В однородном электрическом поле с напряженностью 50 В/м находится в равновесии капля с зарядом $2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$.
Определить в миллиграммах массу капли. Ответ:1



Чему равен модуль напряженности однородного электрического поля внутри плоского конденсатора, если напряжение на его обкладках 10 В , а расстояние между обкладками 5 мм ?
Ответ:2000

- **1. На одной из пластин плоского конденсатора емкостью C находится заряд $+q$, а на другой $+4q$. Определить разность потенциалов между пластинами конденсатора.**

2. Два проводящих шара, заряженных, до потенциалов 10 В и 20 В соответственно, находятся на таком большом расстоянии друг от друга, что их можно считать уединенными. Электрические емкости шаров равны 4 мкФ и 6 мкФ . Каковы будут заряды на шарах, если их соединить тонким проводником. Каким станет потенциал каждого из шаров?

В электронно-лучевой трубке поток электронов с кинетической энергией $8 \cdot 10^3$ эВ движется между пластинами плоского конденсатора длиной $4 \cdot 10^{-2}$ м. Расстояние между пластинами $2 \cdot 10^{-2}$ м. Какое напряжение нужно подать на пластины конденсатора, чтобы смещение электронного пучка на выходе оказалось $8 \cdot 10^{-3}$ м.

Дано:

$$\ell = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

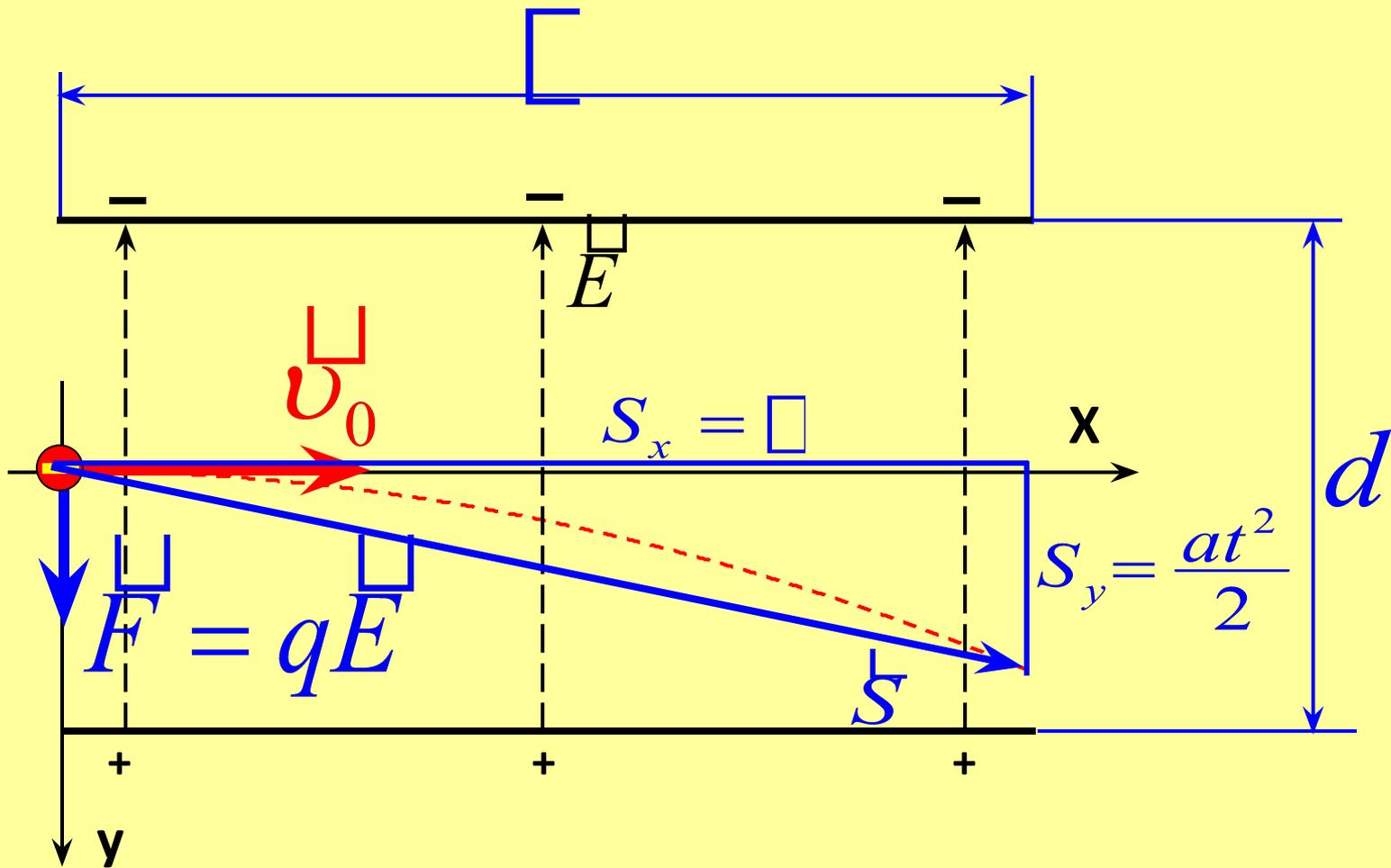
$$E_k = 8 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$d = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$h = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$U - ?$



Решение:

$$F = q_0 E$$

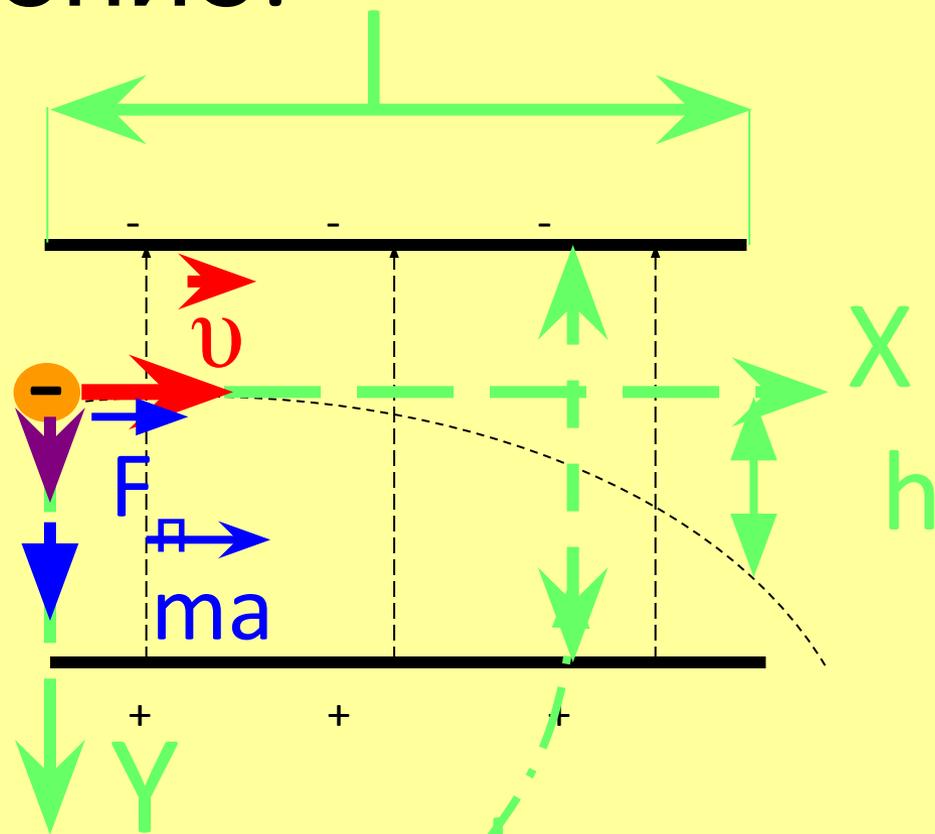
$$y : F = ma_y$$

$$q_0 E = ma_y$$

$$a_y = \frac{q_0 E}{m} \quad (1)$$

Т.К. $v_{0y} = 0$, то

$$h = \frac{a_y t^2}{2} \quad (2)$$



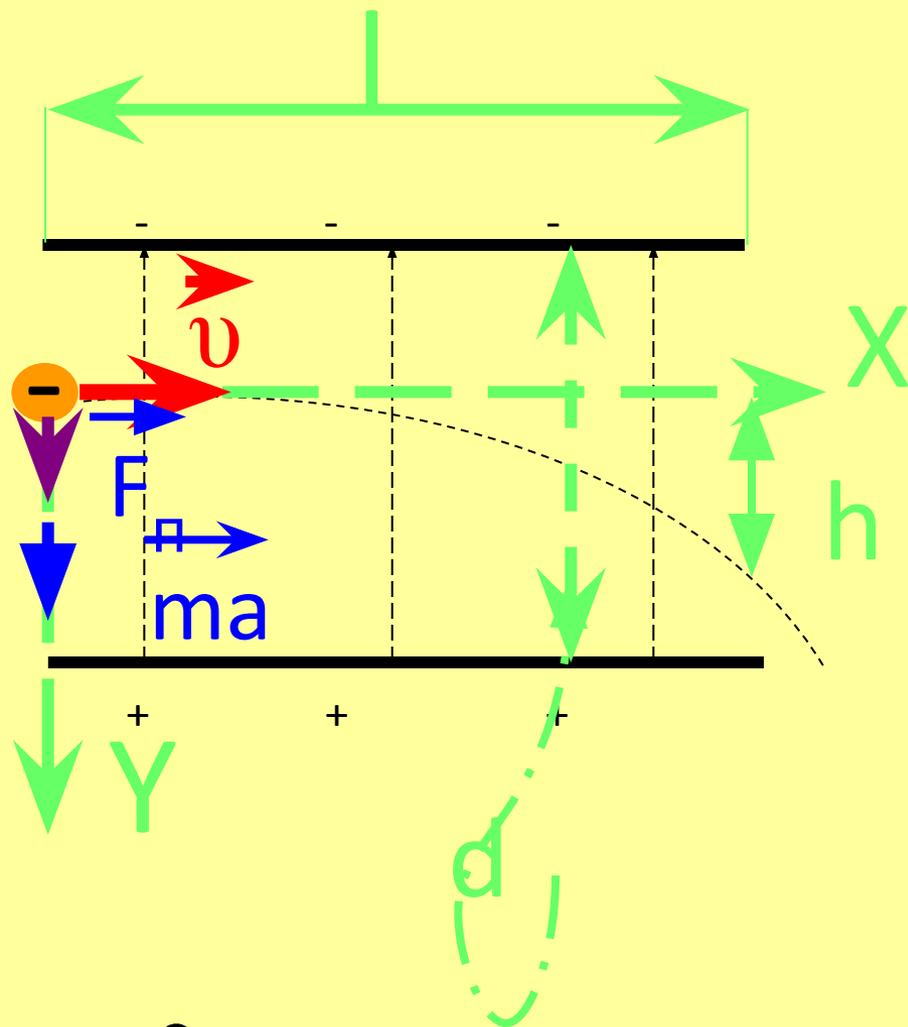
$$t = \frac{l}{v_x} \quad (3)$$

$$E_k = \frac{mv_x^2}{2};$$

$$v_x = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} \quad (4)$$

(1) и (3) \rightarrow (2)

$$h = \frac{q_0 El^2}{2mv_x^2}; E = \frac{2hmv_x^2}{q_0 l^2} \quad (5)$$



Подставим v_x в формулу (5):

$$E = \frac{2hm \frac{2E_k}{m}}{q_0 l^2} = \frac{4hE_k}{q_0 l^2}$$

$$E = \frac{U}{d} \Rightarrow U = Ed = \frac{4hE_k d}{q_0 l^2} =$$

$$= \frac{4 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 16 \cdot 10^{-4}} = 3200 \text{ В.}$$

ОТВЕТ:

$$U=3200B$$

$$\underline{\mathbf{E}} = \underline{\mathbf{E}}_1 + \underline{\mathbf{E}}_2 + \dots$$

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0}$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots$$

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon \varepsilon_0}$$

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

$$W = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r}$$

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

$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

$$E_{\text{бпл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$$

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

$$\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$$

$$U = \frac{A}{q}$$

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2}$$

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

$$W = \frac{q^2}{2C}$$

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

$$C = \frac{q}{U}$$

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \quad E = \frac{U}{\Delta d}$$

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

$$\varphi = \frac{w_p}{q} \quad U = \varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi = \frac{A}{q}$$

$$= W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU > 0$$

A diagram of a parallel plate capacitor. Two vertical parallel lines represent the plates. The top plate is labeled 'A' and the bottom plate is labeled 'B'. The distance between the plates is labeled 'd'. A double-headed arrow labeled 'U' indicates the potential difference between the plates. A double-headed arrow labeled 'E' indicates the electric field between the plates.

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$$

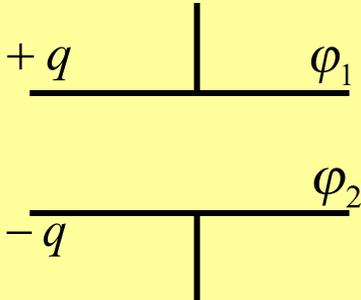
ЗАКОН КУЛОНА

- основной закон электростатики.

(установлен экспериментально, 1785г.)

Сила	Природа взаимодействия	Формула	Направление	Условие Применимости формулы
<i>кулоновская</i>	<i>Электромагнитная</i>	$F = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$ <p>(для двух точечных заряженных тел)</p>	<i>вдоль прямой, соединяющей точечные заряженные тела</i>	<i>для точечных неподвижных тел в вакууме, а также для шаров, радиусы которых соизмеримы с расстояниями между их центрами (заряды распределены равномерно)</i>

Конденсаторы

	Схема	Энергия заряженного конденсатора	Плотность энергии
конденсатор		$W = \frac{qU}{2} ;$ $W = \frac{CU^2}{2} ; W = \frac{q^2}{2C}$ $W = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} q$	$\omega_p = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$

