

# Лекция 5.

## Фундаментальные и нефундаментальные взаимодействия

- Фундаментальные взаимодействия
- Реальные силы: силы упругости, силы трения
- Силы инерции
- Общее понятие поля
- Гравитационное поле
- Электромагнитное поле
- Напряженность и потенциал поля.

# Классификация фундаментальных взаимодействий

№	Название Взаимодействия	Интенсивность	Радиус действия	Частицы, участвующие во взаимодействии
1	Сильное (ядерное)	1	$10^{-15}$	Нейтроны протоны
2	Электро- магнитное	$10^{-2}$	$\infty$	Все заряженные частицы
3	Слабое	$10^{-18}$	$10^{-15}$	Элементарные частицы
4	Гравитационное	$10^{-42}$	$\infty$	все

# Реальные силы

Все нефундаментальные силы а именно: сила трения, сила упругости, сила гидростатического давления, сила поверхностного натяжения и т.д. можно свести к выше указанным фундаментальным взаимодействиям.

# Силы упругости

Силы упругости возникают как реакция на деформацию твердого тела, при этом тело после деформации возвращается в исходное состояние.

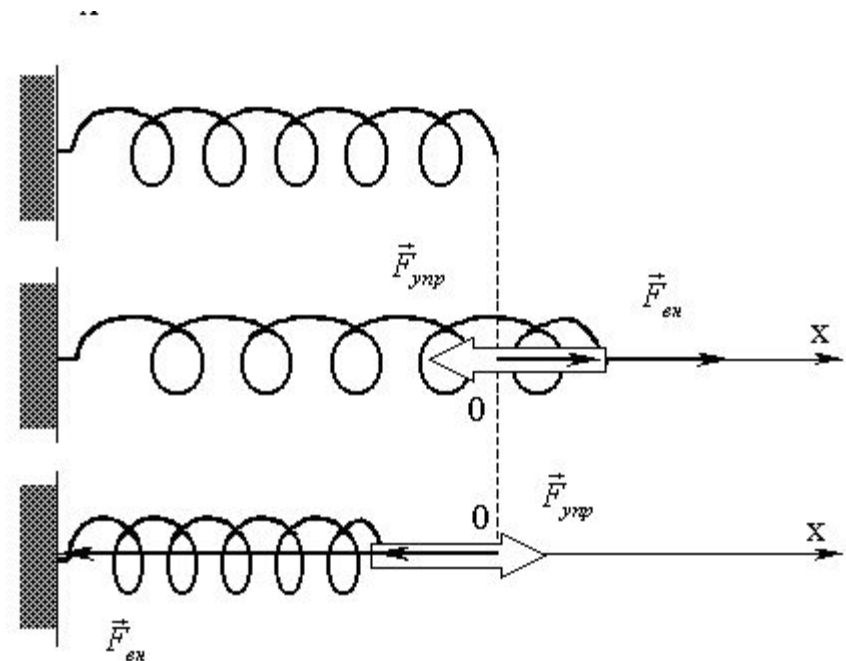
Упругая сила – сила, пропорциональная смещению материальной точки из положения равновесия и направленная к положению равновесия

$$F_{упр} = -kr,$$

Закон Гука

где  $r$  – радиус-вектор, характеризующий смещение материальной точки из положения равновесия;

$k$  – положительный коэффициент, зависящий от упругих свойств среды.



# Силы трения

- Силы, возникающие между поверхностями соприкасающихся тел, и препятствующие их относительному перемещению, называются силами трения.

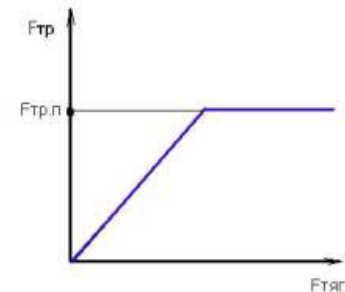
Сила трения направлена против скорости и относительного перемещения тел.

# Силы трения

Внешним или сухим трением называется трение, возникающее между твердыми телами. В свою очередь оно подразделяется на трение покоя и кинематическое трение (скольжения и качения). Сила трения покоя равна максимальной силе, которую следует приложить к твердому телу, чтобы началось его перемещение. Сила трения скольжения равна

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

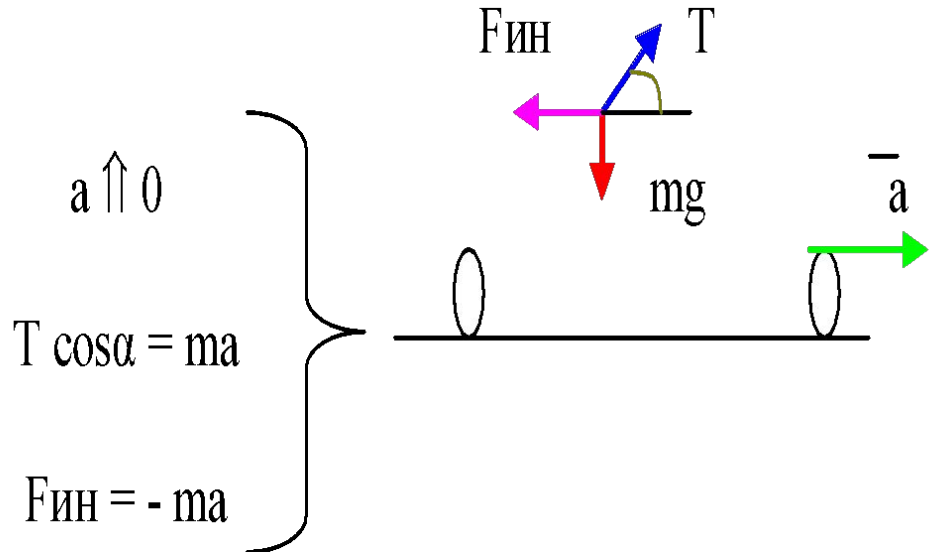
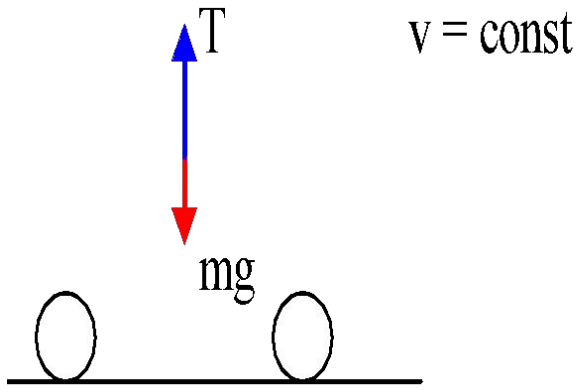
$N$  – сила нормального давления,  $\mu$  – коэффициент трения



# Способы уменьшения коэффициента трения

- Замена трения скольжения трением качения.
- Замена сухого трения – вязким.
- Повышение качества обработки поверхностей трущихся деталей.
- Замена трения покоя – трением скольжения и трением качения путем применения звуковых и ультразвуковых вибраций.
- Использование полимернаполненных композиций на основе фторопласта.

# Силы инерции



Силы инерции не относятся к реальным силам, сила инерции вводится только в системах отсчета движущихся с ускорением т.е. в неинерциальных системах отсчета; сила инерции всегда пропорциональна массе. Сила инерции не является потенциальной силой.



# Обобщение опытов - законы взаимодействия

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

Ньютона

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2}$$

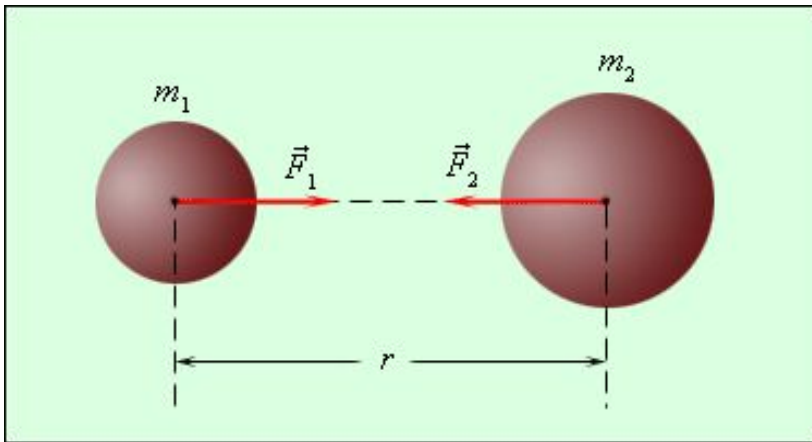
Кулона

# Определение:

Поле - это физически измененное пространство, в каждой точке которого однозначно определена сила, действующая на пробное тело  
( $m, q, s$ )

# Гравитационное поле.

Закон всемирного тяготения имеет вид:



$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где  $\gamma$  – гравитационная постоянная.  
 $r$  – расстояние между центрами масс тел.

Источником гравитационного поля является масса. Любые две материальные точки притягивая друг друга с силой пропорциональной произведению масс этих точек и обратно пропорциональной квадрату расстояний между ними. Этот же закон справедлив для любых тел со сферической симметрией, причем расстояние берется между их центрами.

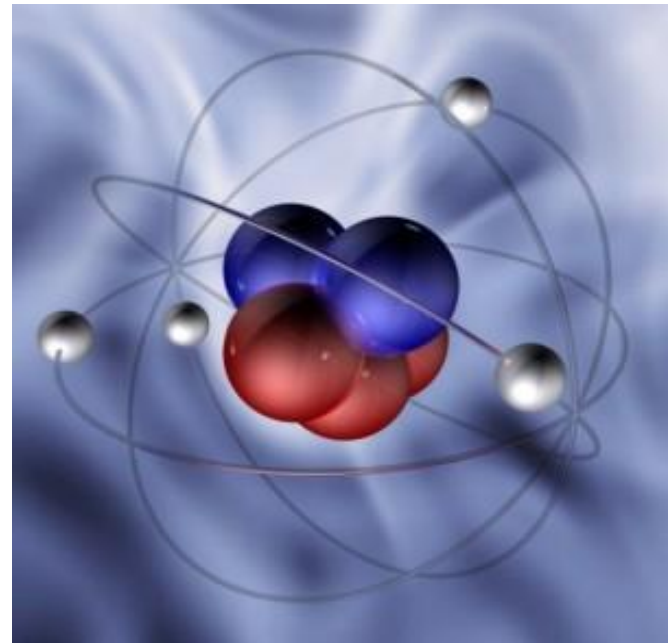
# Принцип эквивалентности

- В физике существует два понятия массы: масса инерциальная ( как мера инертности тела ) и гравитационная масса - являющаяся источником гравитационного поля.
- Вся совокупность опытных данных указывает на то, что инертная и гравитационные массы строго пропорциональны друг другу, это обозначает, что при соответствующем выборе единиц гравитационная и инертная массы тождественны. Принцип эквивалентности положен в основу общей теории относительности.

# Электрический заряд и его свойства

С современной точки зрения, носителями зарядов являются **элементарные частицы**

Три элементарные частицы — **электрон, протон и нейтрон** — являются теми строительными кирпичиками, из которых состоит каждый атом. Комбинация из протонов и нейтронов образует ядро, находящееся в центре каждого атома.



# Закон Кулона

Кулоновская сила действующая между двумя точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$

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

где  $r$  – расстояние между зарядами  
 $k$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц.

# Электрический заряд

- Электрический заряд -это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в силовые электромагнитные взаимодействия и показывающая степень возможного участия в этом взаимодействии.
- Единица измерения заряда в СИ — Кулон. Заряд в 1 Кл очень велик. Два заряда ( $q_1=q_2=1\text{Кл}$ ) расположенных в вакууме на расстоянии 1 м, взаимодействуют с силой  $9 \cdot 10^9 \text{ Н}$ .

# Свойства электрического заряда

- Электрический заряд квантуется (имеет дискретную природу)
- Элементарный заряд-заряд электрона
- В природе существуют два вида зарядов-положительные и отрицательные
- Закон сохранения электрического заряда

$$Q = \pm ne$$

$$n = 1, 2, 3 \dots$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}$$



# Электростатическое поле

- По современным представлениям каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве **электрическое поле**.
- **Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой.**
- Поле, образованное заряженными телами, покоящимися в данной системе отсчета называется **электростатическим**.

# Общие характеристики

\* напряженность поля

(силовая характеристика поля)

$$\vec{E}_H = \frac{F}{m}$$

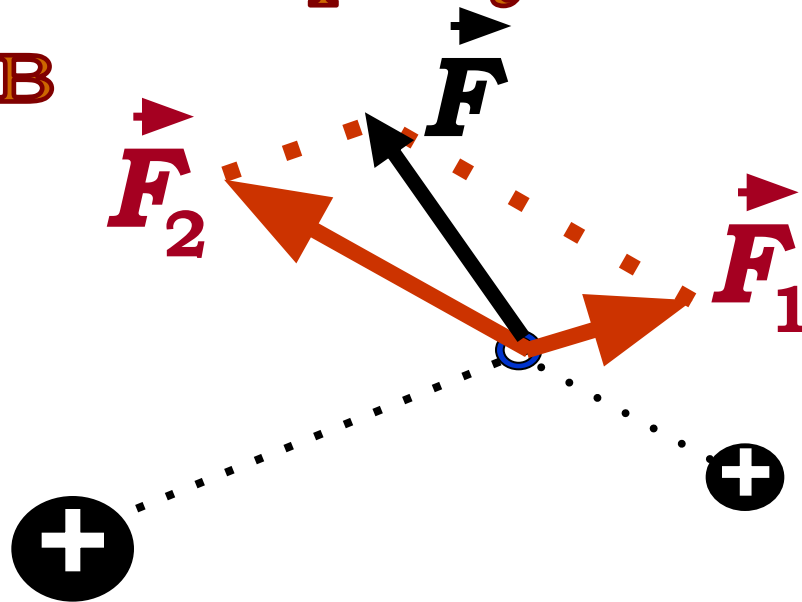
- гравитационного

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

- электростатического

# Принцип суперпозиции полей:

Каждый источник создает свое поле независимо от присутствия других источников



# **Напряженность электрического поля – силовая характеристика поля**

Напряженностью электрического поля  $E$  называют физическую величину, равную силе, с которой поле действует на единичный положительный пробный заряд, помещенный в данную точку пространства.

Тогда сила, действующая на произвольный заряд  $q$  равна

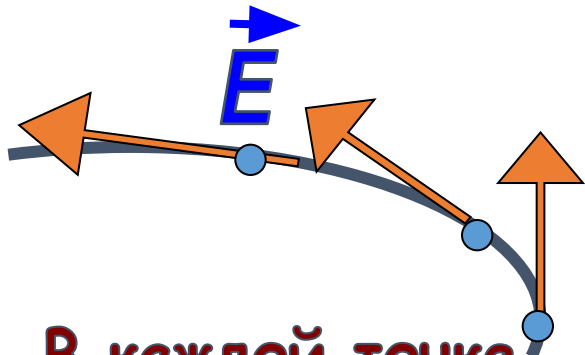
$$F = qE$$

# Напряженность поля точечного заряда

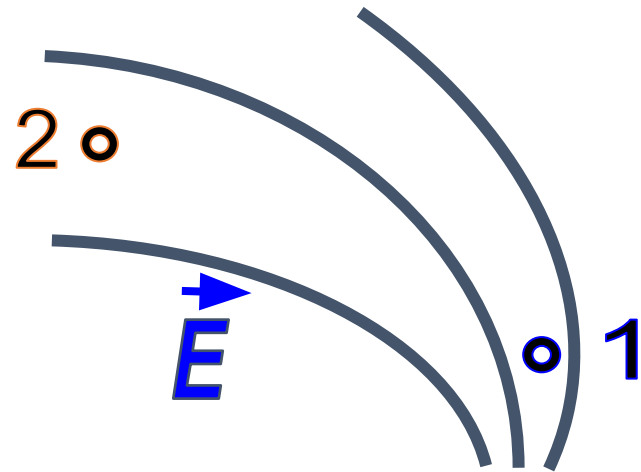
- В соответствии с законом Кулона, напряженность электростатического поля, создаваемого **точечным зарядом  $Q$**  на расстоянии  $r$  от него, равна по модулю

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

# Графически поле представляется линиями напряженности

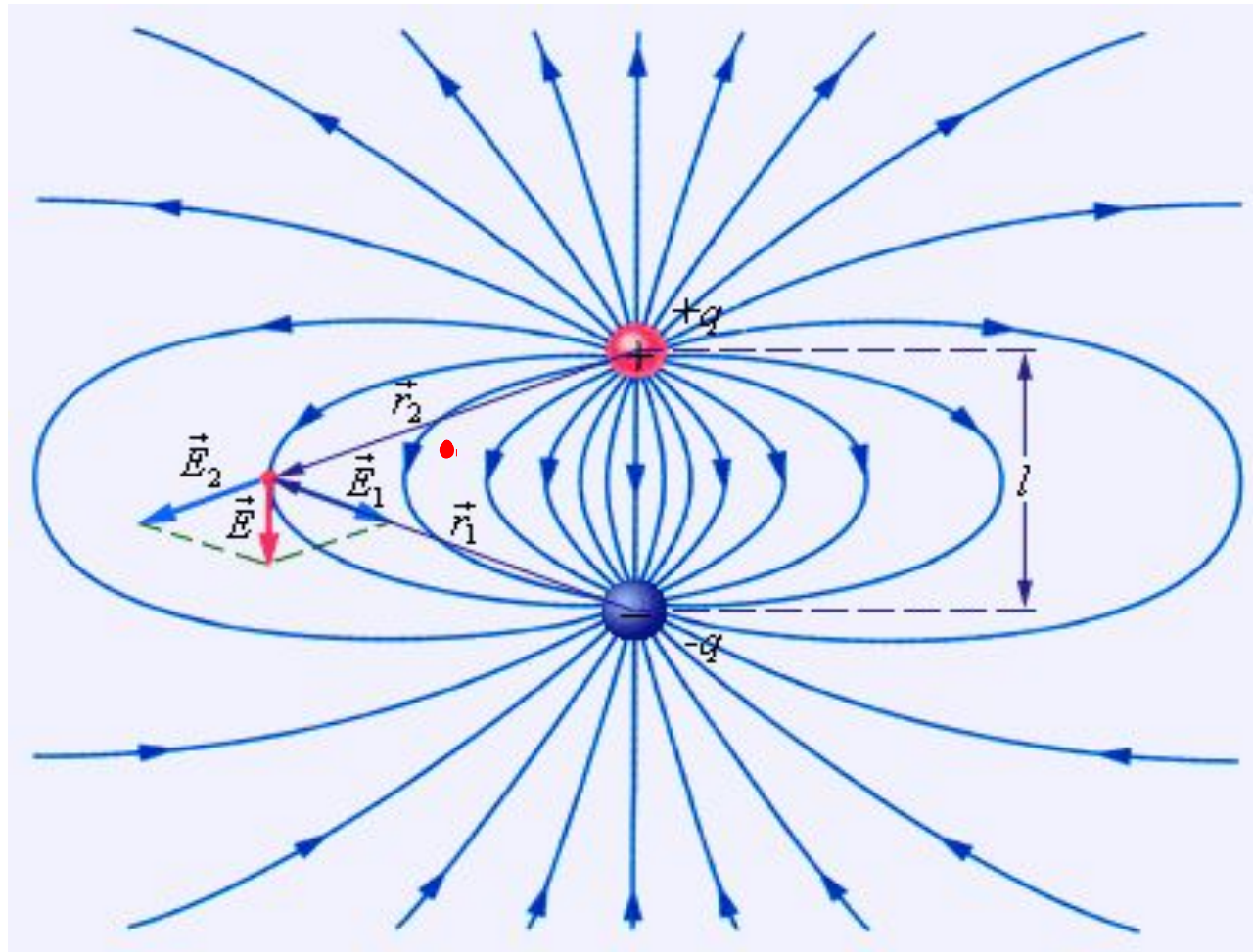


В каждой точке  
линии напряженности  
векторы силы направлены  
по касательной



В точке 1 напряженность  
поля выше!

**Электрический диполь** – система из двух одинаковых по модулю зарядов разного знака  $q$  и  $-q$ , расположенных на некотором расстоянии  $l$ .



# Общие характеристики

\* потенциал поля

(энергетическая характеристика поля)

$$\Phi_H = \frac{A}{m} - \text{гравитационного}$$

$$\varphi_K = \frac{A}{q} - \text{электростатическо}$$



# Потенциал энергетическая характеристика электростатического поля

**Потенциал поля в данной точке пространства равен потенциальной энергии, которой обладает единичный положительный заряд в данной точке пространства**

**Потенциал численно равен работе, которую нужно совершить при перенесении единичного положительного заряда из бесконечности в данную точку пространства**

# Потенциал поля, созданного несколькими точечными зарядами

(принцип суперпозиции для потенциала)

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \dots + \frac{q_n}{r_n} \right)$$

В Международной системе единиц (СИ)  
единицей потенциала является **вольт** (В).

$$1 \text{ В} = \text{Дж} / \text{Кл}$$

# Работа по перемещению электрического заряда $q$

Работа  $A_{12}$  по перемещению  
электрического заряда  $q$  из начальной  
точки (1) в конечную точку (2) равна  
произведению заряда на **разность  
потенциалов** ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) начальной и  
конечной точек:

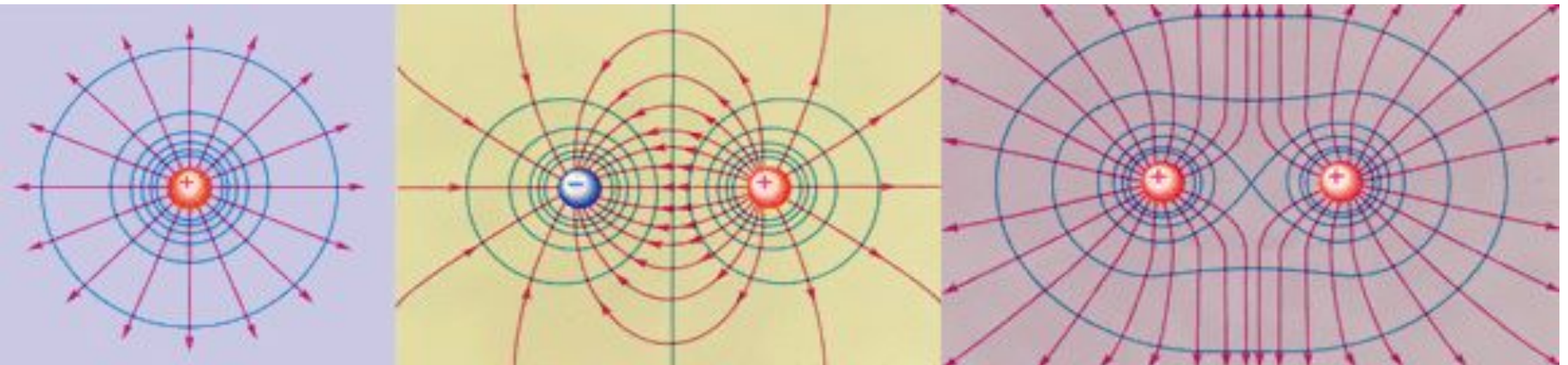
$$A_{12} = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

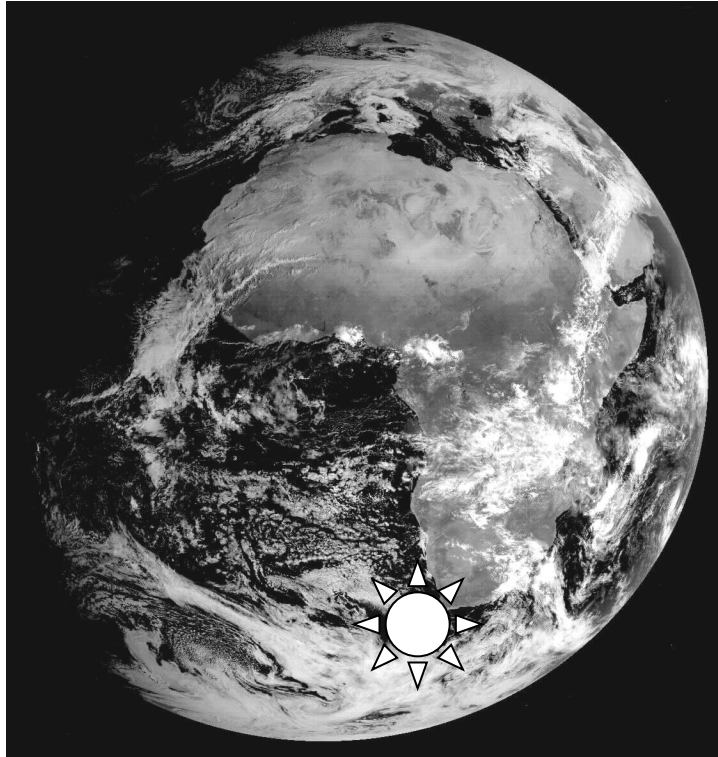
# Эквипотенциальные поверхности

**Эквипотенциальной поверхностью называется поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения.**

- Силовые линии электрического поля всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.
- Эквипотенциальные поверхности кулоновского поля точечного заряда – концентрические сферы

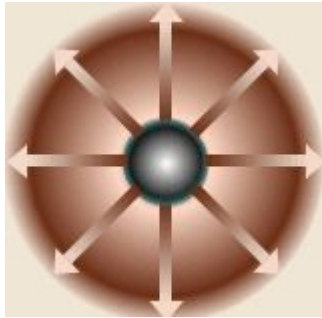
# Эквипотенциальные поверхности (синие линии) и силовые линии (красные линии) простых электрических полей





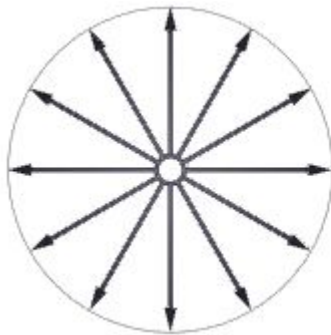
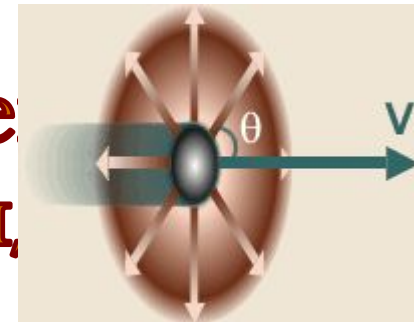
Работа  
падения тела  
из бесконечности  
на Землю

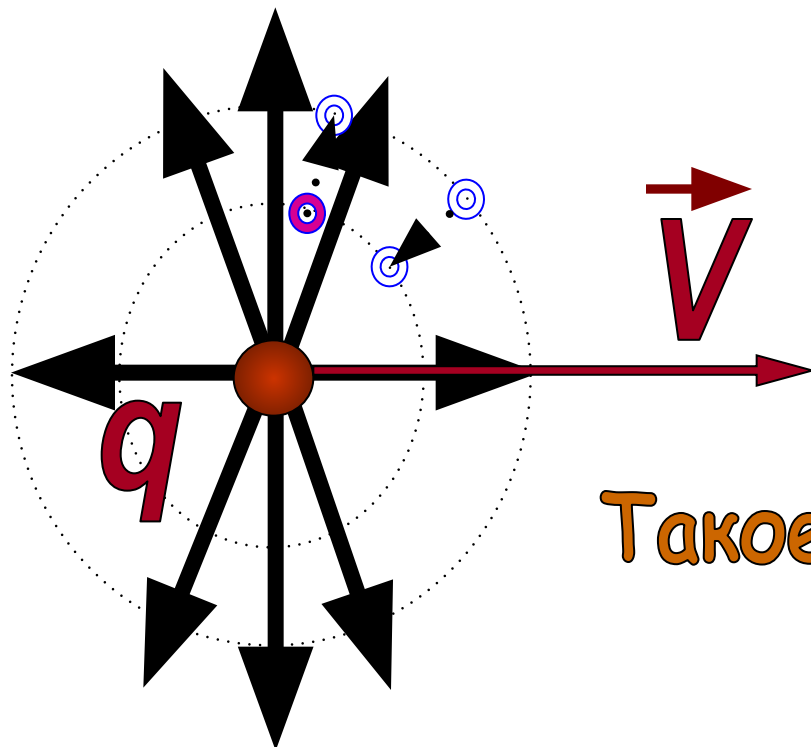
$$A_{\infty} = m\Phi = mG \frac{M_3}{r_3}$$



Электрическое  
поле неподвижного  
заряда симметрично

Следствие СТО: искаже  
поля движущегося заряда,





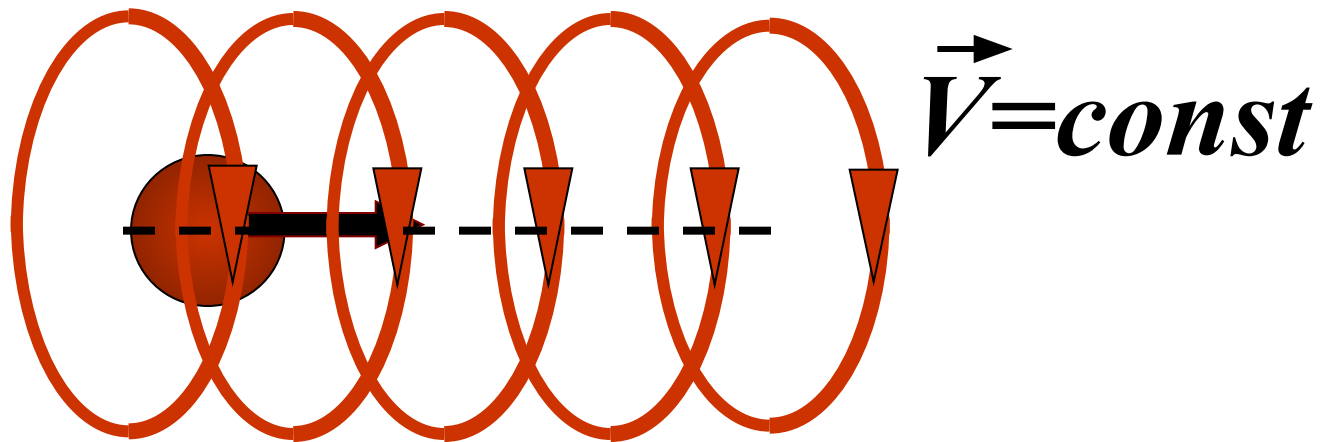
Такое поле оказывается  
непотенциальным:

$$A_1 + A_2 \neq 0$$

Работа сил поля  
вдоль замкнутого пути  
не равна нулю!



*Эта особенность связана  
с появлением нового  
поля - магнитного*



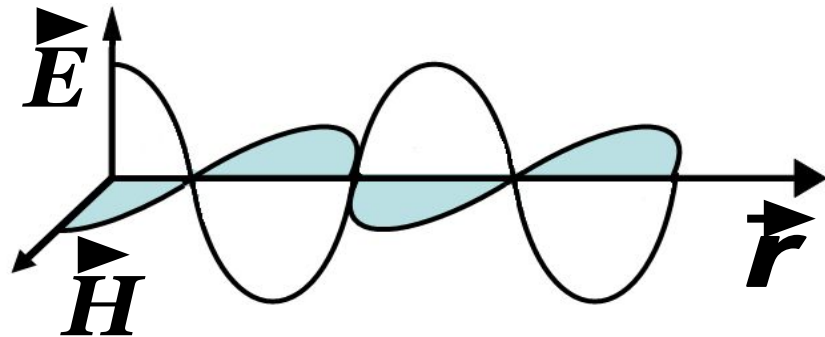
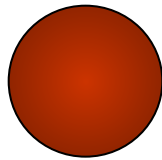
**Линии индукции магнитного  
поля замкнуты!**

**Динамические поля  
представляют собой  
волновые процессы:**

- гравитационные волны**
- электромагнитные**

**Они распространяются от источника  
со скоростью света**

# ***Электромагнитные волны вызваны ускоренным движением заряда***



**На далеких расстояниях от источника  
волны синусоидальны**

# Контрольные вопросы

- Расстояние между точечными зарядами  $q_1 = 2$  нКл и  $q_2 = -2$  нКл равно 50 см. Определить напряженность электростатического поля, созданного этими зарядами в точке, находящейся в середине между ними.
- Металлический шарик, подвешенный на пружине жесткостью 20 Н/м, помещается в однородное вертикальное электрическое поле напряженностью 200 В/м. При этом растяжение пружины увеличилось на 0,05 м. Определить величину заряда шарика.
- Шар радиусом 0,05 м заряжен до потенциала 50 В. Найти напряженность электрического поля на расстоянии трех радиусов от его поверхности.