

# Электричество

## Лекция. Электрическое поле в вакууме

**ЗАДАНИЕ:** Законспектировать, прислать отчет

# ЛИТЕРАТУРА

1 Детлаф А.А. Курс физики (9-е изд., стер.) учеб. пособие:ИЦ.АКАДЕМИЯ, 2014.

2.Трофимова Т.И. Курс физики (20-е изд., стер.) учеб. пособие; ИЦ.АКАДЕМИЯ, 2014.

## *Дополнительная*

1.Гершензон Е.М., Малов Н.Н. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. – М.: Просвещение, 1980.

2.Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.2. М.: Наука, 1969.

3. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 2. М.: КноРус, 2009

# Фундаментальные взаимодействия в природе

На сегодня достоверно известно существование четырех фундаментальных взаимодействий:

- 1. гравитационного**
- 2. электромагнитного**
- 3. сильного**
- 4. слабого**

Гравитационное взаимодействие изучалось в курсе «Механика»

Электромагнитное взаимодействие изучается в курсе «Электричество и магнетизм»

Электростатика

Постоянный ток

Переменный ток

# Электричество и магнетизм

Электро-  
магнитные  
явления

Электрическое поле

Магнитное поле

в вакууме

в веществе

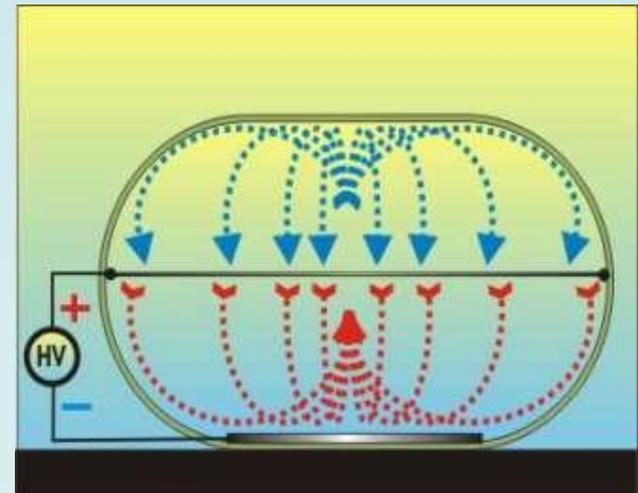
в вакууме

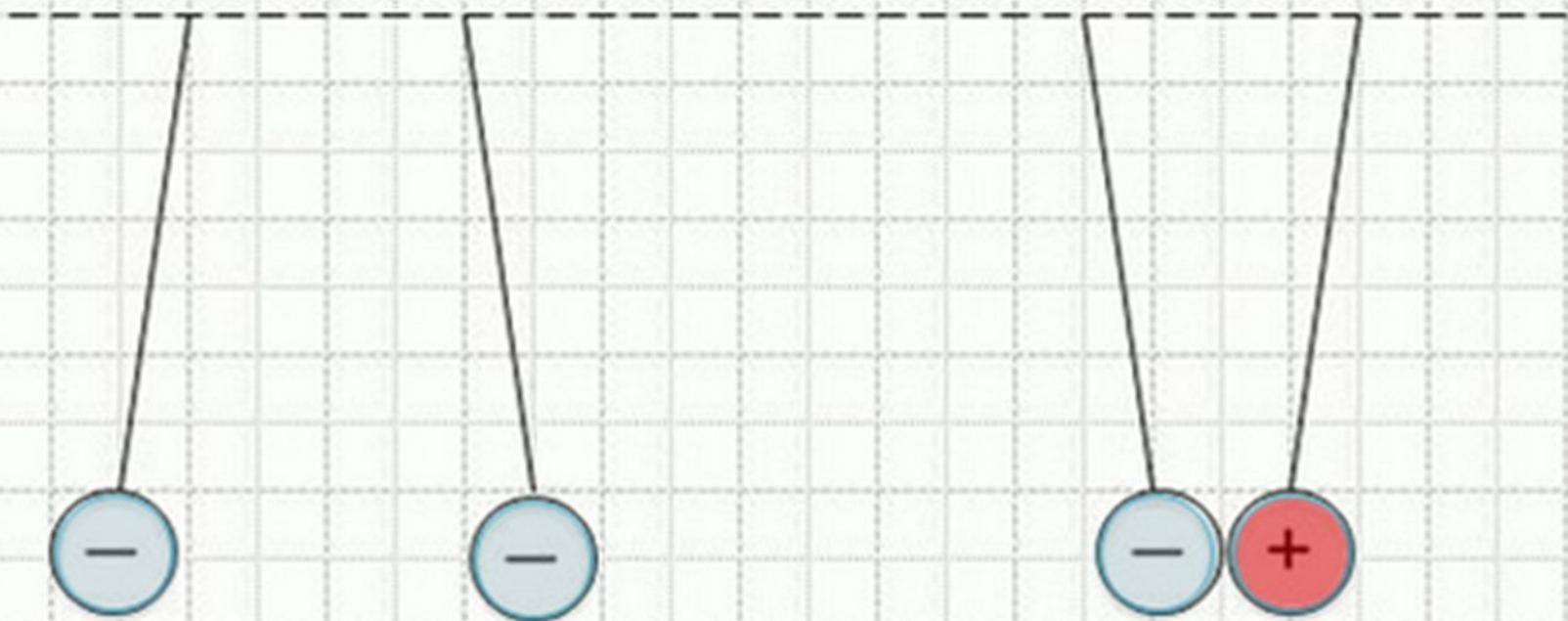
в веществе

**Электростатика** —раздел учения об электричестве, в котором изучаются взаимодействия и свойства систем электрических зарядов, неподвижных относительно выбранной инерциальной системы отсчета.

Между одноимённо заряженными телами возникает электростатическое (или кулоновское) отталкивание, а между разноимённо заряженными — электростатическое притяжение. Явление отталкивания одноименных зарядов лежит в основе создания электроскопа — прибора для обнаружения электрических зарядов.

В основе электростатики лежит **закон Кулона**. Этот закон описывает взаимодействие точечных электрических зарядов.

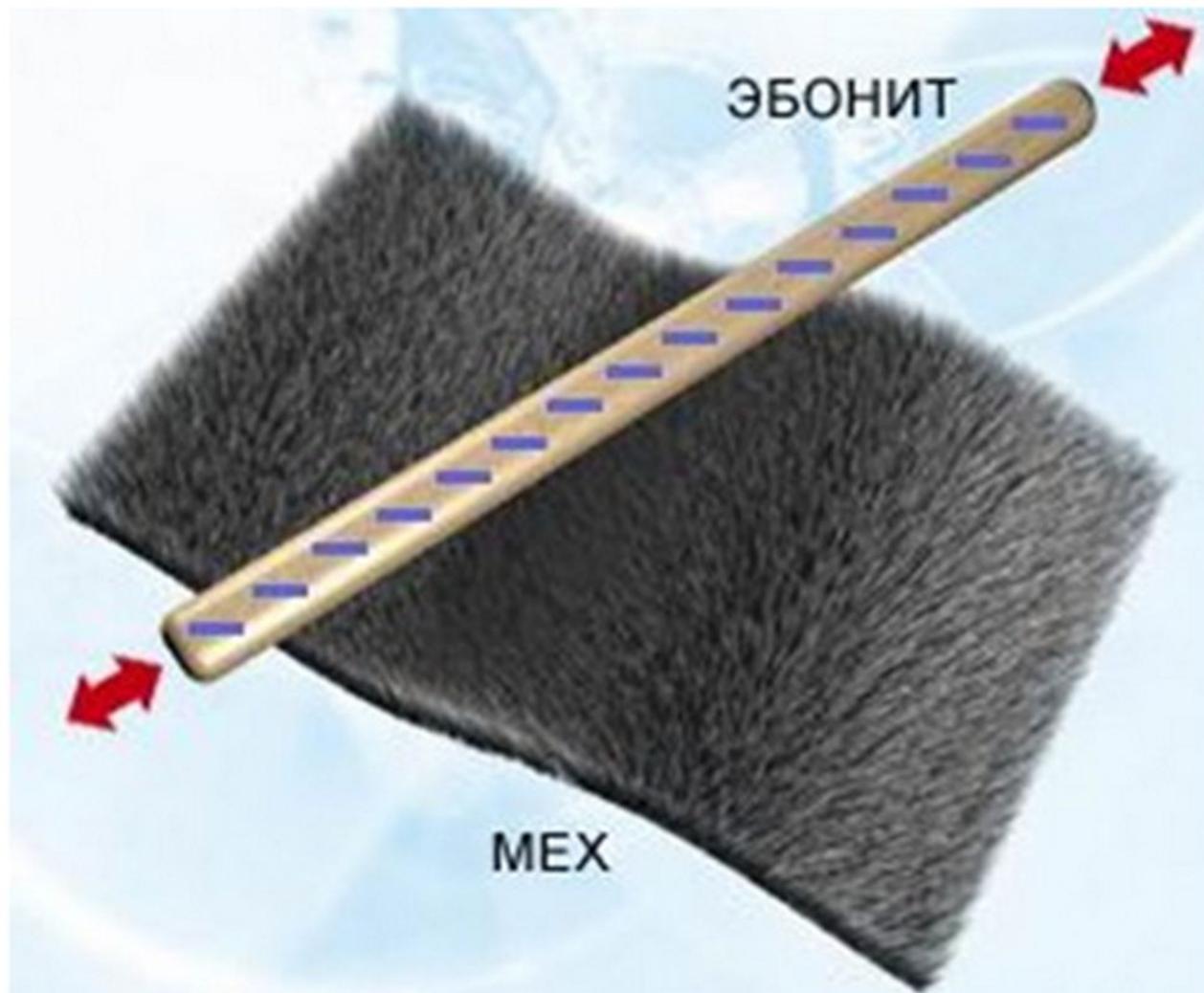




одноименные - отталкиваются,  
разноименные - притягиваются

- Было обнаружено, что часть заряженных тел притягивается, а часть отталкивается.
- Выбор знака заряда был произвольным. Бенджамин Франклин предложил различать заряженные тела как положительные и отрицательные.
- Заряд на стекле договорились считать положительным, а на эбоните отрицательным.
- В ходе экспериментов обнаружили, что тела, заряженные одноименным знаком отталкиваются, а разноименным притягиваются.





При электризации электроны переходят от одних тел к другим

# 1.1.2. Свойства электрического заряда.

1. Единица электрического заряда Кулон (Кл). В СИ эта единица производная.
2. *Заряд существует в двух видах.* Тела, заряженные одноименным знаком отталкиваются, а разноименным притягиваются.
3. *Электрический заряд инвариантен.* Его величина не зависит от системы отсчета, т.е. не зависит от того движется он или покоится.
4. *Электрический заряд дискретен.* Заряд не может уменьшаться до бесконечно малого значения, Заряд любого тела представляет собой кратное от наименьшего электрического заряда – элементарного заряда.
5. *Электрический заряд аддитивен.* Заряд системы тел (частиц) равен сумме зарядов тел (частиц), входящих в систему.

- Элементарный электрический заряд существует в двух видах. Элементарный положительный электрический заряд равен элементарному отрицательному электрическому заряду.
- Элементарный электрический заряд равен  $1,6 \times 10^{-19}$  Кл
- носителем элементарного положительного электрического заряда является протон.
- $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$  кг.
- носителем элементарного отрицательного электрического заряда является электрон.
- $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  кг.

# Свойства электрического заряда

- Все тела в природе способны наэлектризовываться или электризоваться, т.е. заряжаться или приобретать электрический заряд.
- Всякий процесс заряжения сводится к разделению (поляризации) зарядов, когда на одном из тел или части тела возникает избыток положительного заряда, а на другом конце отрицательного.
- Общее количество зарядов обоих знаков находящихся в телах не меняется. Заряды только перераспределяются в системе.
- Так проявляется фундаментальный закон природы - *закон сохранения электрического заряда*.

# Закон сохранения электрического заряда:

- алгебраическая сумма электрических зарядов любой *замкнутой системы* остается неизменной, какие бы процессы в этой системе не происходили.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \textit{const}$$

- *Замкнутой называют систему, не обменивающуюся зарядами с внешними телами.*

# 1.2. Закон кулона

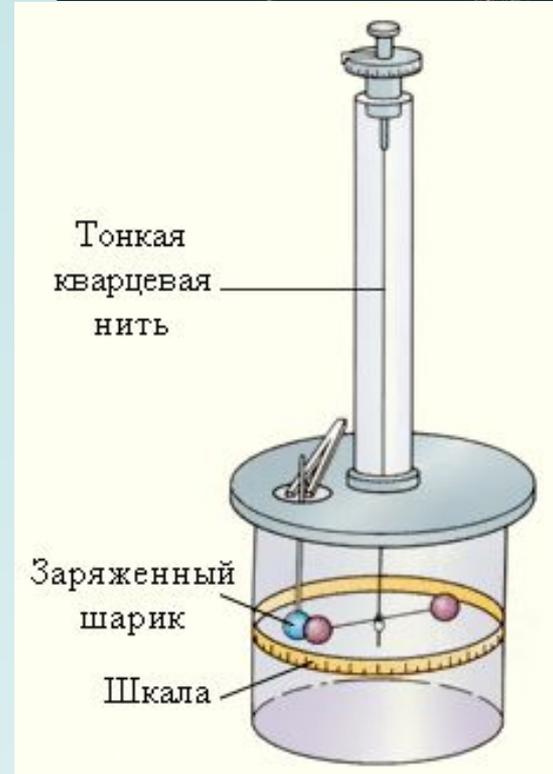
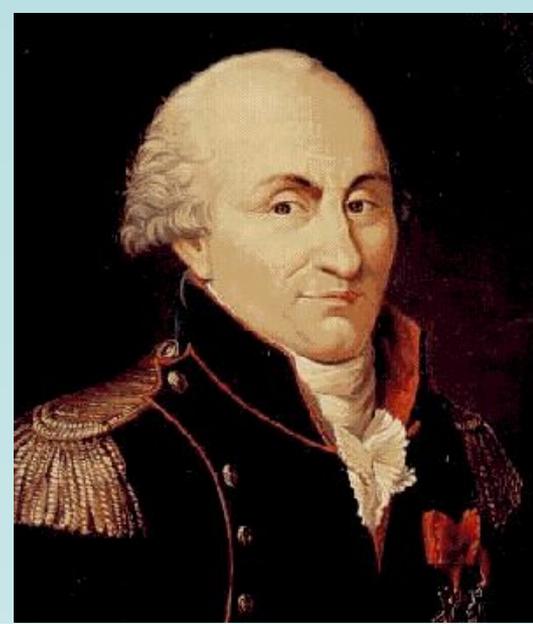
## 1.2.1. Понятие точечного заряда.

- Для описания взаимодействия электрических зарядов вводится понятие **точечный заряд** - заряд, сосредоточенный на теле, линейные размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми оно взаимодействует.
- Понятие точечного заряда, как и материальной точки, является *физической абстракцией*

# Закон Кулона

**Закон Кулона** — это закон о взаимодействии точечных электрических зарядов.

Был открыт **Кулоном** в **1785 г.** Проведя большое количество опытов с металлическими шариками, Шарль Кулон дал такую формулировку закона:



# Формулировка закона Кулона

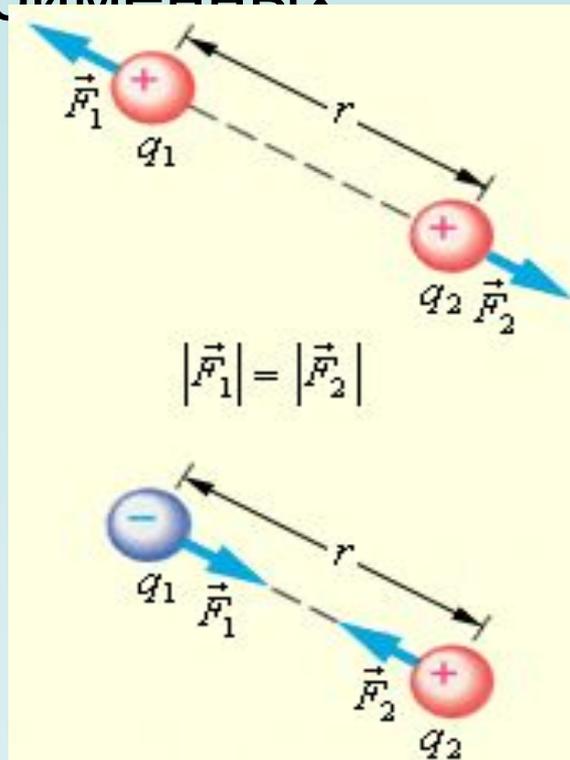
- Сила взаимодействия  $F$  между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, пропорциональна зарядам  $Q_1$ ,  $Q_2$  и обратно пропорциональна квадрату расстояния  $r$  между ними:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

# Векторная форма закона Кулона.

- Сила  $F$  направлена по прямой, соединяющей взаимодействующие заряды, т. е. является центральной, и соответствует притяжению ( $F < 0$ ) в случае разноименных зарядов и отталкиванию ( $F > 0$ ) в случае одноименных. Эту силу называют кулоновской.

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r}$$



## Коэффициент пропорциональности

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

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

## Электрическая постоянная

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{КЛ^2}{Н \cdot м^2}$$

# Силы кулоновского взаимодействия и III закон Ньютона.

- Кулоновские силы подчиняются третьему закону Ньютона, они равны по модулю; направлены противоположно друг другу вдоль прямой, соединяющей точечные заряды. Силы действуют парами; являются силами одной природы; приложены к разным телам (зарядам)

# Физический смысл величин в законе Кулона

- Из формулировки закона Кулона

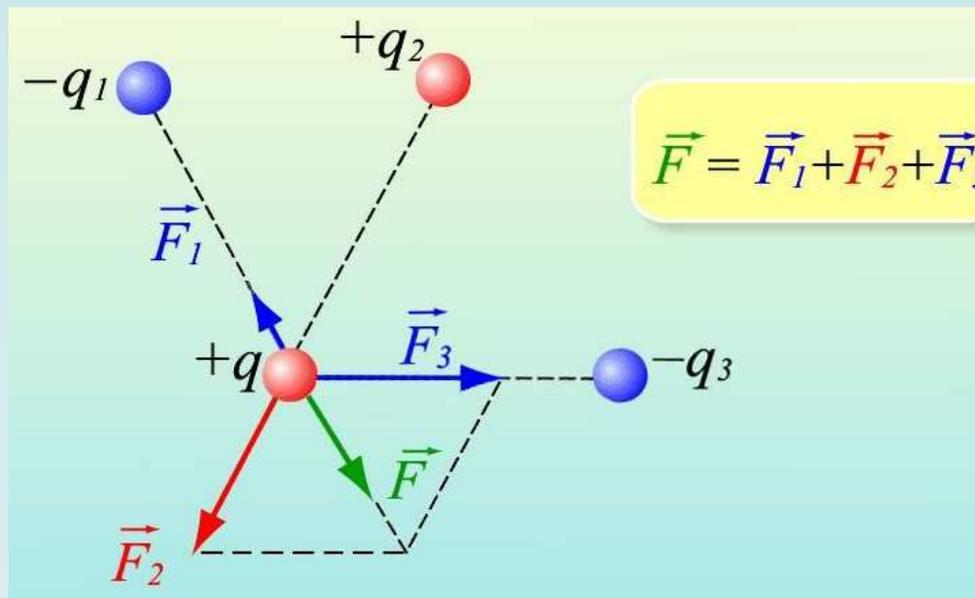
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

- следует, что два точечных заряда по 1 Кл каждый, расположенных в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействуют с силой  $9 \cdot 10^9$  Н.
- На практике пользуются дольными единицами 1 мкКл ( $10^{-6}$  Кл), 1 нКл, ( $10^{-9}$  Кл) или 1 пКл ( $10^{-12}$  Кл).

# Принцип суперпозиции

Если заряженное тело взаимодействует одновременно

с несколькими заряженными телами, то **резльтирующая сила**, действующая на данное тело, **равна векторной сумме сил**, действующих на это тело со стороны всех других заряженных тел.



# Электрическое поле

Если тела взаимодействуют без непосредственного контакта друг с другом, говорят, что они взаимодействуют посредством поля

Неподвижные заряды создают только электрическое (электростатическое) поле.

Движущиеся заряды создают не только электрическое, но и магнитное поле

# Напряженность электрического поля



- **Электрическим полем** называют вид материи, посредством которой происходит взаимодействие электрических зарядов.
- 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 силе, с которой поле действует на единственный положительный заряд, помещенный в эту точку.

# Напряженность электрического поля.

- Электрический заряд создает **электрическое поле** (на этот факт впервые указал Фарадей).  
Посредством этого поля электрические заряды взаимодействуют между собой.
- Электрические поля, которые создаются *неподвижными электрическими зарядами* называются **электростатическими**.
- В настоящее время в физике принята теория близкодействия, согласно которой взаимодействие электрических зарядов результат действия **поля** одного заряда на другой заряд и **поля** второго заряда на первый.
- Взаимодействие между зарядами осуществляется посредством **электрического поля**, непрерывно распределенного в пространстве.

- Электромагнитные поля распространяются в пространстве со скоростью света.  
**Электромагнитное поле** - особая форма материи, посредством которой осуществляются электромагнитные взаимодействия заряженных тел, в общем случае движущихся относительно данной системы отсчета.
- **Электрическое поле** - составная часть единого электромагнитного поля.

- Для обнаружения и опытного исследования электростатического поля используется **пробный точечный положительный заряд** — такой заряд, который не искажает исследуемое поле (не вызывает перераспределения зарядов, создающих поле).
- Если в поле, создаваемом зарядом  $Q$ , поместить пробный заряд  $Q_0$ , то на него действует сила  $F$ , различная в разных точках поля, которая, согласно закону Кулона, пропорциональна пробному заряду  $Q_0$

- **Напряженность** электростатического поля в данной точке есть физическая величина, определяемая силой, действующей на пробный единичный положительный заряд, помещенный в эту точку поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0}$$

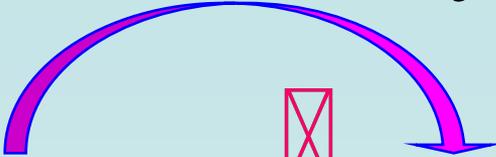
- Единица напряженности электростатического поля в СИ **ньютон на кулон** (Н/Кл)
- 1 Н/Кл - напряженность такого поля, которое на точечный заряд 1 Кл действует силой в 1 Н
- Обычно в таблицах используют размерность напряженности В/м (1 Н/Кл = 1 В/м),

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0}$$

- Отношение не зависит от  $Q_0$  и характеризует электростатическое поле в той точке, где пробный заряд находится. Напряженность является силовой характеристикой электростатического поля.

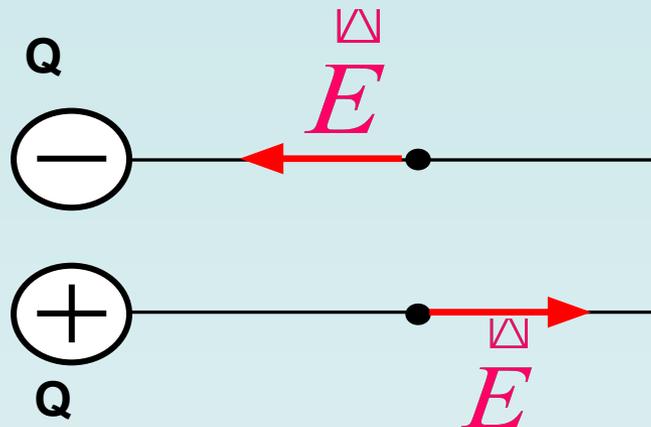
# Напряженность поля точечного заряда в вакууме

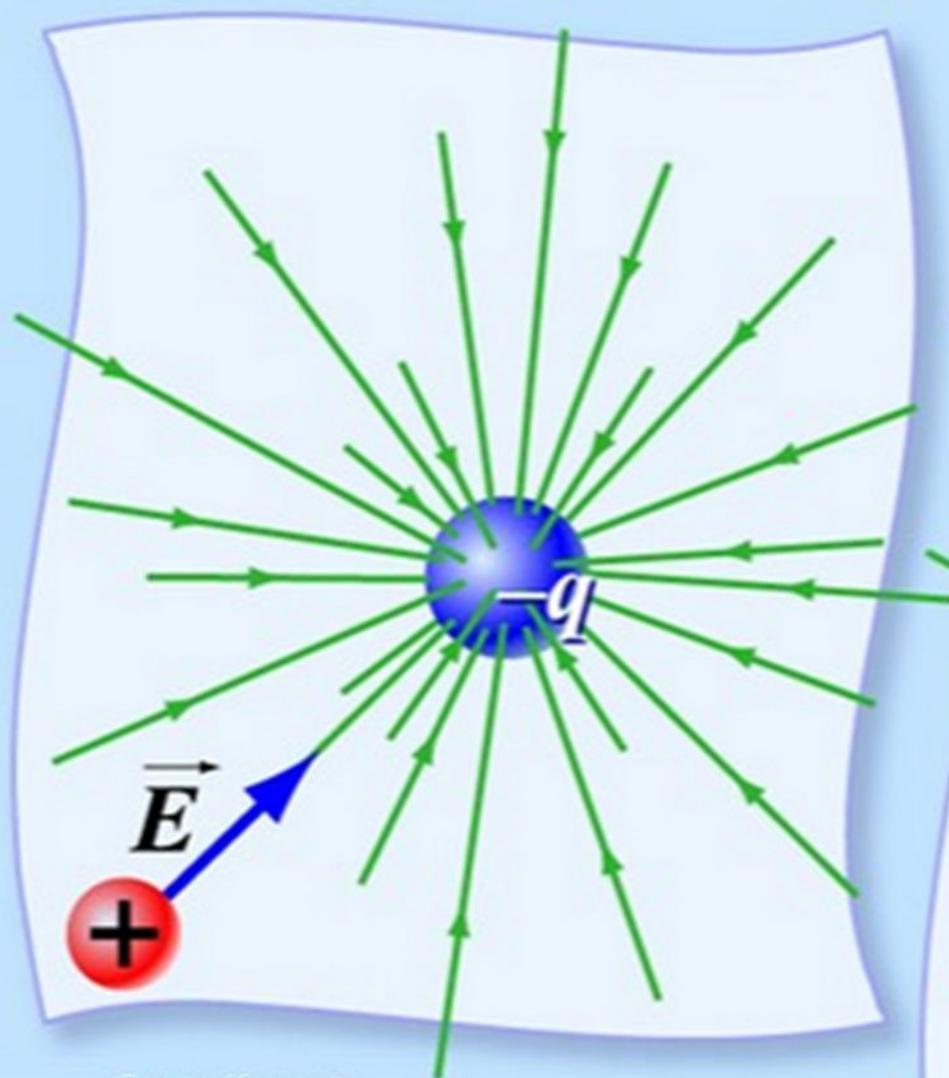
- подставив в формулу определения напряженности закон Кулона получим

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{Q_0}$$

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

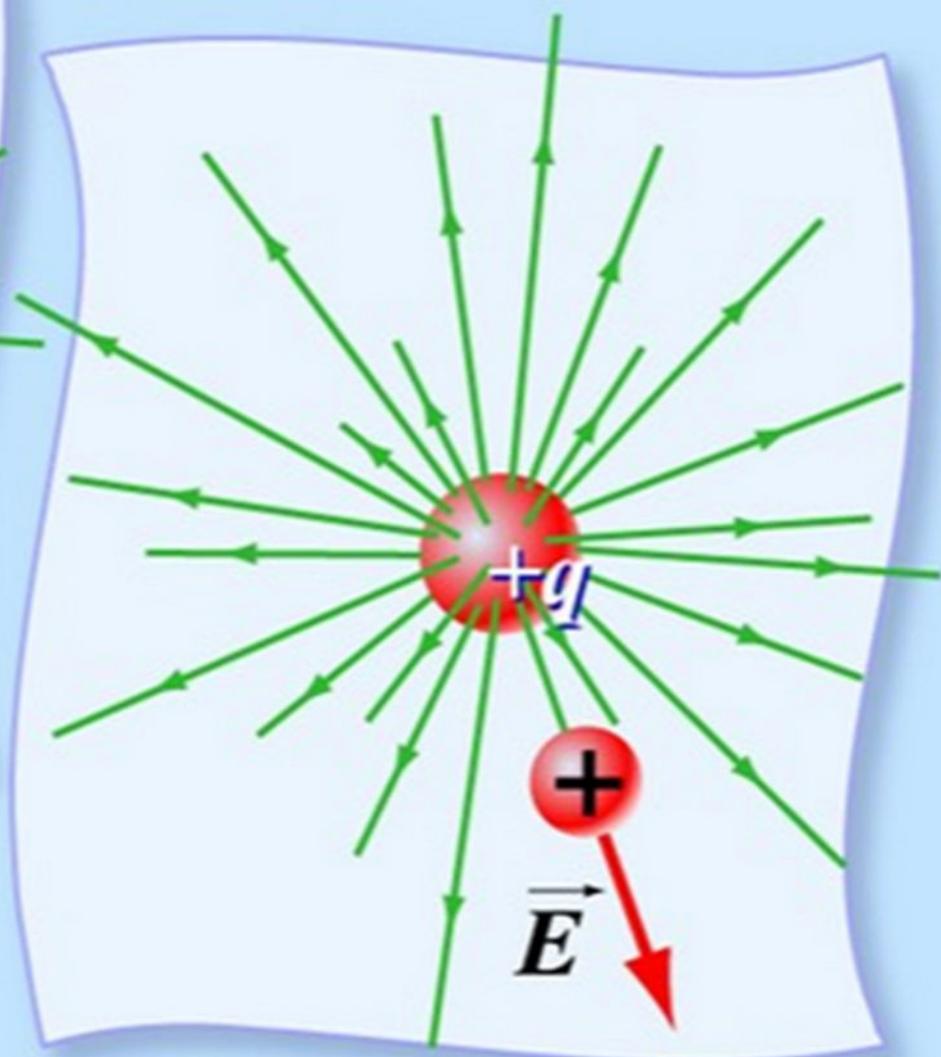
- **Направление вектора  $\vec{E}$**  совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд.
- Если поле создается положительным зарядом, то вектор  $\vec{E}$  направлен вдоль радиуса-вектора от заряда во внешнее пространство.  
(отталкивание пробного положительного заряда)
- Если поле создается отрицательным зарядом, то вектор  $\vec{E}$  направлен к заряду  
(притяжение пробного положительного заряда)





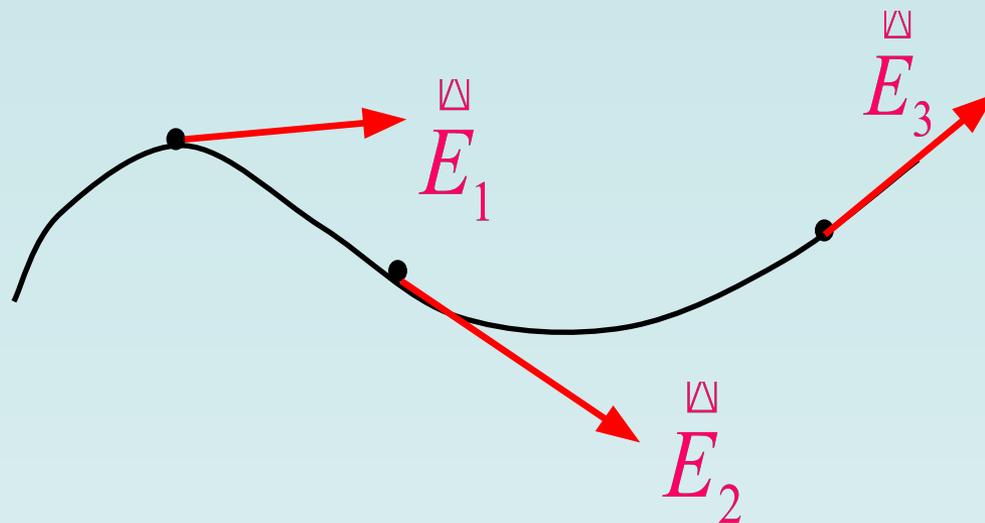
Закон Кулона

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



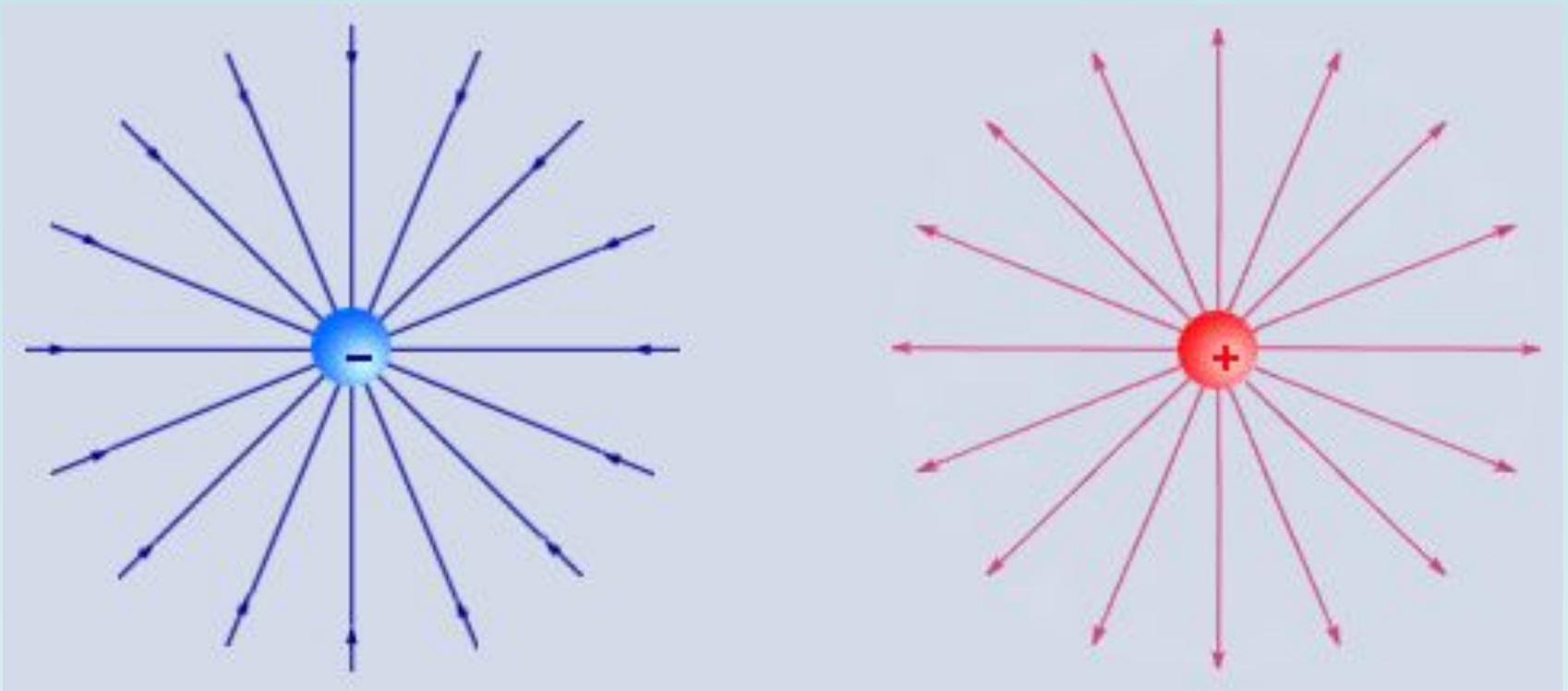
# Графическое изображение электростатических полей.

- Линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора поля. называются **силовые линии** поля. Они описывают напряженность поля.
- В этом случае их можно называть - *линиями напряженности*
- Линиям напряженности приписывают направление, совпадающее с направлением вектора  $\vec{E}$  в рассматриваемой точке линии.

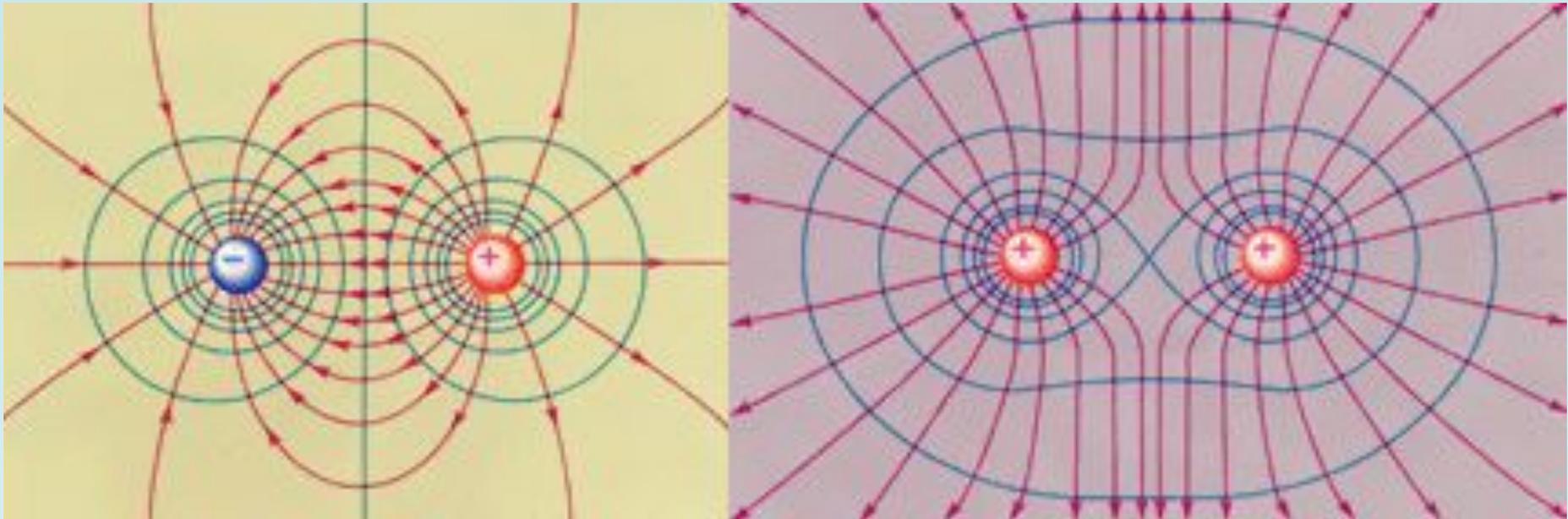


- Так как в каждой данной точке пространства вектор напряженности имеет лишь одно направление, то силовые линии векторного поля напряженности никогда не пересекаются.
- В случае однородного поля (вектор напряженности в любой точке постоянен по модулю и направлению) - линии напряженности параллельны вектору напряженности.
- Если поле создается точечным положительным зарядом, то линии напряженности - радиальные прямые, выходящие из заряда.
- Если поле создается точечным отрицательным зарядом, то линии напряженности - радиальные прямые, входящие в заряд

- Линии напряженности электростатического поля начинаются на положительных электрических зарядах и заканчиваются на отрицательных либо уходят в бесконечность.



- Линии напряженности электростатического поля для двух одинаковых по модулю одноименных и разноименных точечных зарядов.



# Принцип суперпозиции электростатических полей

- Рассмотрим систему неподвижных точечных зарядов  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ . Экспериментально доказано, что результирующая сила  $F$ , действующая со стороны поля на пробный заряд  $Q_0$  в любой точке поля, равна векторной сумме сил  $F_i$ , приложенных к нему со стороны каждого из зарядов  $Q$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

Согласно определению напряженности

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

получим

$$F = Q_0 E \quad \text{и} \quad F_i = Q_0 E_i$$

$E$ - напряженность результирующего поля,

$E_i$  - напряженность поля, создаваемого зарядом  $Q_i$ .

Подставив эти выражения в формулу

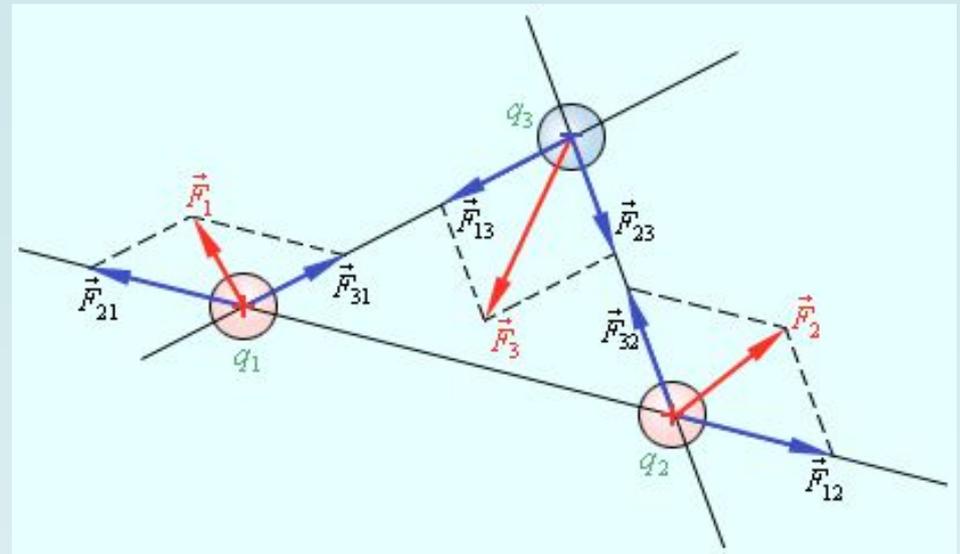
$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

получим:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

- Эта формула выражает **принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей**
- напряженность результирующего поля, создаваемого системой зарядов, равна геометрической сумме напряженностей полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов в отдельности.

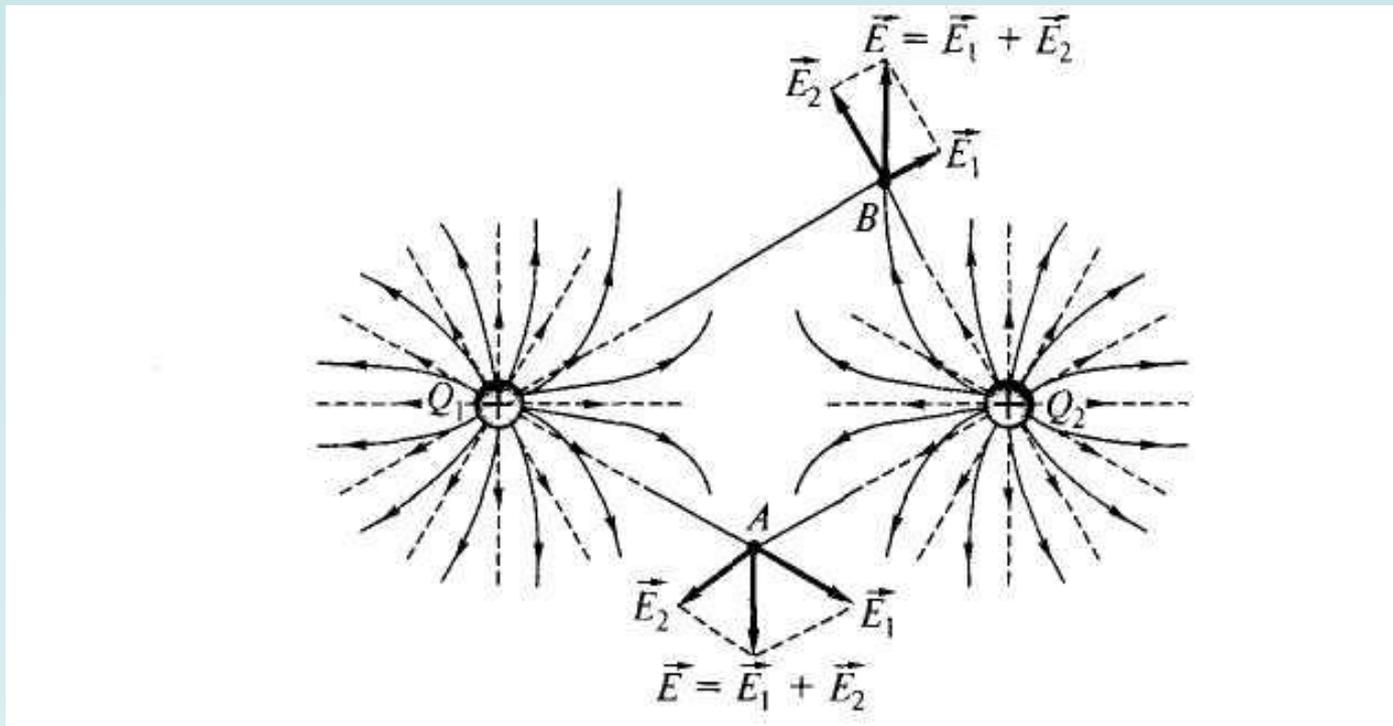
$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$



Рассмотрим пример применения принципа суперпозиции для нахождения напряженности результирующего электростатического поля в точках  $A$  и  $B$ , создаваемого двумя неподвижными точечными положительными равными зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$

Точка  $A$  равноудалена от зарядов, а точка  $B$  расположена ближе к заряду  $Q_2$

- Точка  $A$  равноудалена от зарядов, а точка  $B$  расположена ближе к заряду  $Q_2$
- Принцип суперпозиции позволяет вычислять напряженность результирующего поля любой системы неподвижных зарядов.



- Принцип суперпозиции является обобщением опытных данных и, возможно, нарушается на малых расстояниях менее  $10^{-15}$  м.
- Принцип суперпозиции позволяет рассчитать электростатические поля любой системы неподвижных зарядов, поскольку если заряды не точечные, то их можно всегда мысленно разделить на малые части, считая каждую из них точечным зарядом.