

# Семинар по школьной олимпиадной физике

11 КЛАСС



Организатор: Анатолий Найдин



г. Томск, ТФТЛ

2024

## Занятие 1. Электромагнитная индукция.

### I. Вопросы (блиц):

1. Почему сильный магнит притягивает фрагменты кожи, на которые нанесена татуировка черной или сине-черной краской?
2. Если взять «то» да «это» и еще половину «того» да «этого» - сколько процентов от трех четвертей «того» да «этого» это составит? 200
3. Если разгрузить все корабли и достать их из океана - уровень океана и морей уменьшится или увеличится?
4. Какого типа газовый разряд возникает: а) при электросварке; б) в лампе дневного света; в) в свече ДВС; г) в неоновой лампе; д) в электрофильтрах?
5. Приведите примеры веществ, способных менять форму и свойства под влиянием внешних факторов
6. Каков механизм поглощения света в полупроводниках?

### Задачи (блиц):

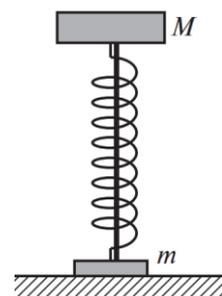
1. Длинный тонкий рулон обоев раскатан в лист и лежит на ровном горизонтальном полу. Длина рулона  $x$ , ширина  $\ell$ , толщина  $h$ , плотность  $\rho$ . К концу рулона приклеили трубку массы  $M$ . Трубку резко толкнули, в результате чего она покатила, весь рулон плотно намотался на трубку и в этот момент движение прекратилось. Чему равна начальная



кинетическая энергия трубки? Внешний диаметр трубки ничтожен по сравнению с диаметром намотавшегося на нее рулона, а сам рулон нерастяжим, но изгибается без усилия.  $E_k = (M + \rho x h \ell) g \sqrt{x h / \pi}$

2. Две шайбы массами  $m = 0,01$  кг и  $M = 0,05$  кг связаны пружиной жесткости  $k = 30$  Н/м и длиной  $\ell_0 = 18$  см. Пружина сжата в начальный момент на величину  $\Delta$ . Шайба массой  $m$  находится на горизонтальной поверхности. Нить пережигают.

- При какой максимальной длине  $\ell$  нити она не провисает при начальном сжатии?
- При каком минимальном начальном сжатии пружины  $\Delta_{\text{отр}}$  после пережигания нити произойдет отрыв нижней шайбы от поверхности? Ответ: 16,33 см; 3,67 см



3. Два тела движутся с одинаковыми скоростями вдоль одной прямой, находясь на некотором расстоянии друг от друга. Тела одновременно начинают ускоряться: переднее - с постоянным ускорением  $a_1$ , заднее - с постоянным ускорением  $a_2$  ( $a_2 > a_1$ ). В момент встречи тел их скорости равны  $v$  и  $2v$ . Найти скорость тел и расстояние между ними до начала ускорения.

$$l = \frac{(a_2 - a_1)t^2}{2} = \frac{v^2}{2(a_2 - a_1)}$$

**II.** В замкнутом проводящем контуре возникает электрический ток при всяком изменении числа линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность, ограниченную этим контуром (электромагнитная индукция). Если изменяется число линий магнитной индукции через поверхность, ограниченную контуром, то изменяется магнитный поток:

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

Зависимость силы индукционного тока от скорости изменения магнитного потока,

числа витков в контуре и его сопротивления (демонстрация).

$$I_i = -\frac{\Delta\Phi}{R \cdot \Delta t}; \quad I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}; \quad \varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \rightarrow e_i = -\Phi'.$$

**Три способа изменения магнитного потока (изменение  $B$ ,  $S$  и  $\alpha$ ) и три способа получения индукционного тока.** А есть ли четвертый (движение проводника в магнитном поле)? **Правило Ленца.** Каков физический смысл знака "-" в формуле для ЭДС индукции?

**III. Задачи (блиц):**

1. Из двух одинаковых проводников изготовили два контура – квадратный и круговой. Оба контура помещены в одной плоскости в изменяющееся со временем магнитное поле. В круговом контуре индуцируется постоянный ток  $I_1 = 0,4$  А. Найти силу тока в квадратном контуре. 0,51 А
2. Какой ток идет через амперметр, присоединенный к железнодорожным рельсам, когда к нему со скоростью 72 км/ч приближается поезд? Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли 50 мкТл. Сопротивление амперметра равно 100 Ом. Расстояние между рельсами 1,2 м. Рельсы считать изолированными друг от друга и от земли. 12 мкА
3. Главный реактор Республиканского крейсера передает энергию всем остальным системам через длинный прямой провод, по которому течет ток 1000 А. Рядом с проводом находится прямоугольная крышка со сторонами 50 и 70 см. Крышка повернута так, что провод находится в ее плоскости. Определите магнитный поток, пронизывающий крышку. Расстояние от ближней точки крышки до провода 20 см, дальней – 90 см. Зависит ли магнитный поток от ориентации крышки?  $0,337 \cdot 10^{-4}$  Вб,  $0,47 \cdot 10^{-4}$  Вб.

**Олимпиада.**

1. Ток в катушке нарастает линейно от нуля до 5 А за 9 с. За это время в проводящем кольце, расположенном вблизи катушки, выделяется 0,5 Дж теплоты. Какое количество теплоты выделится в кольце, если ток в катушке будет возрастать линейно от нуля до 10 А за 3 с? 12 Дж
2. Рамка с 300 числом витков и площадью  $200 \text{ см}^2$  может вращаться на оси, проходящей через середину рамки. Рамка располагается в однородном магнитном поле с индукцией 0,8 Тл так, что плоскость рамки перпендикулярна направлению магнитного поля. За время 0,15 с рамку поворачивает механизм с КПД = 65% на угол  $60^\circ$  градусов. Рамка замкнута накоротко, её сопротивление 13 Ом. Определите:
  - 1) величину изменения потока за время поворота, и величину образующейся ЭДС; - 8 мВб, 16 В
  - 2) заряд, который протечет через рамку при повороте, и величину образующегося тока; 0,185 Кл, 1,23 А
  - 3) величину рассеиваемой энергии, и работу, которую произвел механизм поворота.  $A' = 2,95$  Дж,  $A = 4,54$  Дж,  $Q = 1,59$  Дж
3. Проволочное кольцо радиуса  $r$ , обладающее электрическим сопротивлением  $R$ , находится в однородном магнитном поле. Линии индукции перпендикулярны плоскости кольца, а модуль изменяется по гармоническому закону  $B = B_0 \cos$

( $\omega t$ ). Индуктивность кольца пренебрежимо мала. Определите максимальное значение силы натяжения кольца.  $T_{\max} = B_0^2 \pi r^3 \omega / 2R$ .

**Вопросы (блиц):**

1. Как надо перемещать в магнитном поле Земли замкнутый проволочный прямоугольник, чтобы в нем наводился ток?
2. Как следует ориентировать проволочную рамку в однородном магнитном поле, чтобы магнитный поток через ограниченную ею поверхность был: а) равен нулю; б) максимален по модулю и отрицателен; в) максимален; г) равен половине максимального значения?
3. При повороте катушки на  $180^\circ$  в магнитном поле Земли, гальванометр регистрирует ток. Почему?
4. Какими тремя способами можно изменить магнитный поток, пронизывающий замкнутый контур?
5. Для уничтожения кораблей применялись мины с индукционным взрывателем, основным элементом которой являлась катушка, намотанная на постоянный магнит. Объясните принцип его действия.
6. Проволочный контур в виде квадрата со стороной 10 см расположен в магнитном поле так, что плоскость контура перпендикулярна линиям однородного магнитного поля с индукцией 2 Тл. На какой угол надо повернуть плоскость контура, чтобы изменение магнитного потока составило 10 мВб?
7. Почему во время солнечной бури могут повреждаться энергосистемы и возникать помехи при телефонной связи?

**Разное**

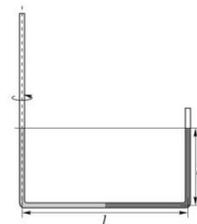
1. Катушка, имеющая форму равностороннего треугольника, помещена в однородное магнитное поле с индукцией 0,06 Тл, направление линий которой составляет угол  $30^\circ$  с перпендикуляром к плоскости катушки. Если при равномерном уменьшении магнитной индукции до нуля за время 0,03 с в рамке индуцируется ЭДС 30 мВ, то чему равна длина одной стороны рамки?

**Олимпиада.**

1. Муравей стартует с начальной скоростью  $v_0 = 2$  см/с и движется по некоторой траектории. За какое время  $\tau$  муравей пройдет первый метр своего пути ( $S = 1$  м), если в процессе движения модуль его скорости  $v$  зависит от пройденного пути  $x$  по закону:  $v(x) = v_0 / (1 + kx)$ , где  $k = 1 \text{ м}^{-1}$ ? 75 с.
2. Координаты материальной точки, движущейся на плоскости, изменяются по закону:  $x = 3t^2$ ,  $y = 4t$ . Определите: уравнение траектории  $y(x)$ ; скорость  $v$  и ускорение  $a$  в момент времени  $t_0 = 1$  с, касательное  $a_\tau$  и нормальное  $a_n$  ускорение точки в этот же момент времени, а также радиус кривизны траектории  $R$ .  $y = 4 \cdot \sqrt{\frac{x}{3}}$ , 7,21 м/с, 6 м/с<sup>2</sup>,  $a_\tau = 4,99 \text{ м/с}^2$ ,  $a_n = 3,33 \text{ м/с}^2$ ,  $R = 15,62$  м.
3. Камень бросают с башни высотой  $h_0$  с начальной скоростью  $v_0$ . Найдите время  $\tau$  полета камня до момента падения на горизонтальную поверхность земли. Под каким углом  $\alpha$  к горизонту надо бросить камень, чтобы дальность его полета была максимальной? Чему равна эта максимальная дальность полета камня?

4. Камень брошен с вертикальной башни так, что дальность его полета максимальна. Найдите время полета камня, если точка падения камня на горизонтальную поверхность земли отстоит от точки бросания на расстоянии  $S = 80$  м. Ответ:  $t = \sqrt{2S/g} = 4$  с.

5. В тонкой U-образной трубке постоянного сечения находится вода и ртуть одинаковых объемов. Длина горизонтальной части трубки  $\ell = 40$  см. Трубку раскрутили вокруг колена с водой, и оказалось, что уровни жидкостей в трубках одинаковы и равны  $h = 25$  см. Пренебрегая эффектом смачивания, определите период  $T$  вращения трубки.  $T = 1$  с

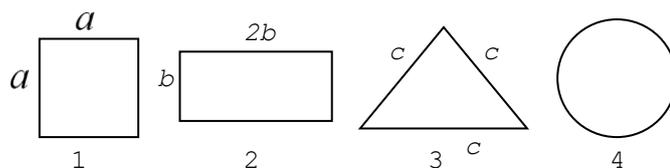


## Занятие 2. Вихревое электрическое поле

### I. Вопросы (блиц):

1. Объясните качественно, как правило Ленца связано с законом сохранения энергии.
2. Миша, Коля и Лёша играют в настольный теннис: игрок, проигравший партию, уступает место игроку, не участвовавшему в ней. В итоге оказалось, что Миша сыграл 9 партий, а Коля — 19. Сколько партий сыграл Лёша? 10
3. Определите направление индукционного тока в кольце, к которому приближается южный полюс магнита.

4. На рисунке изображены проводники одинаковой длины, но разной формы, помещенные в магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Через какой замкнутый контур магнитный поток максимален? 3



5. Почему кольцо из сверхпроводника парит над магнитом?
6. По П-образному проводнику перемещается с постоянной скоростью  $v$  под действием силы  $F$  замыкающая провод перемычка. Контур находится в перпендикулярном его плоскости однородном магнитном поле с индукцией  $B$ . Чему равна сила  $F$ , если в контуре выделяется каждую секунду количество теплоты  $Q$ .  $F = Q/v$
7. По прямолинейному рельсовому пути, изолированному от земли, равномерно идет поезд. В каком-то месте оба рельса замкнуты на гальванометр. Будут ли изменяться показания гальванометра в зависимости от того, приближается поезд к гальванометру или удаляется от него?
8. Какие превращения энергии происходят при введении магнита в замкнутое проводящее кольцо?
9. В коротко замкнутую катушку вдвигают магнит: один раз быстро, а другой — медленно. В каком случае через катушку протечет больший заряд? В каком случае в катушке выделится больше тепла?
10. Горизонтальная круглая рамка находится в магнитном поле, направленном вертикально вверх. Каким будет направление индукционного тока при наблюдении рамки сверху, если поле уменьшается со временем?

11. Определить направление индукционного тока в следующем опыте. Ось прямого постоянного магнита расположена вдоль магнитного меридиана. Над магнитом, параллельно ему подвешен прямолинейный провод. Магнит быстро поворачивают на  $90^{\circ}$  северным полюсом на восток.

## II. Задачи (блиц):

1. Катушка, имеющая форму равностороннего треугольника, помещена в однородное магнитное поле с индукцией 0,06 Тл, направление линий которой составляет угол  $30^{\circ}$  с перпендикуляром к плоскости катушки. Если при равномерном уменьшении магнитной индукции до нуля за время 0,03 с в рамке индуцируется ЭДС 30 мВ, то чему равна длина одной стороны рамки? 0,2 м
2. Медное кольцо из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле, индукция которого меняется со скоростью 1,09 Тл/с. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Чему равен диаметр кольца, если в нем возникает ток 10 А? 0,2 м

**III.** Какое поле может вызвать движение свободных заряженных частиц в проводнике, если он неподвижен? Батарейка?! Электрическое поле!  $\vec{F}_e = q\vec{E}$ . А магнитное?! Нет!  $F_M = qvB\sin\alpha$ . Если  $v=0$ , то  $F_M = 0$ . Электрический ток в неподвижном контуре может вызвать только **электрическое поле**, которое в данном случае создается переменным магнитным полем. Изменяющееся сквозь данный контур (в данной области пространства) с течением времени магнитное поле порождает в окружающем пространстве вихревое **электрическое поле**.

## Особенности поля:

- Силовые линии замкнуты (вихревое поле).
- Направление вихревого электрического поля образует левый винт с нарастающим вектором  $\vec{B}$ .
- Замкнутый проводящий контур, магнитный поток сквозь который изменяется, является источником электрического тока.
- Энергетическая характеристика источника тока - ЭДС. ЭДС индукции обусловлена работой вихревого электрического поля, поэтому для любого контура:

$$A = qEl = q|\varepsilon_i| = q \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = qS \left| \frac{\Delta\vec{B}}{\Delta t} \right|.$$

Энергия, сообщаемая заряду, черпается от источника, который обеспечивает изменение магнитного поля.

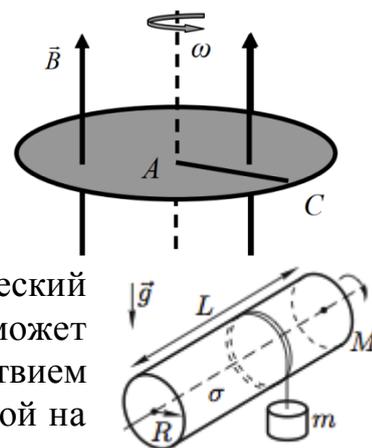
## IV. Задачи:

1. Квадратная проволочная рамка со стороной 40 см лежит на столе. Линии индукции однородного магнитного поля перпендикулярны плоскости рамки. Модуль индукции этого поля за время  $\tau = 10$  с равномерно убывает от  $B = 1$  Тл до нуля. Сопротивление витка  $r = 0,5$  кОм. Определите работу, которую совершает вихревое электрическое поле в рамке за это время. 5,12 мкДж
2. Индукция магнитного поля внутри цилиндра радиуса 8 см возрастает со временем по закону  $B = \alpha \cdot t^2$  (коэффициент  $\alpha = 10^{-4}$  Тл/с<sup>2</sup>). Магнитное поле направлено вдоль оси цилиндра. Чему равна напряженность вихревого электрического поля на расстоянии 0,1 м от оси цилиндра в момент времени  $t_1 = 1$  с;  $t_2 = 4$  с? 0,8 мкВ/м, 3,2 мкВ/м

### Олимпиада.

1. Заряд  $Q$  равномерно распределён по тонкому диэлектрическому кольцу массой  $M$ , лежащему на гладкой горизонтальной плоскости. Кольцо находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ , магнитные линии направлены вертикально. Определите угловую скорость, которую приобретёт кольцо после выключения магнитного поля.  $\omega = \frac{QB}{2m}$

2. Изолированный металлический диск помещен в однородное магнитное поле. Ось диска совпадает с направлением силовых линий индукции магнитного поля. Поток вектора индукции через плоскость диска составляет  $0,02$  Вб. Определить ЭДС индукции между центром и краем диска, возникающую при его вращении с частотой  $50$  Гц.  $1B$



3. На длинном тонкостенном диэлектрическом цилиндре радиуса  $R$ , длины  $L \gg R$  и массы  $M$  размещён электрический заряд одинаковой поверхностной плотностью  $\sigma$ . Цилиндр может свободно (без трения) вращаться вокруг своей оси под действием груза массы  $m$ , подвешенного на невесомой нити, намотанной на цилиндр. Определите ускорение груза. Магнитную постоянную  $\mu_0$  считать заданной.

$$a = \frac{mg}{M + m + \mu_0 \pi \sigma^2 R^2 L}$$

### Вопросы (блиц):

1. Что произойдет в кольце, когда в него введут магнит, если кольцо сделано из:  
а) диэлектрика; б) проводника; в) сверхпроводника?
2. Металлический шарик, подвешенный на нити к штативу, совершает колебания. Как, не прикасаясь к шарик, ускорить затухание колебаний?
3. Спутники на геостационарной орбите все же теряют скорость из-за взаимодействия с магнитным полем Земли. Почему?
4. Почему магнитное поле внутри сверхпроводника всегда равно нулю?
5. Как перемещается по рельсам поезд на магнитной подушке?
6. На вертикально расположенной катушке лежит металлическая монета. Почему она нагревается, когда по катушке течет переменный ток, и остается холодной — при постоянном токе?
7. Почему изменения магнитного поля Земли во время солнечных вспышек генерируют электрические токи в соленой воде, литосфере Земли, линиях электропередачи и других проводниках?
8. Перечислите реальные способы левитации.

### Разное

1. На двух горизонтальных рельсах, расстояние между которыми  $\ell = 1,0$  м, лежит проводник сопротивлением  $R = 1,0$  Ом, массой  $m = 0,5$  кг. Коэффициент трения между проводником и рельсами  $\mu = 0,1$ . Вся система находится в однородном магнитном поле с вертикальным направлением линий магнитной индукции. Значение магнитной индукции  $B = 0,1$  Тл. Рельсы подключают к источнику тока с ЭДС  $\varepsilon = 10$  В. Пренебрегая внутренним сопротивлением источника и сопротивлением рельсов, определите установившуюся скорость движения проводника.  $50$  м/с

## Олимпиада.

1. В постоянном магнитном поле заряженная частица движется по окружности. Когда индукцию магнитного поля стали увеличивать, обнаружилось, что скорость частицы изменяется так, что поток вектора магнитной индукции через площадь, ограниченную орбитой, остаётся постоянным. Найдите кинетическую энергию частицы  $E$  в поле с индукцией  $B$ , если в поле с индукцией  $B_0$  её кинетическая энергия равна  $E_0$ . Отв.  $E = (B/B_0) E_0$

## Занятие 3. Явление самоиндукции

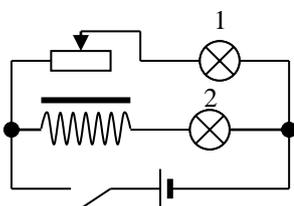
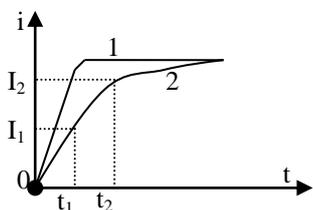
### I. Вопросы (блиц):

1. В переменное магнитное поле помещена катушка и виток. Почему ЭДС в катушке больше, чем в одном витке?
2. В турнире по игре в "крестики – нолики", проведённом по системе "проиграл – выбыл", участвовали 18 школьников. Каждый день играли одну партию, участников которой выбирали жребием из ещё не выбывших школьников. Каждый из шестерых школьников утверждает, что сыграл ровно четыре партии. Не ошибается ли кто-то из них? ошибается
3. Полосовой магнит поочередно вводится в кольцевые проводники различного радиуса. Что вы можете сказать об ЭДС индукции, возникающей в проводниках; напряженности вихревого электрического поля; силе тока?
4. Определите ЭДС индукции в контуре, если магнитный поток через контур за каждые 2 с увеличивается на 10 Вб. 5 В.
5. Почему при транспортировке клеммы электроизмерительных приборов замыкают проводом?
6. Каким образом можно экранировать некоторую область пространства от влияния быстроизменяющихся магнитных полей?
7. Вихревое электрическое поле имеет совершенно другие свойства в отличие от электростатического поля. Какие?
8. Если вращать магнит под горизонтальным алюминиевым диском, закрепленным на вертикальной оси вращения, то он тоже начнет вращаться. Следует ли из этого, что алюминий притягивается магнитом?

### II. Задачи (блиц):

1. Из провода длиной 2 м, имеющего сопротивление 5 Ом, изготовлен квадратный контур. В одну из сторон включен источник с ЭДС 10 В и сопротивлением 2 Ом. Контур помещен в однородное магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны плоскости контура. Модуль индукции магнитного поля возрастает по закону  $B = kt$ , где  $k = 10$  Тл/с. Найти силу тока в контуре при обоих возможных направлениях поля. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь. 1,79 А, 1,07 А.
2. Под действием постоянной силы по П-образному проводу перемещается перемычка со скоростью 0,5 м/с. Контур, состоящий из провода и перемычки, находится в магнитном поле, силовые линии которого перпендикулярны его плоскости. Вычислить модуль действующей силы, если в контуре выделяется в секунду 2 Дж теплоты? 4 Н

**III.** На доске изображена схема электрической цепи, собранной на демонстрационном столе (накал слабый). Замыкание ключа и наблюдение за лампами. Примерные графики нарастания силы тока в лампах. Нарастание тока и изменение магнитного потока сквозь контур катушки. Возникновение ЭДС самоиндукции и индукционного тока в катушке, его направление.



$$\Phi \sim B \sim I; N \cdot \Phi = L \cdot I; N \cdot \Delta\Phi = L \cdot \Delta I.$$

$$\varepsilon_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \rightarrow e_c = -L \cdot i'.$$

Объяснение графика силы тока в катушке от времени.

**Индуктивность (L)** – свойство

электрической цепи (проводника или катушки) противодействовать изменению в ней силы электрического тока, измеряемое отношением ЭДС самоиндукции, возникающей в этой цепи, к скорости изменения тока в ней. Единица индуктивности в СИ:  $[L] = [\text{Гн}]$ .

Индуктивность катушки:  $L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{\ell}$ .

Установление тока при замыкании цепи происходит тем быстрее, чем меньше L больше её сопротивление R.



с катушкой цепи и

Возникновение ЭДС самоиндукции при размыкании электрической цепи. Направление индукционного тока (демонстрация). При размыкании электрической цепи ток продолжает течь (индукционный ток), а поэтому между разомкнутыми клеммами ключа появляется разность потенциалов (напряжение). Если  $L = 1,1 \text{ Гн}$ ,  $I = 1 \text{ А}$ , а  $\Delta t = 10^{-3} \text{ с}$ . то  $\varepsilon_c = 1000 \text{ В}$ .

#### IV. Задачи:

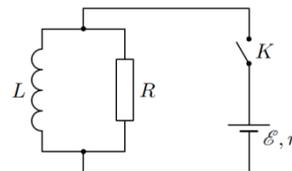
- Через катушку, индуктивность которой  $200 \text{ мГн}$  протекает ток, изменяющийся по закону  $I = 2\cos 3t$ . Определить максимальное значение ЭДС самоиндукции.  
Ответ:  $\varepsilon_{\max} = 1,2 \text{ В}$ .
- В цепи индуктивность катушки  $0,1 \text{ Гн}$ , ее сопротивление пренебрежимо мало. ЭДС источника тока  $12 \text{ В}$ , его внутреннее сопротивление  $0,3 \text{ Ом}$ , сопротивление резистора, включенного последовательно с катушкой,  $2,7 \text{ Ом}$ . Ключ замыкают. 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа. 2) Найти скорость возрастания тока в момент, когда ток достигнет  $1 \text{ А}$ . 3) Найти установившийся ток в цепи.  $120 \text{ А/с}$ ,  $90 \text{ А/с}$ .  $4 \text{ А}$ .
- По соленоиду, индуктивность которого  $L$  течет ток силой  $I_0$ . При замыкании концов соленоида накоротко через поперечное сечение проводника соленоида прошел заряд  $q$ . Найти сопротивление обмотки соленоида. Ответ:  $R = \frac{I_0 L}{q}$ .

#### Олимпиада.

- Обмотка соленоида состоит из одного слоя плотно прилегающих друг к другу витков провода диаметром  $d = 0,24 \text{ мм}$ . Диаметр  $D$  соленоида равен  $6,8 \text{ см}$ . По соленоиду течет ток  $I = 6 \text{ А}$ . Определить количество электричества  $Q$  в мкКл, протекающее через обмотку, если концы ее замкнуть накоротко. Толщиной изоляции пренебречь. Удельное сопротивление провода  $\rho = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .  $1207 \text{ мкКл}$

2. Вблизи длинного прямого провода с током расположена квадратная рамка из тонкого провода сопротивлением 4,4 Ом. Провод лежит в плоскости рамки и параллелен двум ее сторонам, расстояние которых от провода соответственно равно 14,8 см и 31,4 см. Найти силу тока в проводе, если при его выключении через рамку протек заряд 507,2 мкКл. Сделайте рисунок. 90 кА

3. Параллельно соединённые катушка индуктивностью  $L$  и резистор сопротивлением  $R$  подключены через ключ  $K$  к батарее с ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$ . В начальный момент времени ключ  $K$  разомкнут, и тока в цепи нет. Какой заряд протечёт через резистор после замыкания ключа? Через какой промежуток времени установится ток в цепи? Сопротивлением катушки пренебречь.  $q = \frac{L\varepsilon}{Rr}$ . У меня  $t = \frac{L(R+r)}{Rr}$ .



**Вопросы (блиц):**

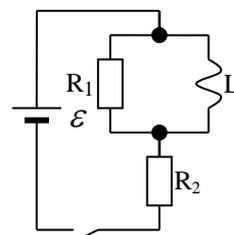
1. Как определить индуктивность достаточно длинной катушки, пропуская через нее постоянный ток?
2. Если электрическую лампу подключить параллельно катушке индуктивности, то при размыкании ключа лампа ярко вспыхивает. Почему?
3. Как с помощью линейки измерить индуктивность однослойной катушки без сердечника?
4. Если сопротивление замкнутого контура равно нулю (сверхпроводник). То при введении в него магнита возникал бы бесконечно большой ток. Почему этого не происходит? Магнитное поле в проводнике, который находится в сверхпроводящем состоянии, возбудить невозможно. Почему?
5. Можно ли считать индуктивность соленоида с железным сердечником постоянной величиной?
6. В проводнике индуктивностью 50 мГн сила тока в течение 0,1 с равномерно возрастает с 5 А до некоторого конечного значения. При этом в проводнике возбуждается ЭДС самоиндукции, равная 5 мВ. Определить конечное значение силы тока в проводнике. 5,01 А
7. Назовите основные явления, подтверждающие существование магнитного поля.
8. Может ли возникать искра между двумя контактами при их размыкании?

**Разное**

1. При равномерном изменении силы тока через однослойную катушку за время 0,05 с в ней возникает ЭДС самоиндукции 0,1 В. Катушка содержит 1000 витков. Какой заряд пройдет за это время через замкнутый виток сопротивлением 2 Ом, плотно надетый на катушку? 2,5 мкКл
2. Катушка из 50 витков радиусом 10 см находится на расстоянии 1 м от другой такой же катушки. Они имеют общую ось. Чему равна э. д. с. индукции во второй катушке, когда первая, несущая ток 10 А, выключается за 0,01 с? на взаимную индукцию 0,01 В

**Олимпиада.**

1. В схеме, изображенной на рисунке, в начальный момент ключ разомкнут. Определите ток в ветвях цепи сразу после замыкания ключа. Найдите установившиеся токи в цепи после окончания



переходного процесса. Параметры схемы указаны на рисунке. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

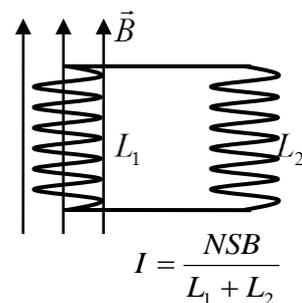
#### Занятие 4. Энергия магнитного поля.

##### I. Вопросы (блиц):

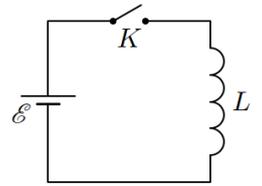
1. При электросварке применяется стабилизатор - катушка со стальным сердечником, включенная последовательно с дугой. Почему стабилизатор обеспечивает устойчивое горение дуги?
2. В ящике 52 апельсина, 4 из которых испорчены. Какова вероятность вытащить 2 испорченных апельсина?  $1/13 \cdot 1/17 = 1/221$ .
3. Кольцо из сверхпроводника находится вблизи постоянного магнита и пронизывается магнитным потоком величиной  $\Phi$ . Как изменится поток, если магнит убрать. Не изменится
4. В какой момент искрит рубильник: при замыкании или размыкании? Если параллельно рубильнику включить конденсатор, то искрение прекращается. Объясните явление.
5. При замыкании и размыкании цепи в катушке возникает индукционный ток. В каком случае его значение будет больше? При размыкании сопротивление цепи резко увеличивается, ток резко уменьшается, возникает ЭДС самоиндукция, которая превышает ЭДС источника тока.
6. Как изменится индуктивность контура при увеличении числа витков в 4 раза? Увеличится в 16 раз.
7. Чему равна индуктивность контура, в котором при изменении силы тока на 6 А за 3 с возникает ЭДС самоиндукции 1 мВ?  $L = 500 \text{ мкГн}$ .
8. Почему при отрыве бугеля трамвая от воздушного провода искрение незначительно, если работает только освещение вагона, а двигатель отключен?
9. Имеются два провода равной длины, но разного сечения. Какой из них нужно навивать (однослойной намоткой) на железный сердечник, чтобы получить большую индуктивность?
10. При подключении катушки индуктивности к источнику постоянного тока, ток в цепи изменяется по закону:  $I = 3(1 - e^{-20t})$ . Определите время, через которое ток примет свое конечное значение. Ток достигнет  $I = 0,99I_0$  через 0,25 с..

##### II. Задачи (блиц):

1. Однослойный соленоид без сердечника длиной  $\ell = 20 \text{ см}$  и диаметром  $D = 4 \text{ см}$  имеет плотную намотку медным проводом диаметром  $d = 0,1 \text{ мм}$ . За время  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$  сила тока в соленоиде убывает от  $I_1 = 5 \text{ А}$  до 0. Определите ЭДС самоиндукции в соленоиде. 1,6 В
2. Катушка с числом витков  $N$  и площадью основания  $S$  помещена в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ , направленное вдоль её оси. Какой ток возникнет в катушках, если магнитное поле выключить? Индуктивности катушек  $L_1$  и  $L_2$ , сопротивлением цепи пренебречь. Решить:  $e_i + e_{c_1} + e_{c_2} = 0$  или через закон сохранения магнитного потока.



3. Катушка индуктивностью  $L$  подключена к источнику постоянного тока, ЭДС которого равна  $\varepsilon$ . Ключ  $K$  вначале разомкнут, и в момент времени  $t = 0$  его замыкают. Найдите зависимость силы тока в цепи от времени. Омическим сопротивлением катушки, внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь.  $I = \varepsilon \cdot t / L$



**III.** Аналогия между самоиндукцией и инерцией. Замкнутый контур, обладая определенной индуктивностью, приобретает электрическую инертность, заключающуюся в том, что любое противодействие изменению тока тем сильнее, чем больше индуктивность контура. Аналогия с разгоном автомобиля.

Формула для определения энергии магнитного поля тока:

Катушка индуктивности может запасть электрическую энергию!  $W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi \cdot I}{2}$

Где сосредоточена эта энергия? Плотность энергии магнитного поля:

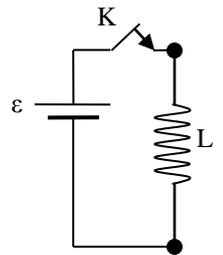
$$W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\mu_0 N^2 S}{l} \right] \cdot \left[ \frac{Bl}{\mu_0 N} \right]^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} Sl \rightarrow u_L = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

Соединение катушек индуктивности:

1. **Последовательное:**  $L = L_1 + L_2$ ; 2. **Параллельное:**  $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$ .

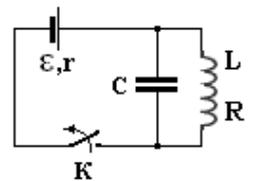
**IV. Задачи:**

1. На рисунке показана идеальная цепь, состоящая из источника ЭДС  $\varepsilon$  и катушки индуктивности  $L$ . Пусть полное сопротивление цепи равно нулю. Какой ток будет в цепи спустя 1 с после замыкания ключа, если  $L = 0,1$  Гн, а  $\varepsilon = 1,5$  В? Ответ:  $I = 15$  А.



2. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 0,2$  Тл находится квадратный проводящий контур со стороной  $a = 20$  см и током  $I = 10$  А. Плоскость квадрата составляет с направлением поля угол в  $30^\circ$ . Определите работу удаления контура за пределы поля. 0,07 Дж

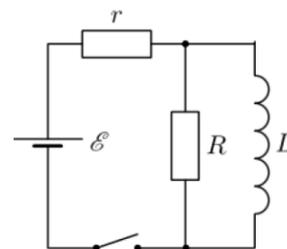
3. В схеме, показанной на рисунке, ключ  $K$  долгое время был замкнут. Найдите максимальное количество теплоты, которое может выделиться в катушке после размыкания ключа.  $Q = \frac{(L + cR^2)\varepsilon^2}{2(R + r)^2}$



4. В неподвижной катушке энергия магнитного поля уменьшается в 32 раза за 0,17 с. Какова величина средней ЭДС самоиндукции, возникающей в этой катушке, если ее индуктивность 0,31 Гн, а первоначальный ток 15,2 А? 22,8 В

**Олимпиада.**

1. В схеме, изображенной на рисунке,  $\varepsilon = 7$  В,  $R = 6r$ . После замыкания ключа происходит процесс установления режима постоянного тока. Найдите напряжение на катушке в момент, когда скорость изменения её энергии была максимальна.  $U = \frac{\varepsilon R}{2(R + r)}$ . 3 В.



По графику найти ток, когда скорость максимальна.

2. Для защиты отсека космического корабля от потоков заряженных частиц изготовили соленоид длиной  $\ell = 5$  м и внутренним диаметром  $D = 1,5$  м. Сколько энергии должны затратить солнечные батареи для получения в соленоиде поля индукции  $B = 1$  Тл? Ответ: 0,7 МДж
3. Как изменится ответ, если в соленоид вставить соосный с ним сверхпроводящий свинцовый цилиндр той же длины диаметром  $d = 1$  м, а силу тока в соленоиде поддерживать прежней? Затратами энергии на нагрев провода в обмотке соленоида можно пренебречь, поле в соленоиде считать однородным. Ответ: 0,39 МДж.

#### V. Вопросы (блиц):

1. Одним и тем же магнитом можно намагнитить большое количество стальных гвоздей. Благодаря какой энергии происходит их намагничивание?
2. При нагревании выше точки Кюри магнит размагничивается. Куда исчезает энергия магнитного поля?
3. При внесении внутрь соленоида железного сердечника энергия его магнитного поля возрастает в тысячи раз. За счет чего это происходит?
4. При сближении двух магнитов одноименными полюсами приходится совершать работу по преодолению силы отталкивания. На что тратится энергия?
5. Как изменяется энергия магнитного поля при приближении магнита к металлическому кольцу?
6. Какие явления нельзя объяснить электромагнитной индукцией?
  - Парение кольца из сверхпроводника над магнитом.
  - Искрение рубильника при размыкании электрической цепи.
  - Отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током.
  - Повреждение энергосистем во время солнечной бури.
  - Торможение радиальных пил магнитом.
7. Какую работу необходимо совершить, чтобы из сверхпроводящей катушки индуктивностью  $L$  с силой тока  $I$  удалить ферромагнитный сердечник с магнитной проницаемостью  $\mu$ ?
8. Если вложить один в другой два соленоида с одинаковым модулем магнитной индукции, то полная запасенная ими энергия возрастет в два раза или станет равной нулю? Так ли это и почему?
9. Зачем при хранении дугообразного магнита его концы соединяют железным бруском (якорем)?

#### Разное

1. Определить силу тока, который генерируется в сверхпроводящем кольце из ниобия диаметром 2 см при мгновенном изменении индукции магнитного поля от 0,025 Тл до нуля. Индуктивность кольца  $3 \cdot 10^{-8}$  Гн.
2. Ток в замкнутом накоротко сверхпроводящем соленоиде медленно изменяется вследствие несовершенства контакта. Создаваемое этим током магнитное поле уменьшается на 2 % за 1 час. Определите сопротивление контакта  $R$ , если индуктивность соленоида 1,0 Гн.

#### Олимпиада.

## Занятие 5. Механические колебания.

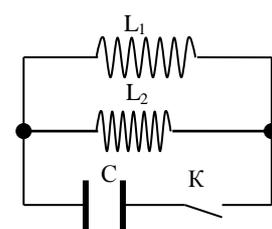
### I. Вопросы (блиц):

1. Как ослабить силу индукционного тока, возникающего при размыкании цепи с большой индуктивностью?
2. Крестьянин, покупая товары, сначала уплатил первому купцу половину своих денег и еще 1 рубль; потом уплатил второму купцу половину оставшихся денег да еще 2 рубля и, наконец, уплатил третьему купцу половину оставшихся денег да еще 1 рубль. После этого денег у крестьянина совсем не осталось. Сколько денег было у крестьянина первоначально? 18
3. Определите энергию магнитного поля соленоида, индуктивность которого 0,02 Гн, а магнитный поток через него составляет 0,4 Вб. 4 Дж
4. В цепь батареи аккумуляторов последовательно включены обмотка электромагнита и лампа накаливания. В то время, когда электромагнит притягивает к себе груз, накал нити лампы уменьшается. Объясните явление.
5. Идеальную катушку и резистор последовательно соединили с батареей через ключ. Ключ замыкают. Чему будет равна сила тока, когда магнитная энергия в катушке достигнет максимума? Когда будет наибольшей скорость нагревания резистора?
6. В короткозамкнутой катушке с витками из сверхпроводящего металла течет ток  $I = 100$  А. Индуктивность катушки  $L = 1$  Гн. При повышении температуры сверхпроводник перешел в нормальное состояние. Какое количество теплоты  $Q$  выделилось в катушке? Ответ: 5 кДж
7. Нарисуйте схему с электромагнитным реле, которая бы предотвращала взрыв сверхпроводящего соленоида вследствие того, что какой-либо участок его обмотки утратил сверхпроводящие свойства.
8. Почему невозможно возбудить магнитное поле в веществе, которое находится в сверхпроводящем состоянии?

### II. Задачи (блиц):

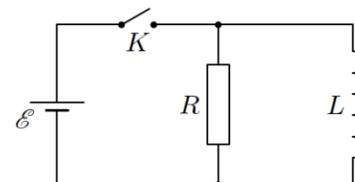
1. В цепи индуктивности катушек равны  $L_1$  и  $L_2$ , а конденсатор емкостью  $C$  заряжен до напряжения  $U_0$ . Определите максимальные значения силы тока в катушках после замыкания ключа  $K$ . Сопротивлением катушек и соединительных проводов пренебречь.

$$I_{m2} = U_0 \sqrt{\frac{L_1 C}{L_2(L_1 + L_2)}}$$



2. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными. Параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа  $K$  ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают. Оказалось, что после размыкания ключа через катушку протек заряд  $q_0$ . 1) Найдите ток через катушку сразу после размыкания ключа.  $I_0 = \frac{q_0 R}{L}$ . 2) Какой заряд протек через

источник за время, пока ключ был замкнут?  $q = q_0 + \frac{q_0^2 R^2}{2L\mathcal{E}}$ .



**III. Пружинный маятник.** Уравнение движения пружинного маятника:

$a_x = -\frac{k}{m}x = -\omega_{0n}^2 \cdot x$ . **Математический маятник** – материальная точка,

подвешенная на невесомой и нерастяжимой нити. Уравнение движения

математического маятника:  $a_x = -\frac{g}{l}x = -\omega_{0m}^2 \cdot x$ . Функция, удовлетворяющая

уравнению движения, имеет вид:  $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ .

**Амплитуда (A)** - наибольшее отклонение от среднего значения величины, изменяющейся при колебаниях по гармоническому закону.

**Период колебаний (T)** - свойство гармонически колеблющегося объекта повторять свое движение через определенный промежуток времени, измеряемое часами в секундах.

**Циклическая частота ( $\omega$ )** – отношение изменения фазы колебаний к промежутку времени, за который это изменение произошло:  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ .

Построение на доске графика смещения гармонически колеблющегося тела от времени (начальная фаза равна нулю), проекции скорости и проекции ускорения.  $v_{max} = A\omega; a_{max} = A\omega^2$ .

$$\omega_{0n} = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\omega_{0m} = \sqrt{\frac{g}{l}}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Свободные колебания пружинного и нитяного маятников являются гармоническими.

**IV. Задачи (блиц):**

1. Материальная точка, совершающая гармонические колебания с периодом  $T = 0,5$  с, в начальный момент времени  $t = 0$  с имела смещение, равное  $x_0 = 0,01$  м, и начальную скорость  $v_0 = 2$  м/с. Определить амплитуду и начальную фазу колебаний. Ответ:  $A = 0,16$  м;  $\varphi_0 = -86^\circ$ .

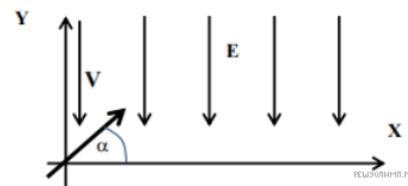
2. Посредине легкого горизонтального шнура длиной  $2L$  закреплен маленький груз массой  $m$ . Считая натяжение шнура постоянным и равным  $F$ , найдите период колебаний груза. Силу тяжести не учитывать.  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m\ell}{2F}}$

3. Платформа совершает гармонические колебания в горизонтальном направлении с частотой  $0,25$  Гц. На платформе лежит груз, коэффициент трения которого о платформу равен  $0,1$ . Какова может быть максимальная амплитуда колебаний платформы, чтобы груз не скользил по ней?  $0,4$  м

**Олимпиада.**

1. Частица, покинув источник, пролетает с постоянной скоростью расстояние  $L$ , а затем тормозится с ускорением  $a$ . При какой скорости частицы время движения от ее вылета до остановки будет наименьшим?  $v = (\ell \cdot a)^{1/2}$

2. В области пространства с плоской границей создано электрическое поле, векторы напряженности которого направлены перпендикулярно к границе, а их величина прямо пропорциональна расстоянию до границы. В эту область под некоторым углом  $\alpha$  к границе влетает положительно заряженная микрочастица. Определите тангенс этого угла, если известно, что частица вылетела из области на расстоянии в  $2$  раза большем, чем максимальное расстояние, на которое



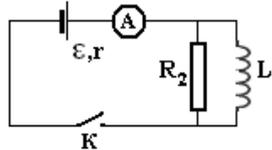
частица углубилась в область поля. Излучением и влиянием силы тяжести пренебречь. Колебания  $y$ .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V \cdot \sin \alpha}{V \cdot \cos \alpha} = \frac{\omega \cdot L_1}{\left(\frac{\omega L_2}{\pi}\right)} = \pi \frac{L_1}{L_2}$$

**Вопросы (блиц):**

1. Что можно определить по графику движения при гармонических колебаниях?
2. Изменится ли период колебаний нитяного маятника от того, что его поместили в жидкость, вязкостью которой можно пренебречь?
3. В каком положении тангенциальное ускорение колеблющегося математического маятника равно нулю?
4. В каком положении нормальное ускорение колеблющегося математического маятника максимально?
5. Если поворачивать стул, на котором укреплен колеблющийся нитяной маятник, то он не изменяет плоскости своих колебаний. Как это объяснить?
6. Шарик подвешен на длинной нити. Первый раз его поднимают до точки подвеса и отпускают, второй раз его отклоняют на небольшой угол и тоже отпускают. В каком случае и во сколько раз быстрее шарик возвратится в начальное состояние?
7. Покажите, что конический и математический маятники одинаковой длины имеют равные периоды колебаний.
8. Пусть мембрана в трубке домашнего телефона совершает гармонические колебания с частотой 1 кГц и амплитудой  $1,0 \cdot 10^{-4}$  м. Чему равна амплитуда ускорения мембраны?

**Разное**

1. Точка совершает гармонические колебания с амплитудой 0,15 м, частотой 25 Гц и начальной фазой  $\pi/2$ . Записать закон изменения смещения, проекции скорости и проекции ускорения точки. Построить графики.
  2. Электрическая цепь содержит источник тока, амперметр с сопротивлением  $R_1 = 2,5$  Ом, резистор  $R_2 = 7,5$  Ом и катушку индуктивности  $L = 2,5$  мГн с пренебрежимо малым сопротивлением. Сила тока через амперметр сразу после замыкания ключа  $I_1 = 0,2$  А, а когда ток перестает изменяться, амперметр показывает силу тока  $I_2 = 0,4$  А. Найти внутреннее сопротивление и ЭДС источника тока. 3 В. 5 Ом
- 
3. Катушка индуктивностью 0,3 Гн, намотанная толстым медным проводом, соединена параллельно с резистором сопротивлением  $R$  и подключена к источнику тока с ЭДС 4 В и внутренним сопротивлением 2 Ом. Какое количество теплоты выделится в катушке и резисторе после отключения источника тока?
  4. Определить полное ускорение  $a$  в момент времени  $t = 3$  с точки, находящейся на ободе колеса радиусом  $R = 0,5$  м, вращающегося согласно уравнению  $\varphi = A \cdot t + B \cdot t^3$ , где  $A = 2$  рад/с;  $B = 0,2$  рад/с<sup>3</sup>. 27,44 м/с<sup>2</sup>
  5. Гармонические колебания тела происходят по закону:  $x = 5 \cdot \sin \pi t$ , где  $x$  в сантиметрах. В некоторый момент  $t_1$  времени  $x = 2,5$  см. Определите проекцию скорости тела в этот момент времени.

**Олимпиада.**

## Занятие 6. Превращения энергии при колебаниях.

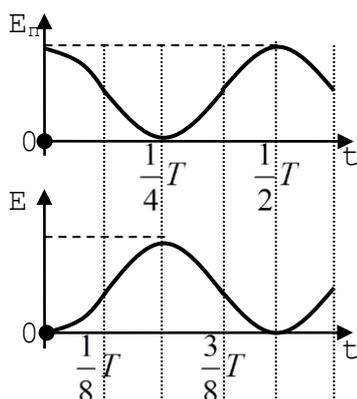
### I. Вопросы (блиц):

1. Какова связь между максимальными значениями ускорения и скорости колеблющегося тела? Во сколько раз изменится частота колебаний автомобиля на рессорах после принятия груза, равного массе порожнего автомобиля?
2. Из пункта А и пункта Б одновременно навстречу друг другу начали движение велосипедист и пешеход. После их встречи велосипедист повернул обратно, а пешеход продолжил свой путь. Велосипедист вернулся в пункт А на 30 минут раньше пешехода, при этом его скорость была в 5 раз больше, чем у пешехода. Сколько времени затратил пешеход на путь из А в Б? 45 мин
3. В какие моменты времени проходит положение равновесия точка, совершающая колебания по закону синуса с периодом  $T = 1$  с и начальной фазой  $\varphi_0 = \pi/2$ ?  $t_n = T/4 (2n-1)$ , где  $n = (1, 2, 3 \dots n)$
4. Изменится ли период колебаний нитяного маятника при погружении его в воду? Пружинного?
5. Как изменится период вертикальных колебаний груза, висящего на двух одинаковых пружинах, если их последовательное соединение заменить параллельным?
6. В какой точке ускорение колеблющегося нитяного маятника равно нулю?
7. Как изменяется угол между ускорением и скоростью тела при гармонических колебаниях математического маятника?
8. Как изменится период колебаний нитяного маятника, если штатив с маятником установить на наклонную плоскость с углом наклона  $30^\circ$ ?
9. Ускорение свободного падения на поверхности Марса  $3,7 \text{ м/с}^2$ . Как и во сколько раз изменится период колебаний математического и пружинного маятника на Марсе по сравнению с Землей?

### II. Задачи (блиц):

1. Период колебаний математического маятника на экваторе сферической планеты в  $n = 1,5$  раза больше, чем на ее полюсе. Найти период обращения планеты вокруг ее оси, если плотность вещества планеты  $\rho = 3 \text{ г/см}^3$ . 2,5 ч
2. Материальная точка массой  $m = 20 \text{ г}$  совершает гармонические колебания по закону  $x = 2 \cdot \cos(2\pi t + \pi/3) \text{ м}$ . Определить проекцию силы, действующей на точку в момент времени  $t = 10 \text{ с}$  после начала колебаний, и полную энергию точки. Ответ:  $F_x = 0,79 \text{ Н}$ ;  $W = 1,58 \text{ Дж}$ .

### III. Демонстрация колебаний горизонтального пружинного маятника. Мы совершили работу (растянули пружину) и пружина (аккумулятор) запасла энергию. Как будет изменяться потенциальная энергия пружины, если отпустить груз? А кинетическая энергия груза? Графики на доске.



$$E = E_K + E_{\Pi} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2};$$

$$E_{\Pi} = \frac{E}{2} \left(1 + \cos \frac{4\pi}{T} t\right); \quad E_K = \frac{E}{2} \left(1 - \cos \frac{4\pi}{T} t\right) - \text{ без вывода.}$$

Кинетическая и потенциальная энергии изменяются с

частотой  $2\omega$ , в два раза превышающей частоту колебаний! Поскольку полная энергия неизменна, то можно приравнять максимальные значения кинетической и потенциальной энергии.  $\frac{k \cdot A^2}{2} = \frac{m \cdot v_{\max}^2}{2} \rightarrow v_{\max} = \omega \cdot A$ .

**Динамический подход:**  $ma_x = F_x = -kx$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ .

**Энергетический подход:**  $\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = E = \text{const}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ .

**Свободные колебания в системе при наличии трения являются затухающими.**

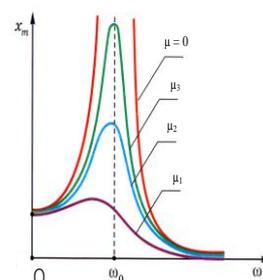
**Вынужденные колебания:** Горизонтальный пружинный маятник, на который действует внешняя периодическая сила:  $ma_x = -kx + F \cos \omega t \rightarrow$

$x'' + \omega_0^2 x = \frac{F}{m} \cos \omega t$ . Решение в виде  $x = A \cos \omega t$ . **Вынужденные**

**колебания происходят с частотой внешней периодической силы!**

$-A\omega^2 \cos \omega t + \omega_0^2 A \cos \omega t = \frac{F}{m} \cos \omega t \rightarrow A(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{F}{m} \rightarrow A = \frac{F}{m(\omega^2 - \omega_0^2)}$ ;

$\omega \rightarrow \omega_0, A \rightarrow \infty$ . При наличии трения амплитуда колебаний конечна!



#### IV. Задачи (блиц):

1. Точка массы  $m = 10$  г совершает гармоническое колебание. Написать уравнение гармонического колебательного движения, если максимальное ускорение точки  $a_{\max} = 49,3$  см/с<sup>2</sup>, период колебаний  $T = 2$  с и смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени  $x_0 = 25$  мм. Написать уравнение для зависимости потенциальной энергии от времени.
2. В какой момент времени после прохождения через положение равновесия кинетическая энергия маятника станет равной его потенциальной энергии?  $T/8$

#### Олимпиада.

1. Тонкий прямой стержень  $L = 1$  м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Стержень отклонили на угол  $\varphi = 60^\circ$  от положения равновесия и отпустили. Определите линейную скорость нижнего конца стержня  $v$  в момент прохождения через положение равновесия. 3,8 м/с
2. Небольшой станок массой 200 кг вибрирует при работе из-за неоднородности тяжелого маховика, имеющего частоту обращения 600 об/с. Чтобы снизить вибрацию перекрытия в цехе, в котором установлен станок, под станину положили упругую прокладку толщиной 10 см из материала с модулем упругости  $3,1 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>. Площадь основания станины  $2$  м<sup>2</sup>.  $A_1 = 1,85 A_0$
3. Приведет ли установка прокладки к уменьшению вибраций перекрытия? Не лучше ли свинцово-резиновая опора - опорная конструкция, расположенная под основанием и выполненная из резины с центральным стержнем из мягкого металла (свинца)?  $A_2 = 0,02 A_0$
4. Математический маятник длиной 50 см, выведенный из положения равновесия, отклонился при первом колебании на 5 см, при втором (в ту же сторону) – на 4 см. Найти коэффициент затухания маятника.  $0,15$  с<sup>-1</sup>

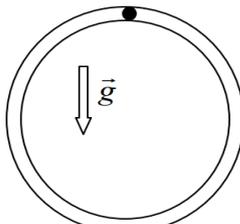
## V. Вопросы (блиц):

1. Маятник совершает гармонические колебания. Каково соотношение между кинетической и потенциальной энергиями маятника через  $1/8$  периода?
2. При отличающихся в 3 раза частотах вынужденных колебаний маятника их амплитуда одинакова. Во сколько раз отличаются их максимальные кинетические энергии в этих состояниях?
3. Груз колеблется вдоль оси  $x$  по закону:  $x = 5\sin(3t - 0,1)$ , где  $t$  в секундах,  $x$  в сантиметрах. Найти амплитудное значение скорости и ускорения груза.
4. На старых разъезженных грунтовых дорогах автомобиль может сильно раскачиваться. Почему это происходит?
5. Если к вертикальной пружине подвесить легкое ведро и равномерно капать в него с высоты воду из капельницы, то стаканчик вначале неподвижен, спустя некоторое время заметно раскачивается, а затем – успокаивается. Почему?
6. Почему при некоторой скорости автомобиля изображение в зеркале заднего вида «размывается»?

## Разное

1. Математический маятник длиной  $L = 0,5$  м, выведенный из положения равновесия, отклонился при первом колебании на  $A_1 = 5$  см, а при втором (в ту же сторону) -  $A_2 = 4$  см. найдите время релаксации  $\tau$ . т.е. время, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в  $e$  раз. 6,36 с

## Олимпиада.

1. На столе стоит колесо в виде узкого полого однородного обруча прямоугольного (для устойчивости) сечения. Масса обруча  $M$ , его радиус  $R$ . С верхней точки внутри обруча начинает скатываться без трения небольшой, но массивный шарик массой  $m$ . Какую скорость приобретёт верхняя точка колеса к моменту, когда шарик окажется в нижней точке колеса? Движение колеса происходит без проскальзывания, сопротивления воздуха внутри обруча нет.  **Ответ:**  $2\sqrt{\frac{2mgR}{M(1+\frac{M}{2m})}}$
2. Колебания точки происходят по закону  $x = A_0 e^{-\beta t} \sin \omega t$ . Найдите два момента времени, когда точка достигает крайних положений. Частота колебаний равна 1 Гц, коэффициент затухания  $\beta$  равен  $0,628 \text{ с}^{-1}$ .  
Ответ:  $t_n = (\arctg \omega/\beta + n\pi)/\omega$ ; 0,23 с и 0,73 с

## Занятие 7. Свободные электромагнитные колебания.

### I. Вопросы (блиц):

1. Чем больше холестерина откладывается в сосуде, тем артерия становится жестче и тем быстрее по ней распространяется пульсовая волна. Так ли это?
2. Некто имел 6 сыновей, каждый старше следующего на 4 года, а самый старший сын в 3 раза старше самого младшего. Сколько лет самому старшему сыну? 30 лет
3. Потенциальная энергия жидкости, вначале находящейся в одном из колен сообщающихся сосудов, вдвое больше, чем в положении равновесия. Докажите это. Куда же подевалась половина запасенной энергии?

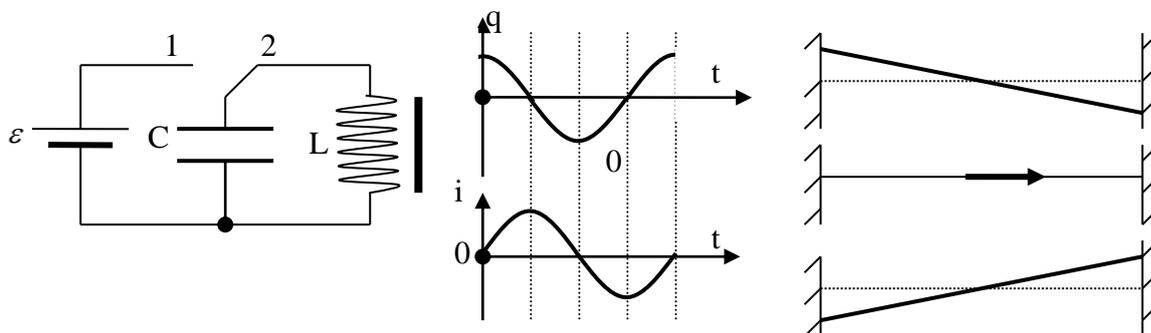
4. Какую форму должна иметь чашка, чтобы шарик, катящийся вверх-вниз по ее стенкам, в идеале мог бы совершать гармонические колебания?
5. На каких качелях проще раскачиваться: с верёвками или с металлическими штангами?
6. Если длину математического маятника уменьшать, когда он проходит положение равновесия, и увеличивать в те моменты, когда его отклонение максимально, то амплитуда колебаний маятника начнет возрастать. Почему?
7. Почему два нитяных маятника приблизительно одинаковой длины, подвешенные на горизонтально закрепленной нити, при колебаниях обмениваются энергией?
8. Чтобы отвести качели с сидящим на них человеком на большой угол, необходимо приложить большую силу. Почему же раскачать качели до такого же угла можно с помощью меньшего усилия?
9. Если к пружине придерживая подвесить груз и отпустить его, то в крайнем верхнем положении потенциальная энергия груза  $mgA$ , а пружины с грузом в положении равновесия  $\frac{kA^2}{2}$ . Почему?

**II. Задачи (блиц):**

1. Тело совершает гармонические колебания по закону  $x(t) = x_m \cdot \cos \omega t$  с периодом  $T = 20$  с и амплитудой  $x_m = 50$  см. Какой путь прошло тело за первую секунду, за первые 5 с, за 40 с? 2,4 см. 50 см. 4 м.
2. На рабочий стол вибростенда, колеблющийся с частотой  $\nu = 5$  Гц, поставлен для испытания системный блок персонального компьютера. При какой амплитуде колебаний блок не будет отрываться от поверхности рабочего стола? 1 см

**III. Первый конденсатор - лейденская банка. Устройство конденсатора (повторение) и способы его зарядки. Как зависит величина заряда конденсатора от времени его зарядки; от его емкости; от ЭДС источника тока?**

$$u = \varepsilon(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \rightarrow U_{\max} = \varepsilon \rightarrow q_{\max} = CU_{\max} \rightarrow W_C = \frac{q_{\max}^2}{2C}.$$



Разряд конденсатора через проволочную катушку. Возрастание тока и убывь заряда конденсатора. Почему сила тока в катушке увеличивается достаточно медленно? В момент, когда конденсатор полностью разрядится, ток в катушке и энергия магнитного поля  $W_L = \frac{LI_{\max}^2}{2}$ . достигают максимального значения. В

произвольный момент времени:  $W = \frac{q^2}{2c} + \frac{Li^2}{2}$ . По какому примерно закону изменяется заряд конденсатора с течением времени; сила электрического тока в катушке (примерные графики на доске  $q = q_{max} \cos \omega t \rightarrow i = -\frac{dq}{dt}; i = I_m \sin \omega t$ );  $I_m = q_m \omega$ . Разряд конденсатора через катушку носит колебательный характер.

Вывести уравнение, описывающее процессы в колебательном контуре.

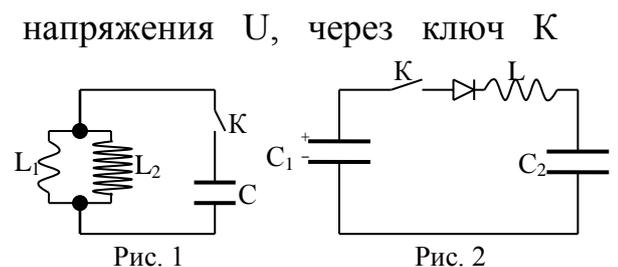
$-L \frac{di}{dt} = \frac{q}{C} \rightarrow q'' = -\frac{1}{LC} q \rightarrow q'' = -\omega^2 q$ . Свободные электромагнитные колебания в контуре носят гармонический характер. **Формула Томсона:**  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ .

**Задачи (блиц):**

- Заряд на обкладках конденсатора идеального открытого колебательного контура изменяется по закону  $Q = 25 \cdot 10^{-9} \cdot \sin(2 \cdot 10^8 t + 0,9)$  Кл. Индуктивность контура 2 мГн. Определите:
  - закон изменения тока в контуре и значение тока в момент времени  $t = 10^{-9}$  с.  $-2,27$  А
  - определите емкость контура и закон изменения напряжений на индуктивности и емкости.  $0,125 \cdot 10^{-13}$  Ф
  - максимальный запас энергии в контуре и закон изменения энергии конденсатора и индуктивности. 25 мДж
  - длину волны, излучаемой контуром, на несущей частоте. 9,86 м
- Имеются два колебательных контура с конденсаторами одинаковой емкости. Максимальная величина напряжения на конденсаторе второго контура во время свободных колебаний  $U_{m2} = 120$  В. Максимальное значение силы тока  $I_{m1}$  в первом контуре в 3 раза меньше, а частота колебаний  $\omega_1$  в 2 раза больше, чем соответствующие величины  $I_{m2}$  и  $\omega_2$  во втором контуре. Найти максимальное значение напряжения  $U_{m1}$  на конденсаторе первого контура. Ответ: 20 В

**Олимпиада.**

- Конденсатор емкости  $C$ , заряженный до напряжения  $U$ , через ключ  $K$  подключен к двум катушкам с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$  (Рис. 1). Если замкнуть ключ  $K$ , то через некоторое время конденсатор полностью перезарядится. Какие заряды протекут через катушки за это время?  $q_1 = \frac{2CUL_2}{L_1 + L_2}$



- Определить, во сколько раз отличаются амплитуды колебания через период. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 40$  мГн, конденсатора емкостью  $C = 0,25$  мкФ. Сопротивление контура  $R = 4,0$  Ом. 1,03
- Конденсатор емкостью  $C_1 = 1$  мкФ заряжен до разности потенциалов 300 В. К нему через диод и большую индуктивность  $L$  подключен незаряженный конденсатор емкостью  $C_2 = 2$  мкФ (Рис. 2). До какой разности потенциалов он зарядится после замыкания ключа  $K$ ? 200 В

**IV. Вопросы (блиц):**

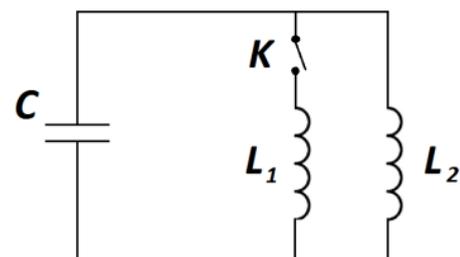
1. Пластины плоского конденсатора, включенного в колебательный контур, сближают. Как будет меняться при этом частота колебаний контура?
2. Конденсатор емкости  $0,1 \text{ мкФ}$  разряжается через резистор сопротивлением  $1 \cdot 10^6 \text{ Ом}$ . Если начальное напряжение на конденсаторе равно  $10 \text{ В}$ , сколько примерно времени нужно, чтобы оно упало до  $1 \text{ В}$ ?
3. Конденсатор подключили к источнику тока с известными параметрами.
  - Чему равна сила тока в начальный момент времени?
  - Чему равно напряжение на конденсаторе в начальный момент времени?
  - Чему равно напряжение на конденсаторе после его зарядки?
  - Какая энергия запасена конденсатором в процессе его зарядки?
  - Какую работу совершил источник тока в процессе зарядки?
3. Конденсаторы в схемах включения люминесцентных ламп со временем высыхают от нагрева, и это изменяет частота пульсаций тока. Как?
4. Индуктивность колебательного контура миноискателя образована проволочным кольцом. Когда это кольцо приближается к металлу, в телефонных наушниках высокий тон сменяется на низкий тон. Чем это объяснить?
5. Заряженный конденсатор подключают к соленоиду в сверхпроводящем состоянии.
  - Чему равна сила тока в начальный момент времени?
  - Чему равна скорость изменения тока в начальный момент времени и как она изменяется со временем?
  - Когда сила тока в цепи достигает максимального значения?

### Разное

1. В некоторый момент сверхпроводящий соленоид объемом  $40 \text{ см}^3$  подключают к высоковольтному конденсатору емкостью  $100 \text{ мкФ}$ , заряженному до напряжения  $1 \text{ кВ}$ . Известно, что при индукции магнитного поля в соленоиде  $1,6 \text{ Тл}$  разрушается состояние сверхпроводимости материала, из которого выполнена обмотка соленоида. Определите, произойдет ли разрушение сверхпроводимости в описанном эксперименте.

### Олимпиада.

1. Оценить время  $t_C$ , за которое после замыкания ключа зарядится конденсатор емкостью  $C = 10 \text{ мкФ}$ , включенный последовательно с резистором сопротивлением  $R = 1 \text{ МОм}$ . Установившееся значение разделить на скорость нарастания тока в начальный момент (можно среднюю) Ответ:  $10 \text{ с}$
2. Оценить время  $t_L$ , за которое установится ток в цепи с катушкой индуктивности  $L$  и сопротивлением  $R$  после замыкания ключа. Установившееся значение разделить на скорость нарастания тока в начальный момент (можно среднюю) Ответ:  $t_L = L/R$
3. В идеальном контуре, состоящем из конденсатора ёмкостью  $C = 2 \text{ мкФ}$  и катушки индуктивностью  $L_2 = 1 \text{ мГн}$ , происходят незатухающие свободные гармонические колебания тока с амплитудой  $I_{\max} = 5 \text{ мА}$ . В тот момент времени, когда ток через катушку  $L_2$  максимален, замыкают ключ  $K$ . Определите



максимальное напряжение на конденсаторе после этого. Индуктивность катушки  $L_1=2$  мГн. 90 мВ.

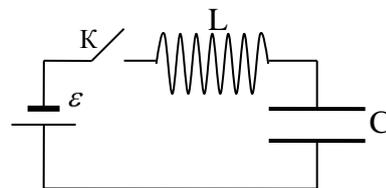
## Занятие 8. Переменный ток.

### I. Вопросы (блиц):

1. В колебательном контуре изменили начальную величину заряда на конденсаторе. Какие величины изменились от этого, а какие нет?
2. Средний из трех братьев старше младшего на 2 года, а возраст старшего брата на 4 года превышает сумму возрастов двух остальных братьев. Вместе братьям 96 лет. Сколько лет младшему брату? 22
3. Как изменится период колебаний в колебательном контуре, состоящем из плоского воздушного конденсатора и катушки индуктивности, если между обкладками конденсатора поместить металлическую пластину? Увел.
4. Почему в колебательном контуре колебания не прекращаются в тот момент, когда конденсатор полностью разрядится?
5. Что произойдет с периодом собственных колебаний в колебательном контуре, если его ёмкость увеличить в 3 раза, а индуктивность уменьшить в 3 раза?
6. Найти отношение энергии магнитного поля к энергии электрического поля для момента времени  $t=T/8$ , считая, что процессы происходят в идеальном колебательном контуре.
7. Колебания в электрическом контуре затухают. Значит, максимальная величина заряда на любой из пластин его конденсатора становится все меньше. Не противоречит ли это закону сохранения заряда?
8. Как изменяется период колебаний при их затухании (аналогия с шариком, который уронили на горизонтальную плиту)?
9. Входящий в колебательный контур плоский конденсатор таков, что его обкладки могут перемещаться одна относительно другой. Можно ли увеличить энергию колебаний в контуре посредством перемещения обкладок?
10. Что и как необходимо сделать, чтобы при неизменной индуктивности идеального колебательного контура уменьшить амплитуду колебаний напряжения на электрической емкости вдвое?

### II. Задачи (блиц):

1. В схеме, изображенной на рисунке, ключ К замыкают. Найдите максимальный ток в цепи и максимальное напряжение на конденсаторе. Параметры схемы считать известными. Заряд конденсатора максимален, когда ток равен нулю! А ток?  $U_{\max} = 2\varepsilon$ .



$$I_0 = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L}}$$

2. В колебательном контуре, состоящем из катушки с индуктивностью 1 мГн и активным сопротивлением 5 Ом и конденсатора емкостью 40 мкФ, происходят затухающие колебания. В некоторый момент времени амплитуда тока в контуре 0,1 А. Какое количество теплоты выделится в катушке от этого момента до полного затухания колебаний в контуре? 5 мкДж
3. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 5 мкФ и катушки индуктивностью 0,2 Гн. Определить максимальную силу тока в

контуре, если в начальный момент времени на обкладках конденсатора была максимальная разность потенциалов, равная 90 В. Написать закон изменения с течением времени силы тока в контуре и энергии электрического поля.  $0,45 \text{ А}$ ;  $i = 0,45 \text{ А} \sin(1000t)$ ;  $W_E = 0,02 \cdot \cos^2(1000t) \text{ Дж}$ .

### III. Демонстрация действующей модели генератора переменного тока.

Принцип работы генератора (рисунок на доске).

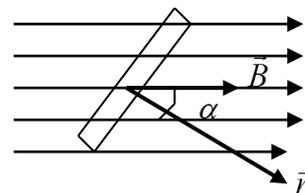
$$\Phi = B \cdot S \cos \alpha; \Phi_m = B \cdot S; \alpha = \omega t; \Phi = \Phi_m \cos \omega t.$$

Мгновенное значение ЭДС индукции:

$$e = -N\Phi' = NBS\omega \cdot \sin \omega t = \varepsilon_{\max} \sin \omega t. \quad \varepsilon_{\max} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega = \Phi_{\max} \cdot \omega -$$

амплитудное значение ЭДС. При разомкнутой внешней цепи  $e = u = U_{\max} \sin \omega t$  - где  $U_{\max}$  - амплитудное значение

напряжения. Внешняя электрическая цепь. Переменный электрический ток. Фазовый сдвиг между силой тока и напряжением в цепи переменного тока (общий случай):  $i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$ .



**Активное сопротивление (R)** - сопротивление в цепи переменного тока, на котором выделяется энергия. Фазовые соотношения между силой тока и напряжением на активном сопротивлении. На активном сопротивлении сила тока и напряжение совпадают по фазе.

### IV. Задачи (ближ):

1. Сила тока в проводнике сопротивлением  $100 \text{ Ом}$  за  $50 \text{ с}$  равномерно нарастает от  $5 \text{ А}$  до  $10 \text{ А}$ . Определить заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за это время, а также количество теплоты, которое выделится за это время на резисторе.  $375 \text{ Кл}$ .  $292 \text{ кДж}$ .
2. Неоновая лампа включена в цепь переменного тока промышленной частоты напряжением  $127 \text{ В}$ , а напряжение зажигания лампы равно  $84 \text{ В}$ . Определите продолжительность вспышек неоновой лампы и время между ними. Считать напряжение зажигания лампы равным напряжению гашения.  $6,9 \text{ мс}$ .  $3,1 \text{ мс}$ .
3. Рамка из железной проволоки сечением  $4,00 \text{ мм}^2$ , помещена в магнитное поле, величина индукции которого изменяется по закону  $B = B_0 \cdot \sin(2\pi\nu)t$ , где  $B_0 = 40,0 \text{ мТл}$  и  $\nu = 25 \text{ Гц}$ . Плоскость рамки площадью  $36,0 \text{ см}^2$  расположена перпендикулярно к направлению магнитного поля. Какой максимальный ток индуцируется в рамке?  $3,77 \text{ А}$
4. Сила тока в цепи имеет вид прямоугольных импульсов длительностью  $t = 2 \text{ мкс}$  и амплитудой  $I_{\max} = 100 \text{ мА}$ . Частота следования импульсов  $n = 200 \text{ кГц}$ . Найти действующее значение  $I$  силы тока. Ответ:  $63 \text{ мА}$

### Олимпиада.

1. Сила тока в проводнике сопротивлением  $R = 20 \text{ Ом}$  нарастает в течение времени  $t = 2 \text{ с}$  по линейному закону от  $I_0 = 0$  до  $I_{\max} = 6 \text{ А}$ . Определите количество теплоты  $Q_1$ , выделившееся в этом проводнике за первую секунду, и  $Q_2$  - за вторую, а также найдите отношение этих количеств теплоты  $Q_2/Q_1$ .  
 $Q_1 = 60 \text{ Дж}$ ,  $Q_2 = 420 \text{ Дж}$ ,  $Q_2/Q_1 = 7$ .
2. Тонкое кольцо радиусом  $R = 10 \text{ см}$  несет равномерно распределенный заряд  $Q = 0,1 \text{ мкКл}$ . На перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его середины, находится точечный заряд  $q = 10 \text{ нКл}$ . Расстояние от заряда до

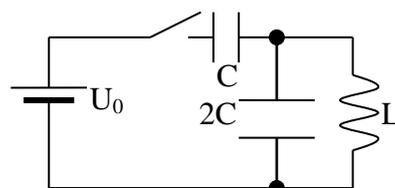
центра кольца  $L = 20$  см. Определить силу взаимодействия заряда и кольца. Определите так же значение параметра  $L$ , при котором эта сила максимальна. 0,16 мН, 7,1 см.

**V. Вопросы (блиц):**

1. Почему в розетке нет плюса и минуса?
2. Для измерения магнитного поля Земли используется магнитометр, который состоит из проволочной рамки, приводимой в равномерное вращение с помощью электродвигателя. Объясните принцип его действия.
3. С какой частотой будет вспыхивать неоновая лампочка, включённая в сеть переменного тока частотой 50 Гц?
4. Магнитный поток через замкнутый контур изменяется по закону синуса. По какому закону изменяется возникающая в этом контуре переменная ЭДС?
5. Проводник размещен между полюсами сильного дугообразного магнита. Что будет происходить с проводником, если пропустить через него переменный ток промышленной частоты?
6. Будет ли проходить ток через электролитическую ванну с медным купоросом, если ее подключить к источнику переменного напряжения? Станет ли выделяться на электродах медь?

**Разное**

1. Найдите максимальное напряжение на верхнем конденсаторе и максимальный ток через катушку. Сопротивление батарейки и проводов считать небольшим.  $C = 1$  мкФ,  $L = 1$  Гн,  $U_0 = 10$  В.



**Олимпиада.**

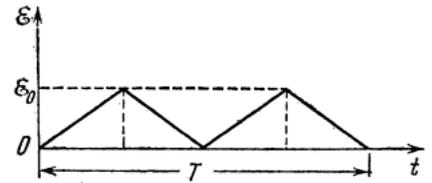
**Занятие 9. Закон Ома для цепи переменного тока.**

**I. Вопросы (блиц):**

1. На какое напряжение надо рассчитывать изоляторы линии электропередачи, если действующее значение напряжения 430 кВ?
2. Было 9 листов бумаги. Некоторые из них разрезали на 3 части. Всего стало 15 листов (маленьких и больших). Сколько листов разрезали? 3
3. Циклическая частота переменного тока  $100\pi$  рад/с. Определить период и частоту переменного тока.
4. Сколько витков в рамке площадью  $500 \text{ см}^2$ , если при вращении её с частотой 20 об/с в однородном магнитном поле индукцией 0,1 Тл, амплитудное значение ЭДС индукции равно 63 В?
5. Тепловой вольтметр, включённый в цепь переменного тока, показывает 220 В. Найти максимальное напряжение в цепи.
6. Что вы теперь знаете о действующем, амплитудном и мгновенном значении переменного тока?
7. Как понимать выражение «течет ток» в случае постоянного и переменного тока?
8. Каковы, по вашему мнению, недостатки люминесцентных ламп дневного света?
9. Почему для резистора не имеет значения, как меняется напряжение?

**II. Задачи (блиц):**

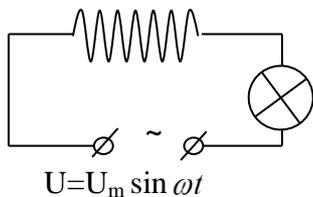
1. Переменная ЭДС изменяется по закону, график которого изображен на рисунке. Найдите действующее значение ЭДС.  $\varepsilon = \varepsilon_0/\sqrt{3}$
2. Квадратная рамка со стороной 2,00 см, состоящая из 100 витков, расположена в магнитном поле так, что нормаль в рамке образует угол  $60^\circ$  с направлением поля. Величина магнитной индукции поля изменяется с течением времени по закону:  $B = B_0 \cos(\omega t)$ , где  $B_0 = 0,20$  Тл,  $\omega = 314$  мин<sup>-1</sup>. Определить значение ЭДС индукции в рамке в момент времени 4,00 с. 18 мВ
3. Магистр Шаак Ти вращает круглый диэлектрический люк от шагохода диаметром 0,5 м с проводящим поясом, идущем по окружности люка, вокруг одного из его диаметров в магнитном поле с индукцией 0,3 Тл, направленном перпендикулярно оси вращения. Определить максимальную ЭДС, возникающую в проводящем поясе, и силу тока в нем, если сопротивление пояса 2,5 Ом, а раскрутила люк Шаак Ти до частоты вращения 150 оборотов в минуту. 0,92 В; 0,37 А



**III. Конденсатор в цепи постоянного тока.** Замкнем обкладки конденсатора накоротко. Оказывает ли конденсатор сопротивление переменному току? Да! Емкостное сопротивление. Демонстрация зависимости емкостного сопротивления от электроемкости конденсатора и от частоты переменного тока:  $X_c = \frac{1}{\omega C}$

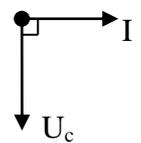
**Векторная** диаграмма электрической цепи с чисто емкостным сопротивлением. **Применения конденсатора**

Демонстрация зависимости индуктивного сопротивления катушки от индуктивности катушки и от частоты переменного тока  $X_L = \omega \cdot L$

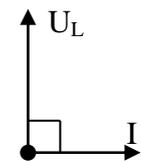


Закон Ома для участка цепи переменного тока с индуктивным сопротивлением (в качестве индикатора использовать лампочку).

$$I = \frac{U_L}{X_L} \quad I_{\max} = \frac{U_{\max L}}{X_L}$$



Электрическая цепь переменного тока, содержащая последовательно соединенные активное сопротивление, конденсатор и катушку индуктивности. Векторная диаграмма электрической цепи (рисунок на доске).  $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$  - экспериментальная проверка формулы.



**Закон Ома** для данной цепи переменного тока:

**Фазовый сдвиг между силой тока и напряжением:**

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

**Резонанс** в электрической цепи переменного тока.

Резонансная частота:  $\nu_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Резонанс в электрической цепи наблюдается при совпадении частоты внешней переменной ЭДС с собственной частотой колебательного контура.

#### IV. Задачи (блиц):

1. Лампочка от карманного фонаря (3,5 В, 0,28 А) включается в городскую осветительную сеть. Какова должна быть емкость конденсатора, чтобы лампочка горела нормальным накалом? 4 мкФ
2. Какая индуктивность должна быть соединена последовательно с электрической лампочкой (110 В, 60 Вт), если она должна нормально гореть, когда вся цепь будет присоединена к сети 220 В, 50 Гц? 1,1 Гн
3. Катушка индуктивностью  $L = 75$  мГн включена последовательно с конденсатором переменной емкости в сеть переменного тока с напряжением  $U_m = 310$  В и с частотой  $\nu = 50$  Гц. Чему равна емкость  $C$  конденсатора, при которой амплитуда тока  $I_m$  в полученной цепи максимальная? Ответ: 135 мкФ
4. Конденсатор ёмкостью  $C = 5$  мкФ и проводник сопротивлением  $R = 150$  Ом включены последовательно в цепь переменного тока с напряжением  $u = 120$  В и частотой  $\nu = 50$  Гц. Определить амплитудное и действующее значение силы тока, сдвиг фаз между током и напряжением, а так же выделяющуюся в цепи мощность.  $I_m = 0,258$  А,  $I = 0,183$  А,  $\varphi = 76,8^\circ$ ,  $P = 5,1$  Вт.

#### Олимпиада.

1. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону:  $i = 10A \sin 50\pi \cdot t$ . Найти заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время, равное половине периода. Количество теплоты, которое выделит данный ток на резисторе сопротивлением 20 Ом за период. 0,127 Кл; 20 Дж
2. Если конденсатор залит диэлектрической жидкостью, обладающей некоторой проводимостью, то такой конденсатор эквивалентен некоторой емкости  $C$ , зашунтированной некоторым сопротивлением  $R$ . Какой сдвиг фазы между силой тока и напряжением вызывает включение такого конденсатора в цепь переменного тока частоты  $\nu$ ?  $\operatorname{tg} \varphi = 2\pi\nu CR$

#### V. Вопросы (блиц):

1. Конденсатор переменной емкости включен в цепь переменного тока последовательно с лампочкой от карманного фонаря. Как изменяется накал лампочки, если: а) не меняя емкости конденсатора, увеличивать частоту переменного тока; б) не меняя частоту, увеличивать емкость конденсатора?
2. Почему конденсатор нагревается в цепи переменного тока, особенно на больших частотах?
3. Почему у катушек с ферритовыми сердечниками большая магнитная проницаемость и малые потери на больших частотах?
4. Для регулирования силы тока в цепях постоянного тока часто применяют реостаты, а для регулирования силы тока в цепях переменного тока - дроссели. Почему это делается?
5. Допустимо ли в цепь переменного тока напряжением 220 В включить конденсатор, напряжение пробоя для которого равно 250 В?
6. Лампа включена последовательно с конденсатором в сеть переменного тока. Как изменится накал лампы, если в сеть включить еще один такой же конденсатор параллельно первому?
7. Почему фазовый сдвиг периодического сигнала при его передаче по кабелю зависит от его частоты, а также от сопротивления, индуктивности и емкости

кабеля? Любой периодический сигнал можно разложить в ряд Фурье, то есть представить, как сумму синусоид с различными частотами и амплитудами.

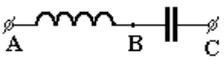
### Разное

3. Рассчитайте допустимую для вашей квартиры потребляемую мощность, если действующее значение переменного напряжения в сети 220 В, потери напряжения на подводящих проводах не должны превышать 5 В, а общее сопротивление пары подводящих проводов в стандартных жилых домах 0,5 Ом. Все нагрузки считать активными.

### Олимпиада.

## Занятие 10. Трансформатор.

### I. Вопросы (блиц):

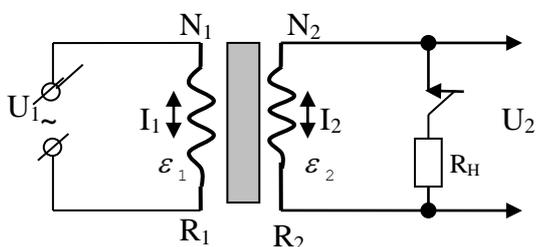
1. Электрическая лампа подключена последовательно с конденсатором к сети переменного тока. Как изменится накал лампы, если конденсатор будет пробит и цепь в этом месте замкнется?
  2. У отца спросили, сколько лет его двум сыновьям. Отец ответил, что если к произведению чисел, означающих их годы, прибавить сумму этих чисел, то будет 14. Сколько лет его младшему сыну?  $x+y(1+x) = 14$  (годы целые) ответ 2 года
  3. В цепь переменного тока последовательно включены электрическая лампочка, конденсатор и катушка индуктивности без сердечника. При постепенном введении в катушку сердечника лампочка сначала стала гореть ярче, а затем накал ее нити уменьшился. Почему?
  4. По участку ABC протекает синусоидальный ток. На участке АВ эффективное напряжение равно 100 В, а на участке ВС равно 20 В. Найти эффективное напряжение на участке AC. 80 В
- 
5. Конденсатор и идеальная катушка индуктивности соединены последовательно и подключены к источнику регулируемого переменного напряжения. В каком случае сила тока в цепи не зависит от величины напряжения?
6. Как достичь резонанса в цепи переменного тока, не изменяя индуктивности и емкости в цепи?
7. Миноискатель представляет собой генератор незатухающих электромагнитных волн звуковой частоты. Индуктивность контура выполнена в нем в виде проволочного кольца. Когда кольцо, перемещаемое по поверхности земли, приближается к mine или другому металлическому предмету, в телефонных наушниках высокий тон сменяется низким тоном. Как это объяснить?

### II. Задачи (блиц):

1. Последовательно с электроплиткой в городскую сеть подключили катушку индуктивности, при этом мощность плитки упала в два раза. Найдите индуктивность катушки, если активное сопротивление плитки 50 Ом. 0,16 Гн
2. Для уменьшения мощности 10-киловаттного промышленного нагревателя, рассчитанного на эксплуатацию в сети 220 В переменного тока, последовательно со спиралью включили дроссель индуктивностью 0,1 Гн и собственным активным сопротивлением 2 Ом. Какова теперь мощность нагревателя, если он в своей конструкции не содержит других реактивных элементов? 2 кВт

### III. Как его получить? Генератор постоянного тока. Однополупериодная и мостиковая схема выпрямления.

**Трансформатор** – устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.



Если магнитный поток изменяется сквозь замкнутый контур по гармоническому закону  $\phi = \Phi_{\max} \cos \omega t$ , то в контуре возникает переменная ЭДС  $e = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$ , где  $\varepsilon_{\max} = NBS\omega$ , а  $\varepsilon = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$ . Поскольку

обмотки трансформатора

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = k.$$

расположены на одном сердечнике, то:

$$\text{Основные формулы: } U_1 = I_1 R_1 + \varepsilon_1; \quad \varepsilon_2 = I_2 R_2 + I_2 R_H; \quad U_2 = I_2 R_H.$$

Основные режимы работы трансформатора:

**1. Холостой ход.** Измерение коэффициента трансформации:  $k = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$ .

**2. Режим нагрузки** (вторичная обмотка замкнута через нагрузку). Основные

$$\text{формулы: } P_1 \approx P_2 \rightarrow \varepsilon_1 I_1 = \varepsilon_2 I_2; \quad \eta = \frac{P_H}{P_1} 100\% = \frac{I_2 U_2}{I_1 \varepsilon_1} 100\% = \frac{U_2}{\varepsilon_2} 100\%.$$

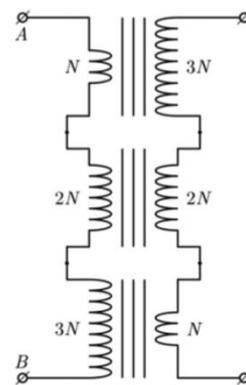
### IV. Задачи (блиц):

1. Понижающий трансформатор включен в сеть напряжением 1 кВ и потребляет от сети мощность 400 Вт. Каков КПД трансформатора в %, если сила тока во вторичной обмотке 3,8 А, коэффициент трансформации равен 10? 95%
2. Вторичная обмотка трансформатора, имеющая 95 витков, пронизывается магнитным потоком, изменяющимся со временем через один виток по закону  $\Phi = 0,01 \text{ Вб} \cdot \sin(100 \pi t)$ . Напишите формулу, выражающую зависимость ЭДС во вторичной обмотке от времени.  $\varepsilon_2 = 298 \text{ В} \cdot \cos(100 \pi t)$
3. Трансформатор для игрушечной железной дороги превращает 120 В в 6 В. Если сопротивление цепи поезда равно 10 Ом, чему равно эффективное сопротивление в первичной обмотке трансформатора? 4 кОм
4. Школьник Владислав проводит опыты с трансформатором и источником питания, который выдаёт переменное напряжение  $U(t) = U_0 \cos \omega t$ , где  $U_0 = 12 \text{ В}$ . Трансформатор имеет две обмотки с двумя выводами у каждой. Число витков первой обмотки равно  $N$ , второй обмотки —  $3N$ . Переменные напряжения с какими амплитудами может получить Владислав с помощью данного оборудования? Для каждого значения амплитуды напряжения нарисуйте соответствующую схему соединений.  $0, U_0, 3U_0, 4U_0, U_0/3, 4U_0/3, U_0/4, 3U_0/4, 2U_0, 2U_0/3, U_0/2, 3U_0/2$

### Олимпиада.

1. Напряжение на первичной обмотке трансформатора  $U_1 = 120 \text{ В}$  и сила тока в ней  $I_1 = 0,5 \text{ А}$ . Ко вторичной обмотке подсоединена лампа, сила тока в которой  $I_2 = 3 \text{ А}$ , а напряжение на ней  $U_2 = 10 \text{ В}$ . КПД трансформатора  $\eta = 0,7$ . Найти сдвиг фазы между силой тока и напряжением в первичной обмотке.

2. В лаборатории решили изготовить три трансформатора с одинаковыми сердечниками. На каждый из сердечников намотали по  $4N$  витков провода, по-разному распределив их между первичными и вторичными обмотками трансформаторов. Три полученных трансформатора соединили в цепь, схема которой показана на рисунке. На вход цепи (контакты А и В) подали гармоническое напряжение, а к выходу цепи никакой нагрузки не подключили. Каким может быть для этой цепи отношение амплитуды выходного напряжения к амплитуде входного напряжения? Влиянием обмоток соседних трансформаторов друг на друга можно пренебречь.  $1 : 7$ ,  $2 : 7$  или  $5 : 7$



**V. Вопросы (блиц):**

1. Изменяется ли мощность тока при преобразовании его в трансформаторе?
2. Почему сердечники трансформаторов должны легко перемагничиваться и не должны проводить электрический ток?
3. Имеется два одинаковых трансформатора с 220 В на 12 В. Можно ли их соединить так, чтобы получить 6 В?
4. У трансформатора для электрического звонка число витков первичной обмотки 660. Напряжение сети 220 В. Вторичная обмотка имеет три вывода на три напряжения: 3, 5, 8 В. Определить число витков вторичной обмотки и, где в ней сделаны ответвления на зажимы?
5. Где используются трансформаторы?
6. Почему при разомкнутой вторичной обмотке потребляемая трансформатором энергия минимальна? Чем она определяется?
7. Зависит ли ЭДС в первичной и вторичной обмотке трансформатора от того, в каком режиме он работает?
8. Какие бывают трансформаторы?
9. Как будет изменяться накал сигнальной лампочки, включенной последовательно (параллельно) первичной обмотке трансформатора при увеличении тока во вторичной обмотке?
10. Почему при геомагнитных бурях наиболее уязвимы понижающие трансформаторы?

**Разное**

1. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 5 включен в сеть с напряжением 220 В. Определить КПД трансформатора, если потеря энергии в первичной обмотке не происходит, а напряжение на вторичной обмотке 42 В. (95%)
2. Первичная обмотка трансформатора имеет 2400 витков. Сколько витков должна иметь вторичная обмотка, чтобы при напряжении на ее зажимах 11 В передавать нагрузке мощность 22 Вт? Сопротивление вторичной обмотки 0,2 Ом. Напряжение в сети 380 В. Сопротивлением первичной обмотки пренебречь. 71
3. Мощность, потребляемая трансформатором,  $P = 100$  Вт, а напряжение на зажимах вторичной обмотки  $U_2 = 50$  В. Определите силу тока  $I_2$  во вторичной обмотке, если КПД трансформатора  $\eta = 0,8$ . 1,6 А

## Олимпиада.

### Занятие 11. Волны.

#### I. Вопросы (блиц):

1. Почему во всех странах мира используют именно переменный ток?
2. Нужно разделить 46 рублей на 8 частей, чтобы каждая часть была больше предыдущей на полтинник. Сколько денег будет в самой большой части? 7,5
3. В каком случае с вторичной обмотки трансформатора можно снимать постоянное напряжение?
4. Подводимая к трансформатору активная мощность равна 50 кВт, отдаваемая мощность 45 кВт. Каковы КПД трансформатора и потери мощности в трансформаторе? 90%, 5 кВт.
5. При ремонте понижающего трансформатора размотали его первичную обмотку и включили ее концы в сетевую розетку. В результате перегорели предохранители, хотя трансформатор был рассчитан на сетевое напряжение. Как это объяснить?
6. Трансформатор рассчитан преобразовывать напряжение 220 В в напряжении 11 В. Какое напряжение выдаст трансформатор, если перепутать контакты и подключить напряжение 220 В к выходу, на котором должно быть 11 В? 4,4 кВ
7. Почему с увеличением нагрузки во вторичной цепи автоматически увеличивается потребляемая трансформатором мощность?
8. Отчего наличие очень высокого напряжения во вторичной обмотке повышающего трансформатора не приводит к большим потерям энергии на выделение тепла в самой обмотке?
9. Как и почему будет изменяться напряжение и ток в первичной и во вторичной обмотке трансформатора при увеличении активной нагрузки?
10. Почему опасно замыкание хотя бы одного витка вторичной обмотки трансформатора?

#### II. Задачи (блиц):

1. Сила тока холостого хода в первичной обмотке трансформатора, питаемой от городской сети переменного тока, равна 0,2 А. Электрическое сопротивление первичной обмотки трансформатора  $R = 100$  Ом. Определите индуктивность первичной обмотки трансформатора. 3,5 Гн
2. При холостом ходе трансформатора он потребляет из сети мощность 2,5 Вт. При номинальной выходной мощности 600 Вт его КПД равен 96%. Найдите потери на нагревание обмоток в рабочем режиме. 2,5. 22,5 Вт
3. Понижающий трансформатор дает ток 20 А при напряжении 120 В. Первичное напряжение 22 кВ. Найти ток в первичной обмотке, входную и выходную мощности, если КПД 90%. 0,12 А. 2,67 кВт. 2,4 кВт.

**III. Длина волны ( $\lambda$ )** - свойство гармонической волны повторять свою форму в пространстве, измеряемое длиной отрезка между двумя ближайшими точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах. Скорость распространения волны:

$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$ . Скорость распространения поперечной волны по шнуру  $v = \sqrt{\frac{F_u}{\mu}}$ , где

$\mu$  - линейная плотность шнура. Скорость продольной волны в длинном сплошном стержне дается выражение  $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ , где  $E$  - модуль упругости вещества, а  $\rho$  - его плотность.

**Интенсивность волны (I)** – свойство волны переносить энергию в пространстве, измеряемое отношением перенесенной энергии к площади поверхности, через которую она переносится, и промежутку времени, за который она переносится:  $I = \frac{E}{S \cdot t}$ .  $I = \rho v \cdot v^2 2\pi^2 A^2$ . В силу сохранения энергии  $S_1 \cdot A_1^2 = S_2 \cdot A_2^2$ , поэтому: 1) если  $S_1 = S_2$  (плоская волна), то  $A_1 = A_2$ ; 2) если волна сферическая, то  $r_1 \cdot A_1 = r_2 \cdot A_2$ , откуда:  $A \sim \frac{1}{r}$ .

### Свойства волн:

- Интерференция** - явление наложения волн друг на друга, в результате которого вдоль одних направлений происходят колебания удвоенной амплитуды, а вдоль других она равна нулю.
- Отражение и преломление волн.** Закон преломления волн:  

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 v}{\lambda_2 v} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{21}$$
- Дисперсия волн** - явление разбрасывания волн на границе раздела двух сред, показатель преломления которой зависит от частоты.
- Дифракция** - явление огибания волнами препятствий.

### IV. Задачи (ближ):

- Уравнение бегущей волны имеет вид:  $x = 0,2 \sin (20r - 30t)$ , где  $x$  в метрах. Какова скорость волны? 1,5 м/с
- Плоская незатухающая волна задана уравнением  $x = 0,005 \sin 800 \pi (t - r/340)$ , где  $x$  в метрах. Определить амплитуду, частоту колебаний, длину волны. Ответ:  $A = 0,005$  м;  $\omega = 800\pi$  рад/с;  $\lambda = 0,85$  м.
- Уравнение незатухающих колебаний дано в виде  $x = 10 \sin 0,5\pi t$  см. Написать уравнение волны, если скорость распространения колебаний 300 м/с.
- Слинька (спиральная пружина с витками большого диаметра, имеющая очень малую длину в нерастянутом состоянии) массой 0,5 кг растянута до длины 8 м под действием силы 5 Н. Чему равна скорость поперечных волн? 9 м/с

### Олимпиада.

- Камень свободно падает на Землю с высоты  $h$ , равной ее радиусу  $R$ . Сколько времени  $t$  будет происходить падение камня, и с какой скоростью  $v$  он достигнет поверхности Земли? Радиус Земли  $R = 6400$  км, ускорение свободного падения у ее поверхности  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.  $\therefore t \approx 34$  мин;  $v = \sqrt{gR} \approx 8$  км/с.
- На краях открытой сцены на расстоянии 6 м установлены две акустические системы. Из-за ошибки звукооператора они «загудели». Зритель, находившийся напротив центра сцены на расстоянии 20 м от неё, обнаружил, что если он смещается из своего начального положения влево или вправо на 2 м, то громкость звука оказывается наименьшей. На какой частоте «гудели» акустические системы? Скорость звука в воздухе была равна 345 м/с. 292 Гц.

### Вопросы (блиц):

1. Натягивая струну сильнее, мы изменяем частоту колебаний. Как вы думаете, увеличивается частота или уменьшается?
2. Каким образом передается энергия при обработке материала зубилом?
3. Почему волны на море тем выше, чем больше для них простора, чем сильнее ветер и чем дольше он дует?
4. Почему интенсивность гравитационных волн очень мала?
5. Почему цунами несет очень большую энергию? Скорость цунами примерно 720 км/ч, вовлекается в движение вся толща воды от дна до поверхности (глубина примерно 4 км, длина разлома от 100 до 400 км).

### Разное

1. Линия электропередачи должна передавать мощность 100 кВт на расстояние 100 км. Потери энергии не должны превышать 2 %. Какое минимальное сечение провода с удельным сопротивлением  $1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м пригодно для этой цели, если передаваемое напряжение 5000 В? Во сколько раз можно уменьшить сечение провода при увеличении напряжения до 50 кВ?
2. Волны с частотой 1 Гц и амплитудой колебаний 2 см распространяются со скоростью 30 м/с. Чему равно смещение точки, находящейся на расстоянии 30 м от источника волн, в тот момент, когда от начала колебаний источника прошло 4 с?

### Олимпиада.

### Урок 12. Звук.

#### I. Вопросы (блиц):

1. Почему волна «лижет» берег?
2. Водитель, имея одно запасное колесо, отправился в путешествие. Известно, что он периодически менял колеса. В конце пути выяснилось, что первое колесо проехало 1000 км, второе – 900 км, третье – 800 км, четвертое – 700 км и пятое 600 км. Какое расстояние проехал автомобиль? 1000 км
3. При интерференции волны могут гасить друг друга. Не противоречит ли этот факт закону сохранения энергии?
4. Почему одинокая свая, вбитая в дно, не ослабляет волн на воде?
5. Если две волны интерферируют друг с другом, то влияет ли одна волна на распространение другой?
6. Почему от прямоугольного кирпича на поверхности воды распространяется кольцевая волна?
7. Почему короткие волны на поверхности воды теряют больше энергии, чем длинные волны?
8. Волны из открытого океана в том месте, где они достигают берега, они всегда ему параллельны. Почему?
9. Почему излучаемые точками волнового фронта вторичные волны образуют только бегущую вперед волну?
10. Принцип Гюйгенса-Френеля дает возможность объяснить такие явления, как рефракцию, дифракцию, интерференцию. Поясните!

## II. Задачи (блиц):

1. Какую мощность можно передавать, посылая синусоидальные волны по натянутой веревке? Веревка имеет линейную плотность  $0,3 \text{ кг/м}$  и находится под натяжением силой  $100 \text{ Н}$ . Конец веревки трясут с частотой  $2 \text{ Гц}$  и амплитудой  $15 \text{ см}$ .  $9,7 \text{ Вт}$
2. Определить мощность точечного изотропного источника акустических волн  $N$ , если на расстоянии  $r = 25 \text{ м}$  интенсивность составляет  $I = 20 \text{ мВт/м}^2$ .  $15,6 \text{ Вт}$
3. По поверхности озера бегут волны со скоростью  $2 \text{ м/с}$ . Моторная лодка движется навстречу волнам со скоростью  $5 \text{ м/с}$ . С какой частотой бьются волны о нос лодки, если поплавок на поверхности воды колеблется с частотой  $0,5 \text{ Гц}$ ?  $1,75 \text{ Гц}$

**III. Звуковая волна** - колебательное движение частиц упругой среды, которое переносит энергию, удаляясь от места своего возникновения.

**Звук** - ощущение, возникающее при воздействии звуковой волны на рецепторы внутреннего уха.

**Источники звука** - любые колеблющиеся объекты, вызывающие местное изменение давления или механического напряжения. Пример и демонстрация с колебаниями зажатой в тиски стальной линейки. Примеры источников звука: камертон, струна, динамик, свисток, сирена, голосовые связки. **Приемники звука:** микрофон, ухо.

Осциллограмма звука. Гармонический характер колебание мембраны микрофона (демонстрация). **Музыкальный звук** – гармоническое колебание определенной частоты и амплитуды. Его характеризуют три физических параметра: высота, громкость, тембр. Зависимость высоты тона от частоты колебаний источника звука. Скорость звука  $v = \lambda \cdot \nu$ .

**Громкость звука.** Интенсивность – измеряемое свойство звуковой волны, а громкость – ощущение, вызванное звуковой волной. Зависимость громкости звука от амплитуды звуковой волны (демонстрация). Единица громкости звука - децибел (дБ):  $\beta = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$ , где  $I_0 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$  - порог звукового ощущения.

### Свойства звуковых волн:

1. **Отражение звуковых волн.**
2. **Преломление звуковых волн.** Как будут распространяться звуковые волны, если воздух у земли более прохладный, чем воздух над землей? Такое искривление (преломление) волн называется рефракцией.
3. **Интерференция звуковых волн.**
4. **Дифракция звуковых волн.**
5. **Независимость распространения звуковых волн.**
6. **Эффект Доплера.**  $T_0 = \lambda_0 / c$  - период колебаний при неподвижном источнике звука,  $\lambda = \lambda_0 - VT_0$  - длина волны, воспринимаемая неподвижным наблюдателем, если источник звука движется навстречу приемнику со скоростью  $\vec{V}$ :

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_0 - VT_0} = \frac{c}{\lambda_0 - \frac{V}{c} \lambda_0} \rightarrow v = \frac{v_0}{1 - \frac{V}{c}}$$

#### IV. Задачи (блиц):

1. Два одинаковых динамика, подключенных к одному звуковому генератору с частотой  $\nu = 3$  кГц, стоят на краю стола на расстоянии  $d = 1$  м друг от друга. Наблюдатель, медленно идущий параллельно краю стола на расстоянии  $L = 10$  м от него, периодически перестает слышать звук динамиков. Когда наблюдатель находится напротив динамиков, расстояние между соседними точками, в которых не слышен звук, равно  $\Delta x = 1,1$  м. По этим результатам найти скорость звука в воздухе. 330 м/с
2. Модуль объемного сжатия стали равен  $1,6 \cdot 10^{11}$  Па, а ее плотность  $7800$  кг/м<sup>3</sup>. Чему равна скорость звука в железнодорожном рельсе? Если кто-нибудь ударит по рельсу на таком расстоянии, что звук дойдет до вас по воздуху за 1 с, сколько времени потребуется звуку, распространяющемуся по рельсу? 75 мс
3. Пуля пролетела со скоростью, в два раза большей скорости звука на расстоянии 5 м от человека. На каком расстоянии от человека была пуля, когда он услышал ее свист? 10 м

#### Олимпиада.

1. С авианосца, движущегося со скоростью  $v_a = 60$  км/ч навстречу эсминцу, посылается по воде ультразвуковой сигнал частотой  $\nu_0 = 60$  кГц. Отраженный от эсминца сигнал принимается на авианосце с частотой  $\nu = 63$  кГц. Определить скорость  $v$ , эсминца. Скорость ультразвука в воде  $c = 1,5$  км/с. 140 км/ч
2. На материальную точку массой  $m$ , движущуюся вдоль оси  $x$ , действует сила, проекция которой на ось  $x$  изменяется по закону:  $F_x = -\beta v_x$ , где  $\beta$  – постоянная величина. Найти путь, который необходимо пройти точке, чтобы ее скорость уменьшилась в два раза.  $S = m \cdot \ln 2 / \beta$ .

#### Вопросы (блиц):

1. Почему басовые струны музыкальных инструментов оплетают спиралью из проволоочки?
2. Отчего эхо от высокого звука, например крика, обычно громче и отчетливее, чем от низкого?
3. На какой частоте слышен гул из трансформаторной будки?
4. Почему днем на пляже голоса звучат приглушенно, а вечером наоборот звучат громко?
5. Почему после вдыхания тяжелого газа фторида серы, который впятеро плотнее воздуха, даже женщины начинают говорить басом?
6. Мощные ветра циклона порождают инфразвук, который можно зафиксировать на расстоянии нескольких тысяч километров. Почему?
7. Какое выражение является правильным: «всякое звучащее тело колеблется» или «всякое колеблющееся тело звучит»?
8. В соревнованиях «Формула – 1» проезжающий автомобиль издает шум громкостью примерно 110 дБ. Какой громкости шум будут издавать 20 одновременно проезжающих мимо наблюдателя автомобилей?
9. Почему звуковые волны при землетрясениях проходят через все более глубокие слои с всевозрастающей скоростью?

10. В условиях тишины слышно тиканье часов, а в условиях шума можно не услышать даже громкий разговор. Почему?
11. Почему у мальчиков «ломается голос»?
12. Голос слышен на большом расстоянии, но слов иногда разобрать нельзя. Чем это объяснить?
13. Вращая звучащий камертон около уха, можно заметить усиление и ослабление звука.
14. Почему шум от движущегося поезда резко возрастает, когда поезд въезжает в туннель?
15. Зажимая струну гитары пальцем, мы как бы уменьшаем ее длину, почти не меняя натяжения. Как вы думаете, что происходит с высотой звука?
16. Как вы думаете, почему скорость звука в воде увеличивается как с увеличением температуры, так и с увеличением давления?
17. Утверждается, что на улице струнные инструменты звучат выше, чем в теплом помещении, а духовые наоборот. Так ли это?
18. Почему на воздушном шаре пассажиры хорошо слышат звуки, порожденные на земле?
19. Точно посередине между наблюдателем и скалой в дерево ударила молния. Наблюдатель услышал первый раскат грома через 1 с после вспышки молнии. Через какое время после вспышки молнии наблюдатель услышит отраженный от скалы звук? 3 с

### Олимпиада.

### Занятие 13. Электромагнитные волны.

#### I. Вопросы (блиц):

1. Поглощаемость звука стеклом значительно меньше поглощаемости звука воздухом, однако, закрывая окно, мы значительно ослабляем слышимость уличного шума. Чем это можно объяснить?
2. В каком случае вкладчик получит больше денег: если банк начисляет доход 12% один раз в год или если он начисляет по 1% каждый месяц? Начисленный доход сразу добавляется к имеющейся на счету сумме. Во втором случае  $A_2 = (1,01)^{12} = 1,127A$
3. Почему звуковые волны, испускаемые китами, распространяются на очень большие расстояния, а дельфинов – только на несколько десятков метров?
4. Как изменится звук струны, если удар будет сильнее?
5. Почему во время снегопада так тихо (воздух в снежинках).
6. По мере погружения в глубину голос водолаза становится визгливым, а речь неразборчива («утинная» речь). Почему?
7. Амплитуда звуковой волны возросла вдвое. Чему это соответствует в децибелах?
8. Открытая с двух сторон труба имеет первую резонансную частоту  $\nu_1 = 440$  Гц. Какой станет первая резонансная частота этой трубы, если закрыть один из ее концов? 220 Гц

9. Интенсивность звука от громкоговорителя прямо пропорциональна квадрату приложенного напряжения. Если напряжение увеличивается в 10 раз, то на сколько децибел возрастает громкость звука?
10. Эффект Доплера при распространении звука сильнее, когда движется источник, чем, когда движется наблюдатель. Так ли это?
11. Два когерентных источника излучают звуковые волны в одинаковых фазах с периодом  $10^{-3}$  с. Каков результат интерференции волн, для которых разность хода равна 29 м, скорость волн 1450 м/с?

**II. Задачи (блиц):**

1. Смещение от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии 4 см от источника колебаний, в момент времени  $t=T/6$  равно половине амплитуды. Найти длину волны. 0,48 м
2. Уровень громкости звука реактивного самолета на расстоянии 30 м от него равен 140 дБ. Каков уровень громкости от самолета на расстоянии 300 м? Отражением от земли пренебречь. 120 дБ
3. Прижимая струну, скрипачи задают частоту колебаний, а клапаны духовых инструментов задают длину волны издаваемого звука. Из-за открытого в зале баллона с гелием скорость звука увеличилась на 10%. На сколько герц теперь стали отличаться частоты инструментов, изначально настроенных на 300 Гц?
4. Работающая в помещении животноводческого комплекса электродойка создает уровень шума в 75 дБ. Определить уровень шума, когда в помещении будут включены сразу три таких установки. 84,5 дБ

**III.** Синусоидальная электромагнитная волна (мгновенный "снимок" электромагнитной волны). Частота колебаний. Длина электромагнитной волны по рисунку. Связь между длиной волны, частотой и скоростью распространения волны:  $v = \lambda \nu$ .

**Формулы электродинамики:**  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  (скорость света);  $B = E/c$ ;  $v = \frac{c}{\sqrt{\mu \epsilon}}$ .

Закон изменения электрического и магнитного векторов в электромагнитной волне:  $E_z = E_{\max} \sin(kr - \omega t)$ ;  $B_y = B_{\max} \sin(kr - \omega t)$ .

Устройство ГВЧ. Излучение и прием электромагнитных волн.

**Выводы:**

- Электромагнитная волна поперечна.
- Переменные электромагнитные поля отрываются от проводника с током и переносят энергию в пространстве.

Наличие ускорения - главное условие излучения электромагнитных волн. Плотность энергии и плотность потока электромагнитного излучения

(интенсивность):  $u = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} = \epsilon_0 \cdot E^2 = \frac{B^2}{\mu_0}$ ;  $I = \frac{u}{S} \frac{dV}{dt} = u \cdot c = \epsilon_0 c E^2 = \frac{c B^2}{\mu_0}$ .

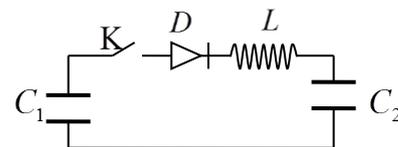
В формуле  $B$  и  $E$  - действующие значения. Плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне равны друг другу.  $I \sim E^2 \sim B^2 \sim \omega^4 \sim v^4 \rightarrow I \sim v^4$ . Интенсивность излучаемой электромагнитной волны пропорциональна частоте в четвертой степени.

#### IV. Задачи (блиц):

1. Электрическая составляющая электромагнитного поля изменяется по закону:  
 $E_z(t,x) = 2 \cdot \sin(3 \cdot 10^{15}t - 2 \cdot 10^7x)$  В/м. Найдите показатель преломления среды, в которой электромагнитная волна распространяется. 2
2. Плоская электромагнитная волна с напряженностью электрического поля  $E_z = 200 \cdot \sin(6,28 \cdot 10^8t + 4,55x)$  распространяется в среде с относительной магнитной проницаемостью  $\mu = 1$ . Какова скорость волны и показатель преломления вещества среды?  $1,38 \cdot 10^8$  м/с. 2,17
3. Какова интенсивность электромагнитной волны в вакууме, если амплитуда напряженности ее электрического поля составляет 27,5 В/м.  $1 \text{ Вт/м}^2$
4. Луч лазера мощностью 5 мВт имеет диаметр 2 мм. Чему равны средне-квадратичные значения  $E$  и  $B$  в луче лазера? 774 В/м; 0,258 мТл

#### Олимпиада.

2. Камень выпускают из рогатки с некоторой высоты над горизонтальной поверхностью земли так, чтобы достичь максимальной дальности полета. Начальная скорость камня  $v_0 = 30 \text{ м/с}$ , а его скорость непосредственно перед падением на землю  $v = 40 \text{ м/с}$ . Найдите время полета камня.  $t = \sqrt{v_0^2 + v^2} / g = 5 \text{ с}$ .
3. К конденсатору ёмкостью  $C_1 = 0,5 \text{ мкФ}$  через диод  $D$  и катушку индуктивности  $L$  подключен конденсатор ёмкостью  $C_2 = 2 \text{ мкФ}$ . До замыкания ключа  $K$  конденсатор  $C_1$  был заряжен до напряжения  $U = 50 \text{ В}$ , а конденсатор  $C_2$  – не заряжен. После замыкания ключа система перешла в новое состояние равновесия, в котором напряжение на конденсаторе  $C_2$  оказалось равным некоторому значению  $U_2$ . Определите напряжение  $U_2$ . (Активное сопротивление мало.) 20 В.



#### Вопросы (блиц):

1. Почему вода очень сильно поглощает электромагнитные волны?
2. Длина линии электропередачи переменного тока частоты 50 Гц составляет 600 км. Оценить разность фаз напряжения в сети на этом расстоянии.
3. В современных технологических импульсных лазерных установках напряженность электрического поля достигает  $E_{\text{max}} \sim 10^9 \text{ В/м}$ . Оцените плотность энергии, а также интенсивность лазерного излучения.
4. Внутри конденсатора на рисунке существуют электрические и магнитные поля. Изменяется ли и как заряд на обкладках конденсатора?
5. Каким будет уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с показателем преломления  $n$ ?
6. Заряженный шарик укрепили на краю диска, который привели во вращение. Будет ли вращение сопровождаться излучением электромагнитных волн?
7. Почему неподвижные электрические заряды не взаимодействуют с магнитными полями, а подвижные – взаимодействуют?
8. Мгновенное значение магнитной индукции в распространяющейся вправо электромагнитной волне изображается в некоторой точке вектором, идущим от нас. В какую сторону направлено ускорение электрона, оказавшегося в этой точке?



9. Чем вихревое поле отличается от потенциального поля?
10. Если две электромагнитные волны одинаковой частоты приходят в одну точку, то чему равна разность фаз между ними?
11. Почему все материалы, температура которых выше абсолютного нуля, являются источниками электромагнитных волн (электромагнитный шум)?

### Олимпиада.

#### Занятие 14. Радио.

##### I. Вопросы (блиц):

1. Можно ли использовать в качестве излучающей антенны резистор; конденсатор; катушку индуктивности?
2. Два землекопа роют канаву. Один из них за час может прокопать в 2 раза больше, чем другой, а платят им за каждый час работы одинаково. Что обойдется дешевле: одновременная работа землекопов с двух сторон «до встречи», или рытье половины канавы каждым из них? Первый вариант деш. в 2р
3. От чего зависит скорость электромагнитной волны?
4. Какую величину можно найти по этой формуле:  $\frac{1}{\mu_0 c^2}$ ? Электрическую постоянную
5. Обкладки заряженного конденсатора замыкают сверхпроводником. Куда девается запасенная в конденсаторе энергия?
6. Во сколько раз надо увеличить частоту колебаний электромагнитной волны, чтобы при удалении от источника на расстояние, вдвое большее первоначального, интенсивность волны не изменилась?
7. В среде распространяется плоская электромагнитная волна. Получите выражение для периода колебаний через диэлектрическую и магнитную проницаемость среды, длину волны и фундаментальные константы  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$ .
8. Как изменяется интенсивность волны, если ее частота увеличивается в два раза при 1) неизменной скорости волны; 2) неизменной длине волны?  
1) возрастет в 4 раза; 2) возрастет в 2 раза.
9. Почему кусок сырого мяса, завернутый в металлическую фольгу, даже не нагревается в микроволновой печи?
10. Почему одинаковы объемные плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне?
11. Генератор УВЧ излучает электромагнитную волну частотой 500 МГц, которая падает нормально на плоский металлический лист и отражается от него. На какое минимальное расстояние нужно отодвинуть этот лист, чтобы максимум интенсивности в некоторой точке сменился минимумом?
12. Почему для ускорения электронов в циклотроне необходимо затратить большую энергию, чем в линейном ускорителе?
13. Назовите источники электромагнитных волн.
14. Почему инфракрасное излучение нагревает предметы, а радиоволны — нет?
15. Почему электрическая дуга является источником электромагнитных волн различной длины и создает помехи в радиоприемнике?
16. Почему не всякая электромагнитная волна, например, свет от карманного фонарика, способна зажарить отбивную?

## II. Задачи (блиц):

5. Электромагнитные волны от двух когерентных источников падают в некоторую точку экрана. Интенсивность от первого источника в этой точке  $I_1$ , а от второго  $I_2=4I_1$ . Суммарная интенсивность от обоих источников  $I_0=I_1$ . Какова разность фаз между векторами напряженности электрического поля волн в этой точке?  $\pi$
6. Стандартная частота микроволновой печи 2450 МГц. Какой длине волны это соответствует? Каково расстояние между излучателем и отражателем? 12 см
7. На расстоянии 300 м от Останкинской телевизионной башни плотность потока излучения максимальна и равна  $40 \text{ мВт/м}^2$ . Какова плотность потока излучения на расстоянии уверенного приема, равном 120 км?  $0,25 \text{ мкВт/м}^2$
8. Предположим, что электрон проводимости находится в переменном электрическом поле  $E_x = E_0 \cos \omega t$ , где  $E_0 = 100 \text{ В/м}$  и  $\nu = 10 \text{ МГц}$ . Какова амплитуда его колебаний и максимальная скорость?  $0,45 \text{ см}$ ,  $2,8 \cdot 10^5 \text{ м/с}$

**III. Принцип современной радиосвязи** (объяснение по плакату). Блок-схемы передающего и приемного устройств. Звуковые колебания:  $\nu = \{20 - 20000 \text{ Гц}\}$ .

**Радиосвязь** — передача и приём информации с помощью электромагнитных волн радиодиапазона. **Радиовещание** — передача и приём речи и музыки с помощью электромагнитных волн радиодиапазона.

**В основе радиосвязи лежат три принципа:**

- Использование электромагнитной волны высокой частоты в качестве несущей низкочастотную информацию;
- Применение в передатчике и в приемнике колебательных контуров, настроенных на несущую частоту;
- Модуляция высокочастотного сигнала в передатчике сигналом низкой частоты и демодуляция в приемнике.
- **Микрофон** преобразует механические звуковые колебания в электрические той же частоты.
- **Модулирующее устройство** изменяет (модулирует) по амплитуде высокочастотные колебания с помощью электрических колебаний низкой частоты НЧ.
- **Передающая антенна** излучает модулированные электромагнитные волны.
- **Приёмная антенна** принимает электромагнитные волны. Электромагнитная волна, достигшая приёмной антенны, индуцирует в ней переменный ток той же частоты, на которой работает передатчик.
- **Детектор** выделяет из модулированных высокочастотных колебаний низкочастотные колебания.
- **Динамик** преобразует электромагнитные колебания в механические звуковые колебания.

## IV. Задачи (блиц):

1. Антенна длиной 1,8 м ориентирована параллельно вектору напряженности электрического поля электромагнитной волны. Какова интенсивность волны, если она возбуждает в антенне ЭДС 1 мВ?  $8,2 \cdot 10^{-10} \text{ Вт/м}^2$
2. Чему равно действующее значение ЭДС, возбуждаемой в антенне, которая представляет собой катушку диаметром 0,5 см, содержащую 600 витков, если электромагнитная волна имеет частоту 1 МГц и плотность потока энергии в области антенны равна  $2 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2$ ? Как необходимо расположить катушечную антенну, чтобы наводимая в ней ЭДС была максимальна? 0,27 мВ

Олимпиада.

4. Камень выпускают из рогатки с некоторой высоты над горизонтальной поверхностью земли так, чтобы достичь максимальной дальности полета. Начальная скорость камня  $v_0 = 30 \text{ м/с}$ , а его скорость непосредственно перед падением на землю  $v = 40 \text{ м/с}$ . Найдите время полета камня.  $t = \sqrt{v_0^2 + v^2} / g = 5 \text{ с}$ .
5. Расстояние  $L$  между опорами линии электропередач равно 50 м. Гибкие, но нерастяжимые провода натянуты так, что вблизи опор они составляют с горизонтом одинаковые малые углы  $\alpha = 10^\circ$ . Какова самая низкая частота поперечных колебаний таких проводов при ветре? А продольных? 0,38 Гц. 32 Гц

*Вопросы (блиц):*

1. Почему молния является источником радиоволн (радиоприемники трещат в грозу)?
2. Разряд молнии представляет собой колебания некоторой частоты. Почему?
3. Почему грозовые разряды часто игнорируют медные громоотводы и выбирают альтернативные пути к земле?
4. Назовите приемники электромагнитных волн.
5. В двух идеальных одинаковой длины и с одинаковым числом витков катушках, но разной площади, протекают одинаковые токи. От какой из катушек при выключении тока помеха будет больше? Почему?
6. Почему все радиостанции не работают на одной несущей частоте?
7. Каким образом в радиоприемнике выделяются из большого числа высокочастотных колебаний, индуцируемых в антенне, только колебания нужной радиостанции?

**Разное.**

1. Во сколько раз нужно увеличить емкость контура радиоприемника, настроенного на частоту 6 МГц, чтобы можно было слушать радиостанцию, работающую на длине волны 100 м?

**Олимпиада.**

## **Занятие 15. Радиолокация.**

**I. Вопросы (блиц):**

1. Можно ли использовать в качестве излучающей антенны резистор; конденсатор; катушку индуктивности?
2. Петя купил две книги. Первая книга оказалась на 75% дешевле второй. На сколько процентов вторая книга дороже первой? 300%
3. Две электромагнитные волны, излученные когерентными источниками с одинаковой начальной фазой, дошли до точки наложения с разностью фаз  $2\pi$ ,  $\pi$ ,  $2\pi/3$ . Интенсивность каждой волны равна  $I$ . Чему равна интенсивность в этой точке вследствие интерференции.  $4I$ ,  $0$ ,  $2I$
4. Обкладки заряженного конденсатора замыкают сверхпроводником. Куда девается запасенная в конденсаторе энергия?
5. Во сколько раз надо увеличить частоту колебаний электромагнитной волны, чтобы при удалении от источника на расстояние, вдвое большее первоначального, интенсивность волны не изменилась?
6. Каково происхождение «тресков», которые мешают приему радиопередачи приемником?
7. Почему кусок сырого мяса, завернутый в металлическую фольгу, даже не

нагревается в микроволновой печи?

8. Электроемкость колебательного контура 50 пФ. Зная, что контур настроен на длину волны 20 м, а запасенная в нем энергия равна  $10^{-8}$  Дж, найдите максимальный ток в цепи контура. Скорость света  $3 \cdot 10^8$  м/с. Ответ. 94 мА.
9. Почему одинаковы объемные плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне?
10. Почему для ускорения электронов в циклотроне необходимо затратить большую энергию, чем в линейном ускорителе?
11. Назовите источники электромагнитных волн.
12. Почему инфракрасное излучение нагревает предметы, а радиоволны — нет?
13. Почему не всякая электромагнитная волна, например, свет от карманного фонарика, способна зажарить отбивную?

## II. Задачи (блиц):

1. Параметры импульса рубинового лазера следующие: время импульса  $\tau = 0,1$  мс, средняя энергия импульса  $W=0,3$  Дж, диаметр пучка  $d = 5$  мм. Каковы напряженность электрического поля и интенсивность излучения лазера?  $2,4 \cdot 10^5$  В/м.  $51$  МВт/м<sup>2</sup>.
2. Генератор излучает импульсы сверхвысокой частоты с энергией в каждом импульсе 6 Дж. Частота повторения импульсов 700 Гц. КПД генератора 60%. Сколько литров воды в час надо пропускать через охлаждающую систему генератора, чтобы вода нагрелась не выше, чем на 10 К?  $6 \cdot 10^5$  л/ч

## III. Дифракция радиоволн. Поверхностная и пространственная волна.

Предположительные свойства и особенности распространения: 1) длинных волн ( $10^4 - 10^3$  м), 2) сверхдлинных волн ( $10^5 - 10^4$  м, проникают в толщу океанов и Земли), 3) средних волн ( $10^3 - 10^2$  м), 4) коротких волн ( $10^2 - 10$  м), 5) ультракоротких волн (меньше 10 м). Для радиоволн с частотой выше 30 МГц ионосфера прозрачна.

### Локация с помощью звуковых волн. Для этого необходимо:

- Создать направленный звуковой сигнал.
- Принять отраженный звуковой сигнал.
- Измерить время прохождения сигнала до цели и обратно, определить дальность.

Сигнал необходимо посылать в виде отдельных импульсов, с некоторой паузой между ними. Длительность паузы определяет глубину разведки.

**Примеры:** эхолот (карты морского дна), летучие мыши, ультразвуковая дефектоскопия.

**Радиолокация** – это определение и обнаружение местоположения различных объектов при помощи радиоволн. Радиолокация осуществляется при помощи прибора – радиолокатора (радар). В радарах антенны передающая и приемная соединены вместе, радиолокатор – это комбинация приемника и передающего устройства. Работает радиолокатор в импульсном режиме. Импульсный режим составляет одну миллионную секунды. Посылается сигнал – и радар автоматически переключается на прием этого сигнала. Свойства работы радара основаны на том, что электромагнитная волна способна отражаться от поверхности. Вот этот отраженный сигнал радар и принимает в тот момент

времени, когда он работает на прием. Расстояние до цели при помощи радара определяются по формуле, которую используют при расчетах:  $l = \frac{ct}{2}$ .

#### IV. Задачи (блиц):

1. Какой минимальной высоты должны быть две телевизионные антенны-ретранслятора, для обеспечения устойчивой передачи сигнала, если расстояние между ними 200 км? 780 м
2. Радиолокатор работает в импульсном режиме. Частота повторения импульсов  $\nu = 1500$  Гц. Длительность импульсов  $\tau = 1,2$  мкс. Чему равны максимальная и минимальная дальности обнаружения цели? 100 км. 180 м.
3. На экране электроннолучевой трубки радиолокатора расстояние между пиками отправленного и отраженного сигнала  $d = 10$  мм. Скорость движения по экрану луча, производящего горизонтальную развертку,  $v = 1$  м/с. Чему равно расстояние от локатора до объекта? 1500 км
4. Определите скорость автомобиля, если частота излучения радара  $1,0 \cdot 10^{10}$  Гц, а разность между частотами излучения, испущенного радаром и отраженного движущимся транспортным средством (зафиксированного радаром), равна 1000 Гц. 30 м/с

#### Олимпиада.

1. На материальную точку массой  $m$  действует сила, проекция которой на ось  $y$  изменяется по закону:  $F_y = \alpha y$ , где  $\alpha$  – постоянная величина. Найти зависимость модуля скорости точки от времени, если в начальный момент времени проекции ее скорости  $v_{0x}$  и  $v_{0y}$ .  $v = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2 e^{2\alpha t / m}}$
2. На какой высоте над Землей следует расположить три спутника, чтобы с их помощью можно было обеспечить телевидение в любой точке Земли? Каков должен быть период обращения этих спутников вокруг Земли? 6400 км. 3,9 ч
3. В камеру напускают аргон, который ионизируют, и ионы плазмы под действием переменного электрического поля начинают совершать колебательные движения. Поле меняется по закону  $E(t) = E_0 \cos(\omega t)$ ,  $E_0 = 0.05$  В/м. При какой частоте  $\omega$  однозарядный ион аргона, который находился строго посередине камеры и не имел начальной скорости, коснется подложки? Расстояние от середины камеры до подложки  $l = 50$  см. Считайте, что ионы не взаимодействуют друг с другом.  $490 \text{ с}^{-1}$

#### Вопросы (блиц):

1. Почему нельзя осуществить радиосвязь с подводной лодкой, когда она находится под водой?
2. Почему антенны автомобильных радиоприемников устанавливают, как правило, вертикально?
3. Почему не используют радиоволны для передачи энергии на расстояние?
4. Почему дальность действия УКВ - телефона ограничена?
5. Почему при радиосвязи на коротких волнах образуются зоны молчания?
6. Почему после продолжительного проливного дождя (над обширными водными поверхностями) дальность радиопередачи увеличивается?
7. Почему в радиодиапазоне можно регистрировать излучение от очень далеких

космических объектов?

8. Почему пропадает сигнал спутникового телевидения при сильном дожде?
9. Судовая радиолокационная станция излучает радиоволны длиной 0,8 см. Какого размера должен быть предмет, чтобы его можно было обнаружить с помощью судового радиолокатора?
10. После солнечной вспышки радиосвязь для пилотов, летающих в полярных широтах, становится невозможной. Почему?
11. Почему увеличение дальности радиолокации в два раза требует увеличение мощности радиопередатчика как минимум в 16 раз?
12. Почему для обнаружения летающих объектов выгоднее использовать электромагнитные волны, а не звуковые?
13. Излучаемая радаром электромагнитная волна отразилась от космического объекта и вернулась на Землю через несколько лет. Может ли быть такое?
14. Почему с помощью радиолокатора можно определить размеры радиоактивного облака и его скорость?
15. Почему для загоризонтных РЛС необходимы сверхмощные и сверхбольшие приемопередающие антенны?
16. Как «помешать» работе радара?

**Олимпиада.**

### **Занятие 16. Законы геометрической оптики.**

#### **I. Вопросы (блиц):**

1. Каков принцип действия СВЧ-печи?
2. Было 9 листов бумаги. Некоторые из них разрезали на 3 части. Всего стало 15 листов (маленьких и больших). Сколько листов разрезали? 3
3. Каким образом эффект Доплера облегчает обнаружение движущихся объектов при радиолокации?
4. Почему птицы, попадающие в зону действия сверхмощного радара, падают замертво уже сварившимися птицами?
5. Какую ошибку в определении расстояния до объекта мы допускаем, используя при радиолокации зондирующие импульсы микросекундной (наносекундной) длительности?
6. Почему в микроволновой печи еда помещается на вращающемся столе, а в обычной печи – нет?
7. Почему на экране радиолокатора человек будет неотличим от мешка с грязным бельём?
8. Почему увеличение дальности радиосвязи с космическими кораблями в 2 раза требует увеличение мощности передатчика в 4 раза, а увеличение дальности радиолокатора в 2 раза требует увеличение мощности передатчика в 16 раз?
9. Можно ли видеть дальше линии горизонта?
10. Можно ли с помощью СВЧ-печи сварить яйцо?
11. Многие считают, что гудение высоковольтных проводов связано с ветром, другие – с коронным разрядом, третьи – с магнитным полем Земли, четвертые – с магнитным взаимодействием проводов. А как считаете вы?

## II. Задачи (блиц):

1. Радиостанция передает звуковой сигнал, частота которого 440 Гц. Определите число колебаний высокой частоты, переносящих одно колебание звуковой частоты, если передатчик работает на волне длиной 50 м? 13636
2. С какой максимальной силой взаимодействуют между собой провода ЛЭП на расстоянии 1 м при амплитуде силы тока в проводах 50 А, если расстояние между опорами 50 м. С какой максимальной силой взаимодействуют эти провода с магнитным полем Земли? Почему ЛЭП гудят на частоте 100 Гц? 15 мН. 0,125 Н

## III. Световой луч - линия, вдоль которой распространяется световая энергия. Геометрическая оптика – наука о световых лучах!

### 1. Световые лучи распространяются независимо друг от друга.

Луч света распространяется между двумя точками по пути, на прохождение которого он затрачивает минимальное время.

### 2. Закон отражения света: $\alpha = \beta$ .

### 3. Закон преломления света: $\frac{\sin \alpha}{v_1} = \frac{\sin \gamma}{v_2} \rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ (закон Снеллиуса).

### 4. Закон прямолинейного распространения света.

### 5. Принцип обратимости световых лучей.

## Применение законов геометрической оптики.

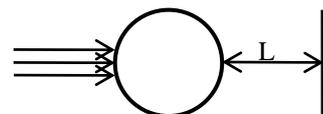
### Плоское зеркало.

## IV. Задачи (блиц):

1. Палка, стоящая вертикально на горизонтальной площадке, освещаемой солнечным светом, имеет высоту 1,2 м и отбрасывает тень длиной 0,9 м. Палку начинают медленно наклонять в направлении отбрасываемой ею тени так, что ее нижний конец не сдвигается с места. Длина тени при этом до определенного момента увеличивается, а потом начинает уменьшаться. Чему была равна максимальная длина тени от палки? 1,5 м
2. Требуется осветить дно колодца, направив на него солнечные лучи. Как надо расположить плоское зеркало по отношению к земле, если лучи Солнца падают под углом  $60^\circ$  к горизонту?  $75^\circ$  к горизонту
3. Взрыв Тунгусского метеорита наблюдался на горизонте в городе Киренске в 350 км от места взрыва. Определите, на какой высоте произошел взрыв. 9,6 км
4. На дне ручья лежит камешек. Мальчик хочет попасть в него палкой. Прицеливаясь, мальчик держит палку в воздухе под углом  $45^\circ$ . На каком расстоянии от камешка, воткнется палка в дно ручья, если его глубина 12 см?
5. Круглый бассейн радиусом  $R = 5$  м залит до краев водой. Над центром бассейна на высоте  $h_1 = 3$  м от поверхности воды висит лампа. На какое расстояние от края бассейна может отойти человек, рост которого  $h_2 = 1,8$  м, чтобы все еще видеть отражение лампы в воде. 3 м
6. Скорость света в веществе А в  $\sqrt{3}$  раз больше, чем в веществе В. Некоторый луч света прошел через вещество А к границе раздела веществ и, преломившись, попал в вещество В. Угол падения этого луча в 2 раза больше угла преломления. Найдите угол падения данного луча.  $60^\circ$

### Олимпиада.

1. Человек идёт ночью по улице, освещённой фонарями. В некоторый момент он обратил внимание на то, что тень, которую он отбрасывает перед собой, в два раза короче тени за его спиной. Пройдя 5 метров, он заметил, что ситуация изменилась: теперь тень за спиной в два раза короче тени перед ним. На каком расстоянии друг от друга стоят на этой улице фонарные столбы, если все они одинаковой высоты? 15 м
2. Как велик центральный угол шарового сегмента земной поверхности, освещаемого Луной в полнолунии? Принять радиус Земли  $r$ , радиус Луны равным  $0,273 r$ , а взаимное расстояние  $L$  Земли и Луны равным  $60 r$ .  $1,4^\circ$  или  $4,6 \cdot 10^{-4}$  стер
3. Параллельный пучок световых лучей радиуса  $r = 0,5$  см падает на прозрачный шар радиуса  $R = 10$  см. Показатель преломления вещества шара  $n = 2$ . За шаром на расстоянии  $L = 20$  см от него расположен экран, перпендикулярный лучу. Найти радиус светлого пятна на экране. 1 см



### Вопросы (блиц):

1. Почему "провода" в линиях оптической связи могут пересекаться друг с другом?
2. Почему тень от ног человека на земле резко очерчена, а тень от головы расплывчата?
3. Почему неровности дороги днем видны хуже, чем ночью при освещении дороги фарами автомобиля?
4. Человек, стоящий на берегу озера, видит на гладкой поверхности воды изображение Солнца. Как будет перемещаться это изображение при удалении человека от озера?
5. Заходящее Солнце освещает решетчатую ограду. Почему в тени, отбрасываемой решеткой на стену, отсутствуют тени вертикальных прутьев, тогда как тени горизонтальных отчетливо видны? Толщина прутьев одна и та же.
6. Если на лист белой бумаги попадает растительное масло, то она становится прозрачной, так что через нее можно даже прочесть текст, напечатанный с другой стороны листа. Как это объяснить?
7. Почему на поверхности реки или озера против Солнца видна сверкающая дорожка? Как она образуется? Будет ли наблюдаться явление при идеально спокойной поверхности воды? Почему дорожка всегда ориентирована на наблюдателя?
8. Зимой, когда земля покрыта снегом, лунные ночи бывают светлее, чем летом. Почему?
9. Почему параллельные лучи света остаются параллельными, пройдя огромные расстояния, что позволяет нам видеть отдельные звезды?
10. Какова должна быть наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек в нем мог видеть свое изображение во весь рост, не изменяя положения головы?
11. При сильной облачности можно увидеть светлые и темные лучи, выходящие

из облаков вблизи Солнца. Как они возникают?

12. Можно ли при помощи плоского зеркала (системы плоских зеркал) получить действительное изображение точечного источника света?
13. Почему иногда ночью зимой над уличными фонарями видны вертикальные световые столбы?
14. Сколько изображений свечи можно увидеть между двумя параллельными зеркалами? Почему они возникают? Чем дальше от вас изображение свечи, тем оно более тусклое. Почему?
15. Человек разглядывает свое изображение, создаваемое зеркальным шаром. Где находится его изображение относительно центра шара?
16. Как турист с помощью угломерного инструмента и блюда с водой сможет измерить высоту Солнца, если горизонт закрыт горным хребтом?

**Олимпиада.**

### **Занятие 17. Полное отражение света.**

#### **I. Вопросы (блиц):**

1. Радиоволны отражаются от металлической крыши зеркально, а свет при отражении от этой же крыши сильно рассеивается. Почему?
2. Внуку столько месяцев, сколько бабушке лет, а вместе им 78 лет. Сколько лет внуку? 6 лет
3. Почему ночью лужа на дороге кажется водителю темным пятном на светлом фоне?
4. Почему Солнце и Луна у горизонта кажутся овальными?
5. Однажды, пролетая над зеркально ровной поверхностью пруда, Карлсон обратил внимание на то, что его скорость относительно пруда в точности равна его скорости удаления от своего изображения в воде. Под каким углом к поверхности пруда летел Карлсон?
6. Луч света падает на систему из двух взаимно перпендикулярных зеркал. Угол падения на плоскость первого зеркала составляет  $15^\circ$ . Каков угол отражения луча от второго зеркала?
7. Почему цвет облаков может изменяться от белого до чёрного цвета?
8. На плоское зеркало, лежащее на столе, поставлена шахматная фигура. Если на фигуру полого направить пучок света, то на стене (экране) появится двойная тень фигуры – прямая и перевернутая. Построением покажите, почему образуется такая тень.
9. При каком размере зеркала солнечный зайчик будет иметь форму зеркала, а при каком – форму диска Солнца?

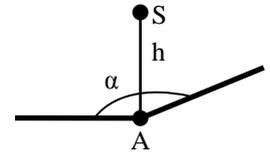
#### **II. Задачи (блиц):**

1. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину толщиной  $d = 2$  см под углом  $\alpha = 30^\circ$ . Каково расстояние  $a$  между лучом А, прошедшим пластину без отражения, и лучом Б, претерпевшим двукратное отражение от ее граней? Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ . **О т в е т.**  $a \approx 1,22$  см.
2. Два плоских зеркала образуют двугранный угол  $\alpha = 150^\circ$ . Точечный источник света  $S$  расположен на перпендикуляре к одному из зеркал, восстановленном в точке  $A$  на расстоянии  $h = 10$  см от зеркала. Каково расстояние  $l$  между

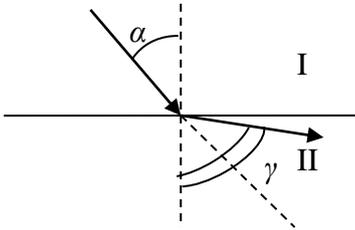
изображениями источника в зеркалах? 10 см

3. Фотографировать тигра с расстояния менее 20 метров опасно.

Какой размер должна иметь камера-обскура с отверстием диаметром 1 мм, чтобы тигр на фотографии был полосатым? Расстояние между полосами на шкуре тигра равно 20 см. 10 см



**III. Прохождение светового луча из оптически менее плотной среды, в оптически более плотную среду:  $n_2 > n_1$ ,  $\sin \alpha > \sin \gamma$ ,  $\alpha > \gamma$ .** Падение на границу раздела рассеянного света.



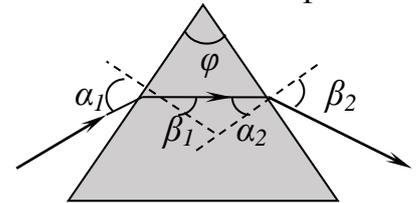
Прохождение светового луча из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду:  $n_1 > n_2$ ,  $\sin \alpha < \sin \gamma$ ,  $\gamma > \alpha$ . Если световой луч переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду, то он отклоняется от перпендикуляра к границе раздела двух сред, восстановленного из точки падения луча. При некотором угле падения, называемом предельным, свет во вторую среду не проходит:  $\sin \alpha_{пред} = n_{21}$ .

**Полное внутреннее отражение. Предельный угол полного внутреннего отражения** при переходе света из стекла в воздух.

**Примеры полного внутреннего отражения:** фонарь на дне реки, кристаллы, оборотная призма (демонстрация), оптическое волокно (демонстрация).

**Мираж** – явление полного отражения света от слоисто-неоднородной среды с переменным показателем преломления. Пример: "лужи" на сухом нагретом асфальте. Моделирование миража с помощью оконного стекла с дефектами (неоднородностями).

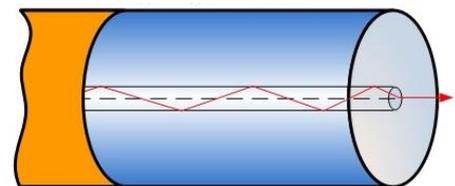
Ход лучей в треугольной призме:  $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = n$ ;  $\frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2} = \frac{1}{n}$ ;  
 $\beta_1 + \alpha_2 = \varphi$ .



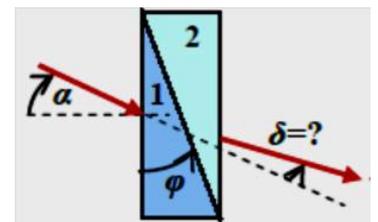
**IV. Задачи (блиц):**

1. Точечный источник света расположен на дне водоема глубиной  $h = 0,6$  м. Преломленный луч, вышедший в воздух в некоторой точке поверхности воды, оказался перпендикулярным лучу, отраженному от поверхности воды обратно в воду. На каком расстоянии  $L$  от источника на дне водоема достигнет дна отраженный луч? Показатель преломления воды принять равным  $n = 4/3$ . 0,9 м.

2. Световод (длинная тонкая нить) изготовлен из прозрачного материала с показателем преломления 1,2. Один из торцов световода прижат к источнику рассеянного света, другой торец размещен на расстоянии 5 см от экрана. Найти диаметр светового пятна на экране. 8,9 см



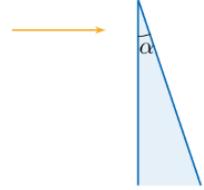
3. Луч света падает перпендикулярно к грани призмы, у которой преломляющий угол  $\varphi = 30^\circ$ . Угол отклонения луча, вышедшего из призмы, от первоначального направления  $\theta = 27^\circ$ . Определить показатель преломления  $n$  стекла призмы. 1,68



### Олимпиада.

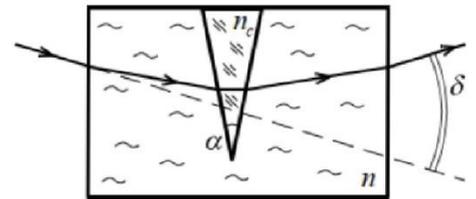
1. Узкий пучок света падает под углом  $\alpha = 4^\circ$  на поверхность плоскопараллельной пластины, склеенной из двух плотно прижатых клиньев с углом при вершине  $\varphi = 3^\circ$ . Разность показателей преломления материалов клиньев  $\Delta n = n_2 - n_1 = 0,5$ . Под каким углом к первоначальному направлению выйдет пучок из пластины?  $1,5^\circ$

2. На стеклянный клин перпендикулярно Э его грани падает тонкий луч света. Показатель преломления стекла  $n = 1,41$ , угол при вершине  $\alpha = 10^\circ$ . Сколько светлых пятен будет видно на экране, поставленном за клином? 2



3. В аквариум в форме прямоугольного параллелепипеда, заполненный жидкостью с показателем преломления  $n = 1,2$ , поместили тонкий стеклянный клин с показателем преломления  $n_c = 1,7$ , и углом при вершине  $\alpha = 0,2$  рад. Снаружи в аквариум пустили луч лазера, который прошел сквозь клин и вышел с противоположной стороны аквариума. Найдите угол отклонения  $\delta$  световых лучей, прошедших через аквариум.

$$\delta = (n_{21} - 1)\alpha + 2\alpha\left(\frac{n_{21} - 1}{n_{21}}\right) \text{ Вроде } 0,2$$



### Вопросы (блиц):

1. Человек стоит по пояс в воде на горизонтальном дне бассейна. Почему ему кажется, что он стоит в углублении?
2. Чем отличается отражение света от явления полного внутреннего отражения?
3. Почему обнаружение подводных лодок или больших косяков рыбы удобно производить с самолёта?
4. Если в тонкий стакан налить примерно до половины воды и посмотреть на нее снизу, то вода вам покажется блестящей, похожей на ртуть. Почему?
5. В утренние и предвечерние часы отражение Солнца в спокойной воде слепит глаза, а в полдень его можно рассмотреть, не жмурясь. Почему?
6. Если вода прозрачная, то почему одежда, попавшая под нее и намокшая, становится темнее?
7. Воздух прозрачен для света, вода также. А пена - пузыри воды, наполненные воздухом, - непрозрачна. Почему?
8. Почему в замерзшей луже те области, где подо льдом образовалась прослойка воздуха, кажутся серебристыми?
9. Такой высокий показатель, а значит и малый предельный угол полного отражения, придаёт огранённому алмазу сильный блеск и игру света. Объясните.
10. Между светящейся точкой и глазом помещается плоскопараллельная стеклянная пластинка. Найдите построением кажущееся положение точки.
11. В жаркую безветренную погоду над морем-океаном можно увидеть парящие танкеры. Возможно ли такое?

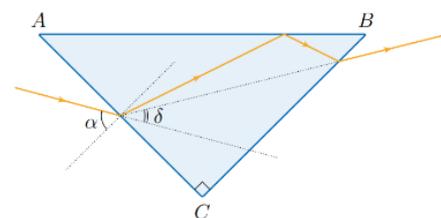
### Разное

1. Комната имеет длину 4 м и высоту 3 м. На одной стене комнаты вертикально висит зеркало. Человек стоит на расстоянии 1 м от зеркала лицом к зеркалу.

Какой должна быть минимальная высота зеркала, чтобы человек мог видеть находящуюся за его спиной стену в полную высоту (от пола до потолка)? 0,6 м

### Олимпиада.

1. Луч падает на грань AC прямоугольной призмы с показателем преломления  $n$  под углом  $\alpha$  (см. рисунок). Найдите угол отклонения вышедшего из призмы луча, отразившегося от грани AB.



### Занятие 18. Линза.

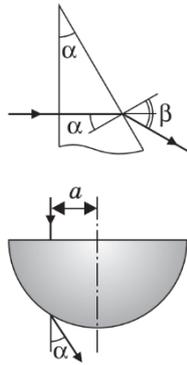
#### I. Вопросы (блиц):

1. На дне водоема находится точечный источник света. Во сколько раз максимальное время, необходимое лучу света, для того, чтобы выйти из воды, больше минимального?
2. Чтобы испечь хлеб, муку замешивают с равным ей по массе количеством воды. В печи тесто теряет 30% своей массы. Сколько нужно взять муки, чтобы испечь 7 тонн хлеба? 5 т
3. Почему разогретая дорога представляется вам как бы зеркалом, отражающим голубое небо?
4. На дне водоема находится точечный источник света. Во сколько раз максимальное время, необходимое лучу света для того, чтобы выйти из воды, больше минимального. 1,52
5. Почему пена непрозрачная, хотя получается из прозрачной воды?
6. Зачем стёкла автомобильных фар делают рифлёными, а не гладкими?
7. Почему пена на лимонаде белая, а не янтарная и не темная, как напиток в кружке?
8. Какая картина откроется пловцу, который нырнул без маски под воду и смотрит вверх через спокойную поверхность пруда?
9. Почему зимой во время тумана видимость заметно улучшается, когда начинает идти снег? При каких условиях возможно наблюдение полного внутреннего отражения?
10. С погруженной подводной лодки наблюдают за пролетающим над ней самолетом. Во сколько раз кажущаяся высота самолета больше истинной? А кажущаяся скорость?
11. Почему мокрый асфальт темнее сухого?
12. Почему град, образовавшийся в нижней части облака, темный, а образовавшийся в верхней части – светлый?

#### II. Задачи (блиц):

1. На поверхности воды плавает непрозрачный шар радиусом  $R = 1$  м, наполовину погруженный в воду. На какой максимальной глубине  $H_{\max}$  нужно поместить под центром шара точечный источник света, чтобы ни один световой луч не прошел в воздух? Показатель преломления воды  $n = 1,33$ . Ответ.  $H_{\max} = 1,33$  м.
2. На поверхности озера, имеющего глубину  $H = 2$  м, находится круглый плот радиусом  $R = 8$  м. Найдите радиус полной тени от плота на дне озера при освещении рассеянным светом. 5,7 м
3. Луч света падает нормально на переднюю грань призмы, как показано на

рисунке. Преломляющий угол призмы составляет  $\alpha = 30^\circ$ . Каким должен быть показатель преломления материала призмы  $n$ , для того чтобы угол отклонения луча призмой был равен  $\alpha$ ?  $n \approx 1,73$ .



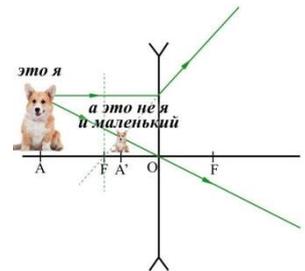
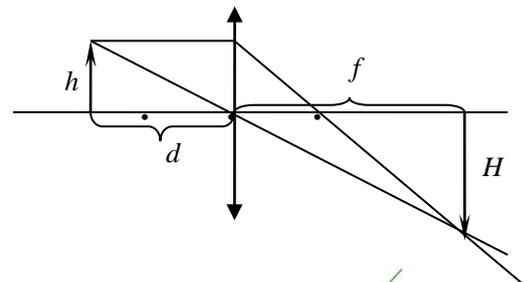
- Кажущаяся глубина водоема три метра. Какова его истинная глубина?
- Луч света падает на стеклянный полушар радиусом  $R$  на расстоянии  $a$  от его оси симметрии и параллельно ей. На какой угол  $\alpha$  отклонится вышедший после преломления в полушаре луч, если  $a = 0,5R$ ,  $n = 1,414$ ?  $\alpha = 15^\circ$ .

### III. Линза – прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Демонстрация линз из набора. Рисунок линзы на доске.

Основные точки и линии: центры и радиусы сферических поверхностей, оптический центр, главная оптическая ось, главный фокус собирающей линзы, фокусное расстояние и оптическая сила собирающей линзы.

$$D = \frac{1}{F}. \quad [D] = [\text{дптр}]. \quad F = \frac{1}{(n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

**Собирающая линза:** Схематическое изображение собирающей линзы ( $F > 0$ ). Схематическое изображение рассеивающих линз ( $F < 0$ ). Построение изображения предмета в рассеивающей линзе. Рассеивающая линза всегда дает мнимое, неперевернутое и уменьшенное изображение предмета! Построение изображения предмета в собирающей линзе. Формулы для увеличения линзы. Вывод формулы линзы:

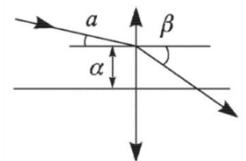


$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f - F}{F}; \quad \Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}; \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

### IV. Задачи (блиц):

- Тонкая стеклянная линза ( $n_{ст} = 1,5$ ) в воздухе имеет оптическую силу 5 дптр. Когда эту линзу погружают в жидкость, она действует как рассеивающая с фокусным расстоянием 100 см. Определите показатель преломления жидкости. 1,67

- На поверхность собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$  падает луч света на расстоянии  $a$  от главной оптической оси. Под каким углом  $\beta$  к главной оптической оси луч выйдет из линзы?



$$\text{tg} \beta = \frac{F \text{tg} \alpha + a}{F}$$

- Тонкая линза создаёт прямое изображение предмета с увеличением 0,25. Во сколько раз расстояние между предметом и изображением больше фокусного расстояния линзы? 6,25

### Олимпиада.

- «Горе-экспериментаторы» решили изготовить линзу из подручных материалов для получения огня. Нашли два сферических тонких стекла разных радиусов, соединили их и залили пространство между ними водой. Проверили систему,

она сработала. Воду из линзы вылили и опустили линзу в большую емкость с керосином, так, что внутрь линзы керосин не попал. Как и во сколько раз изменилась оптическая сила системы? Показатель преломления воды принять равным 1,33, воздуха 1, керосина 1,39. -1,18

2. Высота предмета 5 см. Линза дает на экране действительное изображение высотой 15 см. Предмет передвинули на 1,5 см от линзы и, передвинув экран на некоторое расстояние, снова получили изображение высотой 10 см. Найти фокусное расстояние линзы. 9 см

*Вопросы (блиц):*

1. Предложите наибольшее число способов измерения фокусного расстояния собирающей линзы. Какой из способов наиболее точный?
2. Может ли плоско-выпуклая линза рассеивать параллельные лучи света, а плоско-вогнутая собирать их?
3. Как изменится фокусное расстояние линзы, если ее температура повысится?
4. Во сколько раз отличаются фокусные расстояния двояковыпуклых линз, если у второй линзы показатель преломления и радиусы кривизны обеих поверхностей в 1,5 раза больше, чем у первой?
5. Половина у линзы закрывают непроницаемым экраном. Что произойдет при этом с изображением?
6. В чем разница между действительным и мнимым изображением предмета?

**Разное**

1. Небольшой предмет помещен на расстоянии 15 см от плоскопараллельной стеклянной пластинки. Наблюдатель рассматривает его через пластинку, причем луч зрения нормален к ней. Найти расстояние изображения предмета от ближайшей к наблюдателю поверхности пластинки. Толщина пластики 4,5 см, показатель преломления стекла 1,5.
2. Расстояние между предметом и его изображением 72 см. Линейное увеличение равно 3. Найдите фокусное расстояние линзы.
3. С помощью линзы с оптической силой  $D = -5$  дптр наблюдают изображение, находящееся от линзы на расстоянии 10 см. На каком расстоянии от линзы расположен предмет?
4. Показатель преломления стекла, для света данной длины волны равен 1,6. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием 12 см надо поставить предмет, чтобы его действительное изображение было втрое больше самого предмета?

**Олимпиада.**

## **Занятие 19. Применение линз.**

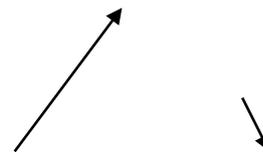
**I. Вопросы (блиц):**

1. На каком расстоянии друг от друга следует расположить две линзы – рассеивающую с фокусным расстоянием – 4 см и собирающую с фокусным расстоянием 9 см, чтобы пучок лучей, параллельный главной оптической оси первой линзы, пройдя через обе линзы, остался бы параллельным? 5 см
2. Плот проплывает некоторое расстояние по реке за 18 часов, а моторная лодка, двигаясь против течения, за 3 часа. За какое время моторная лодка проплывет

это же расстояние, двигаясь по течению? 2,25 ч

3. Дан ход луча через собирающую (рассеивающую) линзу. Найти построением ее фокус.

4. В архивах Снеллиуса нашли рисунок: предмет и его изображение в тонкой линзе. Какая это линза и где находятся ее фокусы?



5. Точечный источник находится на главной оптической оси собирающей линзы. В какую сторону сместится изображение этого источника, если линзу повернуть на некоторый угол относительно оси, лежащей в плоскости линзы и проходящей через ее оптический центр?

6. Симметричную линзу с оптической силой  $D$  разрезали точно пополам по плоскости симметрии так, что образовались две плоско-выпуклые линзы. Чему равна оптическая сила каждой из линз?

7. Как надо расположить две линзы, одна из которых собирающая, а другая рассеивающая, чтобы пучок параллельных лучей, пройдя через обе линзы, остался параллельным?

## II. Задачи (блиц):

1. Мнимое изображение предмета в собирающей линзе с фокусным расстоянием  $F = 48$  см находится в фокусе линзы ( $f = -48$  см). Определить расстояние от линзы до предмета. 24 см

2. Тонкая линза создает прямое увеличенное изображение предмета, причем расстояние между предметом и изображением в два раза меньше фокусного расстояния линзы. Найдите увеличение. -2

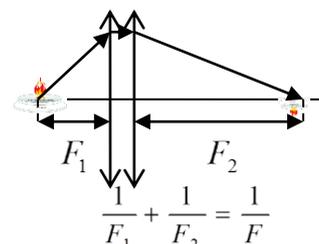
3. Плоский тонкий предмет был расположен параллельно плоскости тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием 10 см. Линзу заменили на собирающую с таким же фокусным расстоянием. Куда нужно переместить предмет вдоль главной оптической оси так, чтобы размер его изображения не изменился? На какое расстояние нужно передвинуть предмет вдоль главной оптической оси так, чтобы размер его изображения не изменился? 20 см.

## III. С помощью линзы можно получить:

- действительное и увеличенное изображение предмета, (диапроектор);
- уменьшенное изображение предмета (фотоаппарат), получать увеличенные и уменьшенные изображения предметов (телескоп, микроскоп), фокусировать солнечные лучи (ледяная линза, гелиостанция).

**Системы линз. Для тонких контактирующих линз:**

$D = D_1 + D_2 + \dots$ . Глаз – как оптическая система. Информацию о мире нам дает мозг, а не глаза! **Аккомодация. Дефекты зрения. Очки.**



## IV. Задачи (блиц):

1. Объектив телевизионного передатчика создает изображение свободно падающего камня, находящегося перед ним на расстоянии  $d = 5$  м. Определить фокусное расстояние  $F$  объектива, если известно, что изображение движется с ускорением  $a = 0,2$  м/с<sup>2</sup>. Ответ: 0,1 м

2. Расстояние по оси между предметом и его мнимым изображением 1 см, высота предмета 2 см, изображение в два раза больше. Постройте схему и определите фокусное расстояние линзы. 2 см
3. Свет от удаленного точечного источника, находящегося на общей главной оптической оси двух линз, проходит через первую собирающую линзу и собирается в заднем фокусе второй рассеивающей линзы оптической силы  $D_2 = -5$  дптр. Найти оптическую силу  $D_1$  первой линзы, зная, что расстояние между линзами  $l = 30$  см. Ответ: 0,4 м.
4. Алиса стоит в восьми шагах от кривого зеркала и видит другую Алису (свое изображение) в Зазеркалье. Когда она делает шаг вперед, Алиса в Зазеркалье приближается к ней на 13,5 шагов. Найдите фокусное расстояние зеркала, если известно, что оно вогнутое, а шаг Алисы — 60 см. Ответ: фокусное расстояние кривого зеркала составляет 10,2 шага или 6,12 м.
5. Пучок параллельных световых лучей падает на линзу с оптической силой  $D_1 = -10$  дптр. На каком расстоянии за ней нужно поставить соосно линзу с оптической силой  $D_2 = +2,5$  дптр, чтобы из второй линзы лучи пучка вышли параллельно? 0,3 м
6. Точечный источник света расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F = 20$  см. По другую сторону линзы на расстоянии  $b = 80$  см от нее находится экран, перпендикулярный ее главной оптической оси. Известно, что если переместить экран на расстояние  $d = 40$  см в сторону линзы, то размер пятна света, создаваемого источником на экране, не изменится. Определить расстояние от источника света до линзы. 30 см

### Олимпиада.

1. Собирающую линзу вертикально погрузили в воду так, что главная оптическая ось линзы лежит на поверхности воды. На главной оптической оси на расстоянии 40 см от оптического центра линзы расположили точечный источник света. При этом на поверхности воды с другой стороны от линзы появились два изображения этого источника на расстоянии 100 см друг от друга. Определите по этим данным фокусное расстояние линзы. Показатель преломления стекла 1,5, показатель преломления воды  $4/3$ . 6, 42 см
2. Стекланный шар радиусом  $R = 10$  см с центром в начале координат освещается узким пучком света от точечного источника, находящегося на оси  $x$ . Найти расстояние  $d$  от источника до шара, зная, что изображение источника расположено на таком же расстоянии от шара, как и источник. Шар изготовлен из стекла с показателем преломления  $n = 1,5$ . Ответ: 20 см
3. Расстояние между двумя точечными источниками света  $l = 24$  см. Где между ними нужно поместить линзу с фокусным расстоянием  $F = 9$  см, чтобы изображение обоих источников получилось в одной точке? Ответ: 18 см

### Вопросы (блиц):

1. Почему при ярком освещении те, кто пользуется не очень сильными очками, могут читать и без очков?
2. Спичка расположена в фокальной плоскости рассеивающей линзы. Во сколько раз изображение спички меньше ее длины?
3. Почему человек хорошо видит как отдаленные предметы, так и

расположенные рядом?

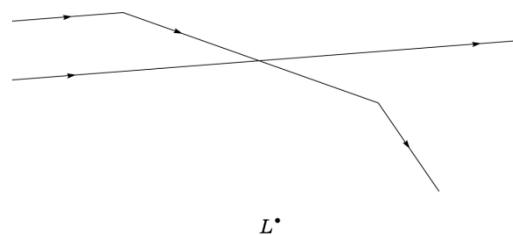
4. Если зайти в темную комнату с улицы, то первое время плохо видишь. Почему?
5. На каком расстоянии друг от друга следует расположить две линзы – рассеивающую с фокусным расстоянием – 4 см и собирающую с фокусным расстоянием 9 см, чтобы пучок лучей, параллельный главной оптической оси первой линзы, пройдя через обе линзы, остался бы параллельным? 5 см
6. Близорукий человек резко видит предметы, расположенные не далее 10 м от него. Какие контактные линзы ему следует носить, чтобы хорошо видеть предметы, расположенные от него на большом расстоянии?
7. Почему в очках для плавания хорошо видно под водой, а без них – плохо?
8. При каких условиях вогнутая линза будет: а) собирающей; б) рассеивающей?
9. Каким образом с помощью мобильных телефонов получают качественные фотоснимки при жестко закрепленном объективе?
10. Может ли собирающая линза и плоское зеркало давать действительное изображение предмета?
11. Почему с наступлением темноты очертания предметов перестают быть резкими?
12. Можно ли изготовить линзу, имеющую одновременно несколько фокусных расстояний?
13. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем более крупным и «приближенным» будет изображение объекта съемки. Так ли это?

### Разное

1. Какие очки вы припишете близорукому человеку, который может читать текст, расположенный от глаз не далее 20 см, а какие дальнозоркому, который может читать текст, расположенный от глаз не ближе 50 см?
2. В доске имеется круглое отверстие диаметром 10 см. Через отверстие проходит сходящийся пучок света, который дает на экране, расположенном за доской параллельно ей, круглое пятно диаметром 5 см. В отверстие вставили собирающую линзу того же диаметра, и пятно превратилось в точку. Найдите оптическую силу этой линзы. Расстояние от доски до экрана 20 см.
3. Кинооператору требуется снять автомобиль, движущийся со скоростью  $v = 20$  м/с на расстоянии  $d = 26$  м от оператора. Фокусное расстояние объектива кинокамеры  $F = 13$  мм. Какова должна быть экспозиция  $\Delta t$ , чтобы размытость контуров изображения не превышала значения 0,05 мм?

### Олимпиада.

1. На некотором расстоянии от стеклянного шара находится точечный источник света, дающий узкий световой пучок, ось которого проходит через центр шара. При каких значениях показателя преломления  $n$  изображение источника будет находиться вне шара независимо от расстояния шара до источника? Внутри шара?
2. Говорят, что в архиве Снеллиуса нашли чертёж оптической системы (см. рисунок). От времени чернила выцвели, и на чертеже остались видны только ход параллельных лучей через две



тонкие линзы и точка  $L$ , принадлежащая плоскостям обеих линз.

- 1) Восстановите построением положения плоскостей обеих линз.
  - 2) По имеющимся данным определите тип каждой линзы (собирающая или рассеивающая).
  - 3) Найдите положения оптических центров и главных фокусов линз.
3. Свет от удаленного точечного источника, находящегося на общей главной оптической оси двух линз, проходит через первую собирающую линзу и собирается в заднем фокусе второй рассеивающей линзы оптической силы  $D_2 = -5$  дптр. Найти оптическую силу  $D_1$  первой линзы, зная, что расстояние между линзами  $l = 30$  см. Ответ: 0,4 м.
4. В течение, какого времени может быть открыт затвор фотоаппарата при съемке прыжка в воду с вышки? Фотографируется момент погружения в воду. Высота вышки 5 м, фотограф находится на расстоянии 10 м от прыгуна. Объектив фотоаппарата имеет фокусное расстояние 10 см, на негативе допустимо размытие изображения 0,5 мм.
5. Где надо поместить предмет перед собирающей линзой с фокусным расстоянием  $F$ , чтобы расстояние между предметом и его изображением было наименьшим?

## **Занятие 20. Интерференция света.**

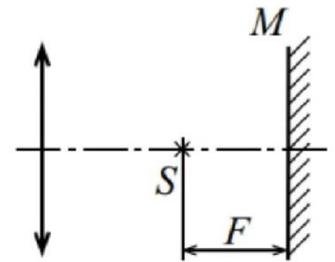
### **I. Вопросы (блиц):**

1. Каким образом с помощью мобильных телефонов получают качественные фотоснимки при жестко закрепленном объективе?
2. Хозяин нанял работника на год за 12 рублей и кафтан. Но тот, проработав только 7 месяцев, захотел уйти. При расчете он получил кафтан и 5 рублей. Сколько стоит кафтан? 4,8 р
3. Может ли собирающая линза и плоское зеркало давать действительное изображение предмета?
4. Почему с наступлением темноты очертания предметов перестают быть резкими?
5. Изображение предмета, помещённого перед собирающей линзой на расстоянии  $d = 0,4$  м, получено по другую сторону линзы в натуральную величину. Определить: линейное увеличение линзы; расстояние от плоскости линзы до изображения предмета; фокусное расстояние; оптическую силу линзы. Построить ход лучей от предмета до изображения.
6. Лента, имеющая при дневном свете светло-синий цвет, при свете свечей имеет другой цвет? Какой это цвет и почему? Зеленый
7. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем более крупным и «приближенным» будет изображение объекта съемки. Так ли это?

### **II. Задачи (блиц):**

4. Объектив телевизионного передатчика создает изображение свободно падающего камня, находящегося перед ним на расстоянии  $d = 5$  м. Определить фокусное расстояние  $F$  объектива, если известно, что изображение движется с ускорением  $a = 0,2$  м/с<sup>2</sup>.
5. На главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$

расположено плоское зеркало М (перпендикулярно оси) и точечный источник света S. Оптическая система формирует два действительных изображения источника, расположенных на расстоянии  $2F/3$  друг от друга. Найдите расстояние от линзы до зеркала, если расстояние от источника света до зеркала равно F. Ответ:  $d_1 + F = 3F$ .

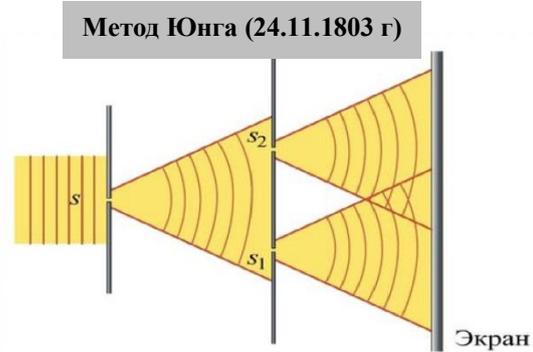
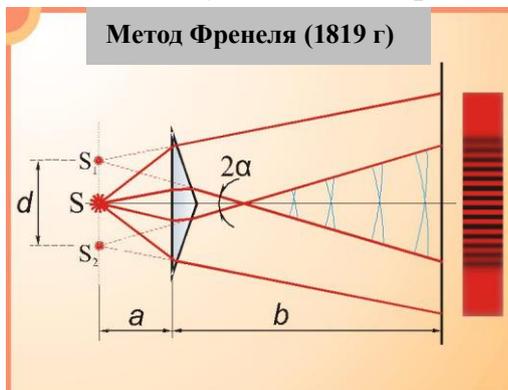


**III. Дисперсия волн** - зависимость показателя преломления среды (скорости волн в среде) от частоты. Белый свет - сложный. Скорость света в вакууме не зависит от частоты используемого света! Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степени преломляемости.

**Интерференция света. Разность хода волн** до некоторой точки наблюдения P.

Как можно рассчитать разность хода?  $\Delta_n = d \cdot \sin \varphi_n \rightarrow \Delta_n = \frac{d \cdot x_n}{L}$ .

Методы получения когерентных источников света (схемы зарисовать). По



наблюдаемой интерференционной картине всегда, можно определить длину волны!

**Интерференция света в тонких пленках. Просветление оптики.**

**Кольца Ньютона.**

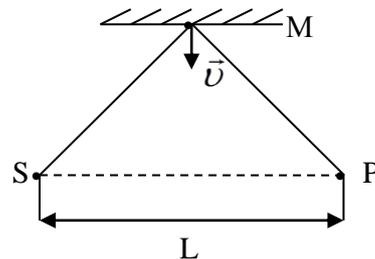
**IV. Задачи (блиц):**

1. Монохроматический луч света с длиной волны  $\lambda = 700$  нм падает под углом  $\alpha = 40^\circ$  на боковую грань призмы с коэффициентом преломления в видимой области  $n = 2,1 - 10^6 \lambda$ . Преломляющий угол призмы  $\varphi = 55^\circ$ . Определите угол отклонения луча  $\theta$ .  $40^\circ$
2. Когерентные источники белого света, расстояние между которыми 0,32 мм, имеют вид узких щелей. Экран, на котором наблюдают интерференцию света от этих источников, находится на расстоянии 3,2 м от них. Найти расстояние между красной ( $\lambda_k = 740$  нм) и фиолетовой ( $\lambda_\phi = 400$  нм) линиями второго интерференционного спектра на экране.
3. Объектив из стекла с показателем преломления  $n = 1,50$  покрыт просветляющей пленкой, показатель преломления которой  $n' = 1,22$ . Какой должна быть минимальная толщина такой пленки для света с длиной волны  $\lambda = 560$  нм? 115 нм.
4. Пучок света ( $\lambda = 582$  нм) падает перпендикулярно к поверхности стеклянного клина. Угол клина  $\alpha = 20''$ . Какое число  $k_0$  темных интерференционных полос приходится на единицу длины клина? Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

Построить чертеж и показать интерферирующие лучи.  $500 \text{ м}^{-1}$

**Олимпиада.**

1. Интерференционная схема включает в себя точечный источник  $S$  монохроматического света с длиной волны  $0,5 \text{ мкм}$ , фотоприемник  $P$ , отстоящий от источника на расстоянии  $2 \text{ м}$  и плоское зеркало  $M$ , движущееся со скоростью  $0,2 \text{ см/с}$  по направлению к линии  $SP$ , соединяющей источник и фотоприемник. Определите частоту колебаний фототока приемника в тот момент, когда зеркало будет находиться на расстоянии  $0,5 \text{ см}$  от линии  $SP$ .



2. Собирающая линза оптической силы  $5 \text{ дптр}$  разрезана точно посередине и части линзы раздвинуты на расстояние  $h = 0,50 \text{ мм}$ . Линза освещается источником монохроматического света на расстоянии  $d = 15 \text{ см}$  с длиной волны  $\lambda = 500 \text{ нм}$ . Оценить число  $N$  светлых интерференционных полос на экране, расположенном за линзой на расстоянии  $L = 60 \text{ см}$ . Промежуток между частями линзы закрыт непрозрачной перегородкой.
3. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами  $T_1 = T_2 = 1,5 \text{ с}$  и амплитудами  $A_1 = A_2 = 2 \text{ см}$ . Начальные фазы колебаний  $\varphi_1 = \pi / 2$  и  $\varphi_2 = \pi / 3$ . Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу результирующего колебания. Найти его уравнение и построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд.  $A = 3,86 \text{ см}$ ,  $\varphi = 75^\circ$

*Вопросы (блиц):*

1. Пучок зеленого света переходит из воздуха в воду. Меняются ли при этом его частота, длина волны, цвет?
2. Каков цвет красного вина в зеленой бутылке?
3. Для чего при стирке белья в воду добавляют «синьку»?
4. Через какой светофильтр нельзя увидеть надпись, сделанную красной ручкой на белом листе бумаги?
5. Почему альпинисты пользуются зелеными солнцезащитными очками?
6. Лента, имеющая при дневном свете светло-синий цвет, при свете свечей имеет другой цвет? Какой это цвет и почему?
7. Почему жидкая пена белая? Объясните, почему белое тело кажется белым в белом свете, красным в красном и т.д.?
8. Как изменяется длина волны красного света при переходе из воздуха в воду?
9. Для каких лучей – красных или фиолетовых – будет больше главное фокусное расстояние рассеивающей линзы?
10. Почему изображения предметов, наблюдаемых в телескопе-рефракторе, оказываются окрашенными?
11. Если продолжительное время смотреть на одноцветный рисунок, а затем перевести взгляд на белую бумагу, то на бумаге вы увидите изображение рисунка в дополнительном цвете. Почему?
12. Если две волны интерферируют друг с другом, то влияет ли одна волна на распространение другой?

13. Разность фаз колебаний двух интерферирующих лучей монохроматического света с длиной волны 500 нм равна  $\frac{3\pi}{2}$ . Определить разность хода этих лучей.
14. Что общего и в чем различие методов наблюдения интерференции света Юнгом и Френелем?

### Разное

1. На стеклянную пластинку ( $n = 1,5$ ) нанесена прозрачная пленка ( $n = 1,4$ ). На пленку нормально к поверхности падает монохроматический свет ( $\lambda = 600$  нм). Какова наименьшая толщина пленки, если в отраженном свете пленка кажется темной?
2. Луч света с длиной волны в вакууме  $\lambda_0 = 0,5$  мкм падает нормально на стеклянную пластину толщиной  $d = 0,2$  мм с показателем преломления  $n = 1,5$ . Определите длину  $\lambda$  частоту  $\nu$  и скорость этих волн в пластине. Сколько длин волн  $N$  укладывается на толщине пластины?

### Олимпиада.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
2. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
3. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. – М.: Дрофа, 2002.
4. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе. - М.: Просвещение, 1972.
5. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
6. Д. Джанколи. Физика. - М.: Мир, 1989.
7. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).
8. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
9. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
10. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
11. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
12. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
13. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн.– М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
14. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2010 г.
15. А.А. Найдин. Система задач из одной задачи?! //ИД "Первое сентября", газета "Физика", № 8, 2011 г.
16. А.А. Найдин. Как научить школьников открывать и применять законы? ж. «Физика в школе», №7, 2012 г.
17. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
18. Славов А.В., Щеглова О.А., Абражевич Э.Б., Чудов В.Л., ФИЗИКА, ЗАДАЧИ, КАЧЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ, ТЕСТЫ. «Издательский дом МЭИ», 2016
19. Физика. 10—11 кл.: Сборник задач и заданий с ответами и решениями. Пособие для учащихся общеобразоват. учреждений / С.М. Козел, В. А. Коровин, В. А. Орлов. — М.: Мнемозина, 2001. — 254 с.: ил.
20. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. <https://naidin.ru>