

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,  
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)

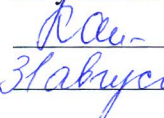
Санкт-Петербургский колледж телекоммуникаций им. Э.Т. Кренкеля

---

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по учебной работе

 Н.В. Калинина

2022 г

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

по учебной дисциплине

**ОУД.10 ФИЗИКА**

по специальности

10.02.04 Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем

среднего профессионального образования

Санкт-Петербург  
2022

**ОУД.10 Физика.** Методические указания по выполнению практических работ.

Составил М.В. Белякова – Санкт-Петербург, 2022.

Методические указания содержат описания практических занятий и лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой ОУД.10 Физика. Каждая работа рассчитана на 1 или 2 академических часа, общий объем составляет 18 часов. Нумерация рисунков, формул и таблиц в пределах одной работы. Методические указания предназначены для обучающихся очной формы обучения по специальности 10.02.04 Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем. Рассмотрено и одобрено предметной (цикловой) комиссией математических и естественно-научных дисциплин Санкт-Петербургского колледжа телекоммуникаций им. Э.Т. Кренкеля.

## СОДЕРЖАНИЕ

№ п/п	Название практического занятия	
1.	Практическое занятие №1. Решение типовых задач на применение законов сохранения импульса и механической энергии.	3
2.	Практическое занятие №2. Решение задач с элементами исследования «Определение относительной влажности воздуха».	5
3.	Практическое занятие №3. Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости	9
4.	Практическое занятие №4 Решение задач по теме: «Последовательное и параллельное соединение конденсаторов. Эквивалентные схемы»	10
5.	Практическое занятие №5. Определение общего сопротивления участка цепи.	13
6.	Практическое занятие №6. Расчёт сложной электрической цепи методом контурных токов	
7.	Практическое занятие №7. Решение типовых задач по теме «Магнитное поле»	18
8.	Практическое занятие №8. Решение задач по теме: «Электромагнитная индукция».	21
9.	Практическое занятие №9. . Решение задач с элементами исследования «Определение показателя преломления стекла»	

## Практическое занятие №1

**Тема:** Решение типовых задач на применение законов сохранения импульса и механической энергии

**Цель:**

- научиться пользоваться теоретическими знаниями при решении соответствующих задач по теме занятия.

### 1. Краткие сведения из теории

Механическая работа совершается при перемещении тела на величину  $S$  под действием постоянной силы  $F$ , направленной под углом  $\alpha$  к направлению перемещения, и определяется соотношением

$$A = (F \cdot S) = Fs \cos \alpha, \quad \text{где} \quad (1)$$

$F$ - постоянная сила;

$S$ - перемещения тела;

$\alpha$  - угол между вектором силы и перемещением.

Механическая мощность (работа, совершенная в единицу времени) определяется соотношением:

$$N = \frac{A}{t} = F \cdot \frac{S}{t} \quad (2)$$

У некоторых сил (силы тяготения и сила тяжести, сила Архимеда, сила упругости, в дальнейшем силы электростатического поля) работа зависит только от начального и конечного положения тела. Это – потенциальные (консервативные) силы. Для них можно ввести понятие потенциальной энергии, связав ее с работой этих сил  $A = W_{n1} - W_{n2}$ .

Потенциальная энергия силы тяжести  $W_n = mgh$ , (3)

где  $h$  – высота тела по отношению к нулевому уровню.

Потенциальная энергия упругих сил  $W_i = \frac{k\delta^2}{2}$ , (4)

где  $k$ - жесткость пружины;  $x$  - изменение длины.

Примером не потенциальной силы являются силы трения, сопротивления.

Полная механическая энергия системы тел равна сумме кинетических энергий этих тел и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом. Закон сохранения механической энергии гласит: Если система тел замкнута (тела взаимодействуют только друг с другом, и внешние силы на систему не действуют) и в ней отсутствуют не потенциальные силы (силы трения), то полная механическая энергия системы сохраняется, т.е. одинакова для любых двух состояний системы  $W_1 = W_2$ .

### 2. Примеры решения типовых задач

**Задача 1.** Ракета под действием ракетносителя была поднята на высоту  $4 \cdot 10^4$  м и приобрела скорость  $1.4 \cdot 10^3$  м/сек. Определить работу, выполненную ракетносителем, а также кинетическую и потенциальную энергию ракеты на этой высоте, если масса ракеты 500 кг. *Условие:*  $h = 4 \cdot 10^4$  м;

$$V = 1.4 \cdot 10^3 \text{ м/сек};$$

$$m = 500 \text{ кг.}$$

$$A - ? \quad W_k - ? \quad W_n - ?$$

**Решение.** Работа по поднятию ракеты определяется по формуле  $A = Fh$ , где  $F$  – сила тяги, состоящая из силы  $F_1 = P$  уравновешивающей силу тяжести ракеты, и силы  $F_2 = mg$

придающей ракете ускорение:  $A = Ph + mah$ . Ускорение найдем по формуле  $a = \frac{V^2}{2h}$ .

Следовательно,

$$A = Ph + \frac{mV^2}{2}.$$

Работа равна сумме потенциальной и кинетической энергии ракеты. Потенциальная энергия ракеты:

$$W_n = mgh$$

$$W_n = 500 \cdot 9.8 \cdot 4 \cdot 10^4 = 196 \cdot 10^6 (\text{Дж}) = 196 (\text{МДж})$$

Кинетическая энергия ракеты :

$$W_k = \frac{mV^2}{2}$$

$$W_k = \frac{500 \cdot 1.4 \cdot 10^4}{2} = 490 \cdot 10^6 (\text{Дж}) = 490 (\text{МДж})$$

Тогда работа

$$A = 196 + 490 = 686 (\text{МДж})$$

**Задача 2.** Снаряд массой 10 кг вылетает из ствола орудия со скоростью 600 м/с. Определить среднюю силу давления пороховых газов, если время движения снаряда в стволе 0,01 с.

Условие:  $m = 10 \text{ кг}$

$$V = 600 \text{ м/с}$$

$$t = 0,01 \text{ с}$$

$$F - ?$$

*Решение.* Работа пороховых газов численно равна изменению кинетической энергии вылетевшего снаряда:  $Fs = \frac{mV^2}{2}$ , откуда

**Задача 3.** Грузовой автомобиль массой 4200 кг движется по горизонтальному пути со скоростью 54 км/ч. Определить силу и время торможения автомобиля, если он при торможении прошел путь 1,5 м.

Условие:  $m = 4200 \text{ кг}$

$$V = 54 \frac{\text{км/ч}}{3.6} = 15 \frac{\text{м/с}}$$

$$s = 1,5 \text{ м}$$

$$F - ?, t - ?$$

*Решение.* Поскольку движение автомобиля при торможении равнозамедленное, сила торможения  $F = ma$ , где  $a$  находим из формулы  $V_f^2 - V_i^2 = 2as$ . Так как  $V_f = 0$ , то  $-V_i^2 = 2as$

или  $a = -\frac{V_i^2}{2s}$ . Следовательно,

$$F = -\frac{mV_i^2}{2s};$$

$$F = -\frac{4200 \cdot 15^2}{2 \cdot 1,5} = -315 \cdot 10^3 (\text{Н}) = -315 (\text{кН}).$$

Знак минус показывает на то, что сила торможения направлена против движения автомобиля.. Время торможения автомобиля находим из формулы  $V_f - V_i = at$  при  $V_f = 0$ , т.е.

$$t = -\frac{V}{a}, \text{ где } a = -\frac{V^2}{2s}.$$

### 3. Варианты заданий для самостоятельного решения

#### Вариант 1.

1. Два неупругих шара массовой 0,5 и 1 кг движутся на встречу друг другу со скоростями 7 и 8 м/с. каков будет модуль скорости шаров после столкновения? куда будет направлена эта скорость?
2. Пуля массой 10 г. Летящая со скоростью 800 м/с пробила доску толщиной 8 см. найдите среднюю силу сопротивления, с которой доска действовала на пулю.
3. Пружину внешней силой растянули на некоторую длину и отпустили, после чего она вернулась в первоначальное состояние. Чему при этом равна работа силы упругости пружины?

#### Вариант 2.

1. Тело массой 0,5 кг брошено вертикально вверх со скоростью 10 м/с. Чему равна работа, которую совершает тяжесть: а) при подъеме тела на максимальную высоту; б) при его падении до первоначального уровня?
2. Тележка, массой 50 кг, движется в горизонтальном направлении со 2 м/с. С тележки соскакивает человек со скоростью 4 м/с относительно тележки в направлении, противоположном ее движению. Масса человека 100 кг. Какова скорость тележки после того, как человек с нее спрыгнул?
3. Снаряд выпущен из орудия по движущейся цели. Будет ли одинаковой кинетическая энергия снаряда относительно поверхности Земли и относительно движущейся цели? Обоснуйте ответ.

#### Вариант 3.

1. Поезд массой 200 т идет по горизонтальному участку пути с постоянной скоростью 10 м/с. коэффициент трения равен 0,05, какую мощность развивает тепловоз на этом участке?
2. При подвешивании груза массой 15 кг пружина динаметра растянулась до максимального деления шкалы. Жесткость пружины 10000 Н/м. Какова работа была совершена при растяжении пружины?
3. Пуля, летящая с некоторой скоростью, попадает в земляной вал и входит в него на глубину 10 см. На какую глубину войдет пуля той же массы, но летящая со скоростью вдвое больше?

#### Вариант 4.

1. Тело массой 0,3 кг свободно падает в течении 2 с. Какую при этом работу совершает сила тяжести?

2. К воздушному шару массой 160 кг привязана веревочная лестница, на которой стоит мальчик. Его масса 40 кг. Считая, что шар находится в покое относительно Земли, определите его скорость во время подъема мальчика. Скорость мальчика относительно лестницы  $v = 0,5 \text{ м/с}$ .

3. Два шара одинакового объема (деревянный и свинцовый) движутся с одинаковыми скоростями. Какой из них обладает большим импульсом?

### 4. Содержание отчета:

1. Название практического занятия.
2. Краткое условие задач.
3. При необходимости перевести исходные данные в систему единиц измерений  $Cu$ .
4. Записать формулы, используемые при решении задач.
5. Привести ход решения.
6. Записать ответ с точностью до третьего знака после запятой.

## Практическое занятие № 2

**Тема:** Решение задач с элементами исследования «Определение относительной влажности воздуха»

**Цель:**

- приобрести навыки при решении типовых задач по теме занятия.

### 1. Краткие сведения из теории

Если бы водяной пар над Землей был насыщенным, испарение воды с поверхности человеческого тела практически прекратилось бы и тем самым была бы затруднена терморегуляция организма. Реально пар в атмосфере редко бывает насыщенным из-за нарушения равновесия процессов испарения и конденсации. Водяные пары могут переноситься ветром на большое расстояние, так что их конденсация происходит вдали от того места, где произошло испарение. Выделение значительного количества теплоты при конденсации паров (выпадение осадков) приводит к выравниванию климатических условий в достаточно удаленных друг от друга районах Земли.

При одной и той же температуре содержание в воздухе водяного пара может изменяться в широких пределах: от нуля (*абсолютно сухой воздух*) до максимально возможного (*насыщенный пар*).

Степень влажности воздуха характеризуется *относительной влажностью*. Относительная влажность воздуха — процентное отношение концентрации водяного пара в воздухе к концентрации насыщенного пара при той же температуре:

*Концентрация насыщенного пара является максимальной концентрацией, которую может иметь пар над жидкостью.*

Следовательно, относительная влажность изменяется от 0 до 100%, так как концентрация пара  $n$  может изменяться в пределах от 0 до  $n_{н.п.}$

В сухом воздухе, имеющем малую относительную влажность, испарение (и связанное с ним охлаждение) происходит быстро. В воздухе с большой относительной влажностью испарение замедляется и охлаждение незначительно. Для оптимального теплообмена человеческого организма при температуре 20—25 °С наиболее благоприятная относительная влажность порядка 50%.

При более высокой температуре предпочтительна влажность около 20%.

Так как концентрация пара связана с давлением, то относительную влажность можно найти и как процентное отношение давления пара в воздухе к давлению насыщенного пара при той же температуре:

Абсолютной влажностью воздуха называется парциальное давление водяного пара, находящегося в воздухе, измеряемое в паскалях или миллиметрах ртутного столба.

### 2. Примеры решения типовых задач.

**Задача.** Относительная влажность воздуха в комнате 63%, а температура 18°C. На сколько градусов должна понизиться температура воздуха на улице, чтобы оконные стекла в комнате запотели?

Дано:  $B = 63\% = 0,63$ ;  $t = 18^\circ \text{C}$ ;  $T = 291 \text{ K}$ .

$\Delta T = ?$

**Решение:** Абсолютная влажность воздуха  $\rho = B\rho_n$ , где  $\rho_n$  — плотность насыщающего пара при 291 К. Тогда  $\rho = 0,63 \cdot 15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3 = 9,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ .

При понижении температуры воздуха на улице до точки росы пар вблизи оконных стекол становится насыщенным и начинает конденсироваться — стекла запотевают. При этом масса пара в 1 м<sup>3</sup> не изменяется вплоть до точки росы  $T_P = 283,5 \text{ K}$ . Следовательно, оконные стекла запотеют, если температура воздуха на улице понизится на  $\Delta T = (291 - 283,5) \text{ K} = 7,5 \text{ K}$ .

### 3. Варианты заданий для самостоятельного решения.

#### Вариант 1

1. Относительная влажность воздуха при  $20^{\circ}\text{C}$  равна 58%. При какой максимальной температуре выпадет роса?
2. Сколько надо испарить воды в  $1000\text{ м}^3$  воздуха, относительная влажность которого 40% при 283 К, чтобы увлажнить его до 60% при 290 К?

#### Вариант 2

1. Воздух при температуре 303 К имеет точку росы при 286 К. Определить абсолютную и относительную влажность воздуха.
2. При  $28^{\circ}\text{C}$  относительная влажность воздуха 50%. Определить массу выпавшей росы из  $1\text{ км}^3$  воздуха при понижении температуры до  $12^{\circ}\text{C}$ .

#### Вариант 3

1. В комнате объемом  $200\text{ м}^3$  относительная влажность воздуха при  $20^{\circ}\text{C}$  равна 70%. Определить массу водяных паров в воздухе комнаты.
2. Относительная влажность воздуха при 273 К равна 40%. Выпадет ли иней, если температура почвы понизится до 268 К? Почему?

#### Вариант 4

1. В комнате объемом  $150\text{ м}^3$  при температуре  $25^{\circ}\text{C}$  содержится 2,07 кг водяных паров. Определить абсолютную и относительную влажности воздуха.
2. При температуре 300 К влажность воздуха 30%. При какой температуре влажность этого воздуха будет 50%?

#### Вариант 5

1. Относительная влажность воздуха при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  равна 80%. Определить массу водяных паров, выпавших в росу из каждого кубического метра этого воздуха, если его температура понизится до  $8^{\circ}\text{C}$ .
2. Относительная влажность воздуха при температуре 293 К равна 44%. Что показывает влажный термометр психрометра?

#### Вариант 6

1. Сколько надо испарить воды в  $5000\text{ м}^3$  воздуха, относительная влажность которого 60% при  $20^{\circ}\text{C}$ , чтобы увлажнить его до 70%?
2. Определить относительную влажность воздуха, если сухой термометр психрометра показывает 294 К, а влажный — 286 К.

### 4. Содержание отчета:

1. Название практического занятия.
2. Цель занятия.
3. Краткое условие задач.
4. При необходимости перевести исходные данные в систему единиц измерений *СИ*.
5. Записать формулы, используемые при решении задач.
6. Записать ответ с точностью до третьего знака после запятой.



### Практическое занятие № 3

**Тема:** Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

**Цель:**

- расчёт коэффициента поверхностного натяжения воды по экспериментальным данным, оценка погрешности результата.

#### 1. Содержание эксперимента:

Известно, что вода может вытекать из капилляра под действием силы тяжести. При этом существует момент, когда капля, образуемая в выходном отверстии капилляра, удерживается на периметре отверстия силой поверхностного натяжения  $F$ , и условие равновесия капли выглядит следующим образом:

$$P = F \quad (1)$$

$$\text{или } mg = \sigma l \quad (2)$$

где  $m$  – масса капли, кг ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\frac{i}{\ddot{n}^2}$  ;

$l$  - периметр отверстия капилляра, м;

$\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения воды,  $\frac{i}{i}$  ;

Из соотношения (2) следует, что коэффициент поверхностного натяжения можно определить как

$$\sigma = m \frac{g}{l} \quad (3)$$

Пусть для определения коэффициента поверхностного натяжения воды используется пипетка с диаметром выходного отверстия  $d$ , в которую набирается некоторое количество воды массой  $M$ . Тогда, подсчитав количество капель  $K$ , содержащихся в пипетке, можно найти массу одной капли:

$$m = \frac{M}{K} \quad (4)$$

Периметр входного отверстия пипетки рассчитывается по известной формуле

$$l = \pi \times d \quad (5)$$

Подставляя соотношения (4) и (5) в формулу (3), получим

$$\sigma = M \frac{g}{K} \pi d \quad (6)$$

Поскольку величины  $g$  и  $\pi$  являются константами, задачей эксперимента является определение  $M$ ,  $K$  и  $d$ .

#### 2. Обработка результатов эксперимента:

При экспериментальном определении любой физической величины принципиально невозможно найти истинное значение этой величины, поскольку при проведении эксперимента возникают как чисто технические трудности (например, несовершенство измерительных приборов), так и целый ряд случайных факторов (колебания температуры воздуха, вибрация и пр.), которые практически невозможно учесть

Разность между экспериментально полученным и истинным значениями физической величины называется погрешностью.

В качестве результата экспериментального определения какой-либо физической величины  $A$  принимают среднее арифметическое значение  $A_{\text{ср}}$  из значений  $A_i$ , полученных в  $n$  экспериментах:



1	1,90	40	2,0
2	2,10	51	1,8
3	1,64	37	1,9
4	1,26	26	2,1
5	2,20	42	2,3
6	1,84	35	2,5
7	2,00	41	2,2
8	1,38	36	1,7
9	1,4	38	1,6
10	1,5	25	2,4

$$g = 9,81 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}; \quad \pi = 3,1415$$

#### 4. Содержание отчета:

1. Название практического занятия.
2. Цель практического занятия.
3. Перевести исходные данные в систему единиц измерения СИ.
4. Заполнить таблицу экспериментальных и расчётных данных, используя для расчета формулы, приведенные в теоретической части.
5. Записать результат определения коэффициента поверхностного натяжения воды с точностью до третьего знака после запятой.

## Практическое занятие № 4

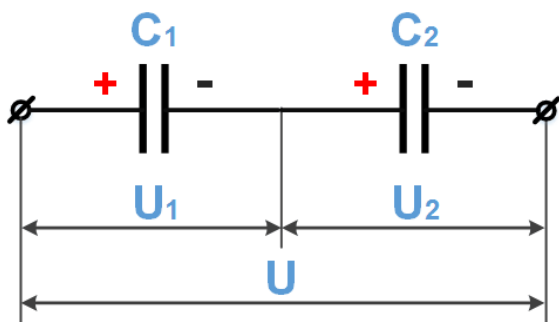
**Тема:** Решение задач по теме: «Последовательное и параллельное соединение конденсаторов. Эквивалентные схемы»

**Цель:** ознакомление с типами соединений конденсаторов, приобретение навыков расчета общей емкости конденсаторов, соединенных в батарею

### 1. Краткие сведения из теории

Типы соединения конденсаторов:

а) последовательное соединение



При последовательном соединении на пластинах будут одинаковые заряды.

$$q_1 = q_2 = q_3 = q$$

При этом

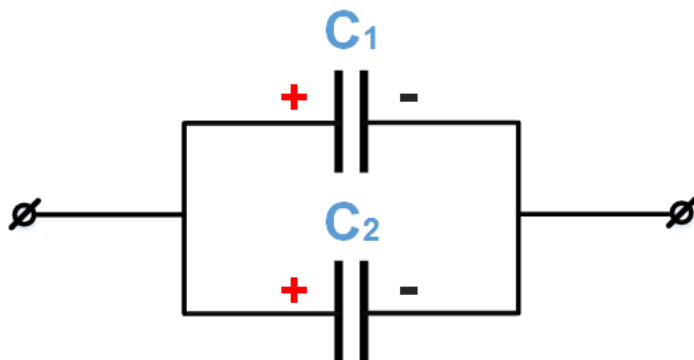
$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\text{---} = \text{---} + \text{---} + \text{---}$$

$$C_{\text{общ}} = \frac{C}{n} \quad (\text{при последовательном соединении } n \text{ одинаковых конденсаторов})$$

б) параллельное соединение

При параллельном соединении конденсаторов потенциал пластин, соединённых с положительным полюсом источника, одинаков и равен потенциалу этого полюса. Соответственно потенциал пластин, соединённых с отрицательным полюсом, равен потенциалу этого полюса.



$$\begin{aligned} \text{Общий заряд: } q_{\text{общ}} &= q_1 + q_2 \\ &+ q_3 \quad U = U_1 = U_2 = U_3 \\ C_{\text{общ}} &= C_1 + C_2 + C_3 \end{aligned}$$

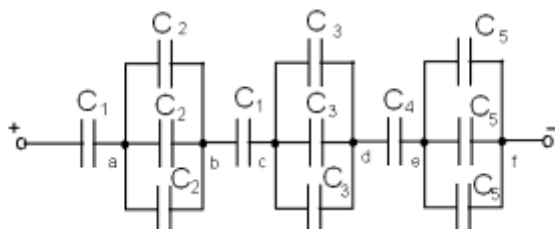
## 2. Порядок выполнения задания:

Вам предложено 5 схем соединений конденсаторов.

Необходимо:

- рассчитать общую ёмкость конденсаторов, соединённых в батарею.

## 3. Пример выполнения задания:



Условие:

$$C_1 = 1 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 2 \text{ мкФ}$$

$$C_3 = 3 \text{ мкФ}$$

$$C_4 = 5 \text{ мкФ}$$

$$C_5 = 10 \text{ мкФ}$$

Найти:  $C_{\text{общ}} = ?$

Решение:

$$1. C_{2\text{об}} = C_2 + C_2 + C_2 = 2 + 2 + 2 = 6 \text{ мкФ}$$

$$2. C_{3\text{об}} = C_3 + C_3 + C_3 = 3 + 3 + 3 = 9 \text{ мкФ}$$

$$3. C_{5\text{об}} = C_5 + C_5 + C_5 = 10 + 10 + 10 = 30 \text{ мкФ}$$

$$4. \tilde{N}_{1iá} = \frac{\tilde{N}_1 \cdot \tilde{N}_1}{\tilde{N}_1 + \tilde{N}_1} = \frac{1 \cdot 1}{1 + 1} = 0,5 \text{ } i\hat{e}\hat{O}$$

$$5. \tilde{N}_{1,4,iá} = \frac{\tilde{N}_{1iá} \cdot \tilde{N}_4}{\tilde{N}_{1iá} + \tilde{N}_4} = \frac{0,5 \cdot 5}{0,5 + 5} = 0,45 \text{ } i\hat{e}\hat{O}$$

$$6. \tilde{N}_{2,3iá} = \frac{\tilde{N}_{2iá} \cdot \tilde{N}_{3iá}}{\tilde{N}_{2iá} + \tilde{N}_{3iá}} = \frac{6 \cdot 9}{6 + 9} = 3,6 \text{ } i\hat{e}\hat{O}$$

$$7. C_{1,4,5,iá} = \frac{\tilde{N}_{1,4,iá} \cdot \tilde{N}_{5iá}}{\tilde{N}_{1,4,iá} + \tilde{N}_{5iá}} = \frac{0,45 \cdot 30}{0,45 + 30} = 0,44 \text{ } i\hat{e}\hat{O}$$

$$8. \tilde{N}_{iá} = \frac{\tilde{N}_{2,3iá} \cdot \tilde{N}_{1,4,5iá}}{\tilde{N}_{2,3iá} + \tilde{N}_{1,4,5iá}} = \frac{3,6 \cdot 0,44}{3,6 + 0,44} = 0,39 \text{ } i\hat{e}\hat{O}$$

Ответ:  $C_{\text{общ}} = 0,39 \text{ мкФ}$

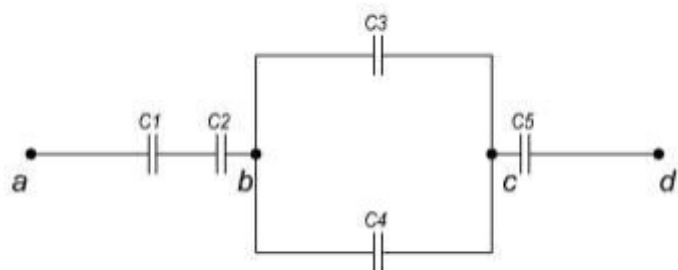
## 4. Варианты заданий для самостоятельного решения:

Таблица 1

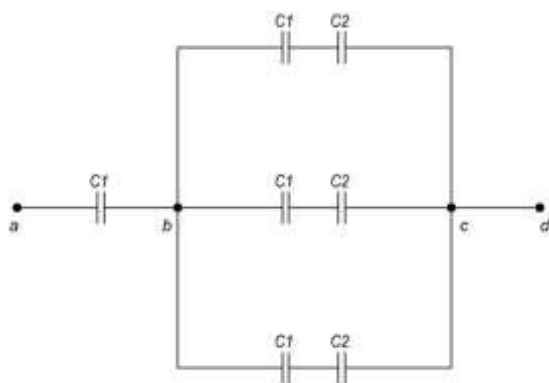
№ задания	1	2	3	4	5
$C_1$ мкФ	2	4	6	8	10
$C_2$ мкФ	3	5	7	9	11
$C_3$ мкФ	1	9	10	10	12
$C_4$ мкФ	5	8	12	15	20
$C_5$ мкФ	4	7	9	11	14



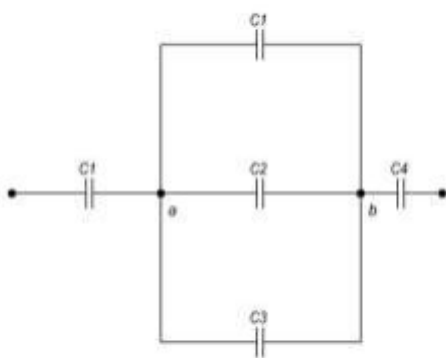
### Задание 1



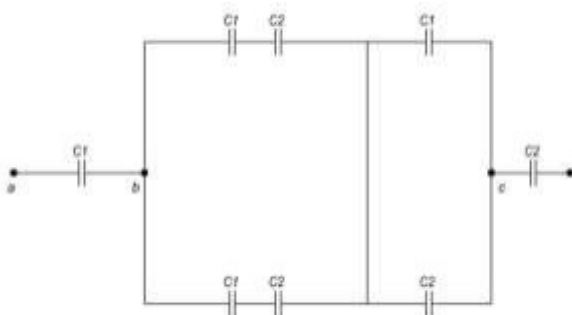
### Задание 2



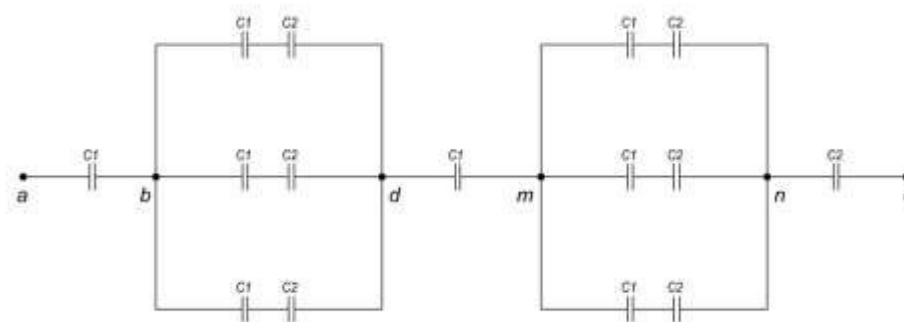
### Задание 3



### Задание 4



## Задание 5



### 5. Содержание отчёта:

1. Оформить титульный лист отчета, указав название практического занятия.
2. Цель практического занятия.
3. Выполнить задание 1, используя правила расчета соответствующих соединений конденсаторов, приведенных в теоретической части.
4. Выполнить задание 2.
5. Выполнить задание 3.
6. Выполнить задание 4.
7. Выполнить задание 5.



## Практическое занятие № 5

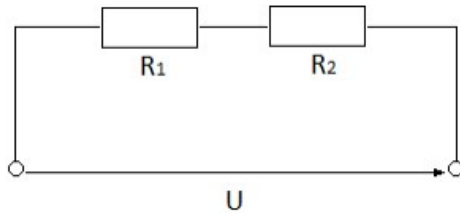
**Тема:** Определение общего сопротивления участка цепи

**Цель:**

ознакомиться с типами соединений проводников и научиться рассчитывать общее сопротивление участка цепи.

### 1. Краткие сведения из теории

#### а) Последовательное соединение:



Свойства *последовательного* соединения проводников:

- 1) Ток в любом сечении последовательной цепи одинаков.
- 2) Согласно закону сохранения энергии напряжение на зажимах цепи равно сумме напряжений на всех участках.

$$U_{i\dot{a}o} = U_1 + U_2$$

- 3) Полное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений на всех участках.

$$R_{i\dot{a}o} = R_1 + R_2$$

#### б) Параллельное соединение:

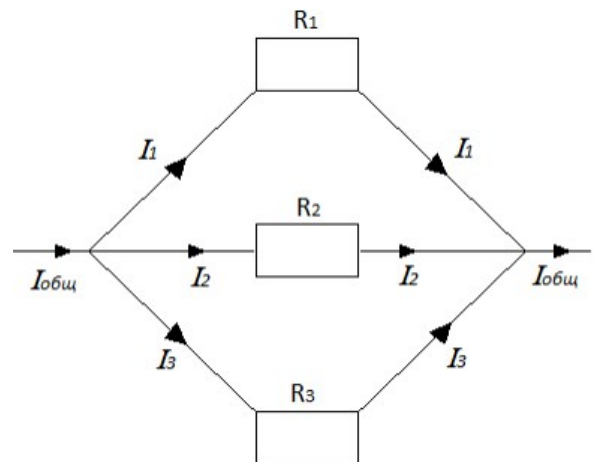
Свойства *параллельного* соединения проводников:

- 1) При параллельном соединении проводников сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в отдельных проводниках.

$$I_{i\dot{a}o} = I_1 + I_2 + I_3$$

- 2) Разность потенциалов или напряжение фиксированы и одинаковы для всех ветвей, входящих в соединение.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

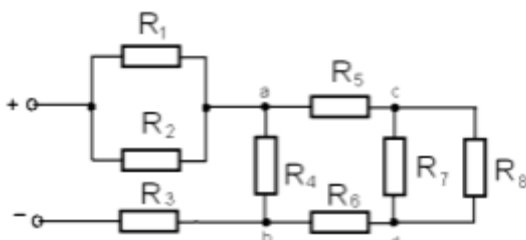


### 2. Порядок выполнения задания:

Вам предложены 4 схемы соединений проводников.

Необходимо: рассчитать общее сопротивление предложенных соединений.

### 3. Пример расчета задания:



*Условие:*  $R_1=R_2=4$  Ом,  $R_3=R_4=5$  Ом,  $R_5=10$  Ом,  $R_6=12$  Ом,  $R_7=R_8=15$  Ом

*Найти:*  $R_{общ}$ -?

*Решение:*

$$1. R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} = 2 \hat{h}$$

$$2. R_{7,8} = \frac{R_7 \cdot R_8}{R_7 + R_8} = \frac{15 \cdot 15}{15 + 15} = 7,5 \hat{h}$$

$$3. R_{5,6,7,8} = R_5 + R_{7,8} + R_6 = 10 + 7,5 + 12 = 29,5 \hat{h}$$

$$4. R_{4-8} = \frac{R_4 \cdot R_{5,6,7,8}}{R_4 + R_{5,6,7,8}} = \frac{5 \cdot 29,5}{5 + 29,5} = 4,28 \hat{i}$$

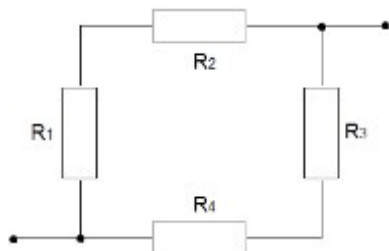
$$5. R_{i\dot{a}o} = R_{1,2} + R_3 + R_{4-8} = 4 + 5 + 4,28 = 13,28 \hat{i}$$

Ответ:  $R_{\text{общ}} = 13,28 \text{ Ом}$ .

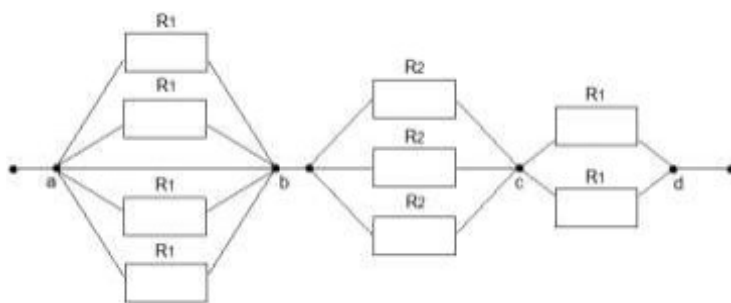
#### 4. Варианты заданий для самостоятельного решения:

№ задания	1	2	3	4
$R_1$ Ом	4	5	10	15
$R_2$ Ом	8	12	20	18
$R_3$ Ом	6	15	14	20
$R_4$ Ом	10	16	18	12
$R_5$ Ом	5	4	12	8

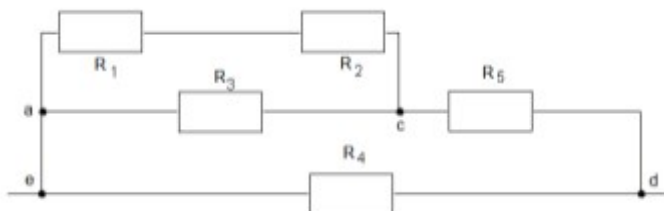
##### Задание 1



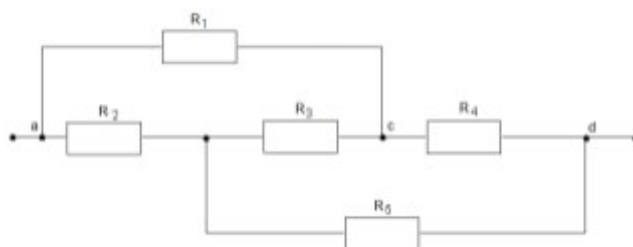
##### Задание 2



##### Задание 3



##### Задание 4



## **5. Содержание отчёта:**

1. Оформить титульный лист отчета с указанием названия практического занятия.
2. Цель практического занятия.
3. Выполнить задание 1, используя теоретические сведения о правилах расчета соответствующих соединений проводников, приведенных в теоретической части.
4. Выполнить задание 2.
5. Выполнить задание 3.
6. Выполнить задание 4.

## Практическое занятие № 6

**Тема:** Расчёт сложной электрической цепи методом контурных токов

**Цель:** ознакомление с методами решения практических задач по теме занятия, научиться применять свои знания при решении соответствующих задач.

### 1. Краткие теоретические сведения

С помощью законов Кирхгофа можно рассчитать токи в сложных цепях. Для этого необходимо проделать следующее: определить количество ветвей в заданной цепи; задаться предполагаемыми токами во всех ветвях и направлениями обходов в контурах (например, по часовой стрелке); по первому закону составить  $n-1$  уравнений, где  $n$  – количество узлов цепи; определить количество элементарных контуров в цепи; составить по второму закону Кирхгофа  $m$  уравнений, где  $m$  – число элементарных контуров.

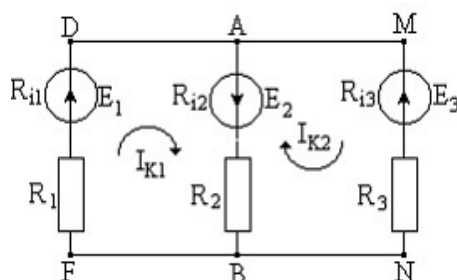


Рис.1.1.

Например, в цепи по второму закону Кирхгофа можно составить два независимых уравнения, поскольку элементарных контуров два – FDABF и BAMNB.

$$\text{Для контура FDABF: } E_1 + E_2 = I_1(R_1 + R_{i1}) - I_2(R_2 + R_{i2})$$

$$\text{Для контура BAMNB: } -E_2 + E_3 = I_2(R_2 + R_{i2}) - I_3(R_3 + R_{i3})$$

В полученную систему уравнений подставить числовые значения и любым методом рассчитать неизвестные в ветвях токи.

Нанести на схему действительные токи с указанием их величин.

Произвести проверку правильности нахождения токов. Для этого следует проверить выполнение первого закона Кирхгофа в узлах, второго закона – в контурах, балансы мощности – во всей цепи. Если все проверки сходятся, то задача решена правильно.

### 2. порядок выполнения задания

- 2.1. Изучить теоретический материал.
- 2.2. Выполнить задание для самостоятельного решения (согласно номеру варианта).
- 2.3. Оформить отчёт.

**Необходимо:**

### 3. Пример расчёта задания

Составить уравнения для определения токов путём непосредственного применения законов Кирхгофа. Определить токи в ветвях методом контурных токов.

Значения ЭДС источников и сопротивлений приёмников:  $E_1 = 130$  В,  $E_2 = 110$  В,  $R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 8$  Ом,  $R_3 = 21$  Ом,  $R_4 = 16$  Ом,  $R_5 = 19$  Ом,  $R_6 = 16$  Ом.

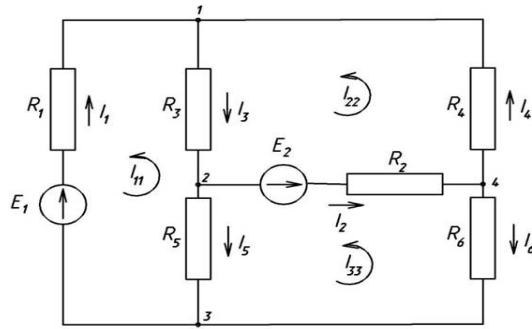


Рис. 3.1.

Для получения системы уравнений по законам Кирхгофа для расчёта токов в ветвях цепи составим по 1-му закону Кирхгофа три уравнения для узлов 1, 2, 3:

$$\begin{aligned} I_1 + I_4 - I_3 &= 0 \\ I_3 - I_2 - I_5 &= 0 \\ I_5 + I_6 - I_1 &= 0 \end{aligned}$$

По второму закону Кирхгофа составим уравнения для контуров  $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$ :

$$\begin{aligned} -E_1 &= -I_1 R_1 - I_5 R_5 - I_3 R_3 \\ E_2 &= I_2 R_2 + I_4 R_4 + I_3 R_3 \\ -E_2 &= -I_2 R_2 + I_5 R_5 - I_6 R_6 \end{aligned}$$

Полная система уравнений для нашей цепи, составленная по законам Кирхгофа:

$$\begin{aligned} I_1 + I_4 - I_3 &= 0 \\ I_3 - I_2 - I_5 &= 0 \\ I_5 + I_6 - I_1 &= 0 \\ -E_1 &= -I_1 R_1 - I_5 R_5 - I_3 R_3 \\ -E_2 &= -I_2 R_2 + I_5 R_5 - I_6 R_6 \end{aligned}$$

Определим собственные сопротивления трёх контуров нашей цепи, а так же взаимное сопротивление контуров:

$$\begin{aligned} R_{11} &= R_1 + R_3 + R_5 = 4 + 21 + 19 = 44 \text{ Ом} \\ R_{12} &= R_{21} = -R_3 = -21 \text{ Ом} \\ R_{22} &= R_2 + R_3 + R_4 = 8 + 21 + 16 = 45 \text{ Ом} \\ R_{23} &= R_{32} = -R_2 = -8 \text{ Ом} \\ R_{33} &= R_2 + R_5 + R_6 = 8 + 19 + 16 = 43 \text{ Ом} \\ R_{13} &= R_{31} = -R_5 = -19 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Составим систему уравнений для двух контуров нашей цепи:

$$\begin{aligned} R_{11} I_{11} + R_{12} I_{22} + R_{13} I_{33} &= -E_1 \\ R_{21} I_{11} + R_{22} I_{22} + R_{23} I_{33} &= E_2 \\ R_{31} I_{11} + R_{32} I_{22} + R_{33} I_{33} &= -E_2 \end{aligned}$$

Подставим числовые значения и решим.

$$\begin{aligned} 44 \cdot I_{11} - 21 \cdot I_{22} - 19 \cdot I_{33} &= -130 \\ -21 \cdot I_{11} + 45 \cdot I_{22} - 8 \cdot I_{33} &= 110 \\ -19 \cdot I_{11} - 8 \cdot I_{22} + 43 \cdot I_{33} &= -110 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ответ: } I_{11} &= -5,88 \text{ А} \\ I_{22} &= -1,26 \text{ А} \end{aligned}$$

$$I_{33} = -5,39 \text{ A}$$

#### 4. Варианты заданий для самостоятельного решения

На рис. 4.1. приведены схемы электрической цепи. Параметры цепи представлены в таблице 1. (согласно номеру варианта).

Найти:  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, - ?$

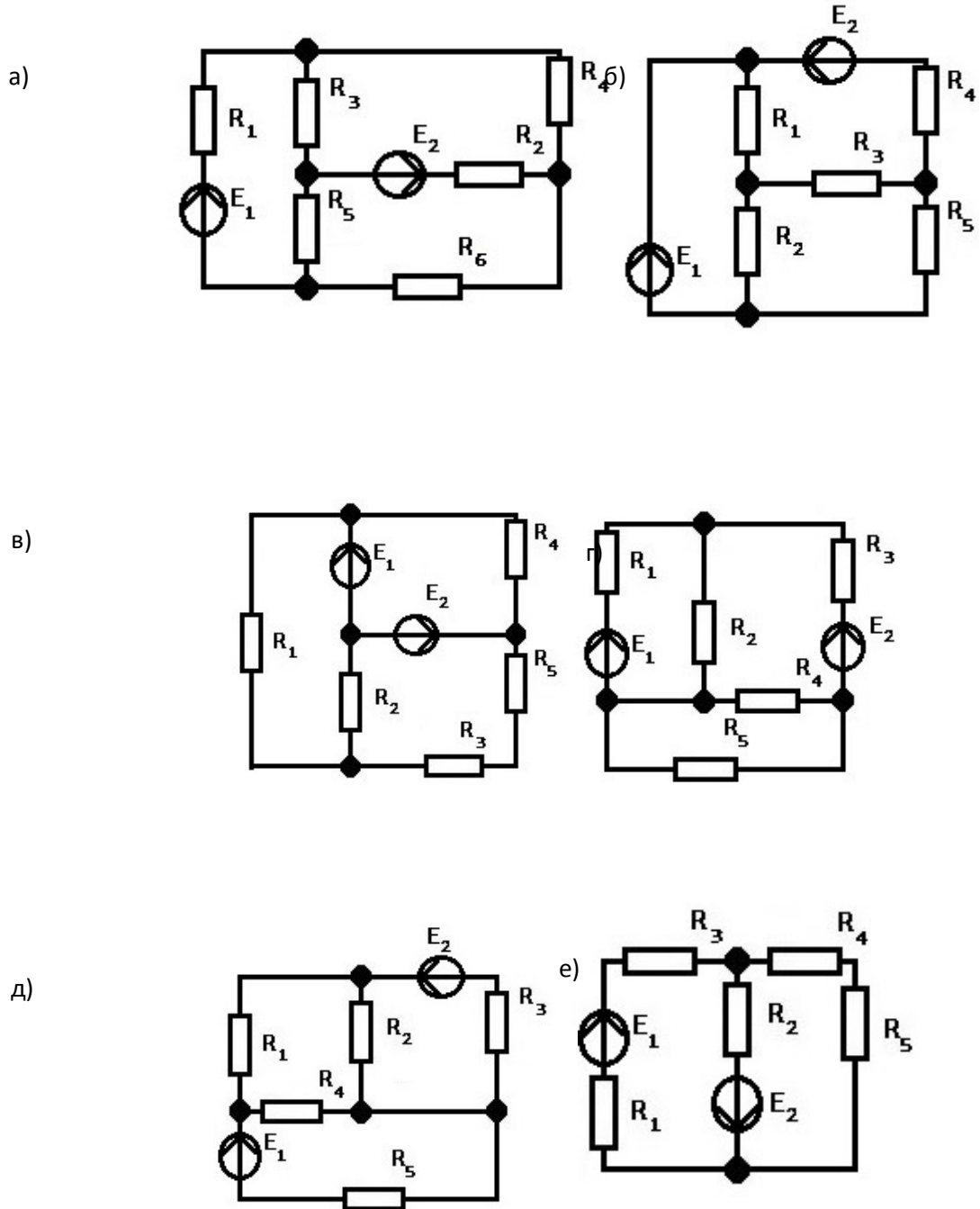


Рис.4.1.

Таблица 1

№ варианта	$E_1, В$	$E_2, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	Рисунок
1	100	110	47	33	25	40	55	а)
2	63	130	32	45	43	61	79	
3	42	60	85	42	32	22	10	
4	88	55	10	23	45	23	60	
5	99	52	54	45	53	10	11	
6	35	40	89	42	33	77	96	б)
7	45	41	45	53	23	54	86	
8	60	33	14	24	35	46	57	
9	55	44	58	47	36	25	14	
10	52	85	12	16	24	48	61	
11	40	63	23	45	40	39	65	в)
12	41	52	33	32	40	25	47	
13	33	45	45	45	61	43	32	
14	44	120	42	53	22	32	85	
15	85	125	23	33	23	45	10	
16	63	130	45	23	10	53	54	г)
17	66	100	42	35	77	33	89	
18	74	63	53	36	54	23	45	
19	47	42	24	24	46	35	14	
20	84	88	47	40	25	36	58	
21	52	99	16	32	48	24	12	д)
22	36	35	47	45	23	11	16	
23	47	100	32	53	45	96	45	
24	58	63	85	33	42	86	32	
25	69	42	10	33	53	57	45	
26	70	60	54	45	24	14	53	е)
27	45	55	89	42	47	61	33	
28	50	52	45	23	16	65	23	
29	17	40	14	45	45	47	35	
30	39	41	58	42	23	32	36	

## 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Чему равно минимальное и достаточное число уравнений в системе, составленной по законам Кирхгофа?
- 5.2. Сколько уравнений составляют по первому закону Кирхгофа?
- 5.3. Сформулируйте I закон Кирхгофа.
- 5.4. Сформулируйте II закон Кирхгофа.

## 6. Содержание отчёта

- 6.1. Титульный лист с названием практического занятия.
- 6.2. Цель практического занятия.
- 6.3. Выполненный вариант задания (согласно номеру варианта), содержащий условия, расчёты и графическую часть.
- 6.4. Выводы.

## Практическое занятие № 7

**Тема:** Решение типовых задач по теме «Магнитное поле»

**Цель:** ознакомление с методами решения практических задач по теме занятия, научиться применять свои знания при решении соответствующих задач.

### 1. Краткие сведения из теории:

Магнитное поле есть частный случай электромагнитного поля, характеризующееся воздействием на движущуюся электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы и ее скорости.

Вид магнитного поля зависит от того, какую форму имеет проводник с током. Например, магнитное поле, образующееся вокруг прямого проводника с током, графически изображается линиями магнитной индукции в виде концентрических окружностей в плоскости, перпендикулярной направлению тока. Направление магнитного поля в этом случае определяют по правилу Максвелла (правилу винта): вращение головки винта показывает направление линий индукции, если поступательное движение винта совпадает с направлением тока.

Магнитное поле катушки с током - соленоида аналогично магнитному полю постоянного полосового магнита.

Магнитное поле действует на проводник с током силой  $F_A$  (силой Ампера):

$$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha, \text{ где} \quad (1)$$

$B$ -индукция магнитного поля,

$I$ -сила тока в проводнике,

$l$ -длина проводника,

$\alpha$  - угол между вектором индукции и током.

Если проводник перпендикулярен линиям индукции, то

$$F_A = B \cdot I \cdot l, \text{ где} \quad (2)$$

$B$ -индукция магнитного поля,

$I$ -сила тока в проводнике,

$l$ -длина проводника.

Коэффициент пропорциональности  $B$  называется магнитной индукцией и является силовой характеристикой магнитного поля. Магнитная индукция — векторная величина. Единица магнитной индукции — Тесла (Тл). В любой точке однородного магнитного поля магнитная индукция одинакова по модулю и направлению, поэтому такое поле графически изображается линиями в виде параллельных прямых одинаковой густоты.

Магнитный поток равен числу линий индукции, пронизывающих площадь  $S$ , если вектор индукции совпадает с нормалью к этой площади:

$$\Phi = BS, \text{ где} \quad (3)$$

$B$ -индукция магнитного поля,

$S$ -площадь сечения проводника.

Единица измерения магнитного потока - Вебер (Вб).

### 2. Примеры решений типовых задач

**Задача 1.** По двум параллельным проводам, расположенным на расстоянии 30 см один от другого, протекают в одном направлении постоянные токи. Расстояние между опорами, на которых закреплены провода, равно 50 м. Сила тока в проводах 150 А. Определить модуль и направление силы, с которой взаимодействуют провода.

Дано:  $I_1 = I_2 = I = 150 \text{ А}$

$a = 0,3 \text{ м}$

$l = 50 \text{ м}$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

$\mu = 1.$

Найти:  $F$ -?



*Решение:* Рассмотрим в качестве активной части длины проводов расстояние между опорами. С учетом того, что  $l > a$ , провода можно считать бесконечно длинными, тогда силу взаимодействия найдем по формуле:

$$F = \mu_0 \mu \frac{I^2 l}{2\pi a};$$

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 1(150 \text{ А})^2 50 \text{ м}}{2\pi \cdot 0,3 \text{ м}} = 0,75 \text{ Н}$$

**Задача 2.** В однородном магнитном поле с индукцией  $5 \cdot 10^{-2}$  Тл перемещается прямой проводник длиной 0,8 м. Сила тока в проводнике 15 А, Проводник расположен под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции. Найти силу, действующую на проводник, и работу магнитного поля по перемещению проводника на 1,8 м.

*Дано:*  $B = 5 \cdot 10^{-2}$  Тл  
 $l = 0,8$  м  
 $I = 15$  А  
 $\alpha = 30^\circ$   
 $b = 1,8$  м.

*Найти:*  $F$  - ?;  $A$  - ?.

*Решение:* На проводник с током в однородном магнитном поле действует сила Ампера:  
 $F = B I l \sin \alpha$ ;  $F = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл} \cdot 15 \text{ А} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 0,5 = 0,3 \text{ Н}$

Зная силу, действующую на проводник, и расстояние, на которое он перемещается, можно определить работу:

$$A = Fb; A = 0,3 \text{ Н} \cdot 1,8 \text{ м} = 0,54 \text{ Дж}$$

*Ответ:* Магнитное поле действует на проводник с током силой 0,3 Н и, перемещая его, совершает работу 0,54 Дж.

**Задача 3.** Проводнику с током придали форму окружности радиусом 10 см . При этом магнитный момент контура стал равным  $0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ . Определить силу тока в контуре и максимальный вращающий момент, действующий на него со стороны однородного магнитного поля, индукция которого  $5 \cdot 10^{-3}$  Тл.

*Дано:*  $r = 0,1$  м;  
 $p_m = 0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ ;  
 $B = 5 \cdot 10^{-3}$  Тл.

*Найти:*  $I$  - ?  $M_{\text{макс}}$  - ?

*Решение:*

Зная магнитный момент контура, определим силу тока в нём:

$$p_m = IS, \text{ где } S = \pi r^2, \text{ тогда } p_m = I\pi r^2, \text{ отсюда}$$

$$I = \frac{p_m}{\pi r^2}; I = \frac{0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2}{3,14 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} = 10 \text{ А}.$$

Максимальный магнитный момент определяется по формуле:

$$M_{\text{макс}} = p_m B; M_{\text{макс}} = 0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \approx 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

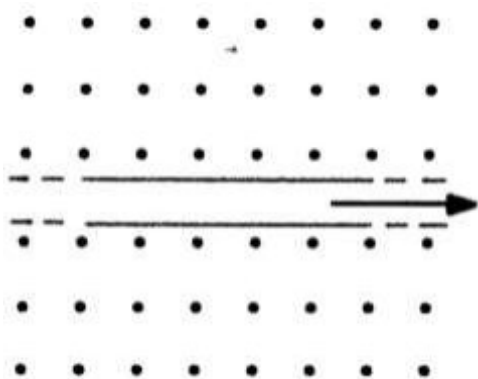
*Ответ:* Сила тока в контуре 10 А; максимальный вращающий момент приблизительно равен  $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

### 3. Варианты заданий для самостоятельного решения задач.

#### Вариант 1

1. В однородном магнитном поле индукцией 15 Тл проводник переместился перпендикулярно линиям магнитной индукции на 10 см. Какую работу совершил при этом электрический ток, если длина активной части проводника  $l = 40$  см, а сила тока в нем равна 2 А?
2. Магнитная индукция в бруске стали 0,75 Тл. Напряженность магнитного поля, создаваемого током, 150 А/м. Определить относительную магнитную проницаемость стали.

3. Из скольких витков надо изготовить соленоид без сердечника длиной 4 см, чтобы при силе тока 2 А внутри него магнитное поле имело напряженность 5000 А/м?



#### Вариант 2

1. Какую работу совершит электрический ток в 5А, проходящий по прямолинейному проводнику АВ, помещенному в однородное магнитное поле индукцией 4 Тл и движущемуся скоростью  $v$ ? (рис 1.)
2. Определить силу тока проходящего по прямолинейному проводнику, если на расстоянии 10 см от него напряженность магнитного поля тока равна 50А/м.
3. Определить магнитную индукцию в железном сердечнике электромагнита, обмотка которого имеет длину 5 см и содержит 500 витков, если сила тока в ней равна 0,5 А. Относительная магнитная проницаемость железа равна 5000.

#### Вариант 3

1. Проводник с током, помещенный в магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции, перемещается. Совершает ли при этом работу магнитное поле?
2. По круговому витку радиусом 10 см циркулирует ток 4 А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля в центре витка.
3. Требуется изготовить катушку длиной 6,28 см и площадью поперечного сечения  $40 \text{ см}^2$  с индуктивностью 0,02 Гн. Сколько витков должна иметь эта катушка?

#### Вариант 4

1. Определить магнитный поток внутри катушки индуктивностью 0 005 Гн, по которой проходит ток 2 А.
2. По прямолинейному проводу идет ток 4 А. Определить напряженность магнитного поля тока в точке, лежащей на магнитной линии индукции длиной 40 см. Провод находится в воздухе.
3. Определить магнитный поток, пронизывающий площадь  $200 \text{ см}^2$ , расположенную перпендикулярно линиям магнитной индукции, если индукция однородного магнитного поля равна 25 Тл.

#### 4. Содержание отчета:

1. Название практического занятия.
2. Цель практического занятия.
3. Записать краткое условие задачи.
4. При необходимости перевести единицы измерения физических величин в систему единиц измерения СИ.
5. Привести ход решения задач, используя для этого формулы, представленные в теоретической части.
6. Записать полученный в задачах ответ. В случае получения приближенного числа записать ответ с точностью до третьего знака после запятой либо в дольных или кратных единицах измерения.

## Практическое занятие № 8

**Тема:** Решение типовых задач по теме «Электромагнитная индукция»

### Цель:

- закрепить усвоение изученного материала по теме занятия. Научиться применять полученные знания при решении соответствующих задач.

### 1. Краткие сведения из теории:

Явление электромагнитной индукции состоит в том, что в любом замкнутом контуре возникают электродвижущая сила индукции и индукционный ток, если магнитный поток, ограниченный этим контуром, изменяется со временем:

$$\varepsilon_{\text{д}} = -\frac{\Delta\hat{\Phi}}{\Delta t}, \text{ где} \quad (1)$$

$\Delta\hat{\Phi}$  - магнитный поток контура,  
 $\Delta t$  - время прохождения потока.

Предположим, что прямоугольный контур, расположенный в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, перемещается со скоростью  $V$  и выходит из одного магнитного поля. Тогда магнитный поток, проходящий сквозь площадь контура, будет изменяться по закону:

$$\Delta\hat{\Phi} = -B l V \Delta t, \text{ где} \quad (2)$$

$B$  - магнитная индукция,  
 $l$  - длина контура,  
 $V$  - скорость контура,  
 $\Delta t$  - время прохождения потока.

Учитывая это, ЭДС индукции можно записать в виде:

$$\varepsilon_{\text{д}} = -B l V, \text{ где} \quad (3)$$

$B$  - магнитная индукция,  
 $l$  - длина контура,  
 $V$  - скорость контура.

Если векторы  $V$  и  $B$  образуют угол  $\alpha$ , то  $\varepsilon = -B l V \sin \alpha$ . (4)

ЭДС будет возникать и в неподвижном контуре, но для этого индукция магнитного поля так же должна меняться со временем.

Направление индукционного тока, возникающего в замкнутом контуре, можно определить, используя правило правой руки или правило Ленца. Согласно правилу Ленца, индукционный ток направлен так, чтобы магнитное поле, создаваемое им, противодействовало изменению магнитного поля, вызывающего индукционный ток.

### 2. Примеры решений типовых задач:

**Задача 1:** В однородном магнитном поле с индукцией 0,12 Тл находится круглая рамка диаметром 10 см, расположенная так, что вектор индукции перпендикулярен плоскости рамки. Определить количество витков рамки, если при ее повороте на угол  $180^\circ$  за 0,14 с в ней наводится ЭДС 0,942 В.

Дано:

$B=0.12$  Тл - индукция магнитного поля;  $d=0.1$  м- диаметр витка;  $\alpha=180^\circ$ - угол поворота рамки;  
 $\Delta t=0.14$  с - промежуток времени;  $E_{\text{и}}=0.942$  В - ЭДС индукции.

Найти:

$N$ - число витков в рамке.

Решение:

При повороте рамки изменяется магнитный поток, ограниченный контуром рамки, и в ней возникает ЭДС индукции:

$$\varepsilon_e = -\frac{\Delta\Phi \times N}{\Delta t}.$$

Из условия задачи следует, что до поворота нормаль к плоскости рамки и вектор индукции составили угол  $\alpha_0=0$  и при этом магнитный поток сквозь контур рамки  $\Phi_1 = BS \cos \alpha_0$ . После поворота рамки магнитный поток:  $\Phi_2 = BS \cos \alpha$ , здесь  $\alpha = 180^\circ$ ,

Изменение магнитного потока  $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ ;  $\Delta\Phi = BS \cos 180^\circ - BS \cos 0^\circ$ ;  $\cos 180^\circ = -1$ ,  $\cos 0^\circ = 1$ , тогда  $\Delta\Phi = -BS - BS = -2BS$ ; если учесть,  $S = \pi d^2 / 4$ , то получим  $\Delta\Phi = -B\pi d^2 / 2$ .

Подставляя в выражение для ЭДС индукции изменение магнитного потока, получим

$$\varepsilon_e = B\pi d^2 N / 2\Delta t.$$

Отсюда число витков

$$N = 2\varepsilon_e \Delta t / B\pi d^2 = 2 \times 0,942 \text{ В} \times 0,14 \text{ с} / 0,12 \text{ Тл} \times 3,14 \times 10^{-2} = 70.$$

Ответ: число витков в рамке равно 70.

**Задача 2:** Проводник длиной 0,6 м и сопротивлением 0,2 Ом может двигаться по медным шинам, подключенным к источнику электрической энергии с ЭДС 0,96 В и внутренним сопротивлением 0,1 Ом. Сопротивление шин пренебрежимо мало. Определить силу тока в проводнике, если он: а) покоится; б) движется со скоростью 0,5 м/с в однородном магнитном поле с индукцией 1,6 Тл.

Дано:

$l = 0,6 \text{ м}$  - длина проводника;  $R = 0,2 \text{ Ом}$  - сопротивление проводника;  $\varepsilon = 0,96 \text{ В}$  - ЭДС источника тока;  $r = 0,1 \text{ Ом}$  - внутреннее сопротивление источника тока;  $V = 0,5 \text{ м/с}$  - скорость движения проводника;  $B = 1,6 \text{ Тл}$  - индукция магнитного поля.

Найти:

- а)  $I_1$  - силу тока в покоящемся проводнике;  
б)  $I_2$  силу тока при движении проводника в магнитном поле.

Решение:

а) Если проводник остается в покое, сила тока  $I_1$  определяется по закону Ома для полной цепи:

$$I_1 = \varepsilon / (R + r) = 0,96 \text{ В} / (0,2 \text{ Ом} + 0,1 \text{ Ом}) = 3,2 \text{ А}$$

б) если проводник движется со скоростью  $v$  в однородном магнитном поле, в нем возникает ЭДС индукции  $\varepsilon_e$ , а если проводник является частью замкнутой цепи, возникает индукционный ток, направление которого определяется правилом правой руки. В нашем примере индукционный ток направлен против тока  $I_1$ . Закон Ома для данного случая примет вид  $I_2 = \varepsilon - \frac{\varepsilon_e}{R + r}$ ;  $\varepsilon_e = Blv$ ;  $I_2 = \varepsilon - \frac{Blv}{R + r}$ . Здесь необходимо обратить внимание на то, что вектор индукции магнитного поля и вектор скорости образуют угол  $90^\circ$ .

$$I_2 = 0,96 \text{ В} - \frac{1,6 \text{ Тл} \times 0,6 \text{ м} \times 0,5 \text{ м/с}}{0,2 \text{ Ом} + 0,1 \text{ Ом}} = 1,6 \text{ А}$$

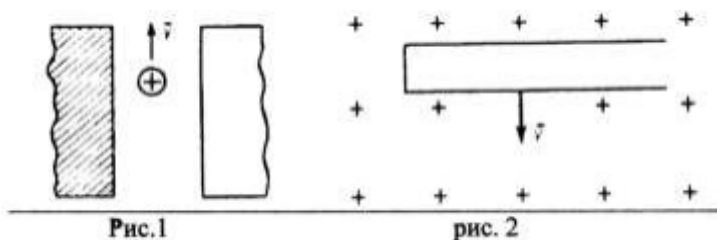
Ответ: сила тока в покоящемся проводнике равна 3,2 А; при движении в магнитном поле - 1,6 А.

### 3. Варианты заданий для самостоятельного решения:

#### Вариант 1

1. Что называется электромагнитной индукцией? Написать формулу и дать словесную формулировку закона электромагнитной индукции Фарадея.
2. Определить полюсы постоянного магнита, если при движении проводника вверх возникает индукционный ток, направленный от нас (рис.1).

3. под каким углом к линиям индукции однородного магнитного поля индукцией 0,5 Тл надо перемещать проводник длиной 0,4 м со скоростью 15 м/с, чтобы в нем возникла ЭДС, равная 2,12 В?

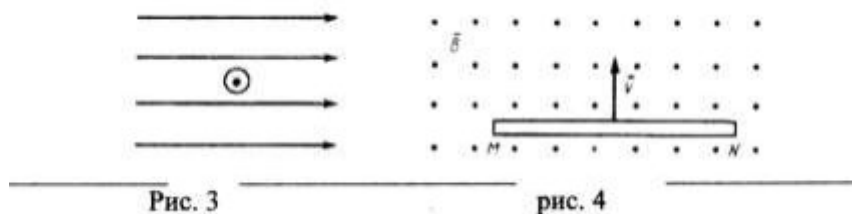


### Вариант 2

1. Возникает ли индукционный ток в незамкнутом (замкнутом) проводящем контуре, пересекаемом переменным магнитным полем?
2. Сложенная вдвое проволока движется в магнитном поле перпендикулярно его линиям индукции, как показано на рис.2. Возникнет ли ЭДС индукции в проволоке? Объяснить.
3. С какой скоростью надо перемещать проводник, длина активной части которого 0,5 м, под углом  $50^\circ$  к вектору магнитной индукции, модуль которого равен 0,8 Тл, чтобы в проводнике возбудилась ЭДС индукции, равная 2 В?

### Вариант 3

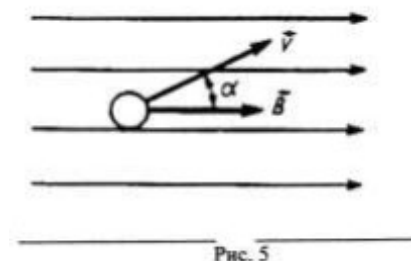
1. Написать формулу и дать словесную формулировку ЭДС индукции, возникающей при движении проводника в однородном магнитном поле.
2. В проводнике, движущемся перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, возник индукционный ток, имеющий направление, показанное на рис. 3. В каком направлении движется проводник?



3. По данным рис.4 определить ЭДС индукции в проводнике  $MN=0,5$  м, движущемся в однородном магнитном индукцией  $B = 0,1$  Тл со скоростью 2 м/с перпендикулярно линиям индукции. В каком направлении перемещались при этом свободные электроны в проводнике?

### Вариант 4

1. Определить направление индукционного тока в проводнике, который движется в однородном магнитном поле под некоторым углом к линиям индукции (рис.5).



2. Какую длину активной части должен иметь проводник, чтобы при перемещении его со скоростью 30 м/с перпендикулярно вектору магнитной индукции, равной 0,6 Тл, в нем возбуждалась ЭДС индукции 45 В?

3. На каких физических явлениях основано действие электрических генераторов и моторов.

#### **4. Содержание отчета:**

1. Название практического занятия.
2. Цель практического занятия.
3. Краткое условие задачи.
4. При необходимости перевести единицы измерения физических величин в систему единиц измерения СИ.
5. Записать формулы, используемые при решении задач.
6. Привести решение задач, используя для решения формулы, приведенные в теоретической части.
7. Записать полученный ответ с точностью до третьего знака после запятой. В случае необходимости ответ записать в долях или кратных единицах измерения.

## Практическое занятие № 9

**Тема:** Решение задач с элементами исследования «Определение показателя преломления стекла»

**Цель:** закрепить усвоение изученного материала по теме занятия. Научиться применять полученные знания при решении соответствующих задач.

### 1. Краткие сведения из теории:

Длины воспринимаемых глазом световых волн очень малы (порядка  $10^{-7}$  м). Поэтому распространение видимого света можно в первом приближении рассматривать, отвлекаясь от его волновой природы и полагая, что свет распространяется вдоль некоторых линий, называемых лучами. Под лучом в физическом смысле этого слова понимают достаточно узкий световой пучок.

Когда луч света достигает плоской границы раздела двух прозрачных сред (рис. 1), он частично проходит во вторую среду (преломляется), частично возвращается обратно (отражается).

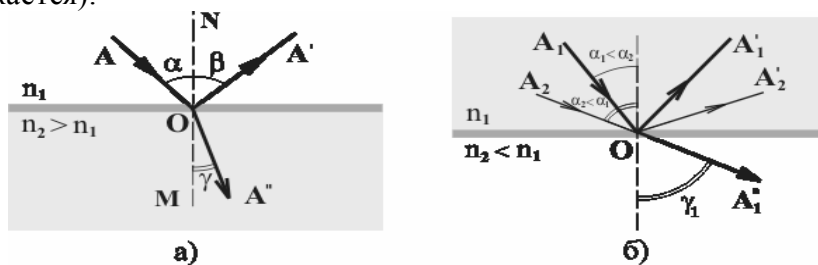


Рис. 1

Закон отражения света был известен ещё грекам и упоминается в сочинении Евклида (III век до н.э.). Установление его связано с употреблением полированных металлических поверхностей (зеркал), известных уже в очень отдалённую эпоху. Этот закон утверждает, что падающий луч  $AO$  и отражённый луч  $OA'$  лежат в одной плоскости с нормалью  $MN$ , проведённой к границе раздела сред через точку  $O$  падения луча (эта плоскость называется плоскостью падения), причём угол отражения  $\beta$  равен углу падения  $\alpha$  (рис. 1а):

$$\beta = \alpha. (1)$$

Закон преломления был установлен экспериментально в 1621 г. голландским учёным Снеллиусом (1580-1626) и опубликован только после его смерти. Согласно закону преломления, преломлённый луч  $OA''$  (рис. 1а) лежит в плоскости падения, причём отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\gamma$  для рассматриваемых сред зависит только от длины световой волны, но не зависит от угла падения, т.е.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} = \text{const}. (2)$$

Постоянная величина  $n_{21}$  называется относительным показателем преломления второй среды относительно первой. Показатель преломления среды относительно вакуума называют абсолютным показателем преломления этой среды. Для абсолютного показателя преломления среды  $n$  волновая теория даёт:  $n = c/v$ , где  $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с - скорость света в вакууме, а  $v$  - скорость света в среде. Относительный показатель преломления  $n_{21}$  выражается через показатели преломления сред  $n_1$  и  $n_2$  соотношением

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Если  $n_{21} < 1$  ( $n_2 < n_1$ ; среда "1" оптически более плотная, чем среда "2"), то может оказаться, что величина  $\sin \gamma$ , формально вычисленная по формуле (2), начнёт превосходить  $\sin \alpha$

единицу, т.е.  $n_{21} > 1$ . Соответствующего угла преломления не существует. Поэтому преломлённый луч не возникает, а свет отражается полностью (рис 1б). Это явление называется полным внутренним отражением. Угол падения, при котором оно возникает, определяется условием  $\alpha \geq \alpha_0$ , причём

$$\sin \alpha_0 = n_{21}. (3)$$

Величина  $\alpha_0$  называется предельным углом полного отражения.

В настоящей лабораторной работе экспериментально проверяются соотношения (1) и (2) - законы отражения и преломления света, а также наблюдается явление полного отражения.

## 2. Примеры решения типовых задач:

### Задача №1

Луч света падает на плоскую поверхность границы раздела двух сред. Угол падения равен  $40^\circ$ , а угол между отраженным и преломленным лучами составляет  $110^\circ$ . Чему равен угол преломления?

Решение:

По закону отражения света угол отражения равен углу падения:

$$\beta = \alpha = 40^\circ$$

$$\beta + \angle BOD + \gamma = 180^\circ$$

Выразим и рассчитаем угол преломления:

$$\gamma = 180^\circ - \angle BOD - \beta = 180^\circ - 110^\circ - 40^\circ = 30^\circ$$

Ответ:  $\gamma = 30^\circ$

### Задача №2

Стеклянный прямоугольный аквариум наполнен водой. Угол падения светового луча на его стенку равен  $60^\circ$ . Найдите угол преломления луча света в воде при выходе из стекла.

Решение:

Запишем закон преломления света для воздуха и стекла:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma$$

Выразим отсюда синус угла преломления:

$$\sin \gamma = n_1 \sin \alpha / n_2$$

Теперь запишем закон преломления света для стекла и воды:

$$n_2 \sin \alpha = n_3 \sin \gamma_1$$

Из чертежа мы видим, что  $\alpha = \gamma_1 = \gamma$ , т. к. Это накрест лежащие углы при пересечении двух параллельных прямых.

Используя закон преломления для стекла и воды и равенство углов, выразим угол преломления в воде:

$$n_2 \sin \gamma = n_3 \sin \gamma_1$$

Подставим в это выражение полученное равенство для  $\sin \gamma$  из закона преломления для воздуха и стекла:

$$n_2 \sin \gamma_1 = n_3 \cdot n_1 \sin \alpha / n_2 = n_3 \sin \alpha$$

Рассчитаем это значение:

$$\sin \gamma_1 = \frac{n_3}{n_2} \sin \alpha = 1.33 \cdot \sin 60^\circ = 1.33 \cdot 0.87 = 1.1571$$

Используя таблицу синусов, определим угол, которому соответствует полученное значение:  $\gamma_1 = 41^\circ$

Ответ:  $\gamma_1 = 41^\circ$

## 3. Варианты заданий для самостоятельного решения:

Задача 1. Луч света падает на стекло под углом  $45^\circ$ . Известно, что угол преломления данного луча равен  $20^\circ$ . Постройте соответствующий чертёж, найдите показатель преломления данного стекла и примерное значение скорости света в нём.

Задача 2. Два разных стёкла (с показателями преломления 1,5 и 2,1) сложены вплотную друг к другу. Может ли луч света, пройдя сквозь одно из стёкол, полностью отразиться от второго?

Задача 3. В сосуде кубической формы лежит предмет, расположенный точно в центре дна. Глаз наблюдателя расположен таким образом, что он видит нижний угол сосуда. Чтобы наблюдатель мог увидеть предмет в сосуде, его заполняют некой жидкостью с показателем преломления 1,7. Найдите минимальный уровень этой жидкости.



Задача 4. Луч света выходит из некоторой среды в воздух таким образом, что угол падения вдвое меньше угла преломления. Если угол падения увеличить на  $10^\circ$ , то он достигнет своего предельного значения. Найдите показатель преломления данной среды.

Задача 5. Мальчик старается попасть палкой в предмет, находящийся на дне пруда глубиной 50 см. Точно прицелившись, он двигает палку под углом сорок  $40^\circ$  к поверхности воды. На каком расстоянии от предмета палка ткнёт в дно пруда?

#### 4. Содержание отчета:

1. Название практического занятия. 2. Цель практического занятия.
3. Краткое условие задачи.
4. При необходимости перевести единицы измерения физических величин в систему единиц измерения СИ.
5. Записать формулы, используемые при решении задач.
6. Привести решение задач, используя для решения формулы, приведенные в теоретической части.
7. Записать полученный ответ с точностью до третьего знака после запятой. В случае необходимости ответ записать в дольных или кратных единицах измерения.

## Список источников информации

### Основные источники:

1. Пинский, А.А. Физика: учебник для студ. учрежд. СПО /А.А.Пинский, Г.Ю.Граковский. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017.
2. Степанова, Г.Н. Физика. Углублённый уровень. В 2 ч.: учебник для 10 класса общеобразовательных учреждений/Г.Н.Степанова. - М.: Русское слово, 2013.
3. Степанова, Г.Н. Физика. Углублённый уровень. В 2 ч.: учебник для 11 класса общеобразовательных учреждений/Г.Н.Степанова. - М.: Русское слово, 2013.

### Дополнительные источники:

1. Касьянов, В.А. Физика: учебник для общеобразовательных учреждений. 11 класс. Базовый уровень / В.А. Касьянов. – М.: Дрофа, 2008.
2. Касьянов, В.А. Физика: учебник для общеобразовательных учреждений. 10 класс. Базовый уровень / В. А. Касьянов.– М.: Дрофа, 2008.
3. Касьянов, В.А. Физика.11 кл. Эволюция Вселенной: дополнительные главы к учебнику / В. А. Касьянов.- М.: Дрофа, 2008.
4. Киселева, Г.П. Физика: учебное пособие для подготовительных отделений вузов/Г.П.Киселева, В.М.Киселев. - Красноярск: Сиб. федеральный университет, 2011.
5. Жавнерчик, В.Э. Справочник по математике и физике/ В.Э,Жавнерчик, Л.И.Майсеня, Ю.И.Савилова. – Мн.: Выш. шк., 2014.
6. Физика в формулах и схемах: учебное пособие для школьников и абитуриентов/сост. О.В.Малярова. – СПб.: Виктория плюс, 2016.

### Интернет-ресурсы:

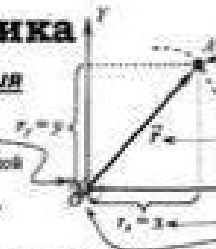
1. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс]: федеральный образовательный портал. - Режим доступа: <http://fcior.edu.ru/>, свободный.
2. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов [Электронный ресурс]: федеральный образовательный портал. – Режим доступа: <http://school-collection.edu.ru/catalog/>, свободный.
3. Естественно-научный образовательный портал [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.en.edu.ru/>, свободный.
4. Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]: федеральный образовательный портал.- Режим доступа: <http://window.edu.ru/>, свободный.
5. Virtulab [Электронный ресурс]: виртуальная образовательная лаборатория. - Режим доступа: <http://www.virtulab.net/>, свободный.
6. Физика [Электронный ресурс]: электронный учебный комплекс для школьников/ Открытый колледж.- Режим доступа: <http://physics.ru/>, свободный.
7. Формулы и расчеты онлайн [Электронный ресурс]: интерактивный справочник. - Режим доступа: <http://www.fxuz.ru/>, свободный.

# Приложения

## I. Кинематика

### 1. Основные понятия

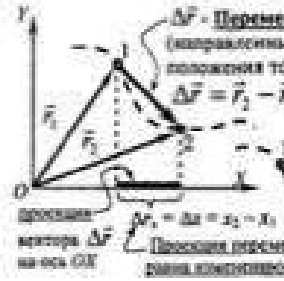
**Система отсчета** — совокупность декартовых систем координат, связанной с телом «отсчета», в котором неподвижна относительно тела отсчета.



Движущаяся точка  $A$   
Траектория точки  $A$  — линия, по которой движется точка.

**Радиус-вектор** — вектор, описывающий расположение точки в пространстве. Это направленный отрезок, проведенный из начала координат в точку, положение которой он задает.  
**Координата точки** равна проекции радиус-вектора на координатную ось.

**Тело отсчета** — тело, относительно которого рассматривается движение других тел.



$\Delta \vec{r}$  — **Перемещение точки** — изменение радиус-вектора (направленный отрезок, проведенный из начального положения точки в ее конечное положение).  
 $s$  — **Путь**, пройденный точкой — длина участка траектории между начальным положением (1) и конечным положением (2), если точка не проходит по одному участку траектории более одного раза (иначе путь вычисляется как сумма путей по отдельным участкам).  
Проекция перемещения на координатную ось равна изменению координаты.

**Скорость точки**  
$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$
  
$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}(t)$$
  
Перемещение точки за время  $\Delta t$   
если  $\vec{v} = \text{const}$

**Ускорение точки**  
$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$
  
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}(t) = \vec{r}''(t)$$
  
Изменение скорости за время  $\Delta t$   
если  $\vec{a} = \text{const}$

**Среднее ускорение**  
$$\vec{a}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$
  
Изменение скорости за время  $\Delta t$

**Средний вектор скорости** (средняя скорость перемещения)  
$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$
  
Вектор перемещения точки за время  $\Delta t$

**Средняя модуль скорости** (средняя путевая скорость)  
$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$
  
Путь, пройденный за время  $t$

**Численно:**  
$$\pm S_{\text{под}} = \Delta x$$
  
↑ площадь выше оси  $t$   
↓ площадь ниже оси  $t$

**Численно:**  
$$S_{\text{под}} = s$$

**Численно:**  
$$\pm S_{\text{под}} = \Delta v$$
  
↑ площадь выше оси  $t$   
↓ площадь ниже оси  $t$

### 2. Законы сложения скоростей и ускорений

$$\vec{v}_{\text{точка}} = \vec{v}_{\text{точка}} + \vec{v}_{\text{платформа}}$$
  
Скорость «подвижной» системы отсчета (ПСО) относительно «неподвижной» (НСО) (абсолютная скорость).  
Скорость точки (1) относительно «неподвижной» системы отсчета (НСО) (абсолютная скорость).  
Скорость точки (1) относительно «подвижной» системы отсчета (ПСО) (относительная скорость).  
Скорость второй точки (в «неподвижной» системе отсчета).  
Скорость первой точки (в «подвижной» системе отсчета).  
$$\vec{v}_{1/2} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$$

$$\vec{a}_{\text{точка}} = \vec{a}_{\text{точка}} + \vec{a}_{\text{платформа}}$$
  
Ускорение «подвижной» системы отсчета (ПСО) относительно «неподвижной» (НСО) (абсолютное ускорение).  
Ускорение точки в «подвижной» системе отсчета (ПСО).  
Ускорение точки в «неподвижной» системе отсчета (НСО).  
Если ПСО не вращается, движется поступательно относительно НСО.

### 3. Нормальное и тангенциальное ускорения

$\vec{a}_n$  — **нормальное ускорение** — составляющая полного ускорения, перпендикулярная вектору скорости. Это ускорение характеризует быстроту изменения направления вектора скорости.  
$$a_n = \frac{v^2}{r}$$
  
Радиус кривизны траектории в той точке, где имеет место данное нормальное ускорение.

$\vec{a}_t$  — **тангенциальное ускорение** — составляющая полного ускорения, параллельная вектору скорости. Это ускорение характеризует быстроту изменения модуля вектора скорости:  
$$a_t = \left| \frac{dv}{dt} \right|$$

Вектор ускорения (полное ускорение) представляет как сумму двух векторов (разлагающихся), один из которых ( $\vec{a}_t$ ) параллелен скорости, а другой ( $\vec{a}_n$ ) перпендикулярен скорости:  
$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

Вектор скорости точки

#### 4. Типы движений

**4.1.1. Равномерное движение** — движение, при котором точка за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути (Вектор скорости не изменяется по модулю, но может меняться по направлению)  
 $(v = \text{const})$   
 $s = v \cdot t$   
 Модуль скорости  
 Путь, пройденный точкой за время  $t$

**4.1.1. Равномерное прямолинейное движение** — движение, при котором точка за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. (Вектор скорости не меняется ни по модулю, ни по направлению)  
 $(\vec{v} = \text{const})$   
 $(a = 0)$   
 $s = v \cdot t$   
 $x = x_0 + v_x \cdot t$   
 Проекция вектора скорости на координатную ось  
 Координата точки в начальный момент  $t = 0$   
 Координата точки в момент  $t$

**4.1.2. Равномерное движение по окружности**  
**Равномерное вращение** — движение твердого тела, при котором любая его точка движется по окружности, причем, центры всех этих окружностей лежат на одной прямой перпендикулярной плоскости вращения, и за любые равные промежутки времени тело поворачивается на одинаковые углы.  
 $(\omega = \text{const})$   
 $s = v \cdot t$   
 $\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$   
 Угол, на который тело поворачивается за время  $\Delta t$  (угол измеряется в радианах)  
 $\omega$  — Угловая скорость (измеряется в рад/с)  
 $v = \omega \cdot R$   
 $\omega = \frac{2\pi}{T}$   
 $v = \frac{1}{T}$   
 $T = \frac{t}{N}$   
 $\nu = \frac{1}{T}$   
 $\nu$  — частота вращения — число оборотов, происходящих за единицу времени (за 1 секунду). Измеряется в герцах.  $1 \text{ Гц} = 1 \text{ оборот/с}$   
 $R$  — Радиус окружности, по которой движется точка  
 $T$  — Период вращения — время, за которое происходит один полный оборот.  
 $t$  — время, за которое происходит  $N$  оборотов  
 При равномерном движении по окружности точка обладает ускорением, которое в любой момент направлено к центру этой окружности. Такое ускорение называется **ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНЫМ**.  
 $a_v = \frac{v^2}{R}$   
 $v$  — скорость движения точки  
 $R$  — радиус окружности, по которой движется точка

**4.2. Движение с постоянным ускорением**  
 $(\vec{a} = \text{const})$   
 При  $\vec{a} = \text{const}$ :  $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$   
 $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$   
 $v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$   
 $v_y = v_{0y} + a_y \cdot t$   
 $a_x, a_y$  — проекции ускорения  
 $v_{0x}, v_{0y}$  — проекции начальной скорости (т. е. скорости в момент  $t = 0$ )  
 $\Delta x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} t$   
 $\Delta y = \frac{v_y + v_{0y}}{2} t$   
 $\Delta x, \Delta y$  — изменение координат:  
 $\Delta x = x - x_0; \Delta y = y - y_0$   
 $x, y$  — конечные координаты (координаты в момент  $t$ )  
 $x = x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2}$   
 $y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{a_y t^2}{2}$   
 $x_0, y_0$  — начальные координаты (координаты в момент  $t = 0$ )  
 $2a\Delta s = v^2 - v_0^2$   
 $2a_x \Delta x = v_x^2 - v_{0x}^2$   
 $2a_y \Delta y = v_y^2 - v_{0y}^2$   
 $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$   
 $x_0, y_0$  — начальные координаты (координаты в момент  $t = 0$ )  
 Форма траектории при движении с постоянным ускорением:  
 Прямолинейная траектория ( $\vec{a}$  и  $\vec{v}$  параллельны)  
 Параболическая траектория ( $\vec{a}$  и  $\vec{v}$  не параллельны)

**4.2.1. Равноускоренное движение**  $\vec{a} \parallel \vec{v}$   
 $v = v_0 + at$   
 $2as = v^2 - v_0^2$   
 $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$   
 $s = \frac{v + v_0}{2} t$   
 $t \leq t_{\text{ост}} = v_0/a$

**4.2.2. Равнозамедленное движение**  $\vec{a} \perp \vec{v}$   
 $v = v_0 - at$   
 $2as = v^2 - v_0^2$   
 $s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$   
 $s = \frac{v + v_0}{2} t$

**4.3. Гармоническое движение**  $x = A \cos(\omega t + \phi_0)$ ,  $v_x = -A\omega \sin(\omega t + \phi_0)$ ,  $a_x = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi_0)$   
 (вдоль оси  $Ox$ )  
 $x$  — координата колеблющегося тела (смещение от равновесного положения);  $\omega$  — циклическая частота колебаний,  $A$  — амплитуда колебаний (максимальное смещение)  
 $\phi = \omega t + \phi_0$  — фаза колебаний,  $\phi_0$  — начальная фаза.  
 $v_m = A\omega$  — максимальная скорость  
 $a_m = A\omega^2$  — максимальное ускорение  
 $\omega = \frac{2\pi}{T}$  — период колебаний (время одного полного колебания)

## II. Динамика

### 1. Второй закон Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

В инерциальных системах отсчета (ИСО)

ИСО — системы отсчета, относительно которых любая материальная точка, свободная от действия сил, не имеет ускорения.

Инерциальной может приближенно считаться:

- Система отсчета, связанная с поверхностью Земли (если не требуется учитывать вращение Земли и силы притяжения к Солнцу и планетам)
- Система отсчета, с центром в центре Земли, ось которой направлена на звезды (если надо учесть вращение Земли вокруг своей оси, но вращение вокруг Солнца и притяжение к Солнцу и планетам можно не учитывать).
- Система отсчета, с центром в центре Солнца, ось которой направлена на звезды (если можно не учитывать вращение солнечной системы вокруг ядра галактики и притяжение к другим звездам).

### 2. Теорема о движении центра масс

$$M_{\text{сист}} \vec{a}_{\text{ц.м.}} = \vec{F}_1^{\text{внеш}} + \vec{F}_2^{\text{внеш}} + \vec{F}_3^{\text{внеш}} + \dots$$

В ИСО

Внешние силы — силы, действующие на тела, входящие в систему, со стороны тел, не входящих в эту систему.

$M_{\text{сист}}$  — масса системы материальных точек (масса тела или системы тел),

$\vec{a}_{\text{ц.м.}}$  — ускорение центра масс этой системы,

$\vec{F}_1^{\text{внеш}} + \vec{F}_2^{\text{внеш}} + \dots$  — сумма внешних сил, действующих на эту систему.

### 3. Третий закон Ньютона

Если одно тело (1) действует на другое тело (2) силой ( $\vec{F}_{12}$ ), то

второе тело (2) обязательно действует на первое (1) такой силой  $\vec{F}_{21}$ , что →



$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

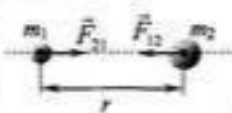
- $F_{21} = F_{12}$
- $\vec{F}_{21} \uparrow \downarrow \vec{F}_{12}$
- $\vec{F}_{21}$  и  $\vec{F}_{12}$  — лежат на одной прямой
- $\vec{F}_{21}$  и  $\vec{F}_{12}$  — имеют одну природу: например, если  $\vec{F}_{12}$  — сила трения, то  $\vec{F}_{21}$  тоже сила трения.

- Силы, действующие на тело со стороны тел, соприкасающихся с ним (действие через контакт).
- Силы, действующие на тело со стороны тел, не соприкасающихся с ним (действие через силовые поля: гравитационное, электрическое или магнитное) — гравитационная, электрическая или магнитная сила.

### 4. Силы, которые могут действовать на тело, можно разделить на две группы:

### 5. Гравитационная сила

$$F_{\text{грав}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



$F_{21} = F_{12} = F_{\text{грав}}$  — сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками или однородными шарами (сферами), массы которых  $m_1$  и  $m_2$ .

$r$  — расстояние между этими материальными точками, или центрами шаров (сфер).

$m$  — масса, размеры которой пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними

$G$  — гравитационная постоянная  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н м}^2/\text{кг}^2$  — измеряется в специальных экспериментах.

$$F_{\text{тяж}} \approx F_{\text{гравитационная}} = G \frac{M_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2} \cdot m = gm$$

$g$  — ускорение свободного падения на поверхности планеты

$$g = G \frac{M_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2}$$



$g \approx F_{\text{грав}}$  на поверхности. **Первая космическая скорость** — скорость спутника, который вращается вокруг планеты по круговой орбите минимального возможного радиуса  $r \approx R_{\text{пл}}$

Для такого спутника по II закону Ньютона:  $m\vec{a} = F_{\text{тяж}}$ . Ускорение спутника — центростремительное ускорение (т. е. он равномерно движется по окружности)  $a = a_c = v^2/r$ , сила тяжести  $F_{\text{тяж}} = mg$ . Учитывая, что  $r = R_{\text{пл}}$ , получим:

$$m \frac{v^2}{R_{\text{пл}}} = mg \Rightarrow v_c = \sqrt{gR_{\text{пл}}}$$

**Вес тела** — сила, с которой это тело, благодаря наличию у него массы, давит на опору, на которой лежит, или действует на подвес, на котором висит.

**Перегрузка** — превышение весом величины  $mg$ . Возникает в ракетках, лифтах и пр. при движении с ускорением, направленным вверх.

**Невесомость** — состояние, в котором вес равен нулю (т. е. тело не давит на опору). Невесомость может возникать не только при отсутствии гравитационной силы, но и в лифтах, самолетах, космических кораблях и пр., движущихся с  $\vec{a} = \vec{g}$ .

# V. Тепловые явления

## 1. Уравнение Менделеева-Клапейрона

Для идеального газа  $pV = \nu RT$

Абсолютная температура  $T = (t^{\circ}\text{C} + 273)\text{K}$

Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$

Давление газа ( $\text{Па}$ )  
 $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па} = 760 \text{ мм.рт.ст.}$

Объем газа ( $\text{м}^3$ )  
 $1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$

Количество вещества — число моль газа.  
 1 моль — группа  $m = 6,02 \cdot 10^{23}$  молекул.

Число Авогадро  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

$\nu = \frac{N}{N_A}$  — Число молекул газа  
 $\nu = \frac{m}{M}$  — Число молекул в 1 моль

$\nu = \frac{m}{M}$  — Масса газа  
 Масса 1 моль газа — молярная масса

$\lambda = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$   
 постоянная Больцмана

$pV = \frac{NkT}{N_A}$

разделим обе части на  $V$ :  $p = \frac{N}{V} kT$

$n = N/V$  — концентрация газа — число молекул в  $1 \text{ м}^3$ .

$p = nkT$

$pV = \frac{m}{M} RT$

разделим обе части на  $V$ :  $p = \frac{m}{V} \frac{RT}{M}$

$\rho = m/V$  — плотность газа.

$p = \frac{\rho}{M} RT$

$M = 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  — Кислород

## 2. Закон Дальтона

$p_{\text{смеси}} = p_1 + p_2 + \dots$

Давление смеси невзаимодействующих газов.

Частичное давление первого из газов, входящих в смесь, — т. е. давление, которое создавал бы этот газ, если бы он один занимал весь объем смеси.

$p_1 = \frac{\nu_1 RT_{\text{смеси}}}{V_{\text{смеси}}}$

## 3. Основное уравнение МКТ

Для идеального газа  $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{1}{3} n m_0 \bar{u}_{\text{кв}}^2$

$\bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{m_0 u_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул

$\bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{\frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} + \dots + \frac{m_N u_N^2}{2}}{N} = \frac{m_0}{2} \left( \frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2}{N} \right) = \frac{m_0 \bar{u}^2}{2} = \frac{m_0 u_{\text{кв}}^2}{2}$

$\bar{u}_{\text{кв}} = \sqrt{\bar{u}^2}$  — Средняя квадратичная скорость

$m_0 = \frac{M}{N_A}$  — Масса 1 моль  
 Число молекул в 1 моль

Плотность газа  $\rho$

Масса одной молекулы

## 4. Газовые законы

Из  $pV = \nu RT$  следует, что если  $\nu = \text{const}$ , то  $\frac{pV}{T} = \text{const}$

$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

$\nu = \text{const}$ , газ идеальный

$\nu = \text{const}, T = \text{const}$   $p_1 V_1 = p_2 V_2$   
 Изотермический процесс, график — гиперболы

$\nu = \text{const}, p = \text{const}$   $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$   
 Изобарный процесс, график — гиперболы

$\nu = \text{const}, V = \text{const}$   $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$   
 Изохорный процесс, график — гиперболы

### 5. Первый закон термодинамики

Количество теплоты, полученное ( $Q > 0$ ) или отданное ( $Q < 0$ ) системой.  
(Энергия, полученная или отданная системой в процессе теплопередачи, т. е. при обмене энергией между молекулами — на микроскопическом уровне.)

$$Q = \Delta U + A_{\text{газа}}$$

**Изменение внутренней энергии системы**

$$U = E_{\text{к тепл}} + E_{\text{р взаим}}$$

Внутренняя энергия: Кинетическая энергия хаотического (теплого) движения молекулы; Потенциальная энергия взаимодействия молекул друг с другом.

В идеальном газе  $E_{\text{к тепл}} \gg E_{\text{р взаим}}$ , поэтому

$$U = E_{\text{к тепл}} = \frac{i}{2} pV = \frac{i}{2} \nu RT$$

$i = 3$  для одноатомных газов (He, Ne, Ar, ...)  
 $i = 5$  для двухатомных газов ( $\text{H}_2, \text{N}_2, \text{O}_2, \text{воздух}, \dots$ )  
 $i = 6$  для многоатомных газов (пары  $\text{H}_2\text{O}, \dots$ )

$$\Delta U = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$$

Для идеального газа

$$\Delta U = C_V \Delta T = c_V m \Delta T = C_{M V} \nu \Delta T$$

**Работа газа**

$$A_{\text{газа}} = -A_{\text{над газом}}$$

- $V = \text{const} \Rightarrow A_{\text{газа}} = 0$
- $p = \text{const} \Rightarrow A_{\text{газа}} = p \Delta V = \bar{\nu} R \Delta T$  (численно)
- $A_{\text{газа}} = \pm S_{\text{под граф } p(V)}$ 
  - "+" — если газ расширяется
  - "-" — если газ сжимается

**6. Адиабатический процесс**

$$Q = 0 \Rightarrow A_{\text{газа}} = -\Delta U$$

В теплоизолированной системе или при быстрых процессах

- При адиабатическом расширении ( $A_{\text{газа}} > 0$ ) газ охлаждается ( $\Delta U < 0$ )
- При адиабатическом сжатии ( $A_{\text{газа}} < 0$ ) газ нагревается ( $\Delta U > 0$ )

Адиабата — гипербола, идущая более "круто", чем изотерма (с ростом  $V$  убывает  $T$ ).

**7. КПД циклического процесса (теплого двигателя)**

$$\eta_{\text{цикла}} = \frac{A_{\text{газа в цикле}}}{Q_{\text{подв}}} = \frac{Q_{\text{подв}} - |Q_{\text{отв}}|}{Q_{\text{подв}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{отв}}|}{Q_{\text{подв}}}$$

Для идеального газа в любом процессе

$$Q_{\text{подв}} + Q_{\text{отв}} = \Delta U_{\text{газа в цикле}} + A_{\text{газа в цикле}}$$

$$Q_{\text{отв}} < 0 \Rightarrow Q_{\text{отв}} = -|Q_{\text{отв}}| \quad \Delta U_{\text{газа в цикле}} = U_{\text{кон}} - U_{\text{нач}} = 0$$

$$Q_{\text{подв}} - |Q_{\text{отв}}| = A_{\text{газа в цикле}}$$

$A_{\text{газа в цикле}} = \pm S_{\text{внутри цикла } p(V)}$  (численно)

- "+" — если цикл идет "по часовой стрелке"
- "-" — если цикл идет "против часовой стрелки"

$$\eta_{\text{идеал}} = \frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}$$

КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно — максимальный теоретически возможный КПД при данных  $T_{\text{наг}}$  и  $T_{\text{хол}}$ .

### 6. Насыщенный пар

газ, дальнейшее изотермическое сжатие или изохорное охлаждение которого приводит к превращению части этого газа в жидкость (при наличии центров конденсации).

газ, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, т. е. в состоянии, когда число молекул, переходящих из газа в жидкость равно числу молекул, переходящих обратно за то же время.

Реальные изотермы: область I — вода; область II — вода в равновесии с насыщенным паром; область III — газ.

$T_{\text{кр}}$  — критическая температура, при  $T > T_{\text{кр}}$  газ никаким сжатием нельзя превести в жидкость.

Условие кипения:  $p_{\text{пар}} = p_{\text{внешнее}} = p_{\text{атм}}$   
Для воды  $p_{\text{атм}}(100^\circ\text{C}) = 10^5 \text{ Па}$ .

Давление насыщенного пара (а также его плотность) однозначно определяется температурой и больше ни от чего не зависит (ни от объема, ни от массы пара).

Относительная влажность воздуха

$$\phi = \frac{p_{\text{пар в воздухе}}}{p_{\text{пар при данной } T}} = \frac{\rho_{\text{пар в воздухе}}}{\rho_{\text{пар при данной } T}} (\times 100 \%)$$

# VI. Электростатика

## 1. Закон Кулона

Сила электростатического взаимодействия точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$ :

$$F_{эл} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  — электрическая постоянная

$r$  — расстояние между зарядами  $q_1$  и  $q_2$

$\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды  $q_1$  и  $q_2$  (полагается, что среда — безграничный, однородный диэлектрик)

$$\epsilon_{\text{возд}} \approx \epsilon_{\text{вакуума}} = 1$$

Заряды противоположных знаков ("разноименные") притягиваются друг к другу:



Заряды одинаковых знаков ("одноименные") отталкиваются друг от друга:



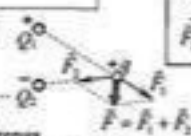
## 2. Принцип суперпозиции

Если на заряд  $q$  действуют несколько зарядов  $Q_1, Q_2, \dots$ , то:

$$\vec{F}_{на q} = \vec{F}_{на q}(Q_1) + \vec{F}_{на q}(Q_2) + \dots$$

Сила, действующая на заряд  $q$  со стороны системы зарядов  $Q_1, Q_2, \dots$

Сила, которая действовала бы на заряд  $q$  со стороны заряда  $Q_1$ , в отсутствие остальных зарядов  $Q_2, Q_3, \dots$



## 3. Электрическое поле

— особая материя, возникающая вокруг любых электрических зарядов и действующая электрической силой на любые электрические заряды, попавшие в это поле.

### Характеристики электрического поля

$\vec{E}$  — **напряженность** электрического поля — силовая характеристика поля. Напряженность численно равна силе, которая действовала бы на единицу пробного заряда, помещенного в данную точку поля.

$$\vec{F}_{на q} = q\vec{E}$$

Электрическая сила, действующая на точечный заряд  $q$  со стороны электрического поля.

Напряженность электрического поля, создаваемого в той точке, где находится заряд  $q$ , всеми остальными зарядами (кроме  $q$ ).



$\phi$  — **ПОТЕНЦИАЛ** электрического поля — энергетическая характеристика поля. Потенциал численно равен потенциальной энергии, которую имела бы единица пробного заряда, помещенного в данную точку поля.

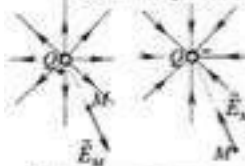
$$W = q\phi \Rightarrow A_{1-2}^{эл. над q} = q(\phi_1 - \phi_2)$$

Потенциальная энергия заряда  $q$ , который находится в точке, где все остальные заряды (кроме  $q$ ) создают потенциал  $\phi$ .

$$A_{1-2}^{эл. над q} = q(\phi_1 - \phi_2)$$

Работа электрических сил над зарядом  $q$  при его перемещении из точки с потенциалом  $\phi_1$  в точку с потенциалом  $\phi_2$  (потенциалы  $\phi_1$  и  $\phi_2$  создаются всеми зарядами, кроме  $q$ )

### 3.1. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного одним точечным зарядом $Q$



$$E_M = k \frac{|Q|}{\epsilon r_M^2}$$

Напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом  $Q$  в точке  $M$ , расположенной на расстоянии  $r_M$  от  $Q$ .

$$\phi_M = k \frac{Q}{\epsilon r_M}$$

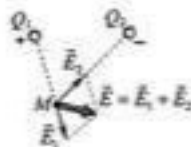
Потенциал электрического поля, созданного точечным зарядом  $Q$  в точке  $M$ , расположенной на расстоянии  $r_M$  от  $Q$ .

### 3.2. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного системой точечных зарядов $Q_1, Q_2, \dots$

$$\vec{E}_M = \vec{E}_M(Q_1) + \vec{E}_M(Q_2) + \dots$$

Напряженность электрического поля, созданного системой точечных зарядов  $Q_1, Q_2, \dots$  в точке  $M$

Напряженность электрического поля, которое создавал бы в точке  $M$  заряд  $Q_1$ , в отсутствие остальных зарядов  $Q_2, Q_3, \dots$



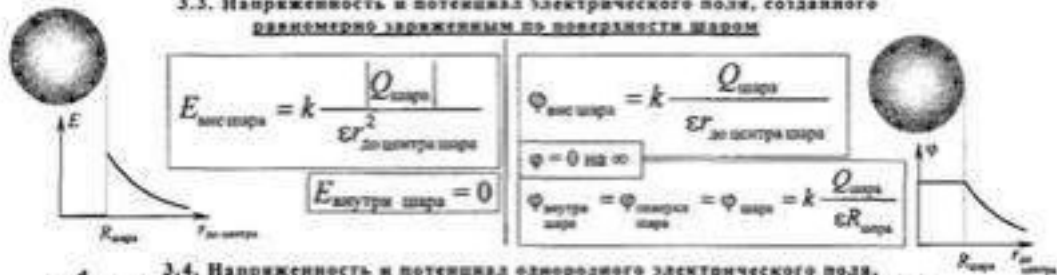
$$\phi_M = \phi_M(Q_1) + \phi_M(Q_2) + \dots$$

Потенциал электрического поля, созданного системой точечных зарядов  $Q_1, Q_2, \dots$  в точке  $M$

Потенциал электрического поля, которое создавал бы в точке  $M$  заряд  $Q_1$ , в отсутствие остальных зарядов  $Q_2, Q_3, \dots$



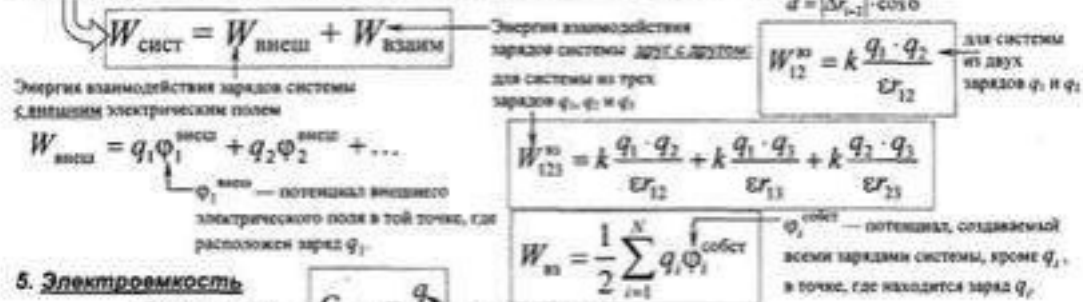
**3.3. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного равномерно заряженным по поверхности шаром**



**3.4. Напряженность и потенциал однородного электрического поля, (созданного равномерно заряженной плоскостью или плоским конденсатором)**



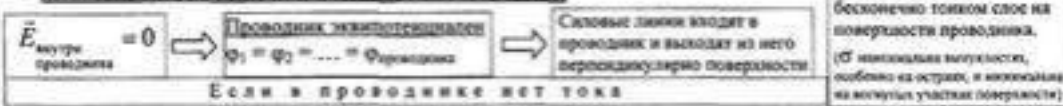
**4. Потенциальная энергия системы электрических зарядов**



**5. Электроемкость**



**6. Свойства проводника в электрическом поле**



# VII. Постоянный ток

## 1. Упорядоченная скорость

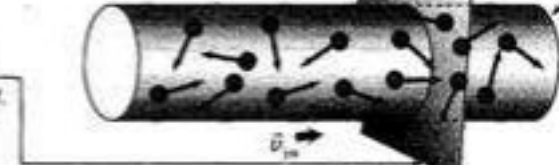
Обычно заряженные частицы в веществе движутся беспорядочно — "хаотично". Среди направленной движения этих частиц нет преимущественного — все направления встречаются одинаково часто, поэтому через любое сечение проводника проходит в обе стороны в среднем одинаковое число носителей. Среднее значение вектора скорости заряженных частиц при таком движении в любой момент равно нулю:  $\vec{v} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \dots + \vec{v}_N}{N} = 0$ . Но если, продолжая беспорядочное движение, вся эта масса хаотически движущихся носителей начинает смещаться в какую-либо сторону (это называется "дрейф"), то такое движение считается упорядоченным и образует электрический ток. В этом случае среднее значение вектора скорости уже не равно нулю и называется скоростью упорядоченного движения носителей:  $\vec{v}_{уп} = \vec{v} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \dots + \vec{v}_N}{N}$ .  $\vec{v}_{уп}$  направлена туда, куда смещается масса хаотично движущихся частиц - в сторону дрейфа. Можно представить себе ток в проводе так: цилиндрический сосуд, заполненный хаотически движущимися носителями тока, медленно (по сравнению со скоростями теплового движения носителей) перемещается. Скорость сосуда в этой модели -  $\vec{v}_{уп}$ . Если сосуд мысленно разрезать перпендикулярной плоскостью  $\perp \vec{v}_{уп}$ , то через эту плоскость будет переноситься заряд.

## 2. Сила тока

Модуль силы тока  $I = \frac{q}{t}$  Модуль заряда, перенесенного через поперечное сечение проводника за время  $t$ .

Единица измерения силы тока в СИ:  $1 \text{ A} = 1 \text{ Кл/с}$

Если сила тока меняется ( $I \neq \text{const}$ ), то вычисляют мгновенные значения силы тока (для каждого момента):  $I = \frac{dq}{dt} = q'(t)$   $dq$  - заряд, перенесенный через поперечное сечение проводника за такое малое время  $dt$ , за которое сила тока не успевает существенно измениться.



## 3. Плотность тока

вектор  $\vec{j}$ , направление которого совпадает с направлением, в котором переносится положительный заряд:  $\vec{j} \uparrow \uparrow \vec{v}_{уп(+)}; \vec{j} \downarrow \downarrow \vec{v}_{уп(-)}$

модуль вектора  $\vec{j}$   $j = \frac{I}{S}$  сила тока через поперечное сечение  $S$

во всех точках сечения  $S$  одинаковы  $\vec{j}$

$\vec{j} = q_0 n \vec{v}_{уп}$  Скорость упорядоченного движения носителей тока

Заряд одного носителя. Концентрация носителей тока

## 4. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС

Модуль силы тока в проводнике  $I = \frac{U}{R}$

Сопротивление проводника  $R = \frac{\rho l}{S}$

Удельное сопротивление материала, из которого изготовлен провод  $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$

Температурный коэффициент сопротивления металла

Температура проводника в  $^{\circ}\text{C}$

Напряжение (разность потенциалов) между концами проводника  $U = \Phi_1 - \Phi_2$  (если ток течет от точки 1 к точке 2).

Единица измерения сопротивления в СИ:  $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В/А}$

Единица измерения удельного сопротивления в СИ:  $1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$



## 5. Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС

$I \cdot R = \Phi_1 - \Phi_2 + \mathcal{E}$

Сила тока, текущего по участку 1-2

Полное сопротивление участка 1-2

Суммарная ЭДС на участке 1-2

Направление обхода от 1 к 2

$\mathcal{E} > 0$ , если источник направляет ток  $\uparrow \uparrow$  обходу 1-2

$\mathcal{E} < 0$ , если источник направляет ток  $\downarrow \downarrow$  обходу 1-2

Источники тока — проводник, в котором действуют сторонние силы. Стационарные гальв — любые силы не электростатического происхождения, поощающие носители тока к упорядоченному движению.

ЭДС источника (электро-движущая сила)  $\mathcal{E} = \frac{A_{1,2}^{\text{стос}}}{q}$

Работа сторонних сил источника над зарядом  $q$  при его перемещении через источник в направлении обхода 1-2

Внутреннее сопротивление источника

## 6. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи

$I = \frac{\sum \mathcal{E}}{R_{\text{полн}}}$  Сила тока, текущего через каждый элемент цепи

$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$  Суммарная ЭДС цепи

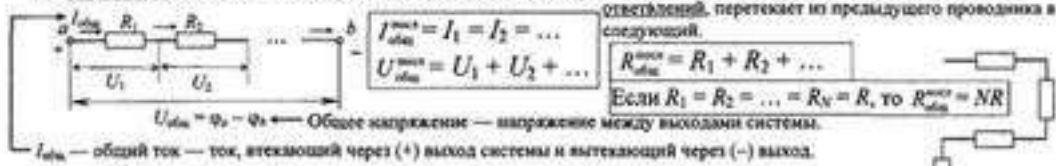
Полное (суммарное) сопротивление цепи

ЭДС источника  $\mathcal{E}$

Внутреннее сопротивление источника  $r$

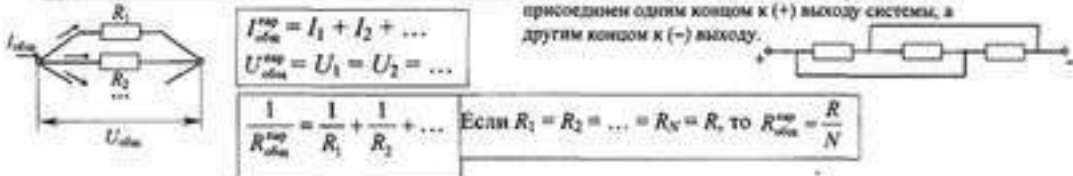
Работа сторонних сил источника над зарядом  $q$  при его перемещении через источник в направлении обхода 1-2

### 7. Последовательное соединение проводников



$R_{общ} = \frac{U_{общ}}{I_{общ}}$  — общее сопротивление — сопротивление резистора, который можно включить один вместо всей системы между ее выходами, при этом  $I_{общ}$  и  $U_{общ}$  не изменятся.

### 8. Параллельное соединение проводников



### 9. Работа и мощность электрического тока



### 10. КПД электрической цепи



### 11. Условие выделения максимальной мощности на нагрузке:

При данных значениях  $r$  и  $\mathcal{E}$ , максимальная мощность выделяется при условии, что  $R = r$

### 12. Закон Фарадея для электролиза



### 3. Рамка с током в магнитном поле

Силы Ампера разворачивают рамку с током так, что создаваемое внутри рамки собственное магнитное поле  $\vec{B}_{собст}$  оказывается сонаправлено с внешним магнитным полем. (Поле  $\vec{B}_{собст}$  создается током, текущим в рамке).

Вращающий момент, действующий на рамку в произвольном положении равен:

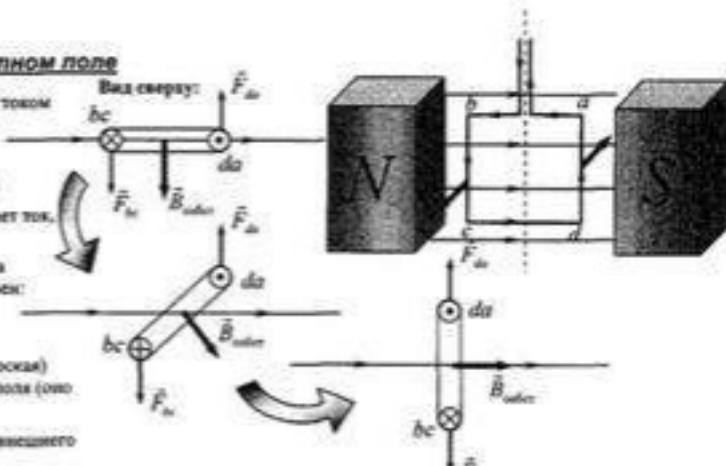
$$M = ISB \sin \alpha$$

$I$  — сила тока в рамке

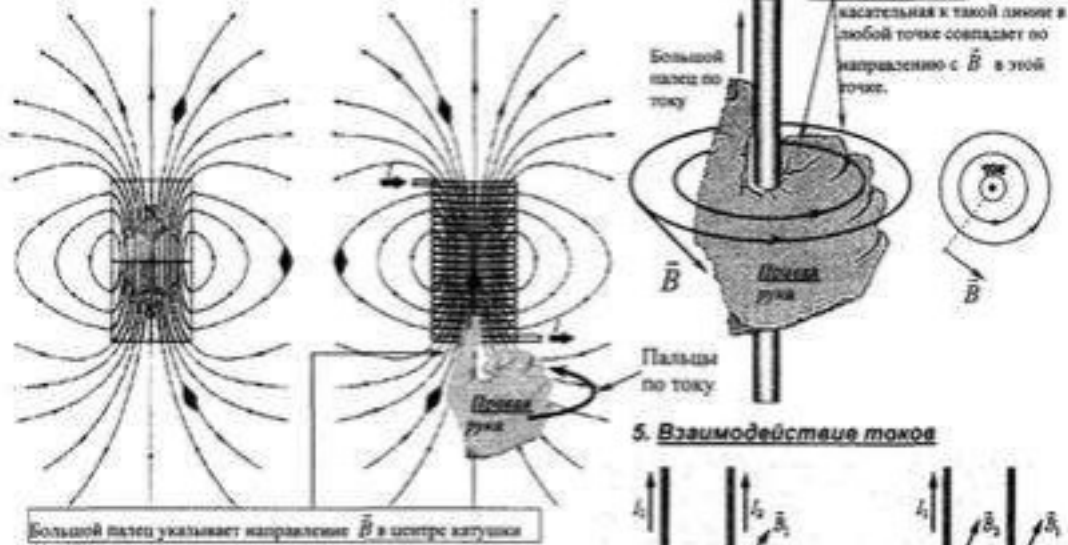
$S$  — площадь внутри рамки (рамка плоская)

$B$  — индукция внешнего магнитного поля (оно должно быть однородно)

$\alpha$  — угол между вектором индукции внешнего поля и перпендикуляром к



### 4. Магнитные поля, создаваемые различными токами



Большой палец указывает направление  $\vec{B}$  в центре катушки

### 5. Взаимодействие токов



Сонаправленные токи притягиваются, противоположно направленные токи отталкиваются

### 6. Явление электромагнитной индукции

Если в замкнутом проводящем контуре изменяется магнитный поток, то это приводит к появлению в этом контуре ЭДС (ЭДС индукции).

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

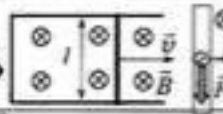
Контур плоский, поле  $\vec{B}$  однородно в пределах контура.

Единица измерения магнитного потока в СИ:  $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt} = - \dot{\Phi}(t)$$

Если  $\Phi$  меняется равномерно

$$\mathcal{E}_i = v \cdot l \cdot B$$



$$W_{\text{кат}} = \frac{LI^2}{2}$$

Энергия магнитного поля катушки индуктивности  $L$ , по которой течет ток  $I$ .

### 7. Явление самоиндукции

— возникновение ЭДС в контуре вследствие изменения собственного магнитного потока через этот контур.

$$\Phi_{\text{собст}} = LI$$

Индуктивность контура — коэффициент пропорциональности между силой тока в контуре и собственным магнитным потоком.

$\Phi_{\text{собст}}$  — магнитный поток, создаваемый магнитным полем, которое породил ток, текущий в контуре.

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Если  $I$  меняется равномерно

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -L \frac{dI}{dt} = -LI'(t)$$

ЭДС самоиндукции