



Лекция №4

Закон сохранения заряда. Поле точечного заряда. Принцип суперпозиции напряженности электрического поля. Электрическое поле заряженного шара. Диэлектрическая восприимчивость.

ПРЕПОДОВАТЕЛЬ
«INTERNATIONAL HOUSE TASHKENT»
УЗОҚОВ АБДУЛЛА АБДУРАИМОВИЧ



План



Электрический заряд

Электризация

Напряжённость поля точечного заряда

Принцип суперпозиции напряженности электрического поля.

Электрическое поле заряженного шара

Проводники и диэлектрики электрическом поле

Диэлектрическая восприимчивость.



TIAME

Электродинамика

Электродинамика – раздел физики, изучающий законы взаимодействия электрических зарядов и действия на них электромагнитных полей.

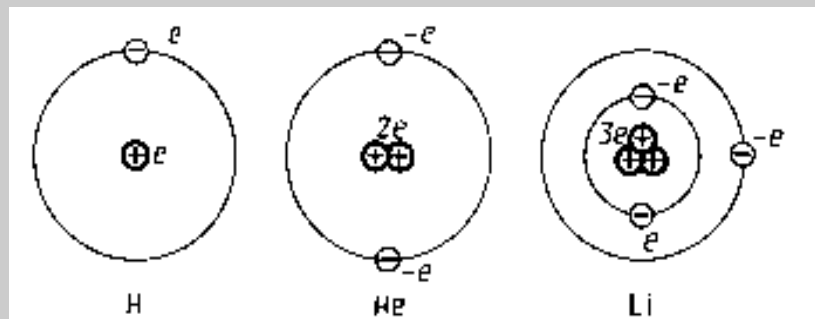
Электростатика - раздел электродинамики, изучающий взаимодействие покоящихся электрических зарядов и действия на них электромагнитных полей.

Заряды



ТИАМЕ

Положительное **ядро**, вокруг которого вращаются отрицательные **электроны**.



Заряд протона равен заряду электрона по величине. В обычных условиях тело нейтрально.



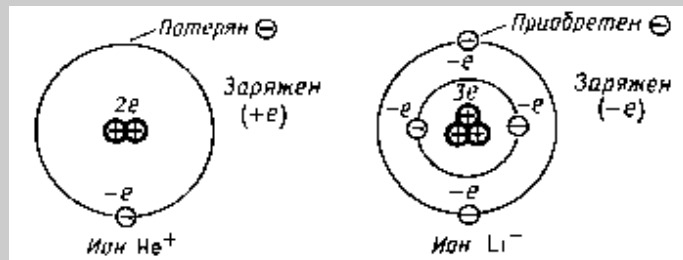
Ион



TIAME

Заряд тела положителен (+) - это значит, что не хватает электронов.

Атом с недостатком электронов - положительный ион.

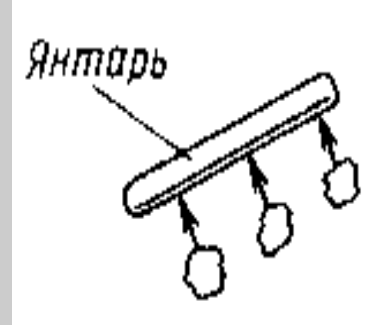


Заряд тела отрицателен (-) - это значит, что избыток электронов.

Атом с избытком электронов - отрицательный ион.

Электрон

В V в. до н.э. люди заметили (Фалес?), что пылинки притягиваются к натертому янтарю (электричество от греч. "электрон" - янтарь).





**В своих опытах доказали существование наименьшего
электрического заряда**



TIAME



**Милликен
Роберт Эндрюс
(1868-1953)**



**Иоффе
Абрам Федорович
(1880-1960)**

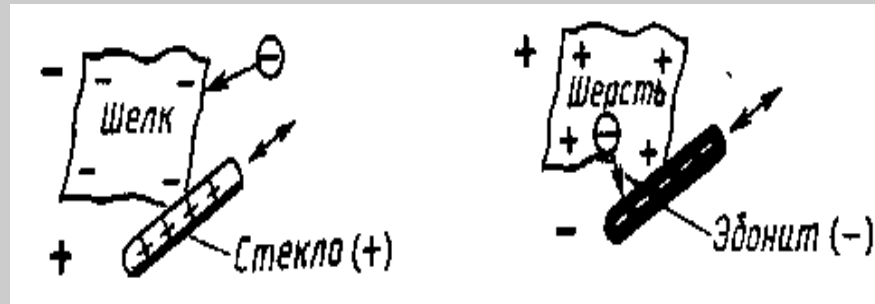


Электрический заряд.



- физическая величина, являющаяся количественной мерой электромагнитного взаимодействия. Тело обладает электрическим зарядом, если мы знаем, что при определенных условиях оно может притягиваться и отталкиваться.

Существует два “рода” зарядов, которые условно называют положительными (стекло, потертое о шелк) и отрицательными (эбонит потертый о шерсть).





Электрон – частица с наименьшим отрицательным зарядом.



TIAME

$$e=1,6 \cdot 10^{-31} \text{ Кл}$$

$$m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$



ТИАМЕ

Делимость заряда!

$$\frac{q}{m} = \frac{e}{m} \approx 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

- удельный заряд электрона.

Величина e - элементарный заряд. В СИ $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Такой заряд имеет электрон (-), протон (+), другие заряженные элементарные частицы.

Любой электрический заряд, больший элементарного, выражается целым числом элементарных зарядов. Не существует (в рамках классической электродинамики) заряда, выраженного дробным числом элементарных зарядов. Т.е. $q = Ne$.



ТИАМЕ

Обозначение: Q или q .

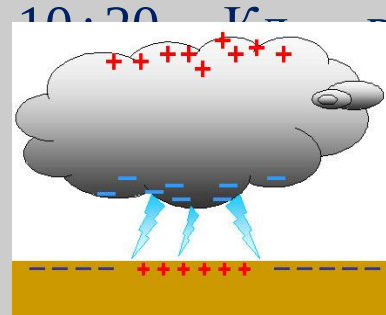
Единицы измерения в СИ: $[q] = \text{Кл}$ 1
(кулон).

(1 Кл - это заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока 1 А).

Заряд 1 Кл - очень большой в электростатике.
Обычные заряды мкКл, нКл.

(Заряд грозового облака
отдельных случаях - до 300 Кл.

Земля имеет отрицательный
заряд, равный $5,7 \cdot 10^5 \text{ Кл}$.)



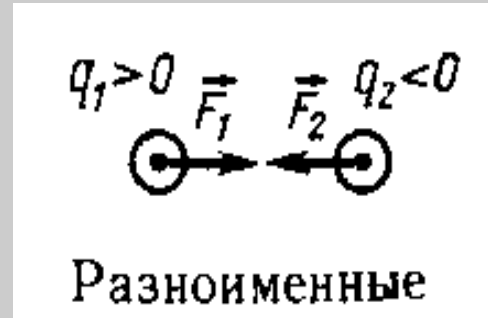
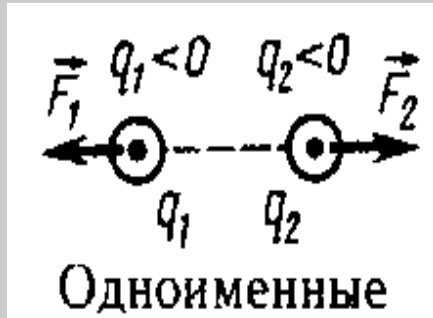


ТИАМЕ

Модуль заряда тела определяется по формуле:

$$q = n \cdot e$$

*где $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$ - элементарный заряд,
n-количество избыточных (недостающих)
электронов.*

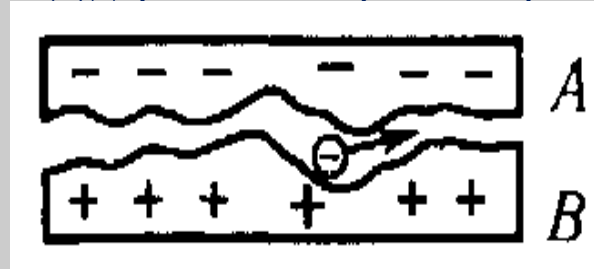


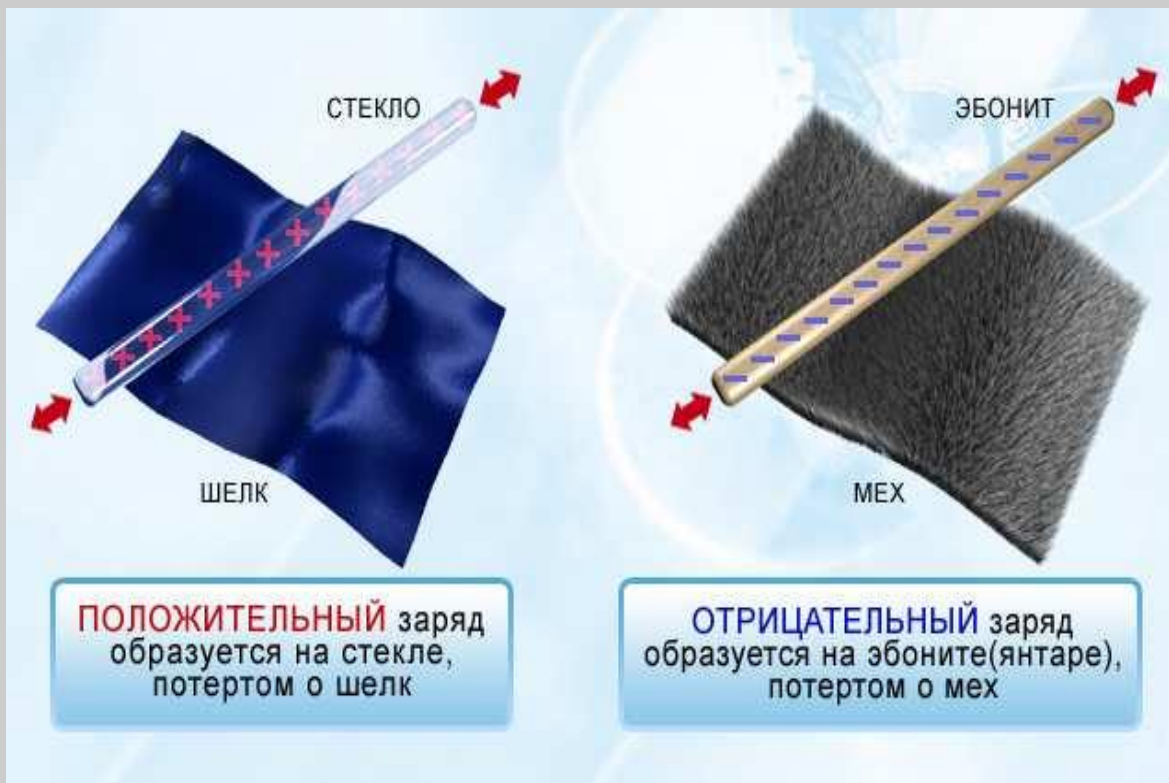
Электризация

Тело, обладающее свойством притягивать к себе легкие тела, благодаря наличию на нем электрического заряда, называют наэлектризованным. Явление возникновения зарядов на телах называют **электризацией**.

Электризация - процесс сообщения телу электрического заряда.

1. Электризация трением, ударом. Электроны переходят от тела В к телу А.





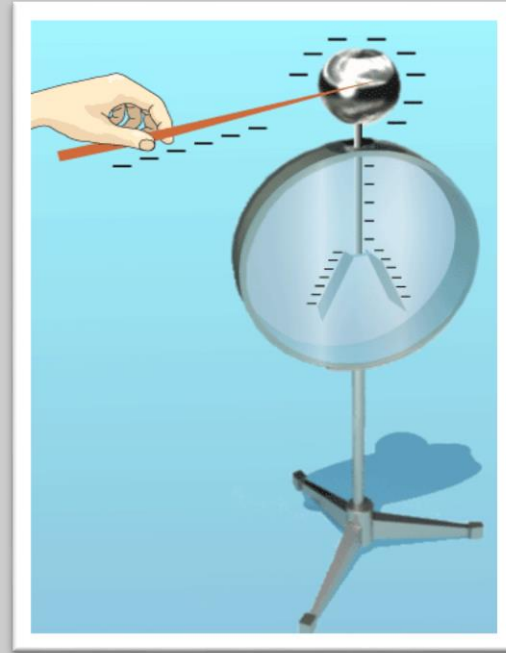
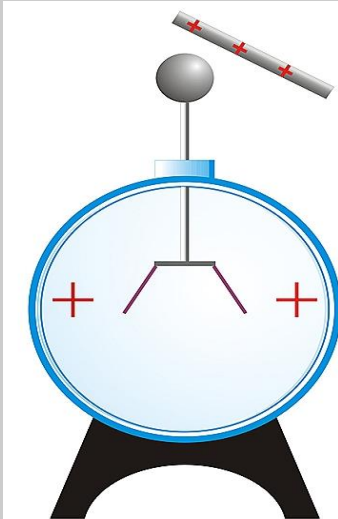


TIAME

Электризация

2. **Электризация через влияние (по индукции).** Например, подносим заряженную палочку к телу, не дотрагиваясь до него, а затем разделяем тела на две части. Обе половины будут заряжены противоположно.

Приборы для обнаружения заряда: электроскоп, электрометр



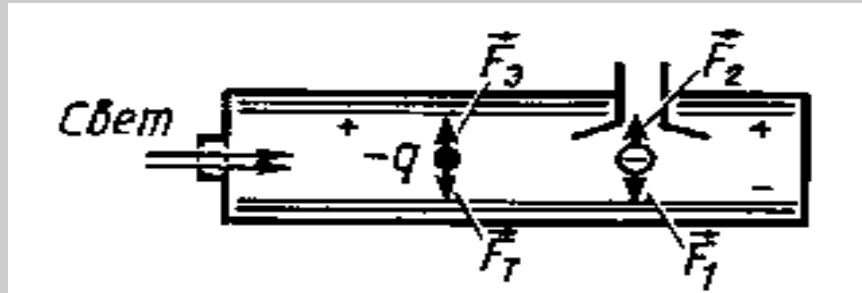


Опыт Иоффе-Милликена.



Цель опыта: обнаружить элементарный электрический заряд.

Опыт: Маленькая капля масла облучается светом (ультрафиолетовыми лучами). В результате фотоэффекта она приобретает электрический заряд. Сила тяжести уравнивается электрической силой. По результатам опыта можно рассчитать отношение заряда частицы, выбиваемой с поверхности тела, к ее массе (удельный заряд).





Закон сохранения электрического заряда.



TIAME

Алгебраическая сумма зарядов, составляющих замкнутую систему, остается неизменной при любых взаимодействиях зарядов этой системы.

$$\sum_1^N q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + \dots = \text{const}$$

Систему называют **изолированной** или **замкнутой**, если в нее не вводятся или из нее не выводятся электрические заряды.

В телах заряды скомпенсированы очень точно. Если бы в теле человека зарядов одного знака было бы на 0,01% больше, чем зарядов другого, то сила взаимодействия между ними была бы равна силе притяжения между Землей и Солнцем.

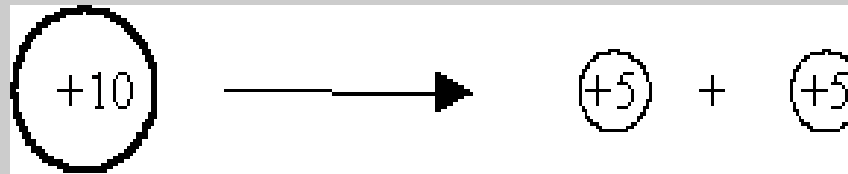
Если Вселенная имеет конечные размеры, то ее суммарный заряд должен быть равен нулю.



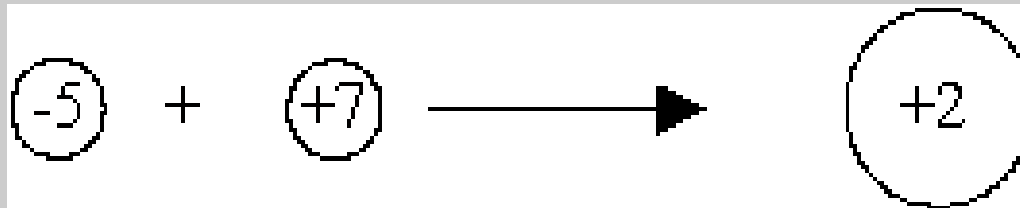
Примеры выполнения закона сохранения заряда:



1. Заряженная капля делится на две равные капли.



2. Соединение двух заряженных капель.





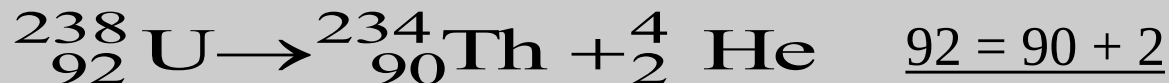
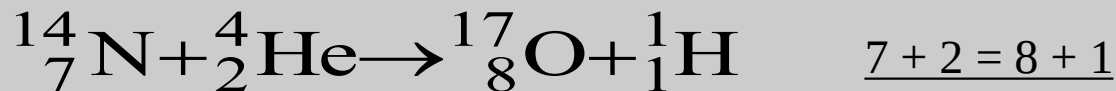
TIAME

Примеры выполнения закона сохранения заряда:

3. Соприкосновение заряженных шариков.

$$\textcircled{-8} + \textcircled{+6} \longrightarrow \textcircled{-1} + \textcircled{-1}$$

4. Ядерные реакции:





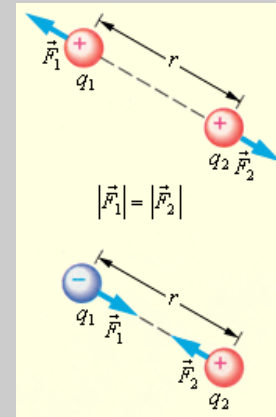
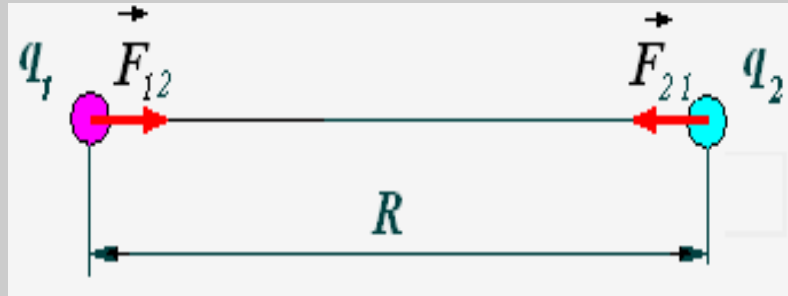
Как взаимодействуют заряженные тела?

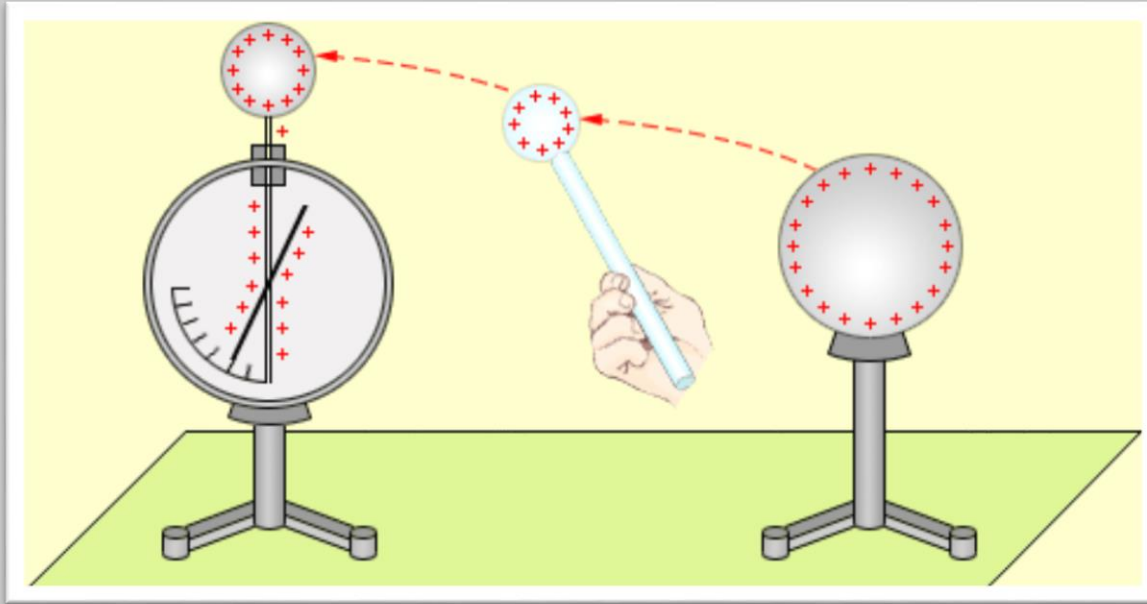


TIAME

Мы можем наблюдать, что заряженные тела взаимодействуют (притягиваются или отталкиваются), находясь на некотором расстоянии друг от друга.

Взаимодействие неподвижных зарядов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга, осуществляется посредством электрического поля, порожденного зарядами. Это взаимодействие происходит не мгновенно, а распространяется в вакууме со скоростью c .





Перенос заряда с заряженного тела на электромметр.



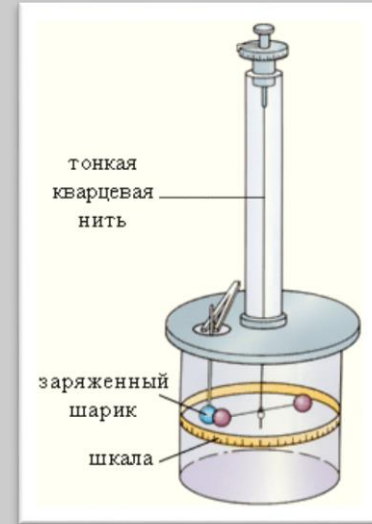
Электрометр

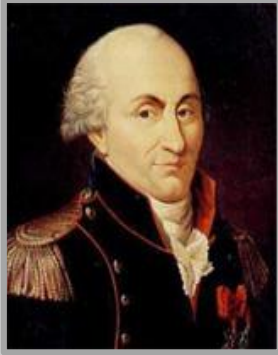


ТИАМЕ

Электрометр является достаточно грубым прибором; он не позволяет исследовать силы взаимодействия зарядов.

Впервые закон взаимодействия неподвижных зарядов был установлен французским физиком Ш. Кулоном (1785 г.). В своих опытах Кулон измерял силы притяжения и отталкивания заряженных шариков с помощью сконструированного им прибора – крутильных весов.





Закон Кулона



Сила взаимодействия двух точечных неподвижных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами.

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

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

где $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Нм}^2}$

электрическая постоянная,

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

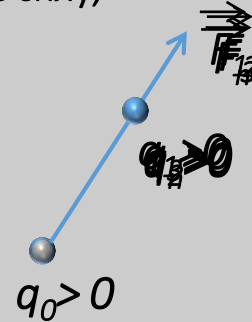
Электрическое поле – особая форма материи



- поле материально; оно существует независимо от нас, от наших знаний о нем;
- поле обладает определенными свойствами, которые не позволяют спутать его с чем-либо другим в окружающем мире.

Введем характеристику поля, которая позволит определить силу, действующую на любой заряд в любой точке поля

$$\left. \begin{array}{l} F_1 \sim q_1 \\ F_2 \sim q_2 \\ F_3 \sim q_3 \\ F_n \sim q_n \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \frac{F}{q} = \text{const} \\ \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \end{array} \right.$$



Отношение силы, действующей на заряд, помещенный в данную точку поля к этому заряду для каждой точки поля не зависит от заряда и может рассматриваться как характеристика поля. Эта величина называется **напряженностью**

$$\text{в СИ: } 1[E] = 1 \text{ Н/Кл}$$

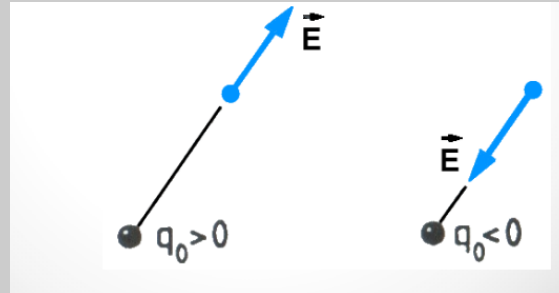
Напряженность – силовая характеристика электрического поля



TIAME

Напряжённость поля точечного заряда

Вектор напряжённости в любой точке электрического поля направлен вдоль прямой, соединяющей эту точку и заряд, и совпадает с силой, действующей на точечный положительный заряд, помещённый в данную точку.





ТИАМЕ

Напряжённость поля точечного заряда

Рассмотрим напряжённость электрического поля, создаваемого точечным зарядом q_0 . По закону Кулона этот заряд будет действовать на положительный заряд q с силой

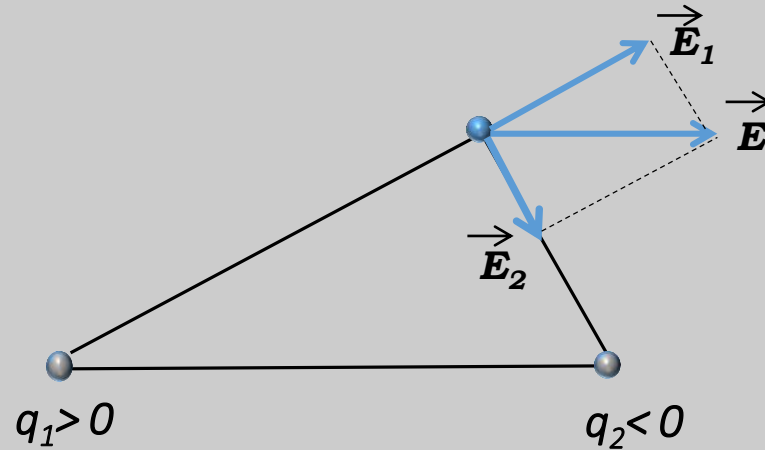
$$F = k \frac{|q_0|q}{r^2}$$

Модуль напряжённости поля точечного заряда q_0 на расстоянии r от него равен:

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{|q_0|}{r^2}$$

Принцип суперпозиции полей

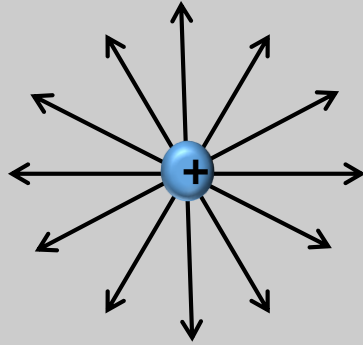
Если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, напряженности которых $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \dots$ то результирующая напряженность поля в этой точке равна $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$



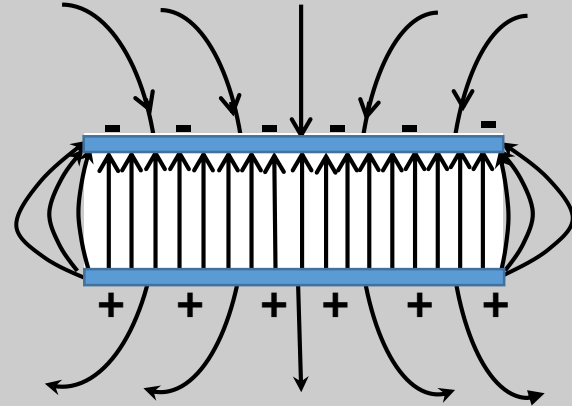
Т. о., результирующая напряженность – это **геометрическая сумма** напряженностей полей, которые существуют в данной точке

Линии напряженности электрического поля

Воображаемые линии, касательные к которым в каждой точке, через которую они проходят, совпадают с векторами напряженности, называют **силовыми линиями электрического поля** или **линиями напряженности**



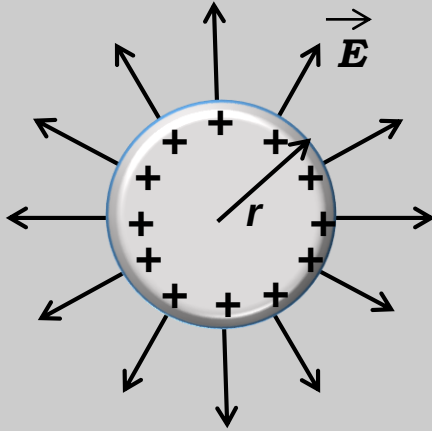
поле неоднородно:
густота линий различна



Между пластинами (к середине) поле
однородно: густота линий одинакова

Силовые линии электрического поля не замкнуты, они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных

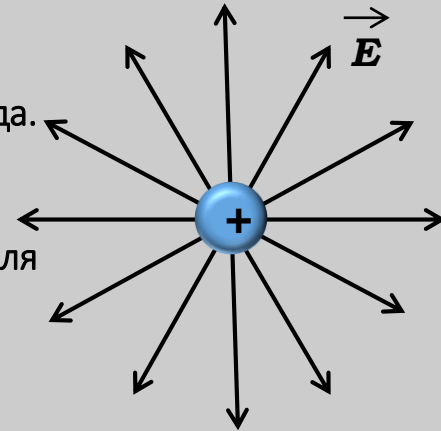
Поле заряженного шара



$$E = k \frac{|q_0|}{r^2}$$

Вне шара силовые линии распределяются так же, как силовые линии точечного заряда.

На расстоянии $R \gg r$ от центра шара напряженность поля определяется той же формулой, что и напряженность поля точечного заряда, помещенного в центре сферы



$$E = k \frac{|q_0|}{r^2}$$

Внутри проводящего шара: $R < r$ напряженность поля равна нулю



Проводники и диэлектрики в электростатическом поле

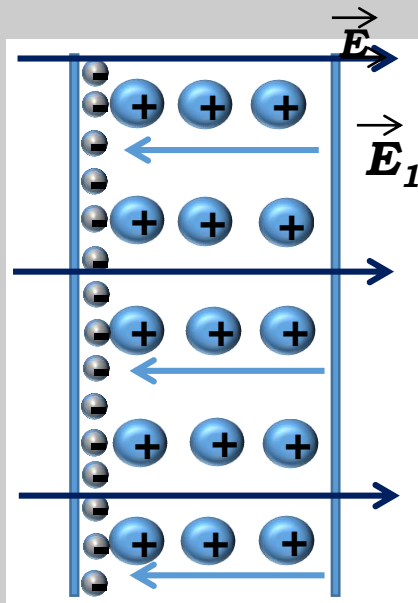
Свободные электроны участвуют в тепловом движении и могут перемещаться по металлу в любом направлении.

Заряженные частицы, способные свободно перемещаться в проводнике под влиянием электрического поля, называются **свободными зарядами**.

Проводники в электростатическом поле

проводник в отсутствие поля:
 В проводниках имеются заряженные частицы, способные свободно перемещаться. В отсутствие внешнего электрического поля свободные электроны участвуют в тепловом движении, перемещаются по металлу в любом направлении.

проводник во внешнем поле:
 В проводнике во внешнем поле свободные заряды перемещаются справа налево (кратковременный ток).
 левая часть пластины заряжается отрицательно, а правая – положительно.



В этом состоит явление **электростатической индукции**:
 появившиеся заряды создают свое поле с напряженностью E_1 , которое накладывается на внешнее поле и компенсирует его.

Т.е., за ничтожно малое время заряды перераспределяются так, что напряженность результирующего поля внутри проводника становится равной нулю

Заряды в проводнике могут располагаться только на его поверхности



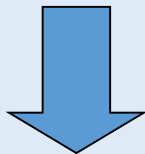
Вещества по проводимости



TIAME

Проводники

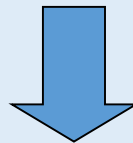
это вещества, которые
проводят
электрический ток



есть свободные
заряды

Диэлектрики

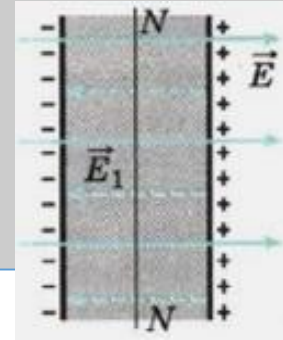
это вещества, которые
не проводят
электрический ток



нет свободных
зарядов

Электростатическое поле внутри проводника

В первый момент (при внесении пластины в поле) возникает электрический ток. Под действием электрического поля электроны пластины начинают перемещаться



Появившиеся заряды создают своё напряжённости этого поля показаны на рисунке штриховыми прямыми), которое накладывается на внешнее поле и компенсирует его. За ничтожно малое время заряды перераспределяются так, что напряжённость результирующего поля внутри пластины становится равной нулю и движение зарядов прекращается.



ТИАМЕ

Электростатическое поле внутри проводника

Явление разделения зарядов и их распределение по поверхности проводника во внешнем электрическом поле называют **электростатической индукцией**

Силовые линии электростатического поля вне проводника в непосредственной близости к его поверхности перпендикулярны поверхности



ТИАМЕ

Электрический заряд проводников

Внутри проводника при равновесии зарядов не только напряжённость поля равна нулю, равен нулю и заряд. Весь статический заряд проводника сосредоточен на его поверхности. В самом деле, если бы внутри проводника имелся заряд, то вблизи заряда имелось бы и поле. Но электростатического поля внутри проводника нет. Следовательно,
**заряды в проводнике могут располагаться
только на его поверхности**

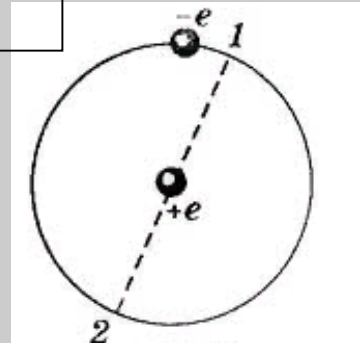


TIAME

Диэлектрики в электростатическом поле

У изолятора или *диэлектрика* электрические заряды, а точнее, электрически заряженные частицы — электроны и ядра в нейтральных атомах связаны друг с другом. Они не могут, подобно свободным зарядам проводника, перемещаться под действием электрического поля по всему объёму тела

Электрическое поле может
существовать внутри диэлектрика





TIAME

Электрический диполь

Электрическим диполем называют систему двух равных по модулю, но противоположных по знаку зарядов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга.





TIAME

Виды диэлектриков

Полярные

состоящие из таких молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают

(спирты, вода и другие вещества)

Неполярные

состоящие из атомов или молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов совпадают.

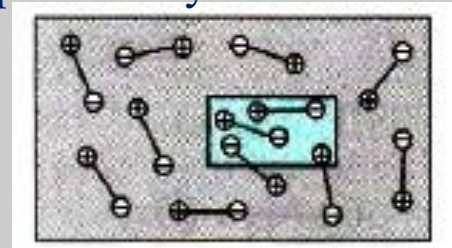
(инертные газы, кислород, водород, бензол, полиэтилен и др.)

Поляризация полярных диэлектриков

Полярный диэлектрик состоит из молекул, которые можно рассматривать как электрические диполи. Тепловое движение приводит к беспорядочной ориентации диполей, поэтому на поверхности диэлектрика, а также и в любом его объёме, содержащем большое число молекул (выделенный прямоугольник на рисунке) электрический заряд в среднем равен нулю.

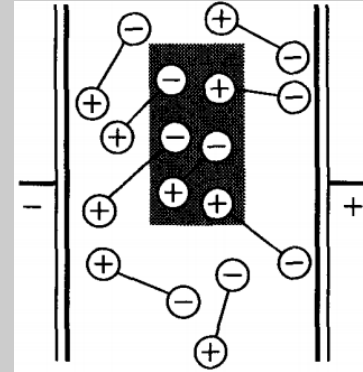
Напряжённость

электрического поля в диэлектрике в среднем также равна нулю.



Поляризация полярных диэлектриков

Если по однородное электрическое поле, то на каждой стороне этого поля на каждый электрический диполь будут действовать две силы, одинаковые по модулю, но противоположные по направлению (рис. а). Они создадут момент сил, стремящийся повернуть диполь так, чтобы его ось была направлена по силовым линиям поля (рис. б). При этом положительные заряды смещаются в направлении электрического поля, а отрицательные — в противоположную сторону.



$\vec{F}' = -|q|\vec{E}$ $-|q|\vec{E}$ $+|q|\vec{E}$ стороны называют **поляризацией**.

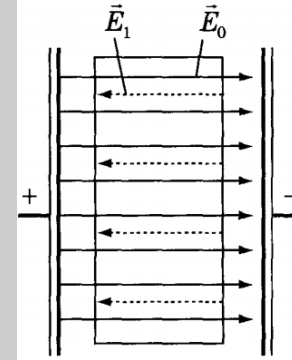
а)

б)

Поляризация неполярных диэлектриков

Неполярный диэлектрик в электрическом поле также поляризуется. Под действием электрического поля положительные и отрицательные заряды в молекуле смещаются в противоположные стороны, так что центры распределения зарядов смещаются, как у полярных молекул. Ось наведенного полем диполя ориентирована вдоль поля. На поверхностях диэлектрика, примыкающих к заряженным пластинам, появляются связанные заряды.

Поляризованный диэлектрик сам создает электрическое поле $\vec{E}_1$



Это поле ослабляет внутри диэлектрика внешнее электрическое поле $\vec{E}_0$. Степень этого ослабления зависит от свойств диэлектрика. Уменьшение напряженности электростатического поля в веществе по сравнению с полем в вакууме характеризуется относительной диэлектрической проницаемостью среды.



Поляризация неполярных диэлектриков

Если напряжённость внешнего поля E_0 , а напряжённость поля, создаваемого поляризованными зарядами, E_1 , то напряжённость поля внутри диэлектрика равна:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 - \mathbf{E}_1$$

Физическая величина ϵ , равная отношению модуля напряжённости поля E_0 в вакууме к модулю напряжённости поля E в диэлектрике, называется **диэлектрической проницаемостью вещества**

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