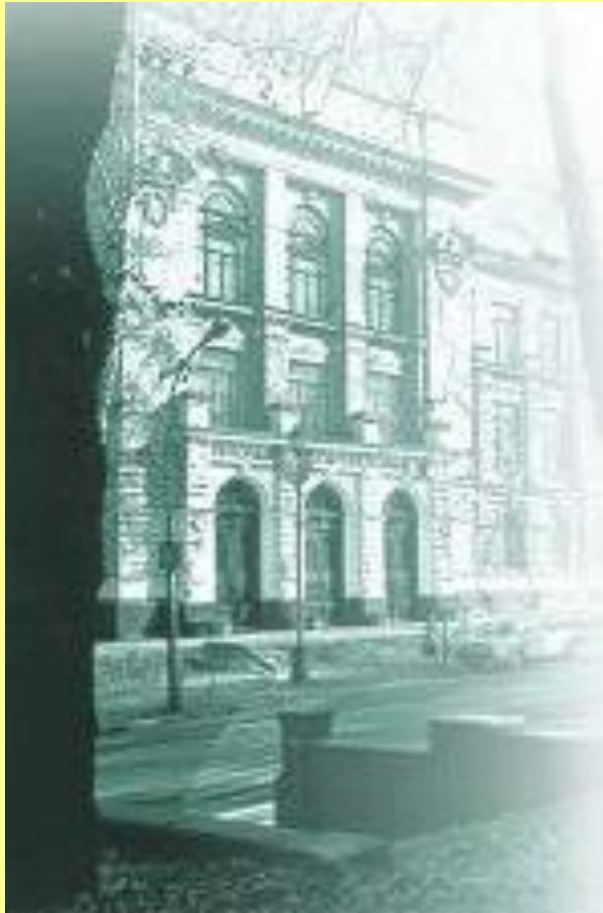






ДОБРОЕ УТРО,  
КОЛЛЕГИ!



# Курс лекций по общей физике

ЛЕКТОР

**Крючков Юрий Юрьевич**

профессор, д-р физ.-мат. наук

каф. ОФ ФТИ ТПУ

Физика  
Осенний семестр  
2010/2011 уч. год

Кафедра общей физики ФТИ  
Крючков  
Гр. 13A91, 13A92, 13A93  
Лекции - 68 часов  
Практические занятия - 34 часа  
Лабораторные занятия - 34 часа

## РЕЙТИНГ-ЛИСТ

Самостоятельная работа – 128 часов  
**Итого: 264 час**

Вид занятий	Недели																	Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Лекции	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	170
Практика		5	5	5	5	5	5	5		5	5		5	5	5	5	5	70
Контрольная работа									45			45						90
Компьютерный практикум			30		30		30		30		30		30		30		30	240
Лаборатория	-	10	10	10	10	10	10	-		10	10	10	10	10	10		-	120
Защита лаб. работ									20								20	40
Коллоквиумы								60									60	120
Экзамен																	150	150
Допуск к экзамену	55 балл (при условии сдачи и защиты лабораторных работ и индивидуальных заданий(компьютерный практикум))																	
Сумма за неделю	10	35	90	115	170	195	250	325	430	455	510	575	630	655	710	745	850	1000
Общая сумма	«Составил»																	
лектор	«Утверждаю»																	

лектор

Крючков Ю.Ю.

зав. каф. ОФ

Чернов И.П.

# О курсе общей физики

## РЕЙТИНГ

«ОТЛИЧНО» - **951** балл и выше

«ХОРОШО» - **851 - 950** баллов

«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» - **751 - 850** баллов

Студенты, сдавшие в срок: каждую контрольную работу на **27** и более баллов; каждый коллоквиум на **36** и более баллов; выполнившие каждую компьютерную практику на **20** и более баллов; посетившие все практические занятия; сдавшие и защитившие в

срок лабораторные работы - **ОСВОБОЖДАЮТСЯ** на экзамене от вопросов и задач по темам «Электростатика», «Постоянный ток», «Электромагнетизм» !!!

# О курсе общей физики

## БОНУС

Участие в олимпиаде по физике

Место	Физика – предмет	Физика - профиль
<b>I</b>	<b>100</b>	<b>150</b>
<b>II</b>	<b>75</b>	<b>125</b>
<b>III</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>IV -X</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
<b>Участие</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

# О курсе общей физики

## БОНУС

**25** баллов за реферат, написанный студентом на предложенную им самим или преподавателем тему.

За любую полезную для преподавателя работу, связанную с предметом «Физика», студент получает баллы по договорённости

# О курсе общей физики

## БОНУС

**951** и более баллов и **I-е** место в группе – автомат по экзамену

**851-950** и более баллов – **один!** теоретический вопрос и досрочная сдача экзамена

**751 - 850** - **два!!** вопроса и досрочная сдача экзамена

**651 – 750 – Три!!!** вопроса и сдача экзамена только в назначенный срок, т.е. по расписанию

**551 – 650 – ПЯТЬ!!!!** вопросов и сдача экзамена только в назначенный срок, т.е. по расписанию



# О курсе общей физики

## ЛИТЕРАТУРА

Ю.И.Тюрин, И.П.Чернов, Ю.Ю.Крючков

# Физика

часть 2

Электричество и магнетизм



# О курсе общей физики

## ЛИТЕРАТУРА

В.В. Ларионов, В.И. Веретельник,  
Ю.И. Тюрин, И.П. Чернов

### Физический практикум

часть 2

Электричество и магнетизм  
Колебания и волны



# О курсе общей физики

## ЛИТЕРАТУРА

Ю.И.Тюрин, В.В.Ларионов, И.П.Чернов

# Физика

СБОРНИК ЗАДАЧ

(с решениями)

часть 2

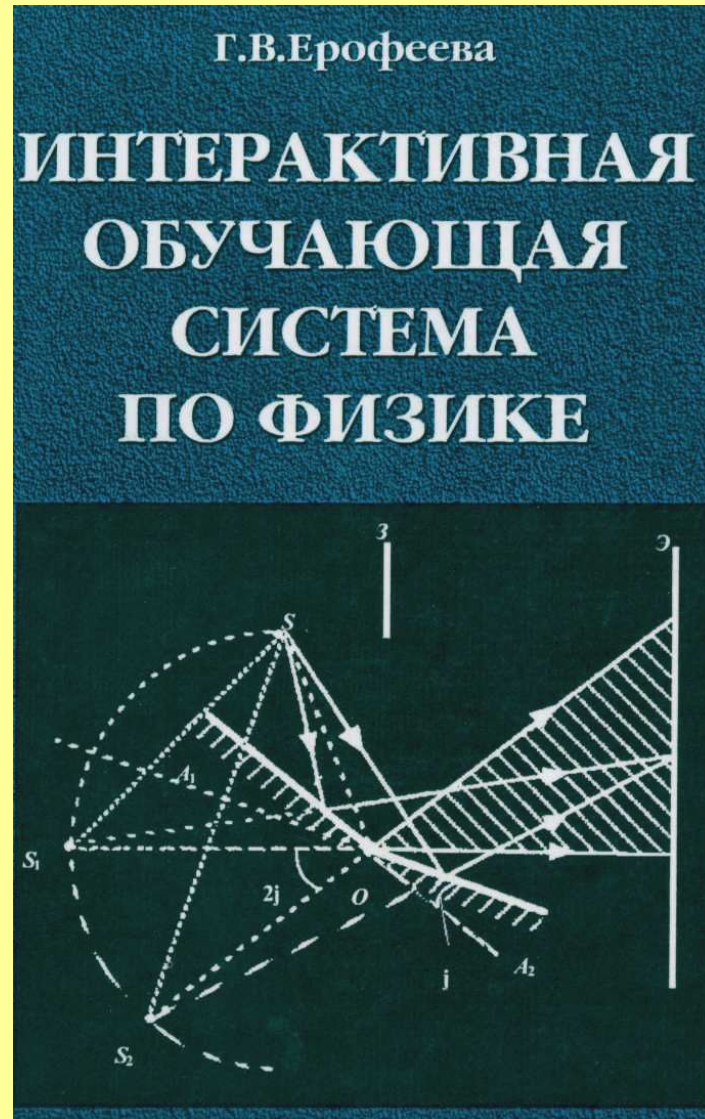
Электричество и магнетизм





# О курсе общей физики

## ЛИТЕРАТУРА



# КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Занятие 1(7)	Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса.
Занятие 2(8)	Работа по перемещению заряда в электрическом поле. Потенциал. Связь напряженности и потенциала. Электроемкость.
Занятие 3(9)	Законы постоянного тока.
Занятие 4(10)	Электромагнетизм. Сила Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле.
Занятие 5(11)	Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитной индукции и напряженности магнитных полей. Магнитные свойства веществ.
Занятие 6(12)	Эффект Холла. Закон электромагнитной индукции. Уравнения Максвелла
Занятие 7(13)	Механические колебания и волны
Занятие 8 (14)	Электромагнитные колебания и волны

# О курсе общей физики

## ЛИТЕРАТУРА

### ОСНОВНАЯ:

Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Крючков Ю.Ю. Физика. Ч.2.

Электричество и магнетизм. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003, 738

Сивухин Д.В. Общий курс физики, т.3, Оптика. М., 1992

Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. Т.2. 1991

Парселл Э. БКФ. Т.2. Электричество и магнетизм. 1982-1991.

Тюрин Ю.И., Ларионов В.В., Чернов И.П. Физика. Сборник задач. Ч.2. Электричество и магнетизм. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004, 448

Чертов, Воробьев. Задачник по физике.

Ларионов В.В., Веретельник В.И., Тюрин Ю.И., Чернов И.П. Физический практикум. Ч.2., Электричество и магнетизм. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004, 256

# О курсе общей физики

## ЛИТЕРАТУРА

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

1. Савельев И.В. Курс общей физики. -М.: Наука,1988. т. 2
2. Савельев И.В. Курс общей физики. -М.: Наука,1989. т. 3
3. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм М.: В.Ш. 1983
4. Волькенштейн. Сборник задач по общему курсу физики

## КОЛЛОКВИУМ 3

Вопросы теоретических коллоквиумов по теме

### «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

1. Закон сохранения электрического заряда: Действие на расстоянии и полевое действие; Электрический заряд - сохранение и квантование; Экспериментальные опыты существования заряда; Непрерывное распределение заряда.
2. Закон Кулона: Напряженность  $E$ . Закон Кулона; Поток.  
Теорема Гаусса: Теорема Гаусса; Расчет полей с помощью теоремы Остроградского-Гаусса:
  - равномерно заряженная бесконечная плоскость,
  - поле двух бесконечных параллельных плоскостей,
  - равномерно заряженная сфера,
  - равномерно заряженный шар,
  - бесконечный заряженный цилиндр
4. Потенциал: Теорема Остроградского-Гаусса (закон Кулона) в дифференциальной форме. Дивергенция векторной величины; Работа сил электростатического поля. Циркуляция вектора напряженности; Определение потенциала, единица потенциала, разность потенциалов; Связь между напряженностью  $E$  и потенциалом  $\phi$
5. Циркуляция и ротор: Циркуляция вектора; Ротор вектора. Теорема Стокса (циркуляция и ротор электростатического поля); Оператор  $\nabla$  и операции с ним. Уравнения Пуассона и Лапласа.
6. Емкость: Распределение электрических зарядов на проводнике; Механизм образования поля вблизи проводника. Зависимость поверхностной плотности от кривизны поверхности; Емкость уединенного проводника; Емкость плоского, сферического и цилиндрического конденсатора; Энергия электрического поля (при и вне диэлектрика).
7. Поляризация: Проводник во внешнем электрическом поле; Индукционные и связанные заряды (эксперименты); Полярные и неполярные молекулы. Вектор поляризации, связь с восприимчивостью.
8. Вектор электрического смещения  $D$ : Поверхностная плотность связанных зарядов; Объемная плотность связанных зарядов; Вектор  $D$ , теорема Остроградского – Гаусса для вектора  $D$ ; Электреты; Сегнетоэлектрики; Пьезоэффект; Преломление силовых линий и линий  $D$ ; Граничные условия  $E = E$ ,  $D = D$ .



### **КОЛЛОКВИУМ 3 (продолжение)**

Вопросы теоретических коллоквиумов по теме

#### **«ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»**

9. Электродвижущая сила: Сила и плотность тока; Уравнение непрерывности; Э.Д.С., падение напряжения, сторонние силы; Закон Ома в интегральной и дифференциальной форме. Закон Джоуля - Ленца в дифференциальной форме; Опытное определение электронной проводимости в металлах; Основы классической теории электропроводности; Вывод закона Джоуля - Ленца из классической электронной теории проводимости; Закон Видемана – Франца. Недостатки классической электронной теории проводимости.

### **КОЛЛОКВИУМ 4**

Вопросы теоретических коллоквиумов по теме «ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ»

1. Электродвижущая сила: Сила и плотность тока; Уравнение непрерывности; Э.Д.С., падение напряжения, сторонние силы; Закон Ома в интегральной и дифференциальной форме. Закон Джоуля - Ленца в дифференциальной форме; Опытное определение электронной проводимости в металлах; Основы классической теории электропроводности; Вывод закона Джоуля - Ленца из классической электронной теории проводимости; Закон Видемана – Франца. Недостатки классической электронной теории проводимости.
2. Магнитное поле. Характеристики магнитного поля. Контур с током в магнитном поле. Графическое изображение магнитных полей.
3. Закон Био – Савара – Лапласа. Вычислить магнитное поле прямолинейного проводника с током; Вычислить магнитное поле кругового тока: а) в центре витка; б) на оси витка;
4. Закон Ампера: Сила Ампера. Взаимодействие параллельных токов. Магнитная постоянная. Единицы магнитной индукции и напряженности магнитного поля..
5. Сила Лоренца; Магнитное поле движущегося заряда; действие магнитного поля на движущийся заряд. Движение электрона в однородном магнитном поле; Движение электрона в неоднородном магнитном поле; Эффект Холла; Определение удельного заряда частиц. Циклотрон.

## КОЛЛОКВИУМ 4 (продолжение)

Вопросы теоретических коллоквиумов по теме

### «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

6. Закон полного тока в вакууме Циркуляция вектора  $\mathbf{B}$  магнитного поля в вакууме. Вихревой характер магнитного поля Магнитное поле соленоида. Магнитное поле тороида.
7. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Остроградского-Гаусса для магнитного поля.
8. Работа, совершаемая при перемещении проводника с током в магнитном поле; Работа, совершаемая при перемещении контура с током в магнитном поле.
9. Явление электромагнитной индукции. опыты Фарадея. Правило Ленца; Закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме; Вывод ЭДС индукции из электронных представлений.
10. Получение синусоидального тока (вращение рамки в магнитном поле). Вихревые токи и их применение. Индуктивность. Явление самоиндукции. Взаимоиндукция, трансформатор; Токи при замыкании и размыкании; Энергия магнитного поля.
11. Магнитные моменты электронов и атомов; Атом в магнитном поле; Вектор намагничивания. Магнитная восприимчивость; Объяснение диа- и парамагнетизма. Ферромагнетизм

*Желаю успеха!*

# Лекция 1.

## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

1.1. Электрический заряд. Закон сохранения заряда

1.2. Взаимодействие электрических зарядов в  
вакууме. Закон Кулона

1.3. Электростатическое поле. Напряженность поля

1.4. Сложение электростатических полей. Принцип  
суперпозиции

1.5. Электростатическое поле диполя

1.6. Взаимодействие диполей

# 1.1. Электрический заряд. Закон сохранения заряда.

*Электростатика – раздел, изучающий статические (неподвижные) заряды и связанные с ними электрические поля.*

- Перемещение зарядов либо отсутствует, либо происходит так медленно, что возникающие при движении зарядов магнитные поля ничтожны.
- *Сила взаимодействия между зарядами определяется только их взаимным расположением.*
- Следовательно, *энергия электростатического взаимодействия – потенциальная энергия.*

- Несмотря на обилие различных веществ в природе, существуют только два вида электрических зарядов: заряды подобные тем, которые возникают на стекле, потертом о шелк, и заряды, подобные тем, которые появляются на янтаре, потертом о мех.
- Первые были названы положительными, вторые отрицательными зарядами.
- Назвал их так

Бенджамин Франклин в 1746 г.



## **Франклин Бенджамин (1706 – 1790)**

**американский физик, политический и общественный деятель.**

**Основные работы в области электричества. Объяснил действие Лейденской банки, построил первый плоский конденсатор.**

» **Изобрел молниеотвод, доказал электрическую природу молнии и тождественность земного и атмосферного электричества. Разработал теорию электрических явлений – так называемую «унитарную теорию». Работы относятся также к теплопроводности тел, к распространению звука в воде и воздухе и т.п. Является автором ряда технических изобретений.**

- Сила кулоновского притяжения между электроном и протоном в атоме водорода в  $10^{39}$  раз больше их гравитационного взаимодействия.



- Известно, что *одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются.*
- Если поднести заряженное тело (с любым зарядом) к легкому – незаряженному, то между ними будет притяжение – *явление электризации* легкого тела *через влияние.*

- На ближайшем к заряженному телу конце появляются заряды противоположного знака (индуцированные заряды) это явление называется *электростатической индукцией*.
- Таким образом, всякий процесс заряжения есть процесс разделения зарядов. Сумма зарядов не изменяется, заряды только перераспределяются.

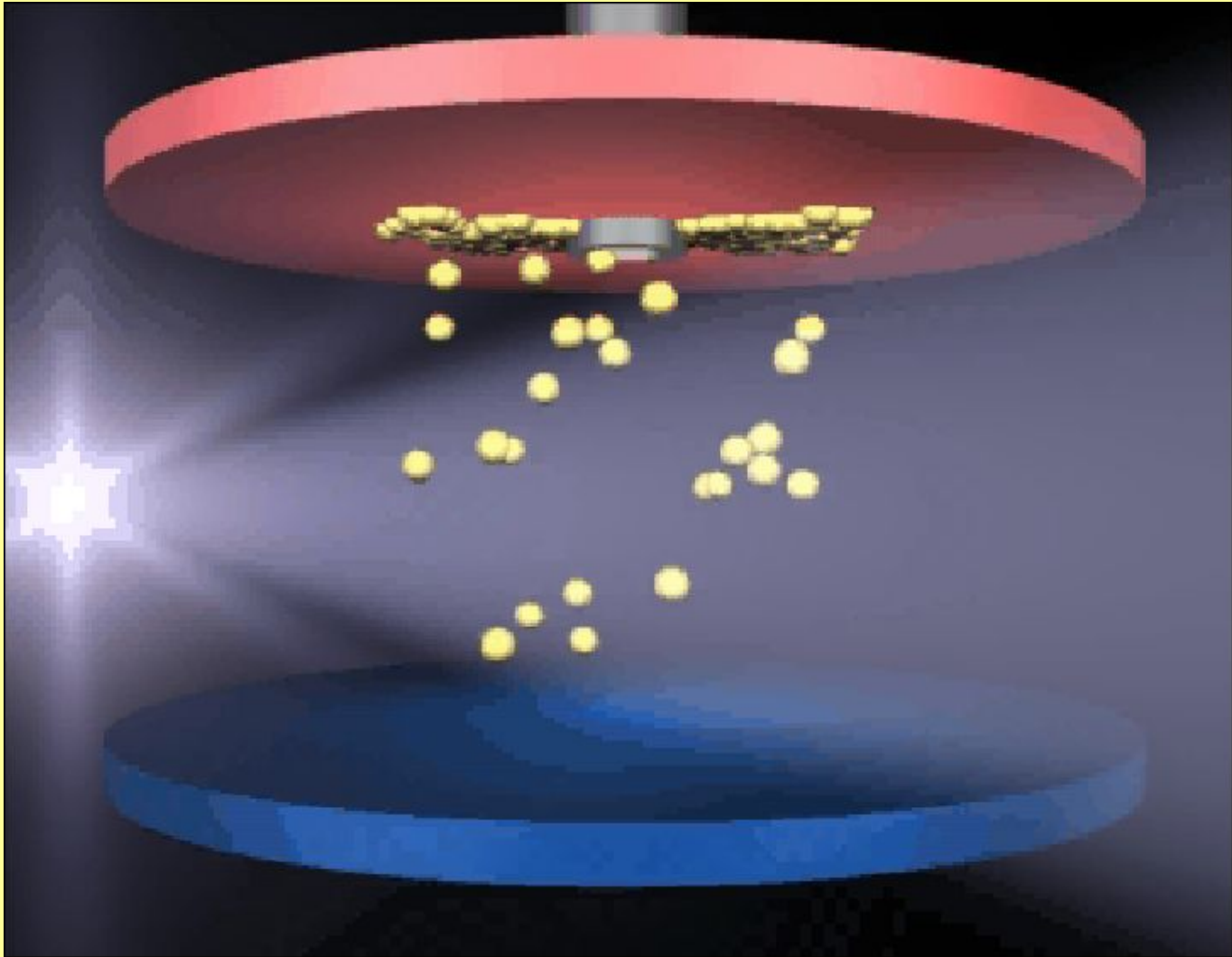
- Отсюда следует ***закон сохранения заряда*** – один из фундаментальных законов природы, сформулированный в 1747 г. Б. Франклином и подтвержденный в 1843 г. М. Фарадеем: ***алгебраическая сумма зарядов, возникающих при любом электрическом процессе на всех телах, участвующих в процессе, всегда равна нулю.***

# Закон сохранения заряда

- *суммарный электрический заряд замкнутой системы не изменяется.*

- *Электрические заряды не существуют сами по себе, а являются внутренними свойствами элементарных частиц – электронов, протонов и др.*
- **Опытным** путем в 1914 г. американский физик **Р. Милликен** показал что

***электрический заряд дискретен.***



Эксперимент Роберта Милликена.avi

- Заряд  $q$  любого тела составляет целое кратное от *элементарного электрического заряда* :

$$q = \pm ne,$$

где  $n$  – целое число, а

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

- *Электрон* и *протон* являются соответственно носителями элементарных отрицательного и положительного зарядов.



- Например, наша Земля имеет отрицательный заряд

$$Q = - 6 \cdot 10^5 \text{ Кл}$$

это установлено по измерению напряженности электростатического поля в атмосфере Земли.

КАК?

- Большой вклад в исследование явлений электростатики внес знаменитый французский ученый Ш. Кулон. В 1785 г. Он экспериментально установил закон взаимодействия *неподвижных точечных* электрических зарядов.



## • Кулон Шарль Огюстен

(1736 – 1806) – французский физик и **военный инженер**.

Работы относятся к электричеству, магнетизму, прикладной механике.

Сформулировал законы трения, качения и скольжения. Установил законы упругого кручения. Исходя из этого в 1784 г. Кулон построил прибор для измерения силы – крутильные весы и с помощью их открыл основной закон электростатики – закон взаимодействия электрических зарядов на расстоянии, названный в последствии его именем.

# 1.2. Взаимодействие электрических зарядов в вакууме. Закон Кулона

- *Точечным зарядом ( $q$ ) называется заряженное тело, размеры которого пренебрежительно малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которым оно взаимодействует.*

В результате опытов Кулон установил, что

- *сила взаимодействия точечных зарядов в вакууме пропорциональна величине зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними,*
- *причем, одноименные заряды отталкиваются, а разноименные – притягиваются*

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

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

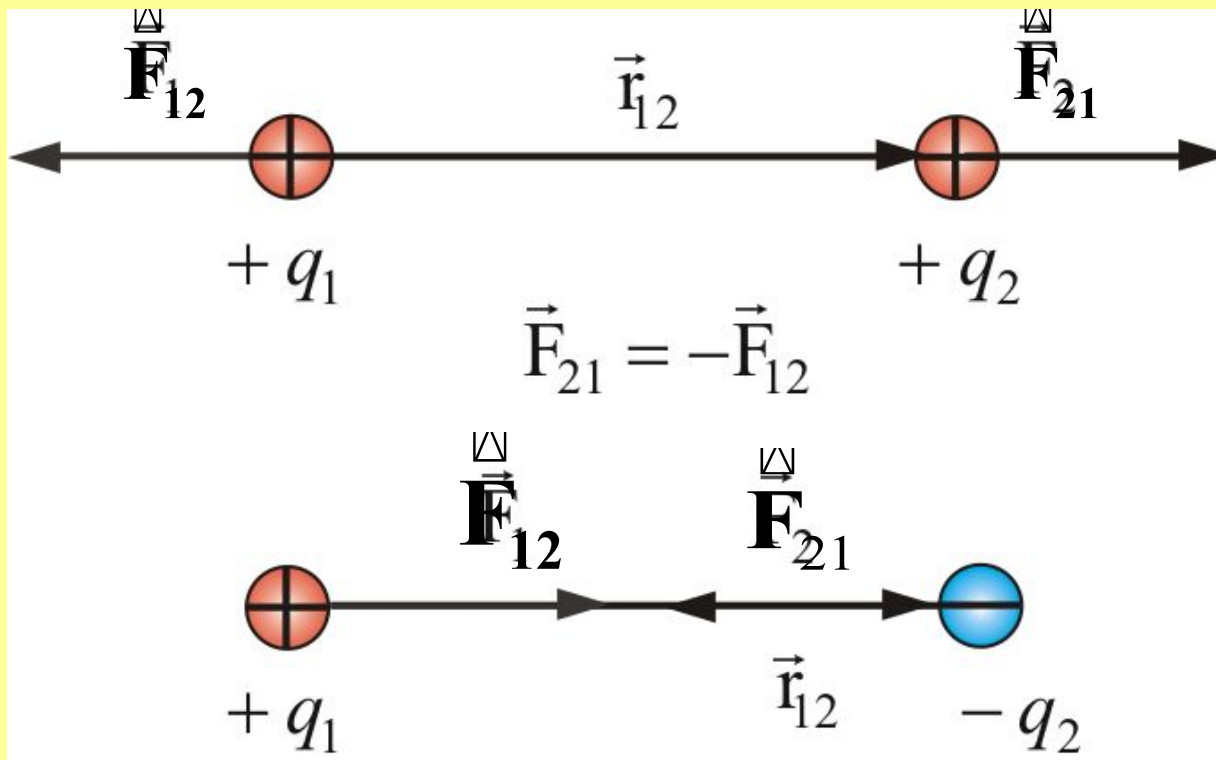
- здесь  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от системы единиц.

- В векторной форме закон Кулона выглядит так:

$$\mathbf{F}_{12} = k_0 \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}} = -\mathbf{F}_{21}$$

- где  $\mathbf{F}_{12}$  – сила, действующая на заряд  $q_1$  со стороны заряда  $q_2$ ;
- $\mathbf{F}_{21}$  – сила, действующая на заряд  $q_2$  со стороны заряда  $q_1$ ;
- $\frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}$  - единичный вектор, направленный от положительного заряда к отрицательному;
- $r_{12}$  - модуль вектора  $\frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}$

- В электростатике взаимодействие зарядов подчиняется **третьему закону Ньютона**: *силы взаимодействия между зарядами равны по величине и направлены противоположно друг другу вдоль прямой, связывающей эти заряды*





- Если заряды не точечные, то в такой форме закон Кулона не годится – нужно интегрировать по объему.
- Вся совокупность фактов говорит, что закон Кулона справедлив при
$$10^7 - 10^{-15} \text{ м}$$
- Внутри ядра действуют уже другие законы, не кулоновские силы.

- В системе СГС единица заряда выводится именно из закона Кулона:
- 1 ед.СГС – такой заряд, который действует на равный ему по величине другой заряд на расстоянии 1 см с силой в 1 дн (дину). Здесь  $k = 1$ , т.е.

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

- В системе СИ единица заряда
- $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$ , поэтому здесь:  $k_0 \neq 1$

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \quad (\text{в вакууме})$$

- где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $4\pi$  здесь выражают сферическую симметрию закона Кулона.

- Электрическая постоянная относится к числу *фундаментальных физических констант* и равна

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

- Элементарный заряд в СИ:

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

- Отсюда следует, что

$$1 \text{ Кл} = 6,25 \cdot 10^{18} e.$$

- Поскольку элементарный заряд мал, мы как бы не замечаем его дискретности (заряду 1 мкКл соответствует  $\sim 10^{13}$  электронов).