Все новые философы в сомненье.
Эфир отвергли - нет воспламененья,
Исчезло Солнце, и Земля пропала,
А как найти их - знания не стало.
Все признают, что мир наш на исходе,
Коль ищут меж планет в небесном своде
Познаний новых… Но едва свершится
Открытье - все на атомы крушится.
Все - из частиц, а целого не стало ... "

Джон Донн

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ)

Введение

Развитие мышления учащихся – одна из задач современной школы, в том числе и учителя физики. Благодаря этой способности ученик может устанавливать связи и отношения между познаваемыми объектами, рассуждать, строить модель процесса, прогнозировать его протекание, систематизировать и обобщать знание, делать выводы и заключения. Изучаемые объекты и процессы необходимо, прежде всего, выделить из окружающего мира, сформировать их образы и только тогда можно будет проводить логические операции с этими образами. Ученик их не выучивает и не фотографирует, а создает заново! С формированием и расширением этой базы образов и связей между ними непосредственно связано поступательное движение учащихся от ценности знания, как такового, к языку знания, и далее – к ценностям развития интересов, способностей и ключевых компетенций. Скорость этого движения существенно возрастает, если предлагаемые задачи понятны, развивают картину мира, прослеживается методологический подход при их решении. Более того, весь опыт преподавания показывает, что система образов структурных единиц физического знания образует ту самую «библиотеку исследователя», без которой не может существовать творческая личность. Особенно это заметно в классах физико-математического (технического) профиля при решении исследовательских задач, когда первый (черновой) вариант решения выбирается интуитивно из имеющегося опыта, из уже сформированных представлений об объектах и явлениях. Например, электромагнитная индукция – важнейшее электродинамическое явление. Достаточно сказать, что практически вся электрическая энергия вырабатывается на электрических станциях, где преобразование различных

видов энергии в электрическую энергию осуществляется с помощью индукционных генераторов переменного тока. Разнообразны и применения данного явления, поэтому формирование целостного образа данной структурной единицы знания – одна из важнейших задач школьного учителя физики. Этот процесс начинается в основной школе с создания первообраза понятия и важно его сформировать таким образом, чтобы он мог развиваться, и его можно было использовать для решения творческих задач. Наряду с исследовательскими (творческими) задачами, решение которых предполагает использование всего алгоритма научного исследования, полезна система задач, закрепляющая важные связи между элементами этого процесса. В книге я продемонстрирую эти связи на примерах: 1) факты → научные факты; 2) научный факт → гипотеза; 3) гипотеза → эксперимент; 4) эксперимент → теория; 5) теория → практические применения. Приняв это утверждений за аксиому, попробую на примерах показать, как методически правильно можно сформировать эти целостные образы.

Можно много и долго рассуждать на уроках о достоинствах физики, как науки, вызывая таким образом «интерес» к ее изучению, однако большего результата можно достичь, решая задачи, которые развивают картину мира, заставляют знание «работать» в технике и быту, применять его в процессе дискуссии или простого общения. В этом случае учитель выступает не в роли проповедника физики, а в роли преподавателя, и этот его переход в более высокое качественное состояние всегда будет по достоинству оценен его учениками. Следует добавить, что в новых условиях уже совершенно недостаточно учить решать задачи «как все и как всегда», а необходимо поставить ученика в такие условия, чтобы в каждой задаче, в любой жизненной ситуации, он искал оригинальное, красивое и отличное от других решение, раскрывал и развивал свой творческий потенциал. С этих позиции физика, как наука о наиболее общих законах природы, занимает лидирующие позиции среди всех естественно – математических наук, однако в процессе преподавания необходимо "подправить" содержание изучаемого учебного материала так, чтобы оно давало картину мира, а система творческих и научно-исследовательских задач в свою очередь развивала ученика и формировала творческую личность. Все эти задачи и мои решения этих задач на уроках физики представлены в книге «Электромагнитные колебания и волны в школе», которую я предлагаю Вашему вниманию.

Учитель физики МБНОУ "Гимназия № 44" А. Найдин

Оглавление

1. Введение 2-3

2. Электромагнитная индукция…….4-31

3. Механические колебания (повторение)……32-40

4. Электромагнитные колебания 41-46

5. Переменный ток…….47-78

6. Механические волны (повторение)……..79-92

7. Электромагнитные волны…….93-126

8. Литература.. 127

Уроки, задачи, вопросы, творческие домашние задания.
Анатолий Найдин

г. Новокузнецк
2014 г

"В истории человечества (если посмотреть на нее, скажем, через десять тысяч лет) самым значительным событием X1X столетия, несомненно, будет открытие Максвеллом законов электродинамики".

Р. Фейнман

Если впоследствии возникнут какие-либо иные взгляды на состояние или свойства (пустого) пространства, то их нужно будет увязать со свойствами того, что мы называем пустым пространством сейчас в соответствии с данными опытами.

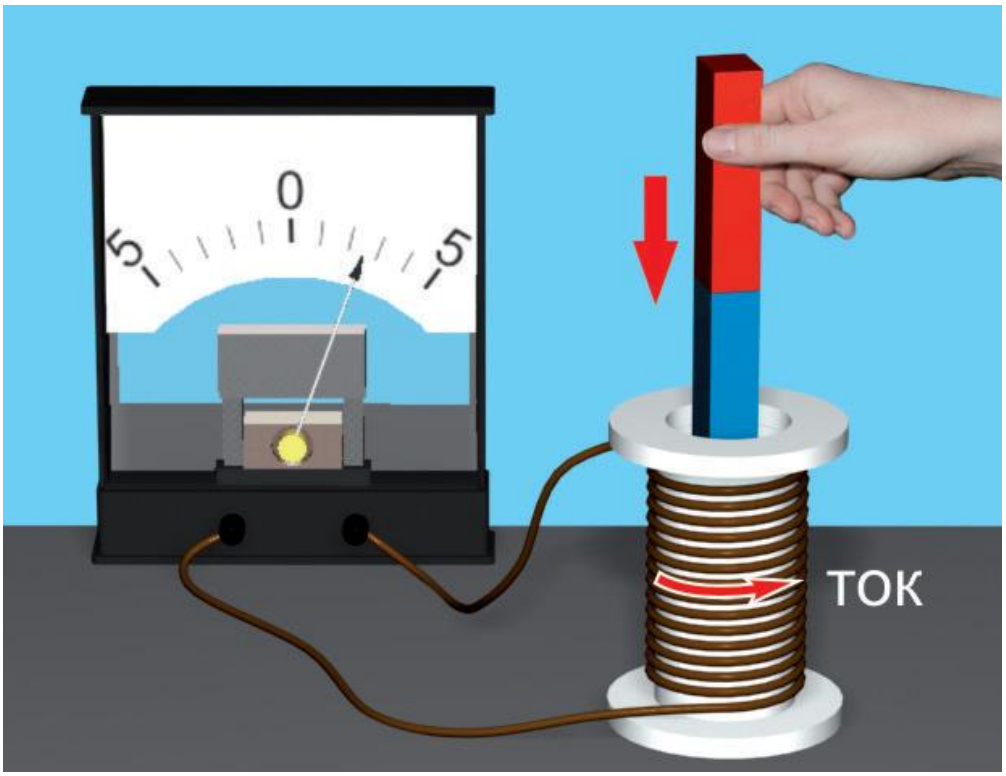
Майкл Фарадей

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ (ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ)

Есть, однако, одно счастливое обстоятельство: каковы бы ни были наши мнения, им не изменить и не расстроить законов природы!

Майкл Фарадей

Чтобы удержать лидерство, надо просто лучше работать. Других рецептов нет. Надо каждый день что-то улучшать.
Аркадий Волож (основатель компании Яндекс)



Задачи будут интересные. Одну из них сейчас решает вся кафедра. Если решит, мы ее включим в экзаменационную работу.

Цитаты преподавателей МФТИ

"Эти рассуждения и вытекающая из них как следствие надежда получить электричество при помощи обыкновенного магнетизма в разные времена побуждали меня экспериментально изучать индуктивное действие электрических токов".

М. Фарадой

Урок 57/1.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Что называют магнитным потоком (потоком вектора магнитной индукции)?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с историей открытия электромагнитной индукции и основными особенностями этого явления. Установить экспериментально закон электромагнитной индукции.

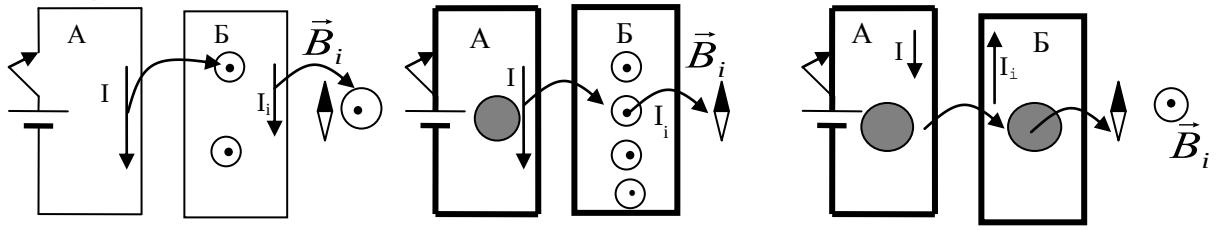
ТИП УРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: универсальный трансформатор с принадлежностями, гальванометр от вольтметра (осциллограф), магнит дугообразный, блок питания, проводник.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом

II. До последнего времени мы изучали постоянные (стационарные) электрические и магнитные поля. Интересны переменные поля. Они могут создавать друг друга, благодаря чему существуют радиоволны и свет. Факт, который удалось установить в 1820 г (опыт Эрстеда): ***"Электричество создает магнетизм".*** Цель, которую поставил перед собой Фарадой: ***"Превратить магнетизм в электричество!".*** Почему Фарадею не сразу удалось наблюдать явление электромагнитной индукции? Совершенствование демонстрационной установки. Открытие явления электромагнитной индукции (29 августа 1831 г.).



Опыты Фарадея:

- Опыты с двумя катушками (включение и выключение электрического тока в первой катушке).
- Опыты с двумя катушками (относительное движение катушек).
- Опыты с двумя катушками (изменение силы тока в первой катушке).
- Опыты с магнитом и катушкой (относительное движение катушки и магнита). В этих опытах невозможно обнаружить, что движется – магнит или катушка!

В замкнутом проводящем контуре возникает электрический ток при всяком изменении числа линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность, ограниченную этим контуром (электромагнитная индукция**).**

Вывод Фарадея: *"... Количество электричества, приводимое в движение, прямо пропорционально числу пересекаемых линий".*

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).

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

Закон электромагнитной индукции получен Ф. Нейманом в 1845 г. Почему закон электромагнитной индукции формулируется для ЭДС, а не для силы тока?

Три способа изменения магнитного потока (изменение B, S и α) и три способа получения индукционного тока. А есть ли четвертый (движение проводника в магнитном поле)? Демонстрация трех способов получения индукционного тока (два последних - следствие четвертого, а первый - следствие того, что изменяющееся магнитное поле порождает в окружающем пространстве электрическое поле).

Значение открытия Фарадея: **Открыл (изготовил) принципиально новый источник электрического тока - замкнутый проводящий контур (катушка) в переменном магнитном поле.**

Фарадей был удивительно скромным и доброжелательным человеком. Он любил делать друзьям на праздник подарки собственного изготовления, например, бритвы из созданного им нового сорта стали. Находясь за границей, все время думал о своих близких родственниках: *"Этими сердечными чувствами я дорожу как лучшим украшением человеческого сердца"* - писал Фарадей.

"Наука захватывает нас только тогда, когда, заинтересовавшись жизнью великих исследователей, мы начинаем следить за историей развития их открытий".

Максвелл

Через 150 лет генерального секретаря Королевского института Великобритании Мартина спросили, что дал науке институт. Он ответил лаконично: *«Институт – это то место, где жил и работал Фарадей».* Спустя двести лет после открытия электродвигателя Майкла Фарадея по праву помнят за все его работы в области электромагнетизма, а также за его способности химика, лектора и экспериментатора.

III. *Задачи:*

1. За 5 мс в соленоиде, содержащем 500 витков провода, магнитный поток равномерно убывает с 7 до 3 мВб. Найти ЭДС индукции в соленоиде.
2. Магнитный поток, пронизывающий контур проводника, равномерно уменьшился на 0,6 Вб так, что ЭДС индукции оказалась равной 1,2 В. Найдите время изменения магнитного потока. Определите силу индукционного тока, если сопротивление проводника 0,24 Ом.

IV. §§ 1-2. Упр. 1, № 8.

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Фарадея.

2. Придумайте, как, используя ЭДС индукции, измерить бесконтактным методом, то есть, не разрывая цепь, ток в прямом проводе. Опишите соответствующий прибор.

"... если магнит вдвинуть в спираль и пронести через нее одним непрерывным движением, то стрелка смещается в одну сторону, затем внезапно останавливается и, наконец, начинает двигаться в другую сторону".

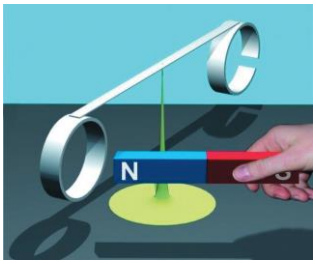
М. Фарадей

Урок 58/2. НАПРАВЛЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учащихся определять направление индукционного тока в замкнутом приводящем контуре.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: магнит дугообразный, гальванометр от вольтметра, прибор Петровского, диафильм "Явление электромагнитной индукции", обобщающая таблица "Закон электромагнитной индукции".



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Явление электромагнитной индукции. 2. Закон электромагнитной индукции.

Задачи:

1. Круговой проволочный виток площадью 20 см^2 находится в однородном магнитном поле, индукция которого равномерно изменяется на 0,1 Тл за 0,4 с. Плоскость витка перпендикулярна линиям магнитной индукции. Чему равна ЭДС, возникающая в витке?
2. Виток площади S расположен перпендикулярно магнитному полю с индукцией B. Он замкнут через гальванометр с сопротивлением R. Какой заряд протечет через этот гальванометр, если виток повернуть параллельно полю?
3. Магнитный поток, связанный с замкнутым контуром сопротивлением 0,5 Ом, в течение 10 с после начала отсчета времени равен 50 мВб, затем возрастает в течение 10 с на 3 мВб за 2 с, после этого убывает на 10 мВб за 1 с до нуля. Начертить график зависимости от времени силы тока в контуре, магнитного потока, связанного с контуром, и ЭДС индукции в контуре.

Вопросы:

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 180^0 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 которого 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?
8. Для исследования стальных балок (рельсов) на них надевают катушку изолированной проволоки, замкнутую на гальванометр, и перемещают ее вдоль балки. При всякой неоднородности строения балки (трещины, раковины и т.д.) в гальванометре возникает ток. Объясните явление.

III. При введении в замкнутый проводящий контур магнита, в контуре возникает ЭДС индукции и, следовательно, индукционный ток. Индукционный

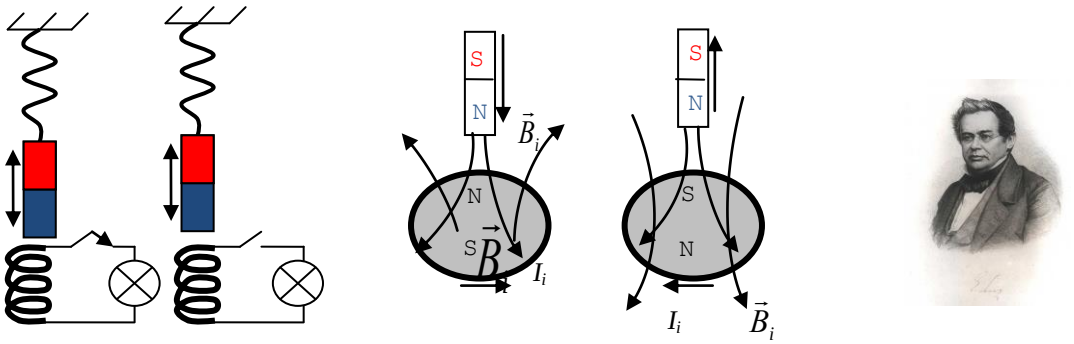
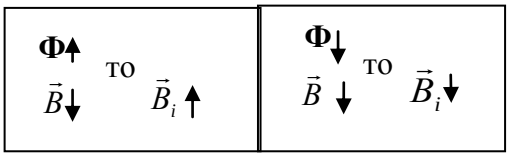


Рис. 1

ток должен создавать свое магнитное поле, посредством которого он будет взаимодействовать с магнитным полем индукционного тока (рисунок на доске). В чем отличие колебаний магнита, происходящих при замкнутом и разомкнутом ключе на рисунке 1? При замкнутом ключе колебания затухнут быстрее, поэтому магнит должен тормозиться при входе в катушку и при выходе из нее (индукционный ток забирает энергию у магнита)?

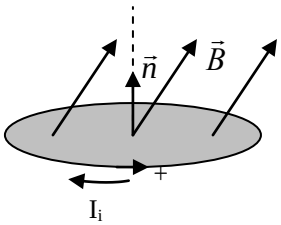
Мнемонические правила для определения направления индукционного тока:



Правило Ленца: "Индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, всегда

направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшему этот индукционный ток". В физике часто встречаются ситуации, когда внешнее воздействие на какой-либо объект приводит к появлению противодействия со стороны этого объекта (инерция, сжатие газа, электростатическая индукция).

Каков физический смысл знака "-" в формуле для ЭДС индукции? Если приближать к контуру магнит, то $\Delta\Phi > 0$, а $\varepsilon_i < 0$, т.е. индукционный ток течет против выбранного нами положительного направления, определяемого направлением нормали, которое задается правилом правого винта (буравчика). При этом вертикальная составляющая силы Ампера будет ускорять контур, а сам контур будет нагреваться. Этим способом также можно определять направление индукционного тока!



IV. *Задачи:*

1. Металлическое кольцо радиусом 4,8 см расположено в магнитном поле с индукцией 0,012 Тл перпендикулярно к линиям магнитной индукции. На его удаление из поля затрачивается 0,025 с. Какая средняя ЭДС при этом возникает в кольце? Определите направление индукционного тока в кольце двумя способами.

Вопросы:

1. Определите направление индукционного тока в проводящем контуре (Рис. 1), если индукция магнитного поля уменьшается.
2. Определите направление индукционного тока в контуре б в момент замыкания и размыкания ключа (К) (Рис. 2).

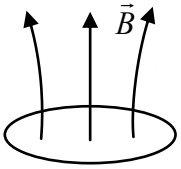


Рис. 1

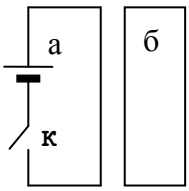


Рис. 2

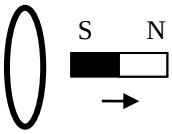


Рис. 3

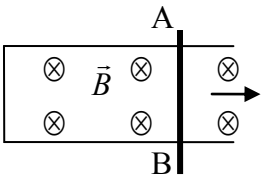


Рис. 4

3. Определите двумя способами направление индукционного тока в кольце, которое приближается к магниту (Рис. 3). Что будет происходить с кольцом?
4. Проводник АВ скользит по двум направляющим, образуя замкнутый контур в однородном магнитном поле (Рис. 4). Определите направление индукционного тока в контуре.

V. § 3. Упр. 1, № 2-4

1. Изобразите в рисунках ситуации, демонстрирующие справедливость правила Ленца.
2. Зачем на некоторых американских горках используются электромагнитные катапульты?

"В науке необходимо воображение. Она не исчерпывается целиком ни математикой, ни логикой, в ней есть что-то от красоты и поэзии ..."

Мария Митчелл

Урок 59/3.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

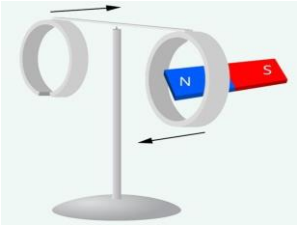
Именно благодаря этому эффекту стала возможна магнитная левитация!

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учащихся применять закон электромагнитной индукции и правило Ленца в конкретных ситуациях.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: обобщающая таблица "Закон электромагнитной индукции".

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Правило Ленца. 2. Второй способ определения направления индукционного тока.

Задачи:

1. Из провода длиной 2 м сделан квадрат, который расположен горизонтально. Какой электрический заряд пройдет по проводу, если его потянуть за две диагонально противоположные вершины так, чтобы он сложился? Сопротивление провода 0,1 Ом. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли 50 мкТл.
2. Проводящий стержень ОС вращается с угловой скоростью 300 $с^{-1}$ вокруг оси в плоскости, перпендикулярной к линиям магнитного поля с индукцией 1 Тл (Рис. 1). Конец стержня скользит по проводнику в виде дуги окружности радиусом 10 см. Между проводником и концом стержня включен резистор сопротивлением 30 Ом. Какова сила тока в резисторе и его направление?

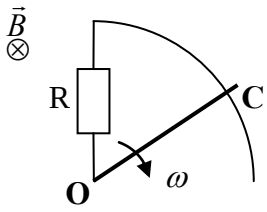
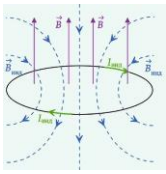


Рис. 1

Вопросы:

1. Какие превращения энергии происходят при введении магнита в замкнутое проводящее кольцо?
2. В накоротко 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?
3. Горизонтальная круглая рамка находится в магнитном поле, направленном вертикально вверх. Каким будет направление индукционного тока при наблюдении рамки сверху, если поле уменьшается со временем?
4. 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 90^0 северным полюсом на восток.
5. Телефонные наушники используются как телефон и как микрофон. Объясните работу наушника в качестве микрофона.

6. Можно ли экранировать переменное магнитное поле с помощью металлической сетки или фольги?



7. Как изменяется модуль вектора магнитной индукции в ситуации, изображенной на рисунке?
8. Сквозь отверстие катушки падает прямой магнит. Изобразить примерный график зависимости ускорения магнита от времени. Сопротивлением воздуха пренебречь.

"Думать надо раньше, а в 11-ом классе надо уже знать!"

III. *Задачи:*

1. Проводник в форме стержня длиной 1 м, массой 0,1 кг и сопротивлением 1 Ом падает, сохраняя контакт с вертикальными стойками П – образной формы и образуя с ними замкнутый контур. Сопротивление всех деталей, кроме стержня, ничтожно мало. Магнитная индукция перпендикулярна поверхности контура и равна 2 Тл. Пренебрегая трением, найдите установившуюся скорость падения стержня.
2. Однородное магнитное поле перпендикулярно к плоскости медного кольца, имеющего диаметр 20 см и толщину проволоки 2 мм. С какой скоростью должна изменяться во времени магнитная индукция, чтобы индукционный ток в кольце равнялся 10 А?
3. 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.

Вопросы:

1. Проводящий контур (б) удаляется от контура с током (а) на рисунке 1.

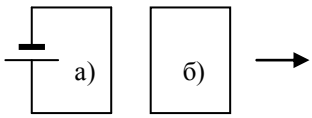


Рис. 1

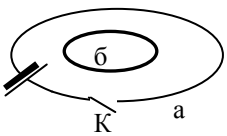


Рис. 2

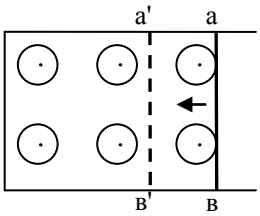


Рис. 3

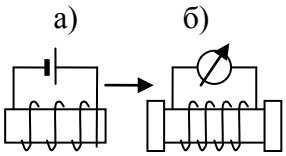
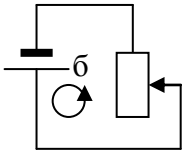


Рис. 4

Определите направление индукционного тока в контуре б.

2. Определите направление индукционного тока в контуре (б) при включении электрического тока в контуре (а) на рисунке 2.
3. Как изменяется магнитный поток при движении проводника из положения аб в положение а′б′ на рисунке 3. Какова причина возникновения индукционного тока в контуре? Как он направлен? Каково направление линий магнитной индукции, создаваемых индукционным током? Как влияет магнитное поле на движение проводника с током?
4. Определите направление индукционного тока в контуре (б), если приближать контур (а) к контуру (б) на рисунке 4.

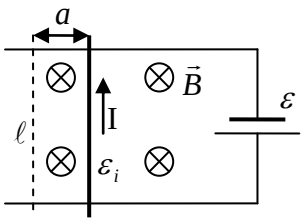
5. Зависит ли количество теплоты, выделяемое при удалении замкнутого проводящего контура из однородного магнитного поля, от времени?
6. Изменяется ли скорость заряженной частицы при ее движении в неоднородном магнитном поле?
7. В каком направлении перемещается движок реостата, если в контуре б возник индукционный ток, направление которого показано на рисунке?



Дополнительная информация: "Вывод" закона электромагнитной индукции.

$A = IBla; \qquad Q = I^2 R\Delta t; \qquad A_{ист} = \varepsilon I\Delta t.$

$A_{ист} = A + Q; \qquad I = \dfrac{\varepsilon + \varepsilon_i}{R}; \qquad \varepsilon_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$



V. Упр. 1, №№ 6-7.

1. Составить обобщающую таблицу "Закон электромагнитной индукции", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Опишите, как осуществляется запись на магнитную ленту и чтение с ленты.
3. Катушка насажена на дугообразный магнит и подключена к гальванометру. Как, не двигая ни магнит, ни катушку, получить в цепи ток?
4. Почему в плеере при воспроизведении возникает шипящий звук, если поднести сильный магнит к звукоснимающей головке?
5. Задача для любителей. В экономичном современном фонарике (вместо лампочки там используется очень яркий светодиод) применяют накопитель энергии - конденсатор емкостью 0,1 Ф. Его "накачивают" энергией, встряхивая фонарик - при этом цилиндрический магнит длиной 2 см и диаметром 1 см проскакивает то в одну, то в другую сторону через катушку, содержащую 1000 витков и намотанную в 10 слоев на длине 2 см. Длина трубки, в которой движется магнит, равна 7 см. На концах трубки сделаны эластичные упоры - магнит при ударе о такой упор останавливается. Считая магнитную индукцию поля у торца магнита равной 0,2 Тл, оцените время, за которое можно зарядить конденсатор до напряжения 3 В. Чтобы конденсатор не разряжался через катушку, его подключают через диод.

В лаборатории - очень практично, но медленно вы можете узнать физические "факты", от мелких деталей до общих законов.

Э. Роджерс

Урок 60/4.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1: «ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ».

В чем принцип беспроводной зарядки?

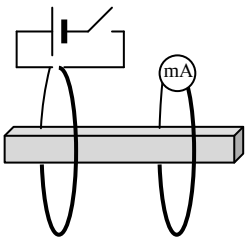
ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Выяснить возможности возникновения индукционного тока в замкнутом проводящем контуре, определить его направление и рассмотреть возможные практические применения этого явления.

ТИП УРОКА: лабораторная работа.

ОБОРУДОВАНИЕ: проволочный моток, сердечник, магнит полосовой, миллиамперметр, блок питания и проволочный виток (дополнительно).

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Краткий инструктаж
3. Выполнение работы
4. Подведение итогов
5. Задание на дом



II. Направление электрического тока через миллиамперметр и направление отброса стрелки (демонстрация). Определение полюсов магнита с помощью магнитной стрелки.

Первая часть работы: Опыты с магнитом, катушкой и миллиамперметром (провести три опыта). После каждого опыта в тетради рисунок, предполагаемое направление индукционного тока и направление тока в эксперименте.

Вторая часть работы: Две катушки на одном сердечнике. Включение и выключение электрического тока в первой катушке; относительное движение катушек.

После каждого эксперимента в тетради рисунок, предполагаемое направление индукционного тока и направление тока по результатам эксперимента.

Дополнительное задание: 1. Определить с помощью магнита плоскость и направление намотки витков в катушке, которая помещена в "черный ящик".

2. Определение полюсов у керамических магнитов.

III. Выполнение работы (можно по описанию-инструкции).

IV. Применения явления.

V. Упр. 1, №№ 1-5.

Мы любим все: и жар холодный числ
И дар божественных видений...
А. Блок

Урок 61/5.

ВИХРЕВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Сверхпроводники создают магнитное поле только снаружи себя.

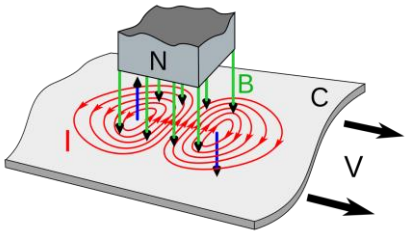
ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся об электромагнитном поле. Ввести понятие вихревого электрического поля, рассмотреть его свойства и некоторые технические применения.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: трансформатор универсальный с принадлежностями, блок питания, обобщающая таблица "Закон электромагнитной индукции".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Явление электромагнитной индукции. 2. Закон электромагнитной индукции.

Задачи:

1. Короткозамкнутая катушка, имеющая N = 1000 витков, находится в магнитном поле, вектор индукции $\vec{B}$ которого параллелен оси катушки. Площадь поперечного сечения катушки S = 5 см^2. Модуль индукции поля изменяется со скоростью $\Delta B/\Delta t$ = 0,2 Тл/с. Найти мощность тепловыделения в катушке, зная ее сопротивление 100 Ом. Ответ: 0,1 мВт
2. На двух горизонтальных рельсах, расстояние между которыми ℓ = 1,0 м, лежит проводник сопротивлением R = 1,0 Ом, массой m = 0,5 кг. Коэффициент трения между проводником и рельсами μ = 0,1. Вся система находится в однородном магнитном поле с вертикальным направлением

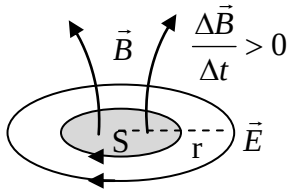
линий магнитной индукции. Значение магнитной индукции B = 0,1 Тл. Рельсы подключают к источнику тока с ЭДС ε = 10 В. Пренебрегая внутренним сопротивлением источника и сопротивлением рельсов, определите установившуюся скорость движения проводника.

3. 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?

Вопросы:

1. Объясните качественно, как правило Ленца связано с законом сохранения энергии.
2. Определите направление индукционного тока в кольце, к которому приближается южный полюс магнита.
3. Как узнать, намагничен ли стальной стержень, имея в распоряжении кусок медной проволоки и катушку с нитками?
4. Почему кольцо из сверхпроводника парит над магнитом?
5. Полосовой магнит падает вертикально через замкнутую проволочную катушку (виток). Построить примерный график зависимости силы тока в витке от времени.
6. 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?
7. Два одинаковых подковообразных магнита сложены противоположными полюсами так, что образуют замкнутый контур. На один из магнитов надета катушка, концы которой присоединены к гальванометру. В момент отрывания одного магнита от другого и в момент их соединения стрелка гальванометра отклоняется (в противоположные стороны). Укажите причины отклонения стрелки гальванометра.

III. Демонстрация возникновения индукционного тока в замкнутом проводящем контуре при введении в него постоянного магнита. Какое поле может вызвать движение свободных заряженных частиц в проводнике, если он неподвижен? Батарейка?! Электрическое поле! $\vec{F}_э = q\vec{E}$. А магнитное?! Нет! $F_M = q\upsilon B\sin\alpha$. Если $\upsilon = 0$, 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.

Направление вихревого электрического поля (рисунок на доске). То, что один наблюдатель фиксирует как электрическое поле, другой наблюдатель на магните фиксирует как магнитное. **Эти два поля - просто разные проявления**

одной сущности! При быстром движении магнита можно ощутить не только магнетизм, но и толику электричества!

Особенности поля:

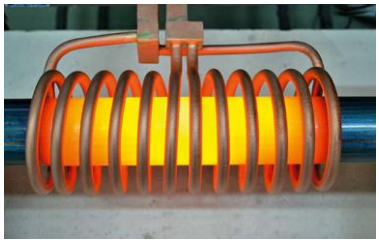
- **Силовые линии замкнуты (вихревое поле).**
- **Направление вихревого электрического поля образует левый винт с нарастающим вектором $\vec{B}$.**
- **Работа вихревого электрического поля при перемещении электрического заряда по замкнутому пути не равна нулю (поле не потенциальное), а электрическая сила, вызванная этим полем, неконсервативная.**
- **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.

Вихревые токи (опыты с универсальным трансформатором):

- Замкнутый проводящий контур с лампочкой в переменном магнитном поле (свечение лампочки от катушки на 6 В, подключенной к ЗГ).



- Нагревание колец (трогают ученики).
- Индукционные печи (индукционный нагрев).
- Микроволновка (диэлектрический нагрев).
- Трансформатор.
- Сварочный трансформатор.
- В аэропортах применяются детекторы металла, которые фиксируют поля индукционных токов в металлических предметах.
- Электродинамическая подвеска в поездах на магнитной подушке.
- Модель бетатрона.
- Взаимодействие индукционного тока с переменным магнитным полем (модель спидометра).
- Электромагнитная муфта. Торможение радиальных пил магнитом.

IV. *Задачи:*

1. Какая энергия сообщается электрону, движущемуся со скоростью $2\cdot10^7$ м/с по окружности радиуса 50 см, если индукция магнитного поля на площади окружности за один оборот электрона увеличивается на 0,1 Тл.
2. Квадратная проволочная рамка со стороной 40 см лежит на столе. Линии индукции однородного магнитного поля перпендикулярны плоскости рамки. Модуль индукции этого поля за время τ = 10 с равномерно убывает от B = 1

Тл до нуля. Сопротивление витка г= 0,5 кОм. Определите работу, которую совершает вихревое электрическое поле в рамке за это время.

3. Индукция магнитного поля внутри цилиндра радиуса 8 см возрастает со временем по закону B = $\alpha \cdot t^2$ (коэффициент α = 10^{-4} Тл/с^2). 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 = 4с?

Вопросы:

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 шарику, 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. Магнитное поле нельзя ничем экранировать, оно проникает сквозь любые вещества, кроме сверхпроводников. Так ли это?
6. Почему токи в трубопроводах, возникающие после вспышек на Солнце (геомагнитно-индуцированные) могут достигать тысячу ампер? Почему после каждой солнечной вспышки стенки трубопроводов становятся тоньше?
7. Как перемещается по рельсам поезд на магнитной подушке?
8. На вертикально расположенной катушке лежит металлическая монета. Почему она нагревается, когда по катушке течет переменный ток, и остается холодной — при постоянном токе?
9. Почему изменения магнитного поля Земли во время солнечных вспышек генерируют электрические токи в соленой воде, литосфере Земли, линиях электропередачи и других проводниках?
10. Ротор работающего электрогенератора испытывает торможение. Какова природа сил, вызывающих это торможение?
11. Перечислите реальные способы левитации.

V. §§ 5-7. Упр. 1, № 9.

1. Напишите микро-сочинение с ключевыми словами: катушка, магнит, провод, магнитная стрелка, какая-то тайна.
2. Во Франции была построена модель электрического орудия, бросавшего снаряд массой 50 г со скоростью 200 м/с. Никакого давления, ничтожная температура, почти никакого звука. Каков принцип действия этого орудия? Почему же не построить по этой модели настоящее боевое орудие?
3. Предложите конструкцию прибора для измерения угловой скорости (тахометра).
4. Если кольцевой сверхпроводник ("бублик") поместить в магнитное поле и после этого перевести его в сверхпроводящее состояние, то магнитный поток через этот контур окажется "замороженным", то есть не будет изменяться. Почему?
5. Какую силу необходимо приложить, чтобы вдвигать магнит в замкнутое проводящее кольцо? Оцените, как зависит эта сила от расстояния.

6. Сделайте волчок, проткнув монету иглой. Если такой волчок окажется в поле постоянного магнита, то резко изменит траекторию своего движения. Почему?
7. *Если медная пластинка поворачивается вблизи от магнитной стрелки или от магнита, подвешенного таким образом, что он может вращаться в плоскости, параллельной плоскости пластинки, то магнит стремится следовать за движением пластинки; если же поворачивается магнит, пластинка стремится следовать за его движением; и это взаимодействие является настолько сильным, что поворачивает магниты, или пластинки, весом в несколько фунтов. Это и есть явление, открытое Араго.*

М. Фарадей

Проведите опыты и дайте объяснение этому явлению.

Настало время нам взглянуть на путь,
Который пройден был,
И вскинуть взор к вершине,
Которую стремимся мы достичь".

Дж. Брэдли

Урок 62/6.

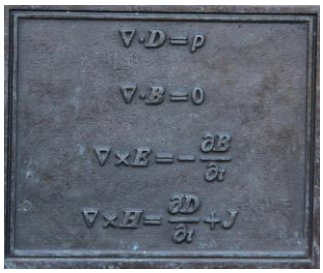
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Уравнения Максвелла или почему свет быстрее, чем звук!!!

ЦЕЛЬ УРОКА: Обобщить и систематизировать знания учащихся об электрических и магнитных полях; дать качественную формулировку основных законов электродинамики (уравнений Максвелла).

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: катушка индуктивности, универсальный трансформатор, обобщающая таблица "Электромагнитное поле".



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Вихревое электрическое поле. 2. Вихревые токи.

Задачи:

1. Тороидальная вакуумная камера расположена по периферии магнита диаметром 1 м. Чему равна напряженность электрического поля в камере, если магнитная индукция возрастает за 0,01 с от 0 до 1 Тл?
2. 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.

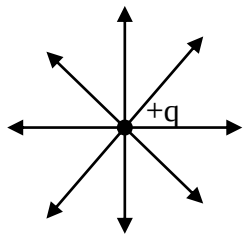
Вопросы:

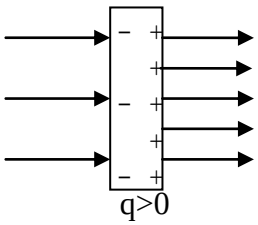
1. В переменное магнитное поле помещена катушка и виток. Почему ЭДС в катушке больше, чем в одном витке?
2. Полосовой магнит поочередно вводится в кольцевые проводники различного радиуса. Что вы можете сказать об ЭДС индукции, возни-

кающей в проводниках; напряженности вихревого электрического поля; силе тока?

3. Определите ЭДС индукции в контуре, если магнитный поток через контур за каждые 2 с увеличивается на 10 Вб. 5 В.
4. Почему при транспортировке клеммы электроизмерительных приборов замыкают проводом?
5. Каким образом можно экранировать некоторую область пространства от влияния быстроизменяющихся магнитных полей?
6. Вихревое электрическое поле имеет совершенно другие свойства в отличии от электростатического поля. Какие?
7. Предложите проект индукционной конфорки для приготовления пищи. Почему их КПД достигает 98%?
8. Магнит падает вдоль оси полого металлического цилиндра. Влияет ли разрез по образующей цилиндра на скорость его падения?
9. При быстром нарастании и более медленном убывании импульсного тока в катушке, алюминиевый сердечник выталкивается из нее. Почему?
10. Молния ударила в здание физической лаборатории. Некоторые электроизмерительные прибора сгорели. Какие?
11. Медицинский прибор для извлечения неферромагнитных металлических опилок из глаза представляет собой сильный электромагнит, питаемый переменным током. Каков должен быть график зависимости силы тока в обмотках электромагнита от времени, чтобы прибор отвечал своему назначению?
12. 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?
13. Если бы ваш дом был наполнен плазмой, движение магнита заставило бы воздух двигаться. Почему?

III. Электрическое поле. Что является источником электрического поля? **Источниками электрического поля являются электрические заряды. Магнитное поле.** Есть ли источники у магнитного поля? **Электрическое поле** может быть создано одним «полюсом» (монополем), а **магнитное** создается только парой полюсов, северным и южным (диполем). **У магнитного поля в природе нет источников (магнитных зарядов).**





До сих пор не обнаружено наличия магнитного заряда, своеобразного отдельного тела только с северным или только южным полюсом. Поиски ведутся много лет, хотя и не приносят пока результата. На всякий случай были

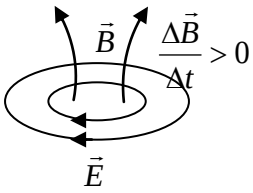
проверены даже многие известные частицы вроде электрона - самое чувствительное оборудование не обнаружило у него следов магнитного заряда.

На что действуют электрическое поле; магнитное поле?

$$\vec{F}_Э = q\vec{E}; \qquad F_M = q\upsilon B\sin\alpha.$$

Демонстрация явления электромагнитной индукции (несколько месяцев разделяет день рождения Максвелла и день открытия закона электромагнитной индукции). Какое поле в данном случае вызывает движение свободных электронов (электрический ток) в катушке?

Электрическое поле всегда выполняет работу над движущимся зарядом, а магнитное поле — никогда, и потому оно не может изменить его кинетическую энергию.



Третье уравнение Максвелла (для вакуума):

$rot\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{d\vec{B}}{dt}$(только формула и качественное объяснение).

Вихревое электрическое поле создается переменным магнитным полем.

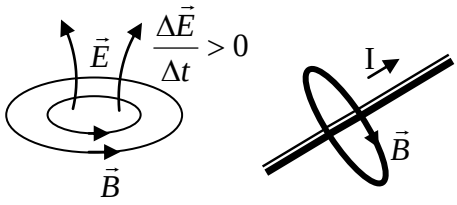
Если движется магнит, а проводник покоится, то вокруг магнита возникает электрическое поле, которое порождает ток в проводнике.

А. Эйнштейн

Дополнительный материал. Мысленный эксперимент с зарядкой конденсатора (рисунок на доске). Чем создается магнитное поле? **Четвертое уравнение Максвелла** (только рисунок).

Магнитное поле создается электрическим током и переменным электрическим полем.

Идея Максвелла заключалась в том, что изменяющееся во времени электрическое поле с определенной точки зрения можно рассматривать как электрический ток, и этот ток способен возбуждать в окружающем пространстве магнитное поле. Асимметрия между переменными электрическими и магнитными полями. Наличие электрических зарядов или магнитов коренным образом изменяет свойства пространства вокруг этих зарядов или магнитов. Максвелл изменил физику до неузнаваемости. Он ввел термин электромагнитных полей, предсказал электромагнитные волны, давление и природу света.



Тот был бог, кто написал эти строки.

Л. Больцман

Прямым следствием уравнений Максвелла оказались электромагнитные волны от радиоволн до ультрафиолета, включая микроволны и видимый свет. Связь электромагнитных волн с зарядами и электрическими токами позволила открыть ионосферу и четвертое состояние вещества – плазму, а также создать радиопередатчики и радиоприемники, современные смартфоны, радары, поляризованные фильтры и многое другое.

Проявления электрических и магнитных полей.

Электрическое поле - создаётся любым заряженным телом или переменным магнитным полем, оказывает воздействие на любое заряженное тело.

Магнитное поле - создаётся движущимися заряженными телами, заряженными частицами, имеющими спин, и переменными электрическими полями, оказывает воздействие на движущиеся заряды и заряженные тела, имеющие спин**.**

На самом деле заряды и токи создают электромагнитные поля, а разделение их на электрическую и магнитную составляющую производится в заданной системе отсчета для упрощения описания, если это возможно. **Электрическое и магнитное поля - проявления единого и неделимого электромагнитного поля! Электромагнитное поле - вид материи, проявляющийся при взаимодействии с заряженными телами.**

АНЕКДОТ. В электричке на скамейке спит студент. Под головой книга Ландау «Теория поля». На конечной остановке к нему подходит бабка: - *Вставай агроном, приехали!*

Исторический факт: В школе Джеймс сначала очень сильно отличался от других учеников. Он говорил с сильным акцентом, носил странную, пошитую его отцом одежду и был очень задумчивым. Как тогда было принято, в шестнадцать лет Максвелл приступил к учебе в университете. Через три года он перевелся из Эдинбургского университета в Кембридж и с самого начала считался там одним из лучших студентов. Один из университетских преподавателей считал, что Максвелл в области физики, казалось, был даже просто не способен высказать какую-нибудь неверную мысль. Однажды Фарадей, заметив своего молодого друга Максвелла в плотном кольце студентов, воскликнул: «Ха, Максвелл! Вы не можете выбраться сквозь толпу, так это вы – такой специалист по молекулярному движению!»

Интересно то, что Максвелл, будучи физиком, плохо знал математику, но владел 6 языками.

IV. *Вопросы:*

1. Внутри конденсатора существует электрическое и магнитное поля. Изменяется ли и как заряд на обкладках конденсатора?
2. Если бы существовали магнитные заряды, то, как тогда можно было бы объяснить природу земного магнетизма?
3. При относительном движении магнита и катушки в катушке возникает электрический ток. Объясните причину его возникновения в каждом случае.
4. Почему электрическое поле можно экранировать, а гравитационное поле – нельзя?
5. Чем отличается электрическое поле, созданное неподвижными зарядами, от электрического поля, созданного переменным магнитным полем?
6. Плоский конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения. Что нужно сделать, чтобы вокруг конденсатора возникло магнитное поле?
7. Почему пластик или любой другой непроводящий материал без труда проникнет в мощное электрическое или магнитное поле.
8. Между любыми двумя точками однородного проволочного кольца разность потенциалов равна нулю, а ток в кольце существует. Когда это возможно?
9. Почему движущийся магнитный монополь будет образовывать вокруг себя круговое электрическое поле?

V. § 10.

1. Составить обобщающую таблицу "Электромагнитное поле", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Как вела бы себя магнитная стрелка, если бы она двигалась параллельно электронному пучку с той же скоростью, что и электроны?
3. В однородном магнитном поле электрон движется по окружности определенного радиуса. Уменьшается или увеличивается радиус кривизны траектории электрона при медленном возрастании индукции магнитного поля.
4. Подводная лодка со стальной обшивкой вызывает местное возмущение в магнитном поле Земли, благодаря чему лодку можно обнаружить с помощью прибора, чувствительного к очень слабым изменениям поля. Предложите конструкцию прибора и обоснуйте способ его применения.
5. Скирмионы представляют собой крошечные вращающиеся магнитные "водовороты", которые, словно мышь под ковром, могут передвигаться по поверхности материала. Как создать такой «водоворот» и как перемещать его по поверхности материала?

Искра при открытии цепи будет сильнее, когда длинную соединительную проволоку наматывают на цилиндр в виде спирали, а еще сильнее, когда цилиндр будет железный.

Э. Ленц

Урок 63/7.

САМОИНДУКЦИЯ

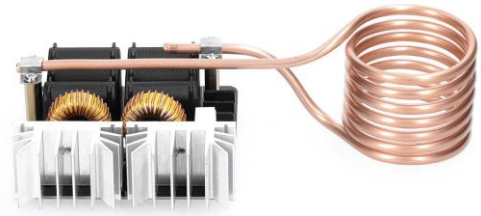
Как заставить медную катушку летать?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с явлением самоиндукции и его практическими применениями.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: катушка индуктивности с сердечником, неоновая лампа, блок питания, прибор для изучения явления самоиндукции, лампочка накаливания 2 штуки на 30 В, реостат, ключ.

ПЛАН УРОКА:

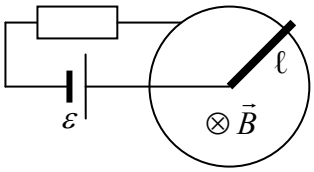


1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Электромагнитное поле.

Задачи:

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.
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?



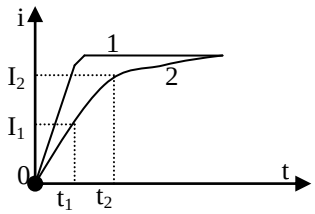
3. На рисунке изображена модель двигателя постоянного тока. ЭДС батареи ε , индукция магнитного поля B, сопротивление цепи R, длина перемычки ℓ. Определите установившуюся угловую скорость перемычки и ток в цепи, если сила трения в подвижном контакте F.

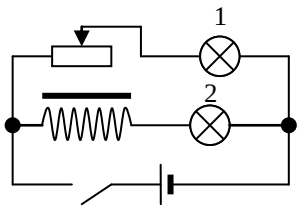
Вопросы:

1. Верно ли утверждение, что электромагнит не действует на медную пластинку?
2. Возникнет ли ЭДС в расположенном горизонтально круговом контуре, если вдоль оси этого контура будет свободно падать заряженный шарик?

3. В кольцо из диэлектрика вдвигают магнит. Какое возникает явление?
4. Поверх длинного соленоида вплотную намотана катушка. Ток в соленоиде нарастает прямо пропорционально времени. Каков характер зависимости тока от времени в катушке?
5. Проводящий контур пронизывается переменным магнитным полем, индукция которого B = αt, перпендикулярна плоскости контура. Как изменяется ток в контуре?
6. Почему невозможно мгновенно создать магнитное поле в пространстве? А уничтожить?
7. Почему висит легкое алюминиевое кольцо на вертикальном сердечнике катушки, по которой пропускают переменный ток?
8. Почему иногда недалеко от места удара молнии могут расплавиться предохранители в осветительной сети и повредиться чувствительные электроизмерительные приборы?
9. Какова причина возникновения тока в короткозамкнутой катушке: а) при ее приближении к магниту; б) при приближении магнита к катушке? Можно ли обе причины возникновения индукционного тока свести в одну?

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 (объяснение по рисунку и графику). Возникновение ЭДС самоиндукции и индукционного тока в катушке, его направление.





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

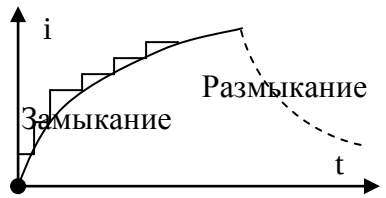
$$\varepsilon_c = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad \to e_c = -L\cdot i'.$$

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] = [Гн].

Индуктивность катушки: $L = \mu\mu_0\dfrac{N^2 S}{\ell}$. 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 Гн, I = 1 А, а $\Delta t = 10^{-3}$ с. то ε_c = 1000 В. Поэтому проскакивает искра между контактами рубильника при их размыкании и загорается неоновая лампа, подключенная параллельно им.



Этот эффект используется в системе зажигания автомобиля (магнето). Демонстрация зажигания неоновой лампы от источника тока с ЭДС 4 В.

Эксперименты учеников с дроссельной катушкой ("кольцо дружбы").

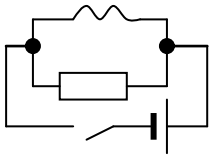
При отключении питания электромагнита (катушки) магнитный поток в нём начинает быстро уменьшаться, что приводит к возникновению ЭДС самоиндукции, которая может достигать 3 – 4 кВ. В ряде случаев это даже может приводить к пробою катушки и опасно для обслуживающего персонала. Для предотвращения этого иногда подключают к катушке специальное сопротивление, называемое разрядным, или параллельно катушке включают диод, но против напряжения питания. Почему с помощью диода убирается пик напряжения?

Внезапное отключение электричества из-за энергетического кризиса может вывести из строя коллайдер стоимостью $4{,}4 \cdot 10^9$ *$* (В ЦЕРНе рассматривают такую возможность)!

Самоиндукция - возникновение ЭДС в проводящем контуре при изменении в нем силы электрического тока.

Дополнительная информация. В одной английской лаборатории ученые пытались поставить опыт: вызвать электрическую искру из термопары. Это не смог сделать ни Чарльз Уитсон, ни Майкл Фарадей. Присутствовавший американец Джозеф Генри быстро намотал на палец проволоку, вставил в спираль железный сердечник и получил искру. Фарадей восхищенно зааплодировал и воскликнул: *«Ура эксперименту янки! Но что же вы такое сделали?»*. После этого Д. Генри пришлось объяснить явление самоиндукции ученому, открывшему явление электромагнитной индукции.

IV. *Задачи:*



1. Катушка сопротивлением 0,5 Ом и индуктивностью 4 мГн соединена параллельно с проводом сопротивлением 2,5 Ом, по которому течет постоянный ток силой 1 А. Определить количество электричества, которое будет индуцировано в катушке при размыкании цепи ключом.
2. Однослойный соленоид без сердечника длиной ℓ = 20 см и диаметром D = 4 см имеет плотную намотку медным проводом диаметром d = 0,1 мм. За время Δt = 0,1 с сила тока в соленоиде убывает от I_1 = 5 А до 0. Определите ЭДС самоиндукции в соленоиде. 1,6 В
3. В цепи индуктивность катушки 0,1 Гн, ее сопротивление пренебрежимо мало. ЭДС источника тока 12 В, его внутреннее сопротивление 0,3 Ом, сопротивление резистора, включенного последовательно с катушкой, 2,7 Ом. Ключ замыкают. 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа. 2) Найти скорость возрастания тока в момент, когда ток достигнет 1 А. 3) Найти установившийся ток в цепи.
4. Соленоид изготовлен из медной проволоки, имеющей площадь поперечного сечения S = 1 мм^2. Длина соленоида ℓ = 25 см, его омическое сопротивление R = 0,2 Ом. Определить индуктивность соленоида L без сердечника.

5. В результате деформации катушки ее индуктивность уменьшается по закону $L = 0{,}1-0{,}004 \cdot t$ (Гн), где t — время, с. Каково значение ЭДС самоиндукции, если по катушке течет постоянный ток 10 А?

Вопросы:

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. Назовите основные явления, подтверждающие существование магнитного поля.
7. Может ли возникать искра между двумя контактами при их размыкании?
8. Назовите свойство проводника:
   - накапливать электрический заряд;
   - оказывать противодействие протекающему по нему электрическому току;
   - противодействовать изменению электрического тока в нем;
   - занимать часть пространства;
   - противодействовать изменению скорости.

V. § 8. Упр. 1, № 10.

1. Составить обобщающие таблицы "Индуктивность" и "Самоиндукция", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Соберите электрическую цепь, соединив последовательно выключатель лабораторный, источник тока, лампу накаливания, электрический звонок и дроссельную катушку. Параллельно катушке присоедините неоновую лампу. При замыкании цепи работает электрический звонок и горит неоновая лампа, а лампа накаливания не горит. Если исключить из цепи звонок, то загорается лампа накаливания, а неоновая лампа гаснет. Почему?
3. Приведите наибольшее количество примеров полезного и вредного проявления самоиндукции.
4. В фотосфере Солнца часто возникают солнечные пятна, которые усиливают магнитное поле звезды. Потом оно с помощью солнечного ветра отклоняет галактические космические лучи и таким образом, снижает общий уровень космической радиации на Земле. Возможно ли это?

Фарадей был глубоко убежден в аксиоме или, если хотите, в догме, что материя не может действовать там, где ее нет.

Дж. Дж. Томсон

Урок 64/8.

ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Место частиц заняли поля – заполнявшие всё пространство на манер океана.

ЦЕЛЬ УРОКА: Пользуясь аналогией между самоиндукцией и инерцией, получить формулу для определения энергии магнитного поля тока и научить учеников применять ее в конкретных ситуациях.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: две дроссельные катушки, сердечник, выпрямитель, ключ, обобщающая таблица "Закон электромагнитной индукции".

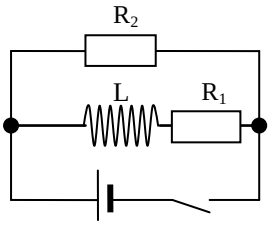
ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

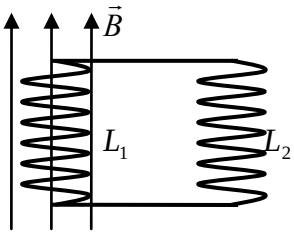
II. Опрос фундаментальный: Явление самоиндукции. 2. Индуктивность.

Задачи:

1. В электрической цепи, представленной на рисунке, ЭДС источника тока равна 15 В, индуктивность катушки 10^{-3} Гн, сопротивления R_1 = 10 Ом, R_2 = 20 Ом. Определите максимальное и минимальное значения силы тока в цепи. Внутренним сопротивлением источника тока и сопротивлением катушки пренебречь.



2. Сверхпроводящий соленоид длиной ℓ = 10 см и площадью сечения сердечника S = 2,0 см^2 имеет N = 1000 витков и подключена к батарее с напряжением U = 12 В. Чему равен ток спустя 0,01 с после замыкания ключа? 47,8 А

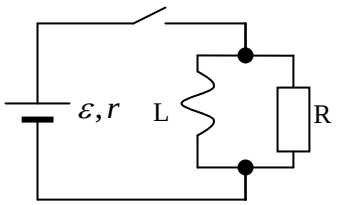


3. Катушка с числом витков N и площадью основания S помещена в однородное магнитное поле с индукцией B, направленное вдоль её оси. Какой ток возникнет в катушках, если магнитное поле выключить? Индуктивности катушек L_1 и L_2, сопротивлением цепи пренебречь.

   Решить: $e_i + e_{c_1} + e_{c_2} = 0$ или через закон сохранения магнитного потока.

4. 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.

5. Параллельно соединенные катушка с индуктивностью L и резистор R, подключены через ключ к источнику тока с постоянной ЭДС ε и внутренним сопротивлением r. В начальный момент времени ключ разомкнут, и тока в цепи нет. Какой заряд протечет через резистор после замыкания ключа. Омическим сопротивлением катушки пренебречь.

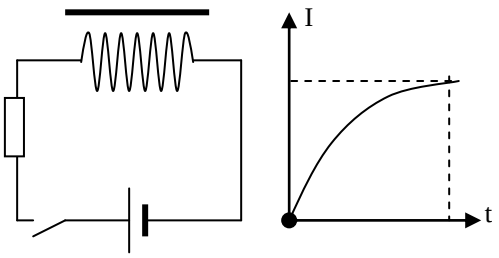


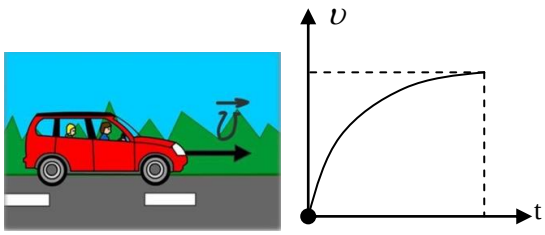
Вопросы:

1. При электросварке применяется стабилизатор - катушка со стальным сердечником, включенная последовательно с дугой. Почему стабилизатор обеспечивает устойчивое горение дуги?
2. Все размеры катушки увеличили в 2 раза. Во сколько раз изменилась ее индуктивность?
3. В какой момент искрит рубильник: при замыкании или размыкании? Если параллельно рубильнику включить конденсатор, то искрение прекращается. Объясните явление.
4. Почему при отрыве бугеля трамвая от воздушного провода искрение незначительно, если работает только освещение вагона, а двигатель отключен?
5. Имеются два провода равной длины, но разного сечения. Какой из них нужно навивать (однослойной намоткой) на железный сердечник, чтобы получить большую индуктивность?
6. Почему для получения большей индуктивности применяют тороидальную катушку?
7. Предложите конструкцию "без индукционной" катушки.
8. Почему некоторые лампы дневного света при включении долго мигают?

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

Электрическая цепь. Механическая аналогия с разгоном автомобиля.





Увеличение силы тока: $A_1 = \frac{LI^2}{2} + Q_1; A_2 = Q_2$. Увеличение скорости: $A_1 = \frac{m\upsilon^2}{2} + Q_1$

L – индуктивность. m – масса.

Формула для определения **энергии магнитного поля тока**: $W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi \cdot I}{2}$

Демонстрация возникновения электрической дуги при размыкании электрической цепи. Энергия, запасенная в дроссельной катушке: U = 6 В, R = 50 Ом, $I = \frac{U}{R}$ = 0,12 А, $W_L = \frac{LI^2}{2}$ = 0,008 Дж. На какую высоту необходимо поднять катушку, чтобы она обладала такой же энергией (m = 2 кг)? Но если от этой энергии "избавиться" за Δt = 1 мкс, то выделится

мощность 8 кВт! *Вопрос:* При замыкании и размыкании цепи в катушке возникает индукционный ток. В каком случае его значение будет больше?

Катушка индуктивности может запасать электрическую энергию!

Где сосредоточена эта энергия? Плотность энергии магнитного поля:

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

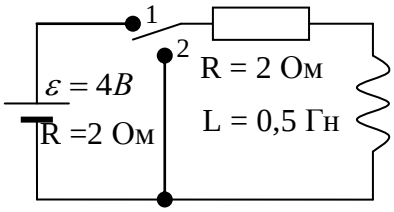
Соединение катушек индуктивности:

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

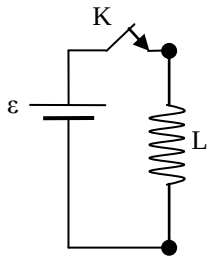
Накопители энергии - сверхпроводящие соленоиды. Магнитное поле нейтронной звезды. Электромагнитная масса электрона. Перезамыкание магнитных полей и вспышки на Солнце.

IV. *Задачи:*

1. Сравните энергии конденсатора емкостью 10 мкФ, напряжение на обкладках которого 20 В, и катушки индуктивностью 10 Гн при силе тока в ней 20 А.



2. Пусть в схеме ключ находится в положении 1 и в цепи течет постоянный ток. Какая энергия запасается в катушке? Какова полная энергия, рассеиваемая в резисторе после переключения ключа?

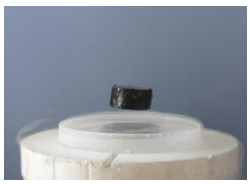


3. На рисунке показана идеальная цепь, состоящая из источника ЭДС ε и катушки индуктивности L. Пусть полное сопротивление цепи равно нулю. Какой ток будет в цепи спустя 1 с после замыкания ключа, если L = 0,1 Гн, а ε = 1,5 В?
4. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией B = 0,2 Тл находится квадратный проводящий контур со стороной a = 20 см и током I = 10 А. Плоскость квадрата составляет с направлением поля угол в 30°. Определите работу удаления контура за пределы поля.

Вопросы:

1. Одним и тем же магнитом можно намагнитить большое количество стальных гвоздей. Благодаря какой энергии происходит их намагничивание?
2. Как измерить энергию магнитного поля катушки?
3. При нагревании выше точки Кюри магнит размагничивается. Куда исчезает энергия магнитного поля?
4. При внесении внутрь соленоида железного сердечника энергия его магнитного поля возрастает в тысячи раз. За счет чего это происходит?
5. При сближении двух магнитов одноименными полюсами приходится совершать работу по преодолению силы отталкивания. На что тратится энергия?
6. Кольцо из сверхпроводника пронизывает магнитный поток. В кольце нет тока. Каким будет магнитный поток через это кольцо, если убрать магнит?

7. Как изменяется энергия магнитного поля при приближении магнита к металлическому кольцу?
8. Диаметр провода соленоида при сплошной намотке уменьшили. Что возросло больше - магнитная индукция или электрическое сопротивление?
9. 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.

10. Какую работу необходимо совершить, чтобы из сверхпроводящей катушки индуктивностью L с силой тока I удалить ферромагнитный сердечник с магнитной проницаемостью μ?
11. Заряженная частица движется прямолинейно. Как изменится энергия электрического поля этой частицы при переходе в систему отчета, в которой эта частица покоится?
12. 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?
13. Зачем при хранении дугообразного магнита его концы соединяют железным бруском (якорем)?

V. § 9

1. При сближении двух отталкивающихся магнитов возрастает потенциальная энергия системы. Куда исчезает энергия, расходуемая при сближении двух проводников с токами противоположных направлений?
2. Как можно избежать аварии, связанной с перегоранием обмотки сверхпроводящего соленоида?
3. Тонкое проводящее кольцо помещено в магнитное поле с индукцией B, перпендикулярное плоскости кольца. Радиус кольца увеличивается с постоянной скоростью υ. Определите зависимость тока в кольце от времени, если в начальный момент сопротивление кольца R_0, а радиус кольца r_0. Считать, что плотность и проводимость материала кольца при растяжении не меняются.

Есть такие заблуждения, которые нельзя опровергнуть. Надо сообщить заблуждающемуся уму такие знания, которые его просветят. Тогда заблуждения исчезнут сами собою. Иммануил Кант

Скажи, и я забуду; покажи, и я запомню, дай действовать, и я научусь.

Китайская мудрость

Урок 65/9.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Какая энергия у электрического тока?

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учащихся решать задачи на применение закона электромагнитной индукции в конкретных ситуациях.

ТИП УРОКА: решение задач.

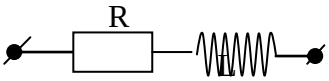
ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

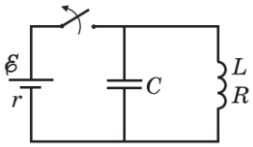
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Энергия магнитного поля. 2. Плотность энергии магнитного поля.

Задачи:



1. В цепи R = 0,2 Ом, L = 0,03 Гн, напряжение на клеммах цепи 0,5 В. В данный момент времени ток увеличивается со скоростью 3 А/с. Какова величина тока в этот момент?
2. Катушку индуктивностью L = 0,3 Гн подключают к источнику с ЭДС ε = 1,5 В. Через какой промежуток времени Δt сила тока в цепи будет равна I = 5 А? Омическим сопротивлением катушки и внутренним сопротивлением источника пренебречь. 1 с

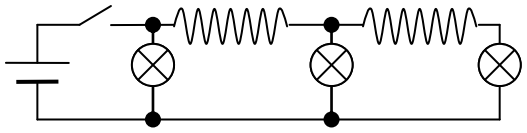


3. По катушке сопротивлением 3 Ом в течение 0,1 с протекал ток, при этом энергия магнитного поля оказалась равной энергии, рассеянной обмоткой. Определите индуктивность катушки.
4. Катушка индуктивностью L = 2 мГн с сопротивлением обмотки R = 10 Ом и конденсатор емкостью C = 10^{-5} Ф подключены параллельно к источнику с ЭДС ε = 100 В и внутренним сопротивлением r = 10 Ом. Какое количество теплоты Q выделится в контуре после отключения источника? 37,5 мДж
5. 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.

Вопросы:

1. Как ослабить силу индукционного тока, возникающего при размыкании цепи с большой индуктивностью?
2. 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.
3. Поясните превращения энергии, происходящие при следующих процессах:
   - магнитная стрелка поворачивается вблизи проводника, по которому пропустили ток.
   - электромагнит притягивает к себе якорь.
   - от электромагнита, по обмотке которого течет ток, отрывают якорь.
   - постоянный магнит притягивает к себе кусок железа.
4. 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?

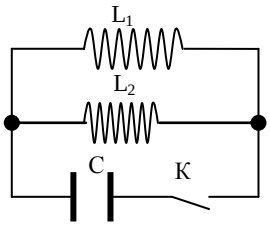
5. Вокруг проводника при пропускании тока возникает магнитное поле. Что является источником энергии этого поля?
6. Докажите, что при последовательном соединении катушек их индуктивности складываются.



7. Цепь состоит из трех одинаковых ламп и двух идеальных катушек. При замкнутом ключе все лампы горят одинаково. Как будут гореть лампы сразу после размыкания ключа?
8. Нарисуйте схему с электромагнитным реле, которая бы предотвращала взрыв сверхпроводящего соленоида вследствие того, что какой-либо участок его обмотки утратил сверхпроводящие свойства.
9. Измерив подъемную силу постоянного магнита и площадь его поперечного сечения, можно определить его магнитную индукцию. Так ли это?
10. Почему невозможно возбудить магнитное поле в веществе, которое находится в сверхпроводящем состоянии?

III. *Задачи:*

1. Соленоид длиной ℓ = 50 см и площадью поперечного сечения S = 2 см^2 имеет индуктивность L = $2\cdot10^{-7}$ Гн. При какой силе тока плотность энергии магнитного поля внутри соленоида u = 10^{-3} Дж/м^3.
2. 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?
3. 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 К. Сопротивлением катушек и соединительных проводов пренебречь.



V. Подготовка к контрольной работе.

1. Если вложить два одинаковых соленоида с током друг в друга, то энергия их магнитного поля либо учетверится, либо станет равной нулю. Почему это происходит?
2. Какой источник энергии самый мощный?

Не пиши кратко. Это свидетельствует либо о большом таланте, либо о скудости ума. Ни того, ни другого оппоненты тебе не простят.

Физики продолжают шутить

Урок 66/10.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Вы должны быть честными, а я не должен быть лохом!

1. Для защиты отсека космического корабля от потоков заряженных частиц изготовили соленоид длиной ℓ = 5 м и внутренним диаметром D = 1,5 м. Сколько энергии должны затратить солнечные батареи для получения в соленоиде поля индукции B = 1 Тл? Затратами энергии на нагрев провода в обмотке соленоида можно пренебречь, поле в соленоиде считать однородным.

Когда один французский писатель пожаловался, что его не избрали в академики, Наполеон предположил, что это потому, что тот не знает дифференциального исчисления.

Исторический факт

Существует поразительная возможность овладеть предметом математически, не понимая существа дела.

А. Эйнштейн

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ТЕМЕ: ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ (ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ)

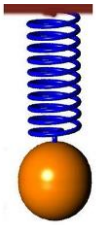
1. Урок 67/11

Почему у комаров в густом тумане уменьшается частота взмахов крылышками?

ЦЕЛЬ УРОКА: Выяснить главные особенности колебательного движения, повторить с учащимися понятия: амплитуда, период, частота, смещение. Вывести уравнение движения пружинного и математического маятника, получить уравнение гармонических колебаний.

ТИП УРОКА: лекция.

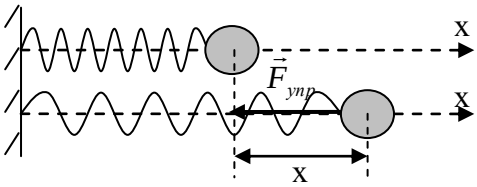
ОБОРУДОВАНИЕ: нитяной и пружинный маятники, секундомер демонстрационный, линейка демонстрационная, диск вращающийся с принадлежностями, проекционный аппарат.

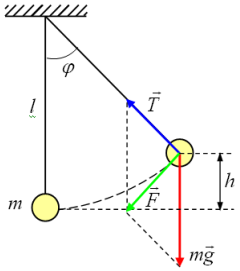


ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом

II. Следующая тема - "Электромагнитные колебания", однако пару уроков необходимо отвести для повторения темы "Механические колебания". Собственные колебания. Примеры собственных колебаний. Какими свойствами должна обладать колебательная система для того, чтобы в ней могли возникнуть собственные колебания? Пружинный маятник. Разбор динамики колебаний горизонтального пружинного маятника. 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: $a_x = -\frac{g}{l}x = -\omega_{0м}^2 \cdot x.$ Применив основные законы механики, мы получили уравнения движения двух колебательных систем, которые очень похожи друг на друга, однако основная задача механики состоит в установлении вида функций x = x(t), удовлетворяющей уравнению движения. Эта функция имеет вид: $x = A\cos(\omega t + \varphi_0).$

До чего додумались математики: Пол-литровая бутылка московской особой водки стоила 2,87 рубля, а четвертина – 1,49 рубля. Что получится, если стоимость четвертины возвести в степень стоимости поллитровки?

Смещение (x) - значение координаты гармонически колеблющегося объекта в данный момент времени. x = [-A; A].

«Производная – это скорость…»
У. Томсон
Ну, подифференцируйте. Это... расслабляет.
Цитаты преподавателей МФТИ

Так как $\upsilon_x = \frac{dx}{dt} = x' = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_o); a_x = \frac{d\upsilon_x}{dt} = (\upsilon_x)' = x'' = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0)$, то легко показать, что $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ удовлетворяет уравнению движения. По формулам можно определить смещение, проекцию скорости и проекцию ускорения гармонически колеблющегося объекта в любой момент времени.

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.

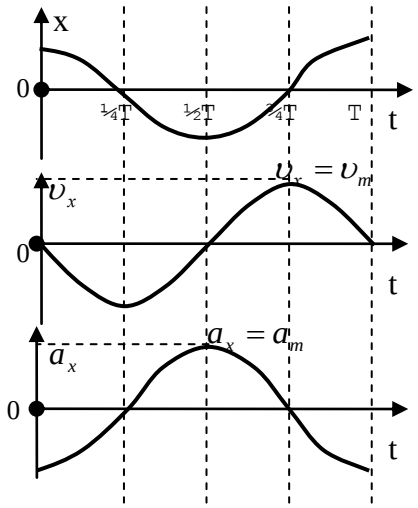
$$x = A\cos(\omega(t+T) + \varphi_0) = A\cos(\omega t + \varphi_0) \to \omega T = 2\pi \to \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Фаза (φ) - изменяющийся аргумент функции, описывающей колебательный процесс.

Начальная фаза (φ_0) - фаза колебаний в начальный момент времени.

Если при t = 0, x = A, то $\varphi_0 = 0$;
t = 0, x = 0↓ ±, то $\varphi_0 = \pi/2$;
t = 0, x = - A, то $\varphi_0 = \pi$;
t = 0, x = 0↑ ±, то $\varphi_0 = \frac{3}{2}\pi$.

"Тривиально" и "очевидно" - волшебное заклинание каждого математика!
Цитаты преподавателей МФТИ



Понятие "начальная фаза" подробно повторить на примерах и демонстрациях с двумя нитяными маятниками одинаковой длины.

Циклическая частота (ω) – 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. $\upsilon_{мах} = A\omega; a_{мах} = A\omega^2$.

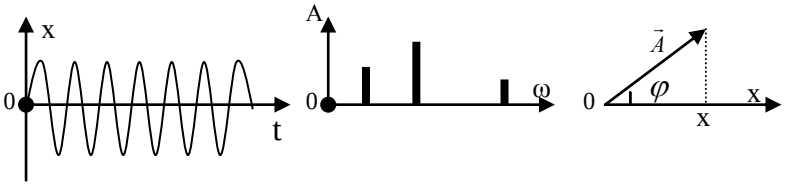
$\omega_{on} = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$

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

Свободные колебания пружинного и нитяного маятников являются гармоническими. Христиан Гюйгенс предложил использовать в качестве единого стандарта метра длину математического маятника с периодом 2 с. Почему от него позже отказались?

Графическое представление гармонических колебаний: графический x = x (t), спектральный, метод векторных диаграмм.

Дополнительный материал: Сложение колебаний. *Задача:* Складываются два гармонических колебания, периоды и амплитуды которых равны, а фазы смещены друг относительно друга на п/2. Чему равен период результирующего колебания и его амплитуда? Начертите график результирующего колебания.



Гармонический анализ. Синтетизатор речи. Фурье показал, что сложная форма волны (колебаний) может быть представлена как сумма простых волн. Уравнения, описывающие классические системы, легко решаются для каждой из этих простых волн. Эти простые решения можно суммировать, чтобы получить решение всей сложной задачи в целом.

Дополнительный материал: Сложение колебаний, происходящих в двух взаимно перпендикулярных направлениях (фигуры Лиссажу). **Примеры:** Фигуры Лиссажу могут быть замкнутыми и незамкнутыми. При каком условии? Для наблюдения фигур Лиссажу можно использовать осциллограф (исследование в лаборатории), маятник, стальную линейку, изогнутую так, что плоскость одной половинки линейки перпендикулярна плоскости другой, а один из концов зажат лапкой штатива (соотношение между частотами определяется длиной зажатого конца).

$x = A_1 \sin\omega t$	$x = A \cos\omega t$	$x = A_1 \cos\omega t$
$y = A_2 \sin\omega t$	$y = A \sin\omega t$	$y = A_2 \sin\omega t$
$y = \frac{A_2}{A_1} x; tg\alpha = \frac{A_2}{A_1}.$	$x^2 + y^2 = A^2$	$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$

Дополнительный материал: Однажды Шерлок Холмс и доктор Ватсон, отправившись в путешествие на воздушном шаре, приземлились в незнакомой местности. Вскоре они заметили приближающегося человека.

- Не могли бы вы, хотя бы приблизительно, сказать нам, где мы находимся? – спросил его Холмс.

Человек задумался на некоторое время и затем ответил:

- Почему приблизительно? Я могу ответить абсолютно точно. Вы находитесь в корзине воздушного шара.

Очередной порыв ветра понес шар дальше, в неизвестном направлении.

- Черт бы побрал этих математиков! – раздраженно проговорил Шерлок Холмс.
- А почему вы считаете, что этот человек был математиком? – как всегда, удивился Ватсон.
- Ну, во-первых, прежде чем ответить, он подумал, а во-вторых, его ответ был абсолютно точен и абсолютно бесполезен для нас.

III. *Задачи:*

1. Записать уравнение гармонического колебательного движения с параметрами: A = 0,05 м, T = 0,5 с, $\varphi_0 = \pi/2$. В выбранном масштабе построить график этой зависимости.
2. 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.
3. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а радиус Луны в 3,7 раза меньше радиуса Земли. Каков период колебаний маятника на Луне, если на Земле он равен 1 с?
4. 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.

5. 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?

Вопросы:

1. Что можно определить по графику движения при гармонических колебаниях?
2. В какой автомашине трясет меньше – пустой или нагруженной? Почему?
3. В одинаковых или разных фазах колеблются крылья летящей птицы? А руки человека при ходьбе?
4. Изменится ли период колебаний нитяного маятника от того, что его поместили в жидкость, вязкостью которой можно пренебречь?
5. В каком положении тангенциальное ускорение колеблющегося математического маятника равно нулю?
6. В каком положении нормальное ускорение колеблющегося математического маятника максимально?
7. Если поворачивать стул, на котором укреплен колеблющийся нитяной маятник, то он не изменяет плоскости своих колебаний. Как это объяснить?
8. 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?
9. Покажите, что конический и математический маятники одинаковой длины имеют равные периоды колебаний.
10. 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.
11. 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?

IV. Конспект

1. Используя метод аналогий и метод размерностей, определите собственную частоту колебаний воздушного пузырька внутри жидкости.
2. Постройте график функции $x(t) = -1 + \cos(20 \cdot t)$, где t в секундах, а x – в сантиметрах.
3. К одному концу упругой стальной линейки прикреплен груз, а другой конец жестко зафиксирован так, что линейка вертикальна. Отклоняя груз, вызывают его колебания. Один раз опыт проводят при верхнем положении груза, а другой − при нижнем. Объясните, почему периоды колебаний при примерно одинаковой амплитуде заметно отличаются.
4. Груз на легком стержне − тот же нитяной маятник. Как с помощью такого маятника доказать, что его период колебаний зависит от ускорения свободного падения?
5. Нормальный пульс слона около 25 ударов в минуту, у человека около 75, у кошки около 130. Почему?
6. Сложите графически два гармонических одинаково направленных колебания равных периодов, но смещенных по фазе друг относительно друга на π. Амплитуды относятся между собой как 3:1.

7. Определите время соударения теннисного шарика (мяча) с твердой поверхностью при его падении с высоты 1 м без начальной скорости.
8. Горизонтальный цилиндр разделён пополам массивной перегородкой массы *m* так, что длина каждой половинки цилиндра *L*. Площадь поршня *S*; трения нет; температура *T*. Найти частоту малых свободных изотермических колебаний перегородки, если в каждой половине цилиндра находится: *а*) 1 моль идеального газа; *б*) 1 моль насыщенного водяного пара; *в*) 1 моль идеального газа и 1 моль насыщенного пара.

Каждая из областей физики говорит на своем "национальном" языке, но есть "интернациональный" язык, и это язык - теории колебаний.

Л.И. Мандельштам

Урок 68/12.

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИЙ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ

Как изготовить маятник с малым затуханием?

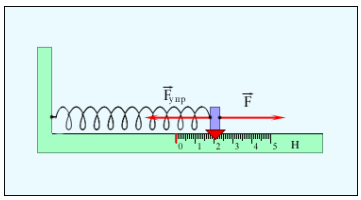
ЦЕЛЬ УРОКА: Показать, какие превращения энергии происходят в системе, совершающей гармонические колебания.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: демонстрационный пружинный и нитяной маятники, ведерко с отверстием, песок, лист бумаги, камертон с острием, закопченная пластинка, стальная пластинка, тисы, звукосниматель, осциллограф.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Собственные гармонические колебания пружинного маятника. 2. Собственные гармонические колебания математического маятника. 3. Скорость и ускорение при гармонических колебаниях.

Задачи:

1. Шар положен на край гладкого стола, плоскость которого перпендикулярна к отвесу. Определите период его малых колебаний.

Если прорыть в Земле тоннель между двумя городами, то время движения поезда между ними составит 84 минуты. Зачем такому поезду все же будет нужен двигатель?

2. Рассчитайте период колебаний столба воды в U-образной трубке с площадью поперечного сечения 0,2 см^2. Масса воды 5 г. Вязкостью пренебречь.
2. Найдите период малых колебаний поршня массы m, разделяющего гладкий цилиндрический сосуд сечения S на две части длины ℓ каждая. По обе стороны от поршня находится газ при давлении P_0. Процесс изотермический.
3. Определите период колебаний малых колебаний математического маятника длиной 15 см**,** подвешенного к потолку вагона, движущегося с ускорением 5 м/с^2**.**

На одном экзамене в институт Сорбонны был маятник, и необходимо было с его помощью измерить ускорение свободного падения. У большинства получилось 9,8 и только у двух 11. Их и зачисли – под столом экзаменаторы спрятали магнит.

4. 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 $\rho = 3$ г/см^3. 2,5 ч
5. Деревянный стержень массы m въезжает с отполированной металлической поверхности на необработанную деревянную поверхность. Через какое время он полностью окажется на деревянной поверхности, если его длина L?

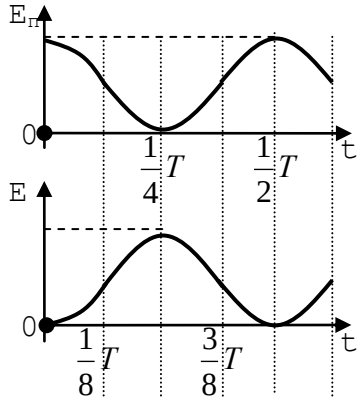
Вопросы:

1. Во сколько раз изменится частота колебаний автомобиля на рессорах после принятия груза, равного массе порожнего автомобиля?
2. Предложите, как можно больше способов увеличения периода колебаний математического маятника.
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…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. Почему период колебаний пружинного (нитяного) маятника зависит от температуры?
7. В какой точке ускорение колеблющегося нитяного маятника равно нулю?
8. Как изменяется угол между ускорением и скоростью тела при гармонических колебаниях математического маятника?
9. Как изменится период колебаний нитяного маятника, если штатив с маятником установить на наклонную плоскость с углом наклона 30^0?
10. Почему график скорости всплывающего в жидкости пузырька воздуха на начальном этапе напоминает затухающий гармонический процесс?
11. Ускорение свободного падения на поверхности Марса 3,7 м/с^2. Как и во сколько раз изменится период колебаний математического и пружинного маятника на Марсе по сравнению с Землей?
12. На какой угол повернется плоскость колебания маятника Фуко за сутки: а) на полюсе; б) на экваторе; в) в Новокузнецке?

Маятник Фуко. Если представить себе математический маятник, подвешенный над Северным полюсом, то плоскость его качаний будет фиксирована относительно звезд, а земной наблюдатель увидит, что за сутки она поворачивается на 360^0.

13. Частица движется равномерно по окружности с центром в начале координат, период обращения 4,0 с. Если в момент времени t = 0 с её положение (2; 0) м, то какая пара уравнений задаёт координаты x и y?

Ш. 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.

$$\boxed{E = E_К + E_П = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{kx^2}{2};}$$

$E_П = \frac{E}{2}(1+\cos\frac{4\pi}{T}t)$; $E_К = \frac{E}{2}(1-\cos\frac{4\pi}{T}t)$ - без вывода. Кинетическая и потенциальная энергии изменяются с частотой 2ω , в два раза превышающей частоту колебаний! Поскольку полная энергия неизменна, то можно приравнять максимальные значения кинетической и потенциальной энергии.

$$\frac{k\cdot A^2}{2} = \frac{m\cdot\upsilon_{max}^2}{2} \to \upsilon_{max} = \omega\cdot A.$$

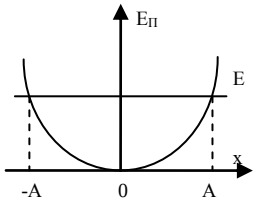
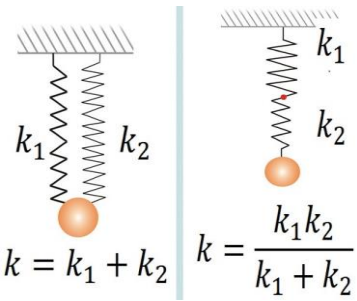


График потенциальной энергии горизонтального пружинного маятника (зависимость потенциальной энергии от смещения). Полная энергия. Граничные точки. Как будет расположен график кинетической энергии $E_К = E - \frac{kx^2}{2}$? Как зависит потенциальная и кинетическая энергия пружинного маятника от времени и каковы графики этих зависимостей? Возрастание амплитуды колебаний при увеличении полной энергии. Тепловое расширение тел (график потенциальной энергии взаимодействия двух молекул от расстояния между ними).

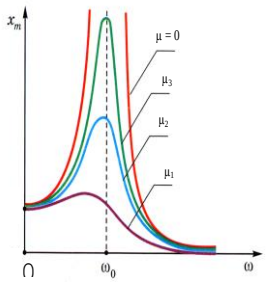
Динамический подход: $ma_x = F_x = -kx$, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

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



Свободные колебания при наличии трения (демонстрация). **Свободные колебания в системе при наличии трения являются затухающими**.

Вынужденные колебания: Горизонтальный пружинный маятник, на который действует внешняя периодическая сила: $ma_x = -kx + F\cos\omega t \to x'' + \omega_0^2 x = \frac{F}{m}\cos\omega t$. Решение в виде $x = A\cos\omega t$.



Вынужденные колебания происходят с частотой внешней периодической силы!

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

Резонанс. При наличии трения амплитуда колебаний конечна!

IV. *Задачи:*

1. Груз массой 300 г на конце пружины совершает 5 колебаний в секунду с амплитудой 0,2 м. Вычислите полную энергию системы. Определите кинетическую и потенциальную энергии данного пружинного маятника в тот момент, когда его смещение равно половине амплитуды.

2. Шарик, подвешенный на нити, качается в вертикальной плоскости так, что его ускорения в крайних – верхнем и нижнем положениях равны друг другу. Найти угол максимального отклонения нити от положения равновесия. 53^0
3. Точка массы m = 10 г совершает гармоническое колебание. Написать уравнение гармонического колебательного движения, если максимальное ускорение точки a_{max} = 49,3 см/с^2, период колебаний T = 2 с и смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени x_o = 25 мм. Написать уравнение для зависимости потенциальной энергии от времени.
4. В какой момент времени после прохождения через положение равновесия кинетическая энергия маятника станет равной его потенциальной энергии?
5. При каких скоростях поезда можно ожидать особенно сильное раскачивание шарика, подвешенного на нити длиной 80 см? Расстояние между стыками рельсов 20 м.

Вопросы:

1. Маятник совершает гармонические колебания. Каково соотношение между кинетической и потенциальной энергиями маятника через 1/8 периода?
2. Начертите график функции y = sin2x, где x выражается в градусах.
3. При отличающихся в 3 раза частотах вынужденных колебаний маятника их амплитуда одинакова. Во сколько раз отличаются их максимальные кинетические энергии в этих состояниях?
4. Как изготовить маятник с малым затуханием?
5. 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.
6. На старых разъезженных грунтовых дорогах автомобиль может сильно раскачиваться. Почему это происходит?
7. Почему при некоторой скорости автомобиля изображение в зеркале заднего вида «размывается»?
8. Чем больше холестерина откладывается в сосуде, тем артерия становится жестче и тем быстрее по ней распространяется пульсовая волна. Так ли это?
9. 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?
10. Какую форму должна иметь чашка, чтобы шарик, катящийся вверх-вниз по ее стенкам, в идеале мог бы совершать гармонические колебания?
11. Нитяной маятник довольно быстро останавливается. Под стальной шарик положили магнит. Период уменьшился. Почему увеличивается время затухания?
12. На каких качелях проще раскачиваться: с верёвками или с металлическими штангами?

13. 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?
14. Почему два нитяных маятника приблизительно одинаковой длины, подвешенные на горизонтально закрепленной нити, при колебаниях обмениваются энергией?
15. 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?
16. 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?
17. Массивный груз, подвешенный к потолку на пружине, совершает вертикальные свободные колебания. Пружина всё время остаётся растянутой. Как ведёт себя потенциальная энергия пружины, кинетическая энергия груза, его потенциальная энергия в поле силы тяжести, когда груз движется вверх от положения равновесия?

V. Конспект.

1. Докажите, что количество щук и карасей в пруду изменяется с течением времени по гармоническому закону. Хищник и жертва. Изобилие корма помогает быстрому росту количества рысей, которые сокращают численность зайцев. В такое время охотники добывают много рысьих шкур, а заячьих сдают меньше, чем обычно. А когда из-за голода поголовье рысей сокращается, зайцы снова размножаются.
2. Груз совершает колебания на резиновом шнуре. Во сколько раз изменится период вертикальных колебаний груза, если его подвесить на том же шнуре, сложенном вдвое?
3. Если ускорение зависит от времени по линейному закону: $a = k \cdot t$, то каким будет выражение для расчёта перемещения?
4. При ударе футбольного мяча о стенку он деформируется, при этом деформация мяча x много меньше его радиуса. Давление p воздуха внутри мяча в процессе удара увеличивается на 3%. Оцените время соударения мяча со стенкой, пренебрегая упругостью покрышки. Как можно учесть упругость покрышки? Провести числовой расчет для случая, когда масса мяча m = 0.6 кг, давление p = 2 атм и радиус R = 12,5 см.
5. На основе энергетических представлений покажите, что колебания жидкости плотностью ρ в U-образной трубке постоянного сечения будут гармоническими и вывести формулу для периода этих колебаний. Вязкостью жидкости пренебречь.
6. Во сколько раз нужно изменить длину маятника в настенных механических часах, чтобы их могли использовать в быту переселенцы на Марсе, желающие сохранить привычное деление суток на 24 часа?
7. Оцените частоту собственных колебаний капли воды радиусом 2 мм, находящейся в невесомости. Плотность воды 1 г/см^3, коэффициент поверхностного натяжения 0,07 Н/м.
6. Жесткая горизонтальная пластина колеблется вверх-вниз с частотой порядка 100 Гц. Конусообразная кучка мелкодисперсного порошка (например, ликподия или талька), насыпанная на пластинку, остается устойчивой при малых амплитудах вибрации. Если амплитуда увеличивается, конус разрушается. Дальнейшее увеличение амплитуды приводит к распределению, очерченному резкой границей, а при еще более высоких амплитудах снова возникает кучка. Исследуйте и объясните явление.

7. Насколько велико относительное изменение периода колебаний $\Delta T/T$ маятникового гравиметра над месторождением руды с плотностью в 3 раза больше плотности остальной Земли, имеющего форму шара диаметром 1 км на глубине 1,2 км.
8. По какому закону изменяется кинетическая и потенциальная энергия горизонтального пружинного маятника при его гармонических колебаниях? Будут ли эти колебания гармоническими? Если да, то чему равна их частота?

Нет таких отдаленных явлений, до познания которых нельзя было бы достичь, и нет таких таинственных явлений, которые нельзя было бы понять.

Рене Декарт

Урок 69/13.

СВОБОДНЫЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Чем электрическое поле отличается от магнитного поля?

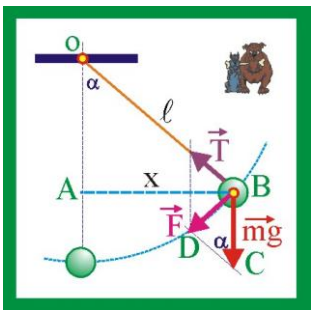
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с характером разряда конденсатора через резистор и через проволочную катушку. Дать качественное представление о процессах, происходящих в колебательном контуре.

ТИП УРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: батарея конденсаторов, катушка индуктивности с сердечником, выпрямитель ВУП-2, гальванометр от вольтметра, действующая модель генератора переменного тока.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Повторение
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

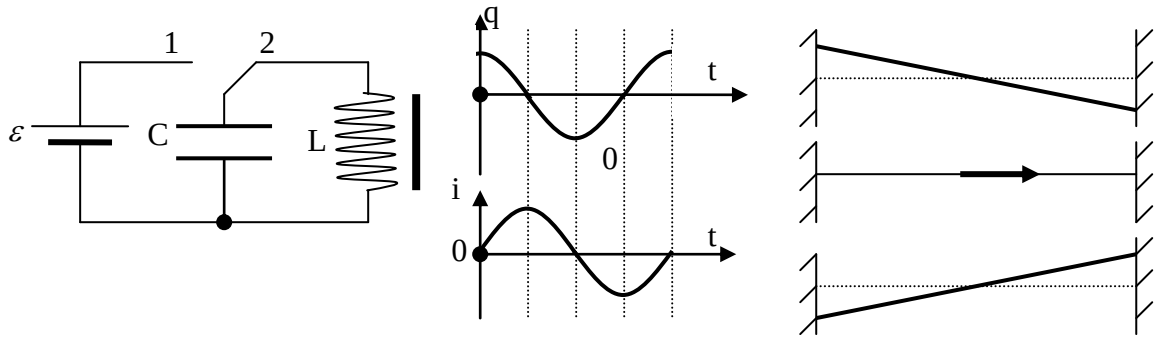


II. *Задачи:*

1. Длина нити математического маятника ℓ, масса шарика m. Определить силу, действующую на шарик, при отклонениях его от положения равновесия на x в случае малых колебаний, т.е. при $x \ll \ell$. Как зависит от x потенциальная энергия шарика?
2. 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?
3. На рабочий стол вибростенда, колеблющийся с частотой ν = 5 Гц, поставлен для испытания системный блок персонального компьютера. При какой амплитуде колебаний блок не будет отрываться от поверхности рабочего стола?
4. 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^2. Площадь основания станины 2 м^2. 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)?

III. Цель нашего урока - познакомится с характером разряда конденсатора через проволочную катушку. Демонстрация и проблемный вопрос: "Почему при разряде конденсатора (20000 мкФ) через проволочную катушку (катушка дроссельная) невозможно установить направление намагниченности катушки?" Первый конденсатор - лейденская банка. Устройство конденсатора (повторение) и способы его зарядки. Как зависит величина заряда конденсатора от времени его зарядки; от его электроемкости; от ЭДС источника тока?

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



Разряд конденсатора через проволочную катушку (аналогия с колебательным процессом в ванне с водой). Возрастание тока и убыль заряда конденсатора. Почему сила тока в катушке увеличивается достаточно медленно? До каких пор будет возрастать сила тока в катушке? В какой вид энергии переходит энергия электрического поля конденсатора? $W_L = \frac{LI_{\max}^2}{2}$. В произвольный момент времени: $W = \frac{q^2}{2c} + \frac{Li^2}{2}$. Что происходит в контуре в следующий момент времени? Почему сила тока в катушке убывает медленно? Как изменяется заряд конденсатора? До каких пор будет происходить процесс перезарядки конденсатора? Заканчиваются ли на этом переходные процессы в колебательном контуре? Обсуждение последующих процессов в колебательном контуре. По какому примерно закону изменяется заряд конденсатора с течением времени; сила электрического тока в катушке (примерные графики на доске $q = q_{мах}\cos\omega t \to i = -\frac{dq}{dt}$; $i = I_m \sin\omega t$)? **Разряд конденсатора через катушку носит колебательный характер.** Демонстрация свободных электромагнитных колебаний. **Колебательный контур - система, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности, которые соединены последовательно.**

Второе назначение катушки - для создания электрической колебательной системы!

Более мелкие элементы составляют более крупные структуры с новыми свойствами, является базовым принципом строения мира!

Электромагнитные колебания - взаимосвязанные колебания электрических и магнитных полей. Если известны амплитудное значение заряда конденсатора и силы тока в катушке, а также циклическая частота колебаний, то можно определить ...?

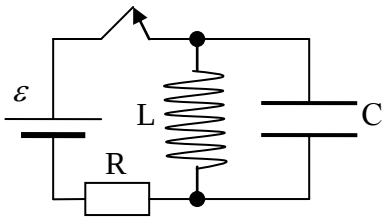
На следующем уроке мы докажем, что колебания в контуре происходят по гармоническому закону, и выведем формулу для периода колебаний.

Вынужденные колебания (демонстрация с использованием модели генератора переменного тока).

IV. *Задачи:*

– Отрицательное значение для частоты?!
– Может, это в подвале? Ну, то есть на минус первом этаже?
Диалог с не-физиком С.К.

1. Заряд конденсатора изменяется с течением времени по закону: $q = 0{,}005 \cos 100\pi t$ (все величины в СИ). Определите амплитуду колебаний заряда, период и частоту колебаний, а также заряд конденсатора в момент времени $t = 0{,}01$ с от начала колебаний.
2. В электрической цепи при замкнутом ключе через катушку индуктивности течет постоянный ток. Ключ размыкают. Вычислите напряжение на конденсаторе для тех моментов времени, когда сила тока, протекающего через катушку индуктивности, вдвое меньше силы тока, который был в цепи при замкнутом ключе. Параметры схемы указаны на рисунке.



3. На вход Y осциллографа подано напряжение $u_y = 8\sin(10^3\pi t)$, а на вход X— $u_x = 12\cos(10^3\pi t)$. Величины заданы в СИ. Смещения луча пропорциональны напряжениям: $x = 0{,}5\ u_x$; $y = 0{,}5\ u_y$, где x и y — смещения, см. Найти уравнение траектории y(x) луча и зарисовать картину, наблюдаемую на экране осциллографа.

V. §§ 11-13. Упр. 2, № 1.

1. Если внешние силы продолжают воздействовать на осциллятор в процессе колебаний, то возможны такие виды колебаний: вынужденные, параметрические, автоколебания. В чем их отличие?

...подлинный смысл вопроса - понимаем ли мы данную физическую проблему - определяется тем, можем ли мы сконструировать соответствующую механическую модель?

Вильям Томсон

Урок 70/14.

ПЕРИОД СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Какую роль играют индуктивность и емкость в колебательном контуре?

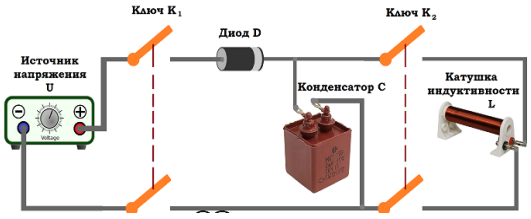
ЦЕЛЬ УРОКА: Получить "уравнение движения" свободных электромагнитных колебаний в контуре и тем самым доказать, что они являются гармоническими. Экспериментально обосновать справедливость формулы для периода свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: батарея конденсаторов, катушка дроссельная с сердечником, выпрямитель ВУП-2, осциллограф демонстрационный.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



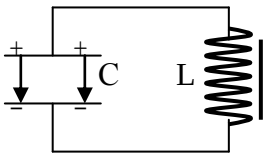
II. Опрос фундаментальный: 1. Свободные электромагнитные колебания.

Задачи:

1. Максимальное значение заряда конденсатора $6 \cdot 10^{-4}$ Кл. Период свободных электромагнитных колебаний в контуре 0,01 с. Пользуясь этими данными, запишите закон изменения заряда конденсатора и силы тока в катушке с течением времени. Постройте графики.
2. В некоторый момент сверхпроводящий соленоид объемом 40 см^3 подключают к высоковольтному конденсатору емкостью 100 мкФ, заряженному до напряжения 1 кВ. Известно, что при индукции магнитного поля в соленоиде 1,6 Тл разрушается состояние сверхпроводимости материала, из которого выполнена обмотка соленоида. Определите, произойдет ли разрушение сверхпроводимости в описанном эксперименте.

"Чтобы вывести эту формулу, мне достаточно спинного мозга"!

III. Колебательный контур (гидромеханическая аналогия). Познавательные задачи: Необходимо доказать, что свободные электромагнитные колебания в контуре являются гармоническими. 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: $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Накапливать энергию конденсаторы могут сами, а все остальное могут делать только вместе с резисторами или катушками (индуктивностями).

Уильям Томсон за научные труды получил титул лорда Кельвина!

В физике часто случалось, что существенный успех был достигнут проведением последовательной аналогии между несвязанными по виду явлениями.

А.Эйнштейн, Л.Инфельд

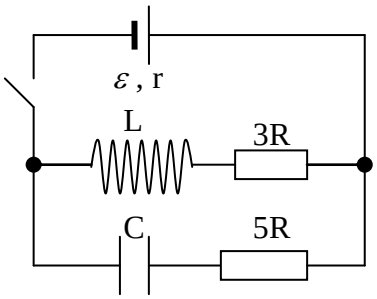
Демонстрация зависимости периода свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре от емкости конденсатора и индуктивности катушки. **Собственная частота колебательного контура.** Демонстрация осциллограмм свободных электромагнитных колебаний. Почему эти колебания затухающие?

Дополнительная информация: Простейший дефибриллятор представляет собой колебательный контур, состоящий из конденсатора емкостью 20 мкФ и катушки индуктивностью 0,4 Гн. Зарядив конденсатор до напряжения 1 – 6 кВ и разрядив его через

катушку и пациента, сопротивление которого составляет около 50 Ом, можно получить импульс тока, необходимый для возвращения пациента к жизни (энергия разряда через грудную клетку может достигать 400 Дж). Миноискатель (металлоискатель).

IV. *Задачи:*

1. Конденсатор емкостью 50 пФ сначала подключили к источнику тока с ЗДС 3 В, а затем к катушке индуктивностью 5 мкГн. Чему равна частота колебаний, возникающих в контуре? Чему равно максимальное значение силы тока в контуре?
2. В процессе колебаний в идеальном колебательном контуре в момент времени t заряд конденсатора q = 4 нКл, а сила тока в катушке i = 3 мА. Период колебаний T = 6,3 мкс. Найдите амплитуду заряда.
3. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности 5 мА, а амплитуда колебаний заряда конденсатора 2,5 нКл. В некоторый момент времени заряд конденсатора 1,5 нКл. Найдите силу тока в катушке в этот момент времени.
4. В схеме ключ (К) замкнут и режим установился. Какое количество теплоты выделится на резисторе с сопротивлением 5R после размыкания ключа? Излучением энергии пренебречь. Параметры схемы указаны на рисунке.



V. §§ 14-15. Упр. 2 № 2,3.

1. Заполните несколько разных по размеру емкостей (аквариум, кастрюля) наполовину водой. Создав продольное возмущение, оцените с помощью часов период колебаний жидкости в каждой из них. В какой из емкостей период колебаний больше? Почему?
2. Предложите конструкцию и рассчитайте параметры миноискателя.
3. Используя метод размерностей, выведите формулу Томсона.

Красота дана нам для того, чтобы младенческое человечество постигало Бога ...
Елифас Леви
Нет преград человеческой мысли.
С. П. Королёв

Урок 71/15.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учащихся рассчитывать параметры колебательного контура и описывать процессы, происходящие в нем.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

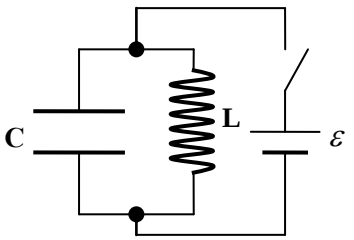
II. Опрос фундаментальный: 1. Уравнение свободных электромагнитных колебаний в контуре, 2. Формула Томсона.

Вопросы:

1. Пластины плоского конденсатора, включенного в колебательный контур, сближают. Как будет меняться при этом частота колебаний контура?
2. 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?

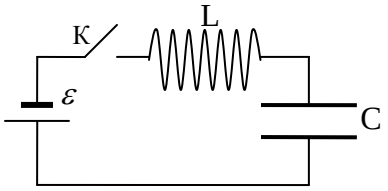
Задачи:

1. Определить индуктивность катушки колебательного контура, если емкость конденсатора равна 5 мкФ, а период колебаний 0,002 с.
2. Колебательный контур составлен из дросселя с индуктивностью 0,2 Гн и конденсатора емкостью 10 мкФ. В момент, когда напряжение на конденсаторе равно 1 В, ток в контуре равен 0,01 А. Каков максимальный ток в этом контуре?
3. В цепи L,C,ε известны, все элементы цепи идеальные. Ключ замыкают на некоторое время и затем размыкают. Определите силу тока I_0 в катушке сразу перед размыканием ключа, если после размыкания максимальная сила тока в катушке была $2 \cdot I_0$.



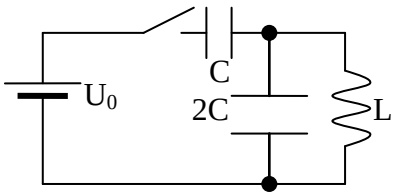
III. *Задачи:*

1. В колебательном контуре с индуктивностью 0,4 Гн и емкостью 20 мкФ амплитудное значение тока 0,1 А. Каким будет напряжение на конденсаторе в тот момент, когда энергии электрического и магнитного полей будут равны.



Если конденсатор разряжен, то ведет себя в цепи почти как короткое замыкание!!!

2. 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?



3. 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.

IV. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности М. Фарадея.

Пока люди будут пользоваться благами электричества, они будут помнить имя Фарадея.

Гельмгольц

Урок 72/16.

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Почему не применяют для освещения переменный ток частотой 10 -15 Гц?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся со способами получения переменного тока и его основными характеристиками.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: модель генератора переменного тока, источник переменного тока, электронный осциллограф, набор по трехфазному току, обобщающая таблица "Переменный ток".

ПЛАН УРОКА:

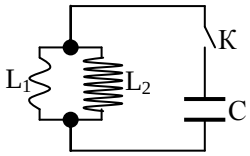
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Уравнение, описывающее процессы в колебательном контуре.

Задачи:

2. Каков диапазон свободных электромагнитных колебаний в контуре, если его индуктивность можно изменять в пределах от 0,1 до 10 мкГн, а емкость в пределах от 50 до 5000 пФ?
3. Конденсатор емкостью 20 мкФ, заряженный до напряжения 1000 В, разряжается через катушку индуктивности 0,004 Гн и каким-то сопротивлением. Через некоторое время конденсатор разрядился до напряжения 600 В, а ток в катушке достиг 20 А. Какое количество тепла выделилось к этому моменту в катушке?
4. 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. Заряженный конденсатор емкостью 0,5 мкФ подключили к катушке индуктивностью 5 мГн. Через какое время от момента подключения катушки энергия электрического поля станет равной энергии магнитного поля катушки? Активным сопротивлением катушки пренебречь.
6. Конденсатор емкости C, заряженный до напряжения U, через ключ К подключен к двум катушкам с индуктивностями L_1 и L_2. Если замкнуть ключ К, то через некоторое время конденсатор полностью перезарядится. Какие заряды протекут через катушки за это время?

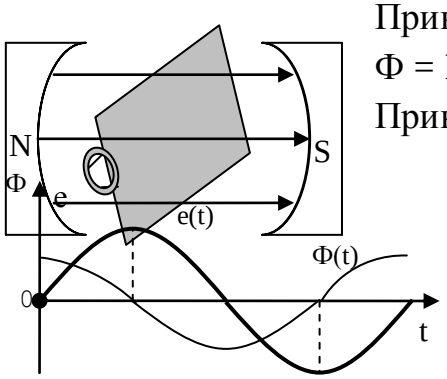


Вопросы:

1. В колебательном контуре изменили начальную величину заряда на конденсаторе. Какие величины изменились от этого, а какие нет?
2. Как изменится период колебаний в колебательном контуре, состоящем из плоского воздушного конденсатора и катушки индуктивности, если между обкладками конденсатора поместить металлическую пластину?
3. Почему в колебательном контуре колебания не прекращаются в тот момент, когда конденсатор полностью разрядится?
4. Найти отношение энергии магнитного поля к энергии электрического поля для момента времени t=T/8, считая, что процессы происходят в идеальном колебательном контуре.
5. Заряженный конденсатор подключили к катушке, в результате чего в контуре возникли гармонические колебания. В тот момент, когда ток через катушку обратился в нуль, с помощью ключа отсоединили эту катушку (схему нарисовать) и подключили катушку вдвое большей индуктивности. Во сколько раз изменилась амплитуда колебаний тока и амплитуда напряжения после этого?
6. 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?
7. Как изменяется период колебаний при их затухании (аналогия с шариком, который уронили на горизонтальную плиту)?
8. 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?
9. Что и как необходимо сделать, чтобы при неизменной индуктивности идеального колебательного контура уменьшить амплитуду колебаний напряжения на электрической емкости вдвое?
10. 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 ω_1 в 2 раза больше, чем соответствующие

величины I_{m2} и ω_2 во втором контуре. Найти максимальное значение напряжения U_{m1} на конденсаторе первого контура. Ответ: 20 В

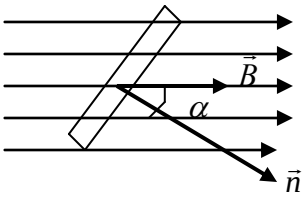
III. Демонстрация действующей модели **генератора переменного тока**.

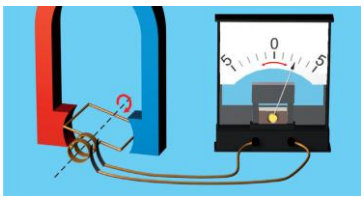


Принцип работы генератора (рисунок на доске).

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

Принцип работы генератора (рисунок на доске). Магнитный поток, пронизывающий проводящий контур (рамку). По какому закону изменяется магнитный поток, пронизывающий рамку, при вращении рамки с постоянной угловой скоростью в однородном магнитном поле? Закон электромагнитной индукции. Мгновенное значение ЭДС индукции: $e = -N\Phi' = NBS\omega \cdot \sin\omega t = \varepsilon_{max} \sin\omega t$. $\varepsilon_{max} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega = \Phi_{max} \cdot \omega$ - амплитудное значение ЭДС. При разомкнутой внешней цепи $e = u = U_{max} \sin\omega t$ - где U_{max} - амплитудное значение напряжения. График магнитного потока и переменной ЭДС на доске (вычерчивают ученики). Положения рамки в магнитном поле, при которых ЗДС максимальна или равна нулю (тоже для магнитного потока). Демонстрация положений на модели. Щетки, Внешняя электрическая цепь. Переменный электрический ток. Фазовый сдвиг между силой тока и напряжением в цепи переменного тока (общий случай): $i = I_{max} \sin(\omega t + \varphi_0)$.





Нельзя изобрести радио, пока не научишься получать переменный ток!

Демонстрация осциллограмм переменного тока. Стандартная частота переменного тока в РФ 50 Гц.

Модель цепи. Берем замкнутую систему труб с водой и поршнем внутри. Поршень у нас находится в движении. Как будут двигаться молекулы воды при колебаниях поршня?

Переменный ток - вынужденные колебания свободных электрических зарядов в проводнике под действием переменного электрического поля.

IV. *Задачи:*

1. При вращении проволочной рамки в однородном магнитном поле пронизывающий рамку магнитный поток изменяется по закону ф = $0{,}01\cos(10\pi t)\,Вб$. Написать формулу зависимости переменной ЭДС, возникающей в рамке, от времени. Чему равны максимальные значения магнитного потока и ЭДС?
2. По цепи течет переменный ток частотой 20 Гц. Через какой промежуток времени после прохождения через нулевое значение ток будет равен 25 мА, если его амплитудное значение 100 мА?

Анекдот: Сдает студент экзамен по электродинамике. Отвечает прекрасно, поражает экзаменатора своими знаниями. Тот ставит ему «отлично», а потом спрашивает:
- Слушайте, неужели вы действительно все так блестяще понимаете?
– Да не все, - мнется студент, - есть у меня один вопрос. Ведь переменный ток – он всегда такой, - студент чертит в воздухе синусоиду. – Так почему он по прямым проводам ходит?

Вопросы:

1. Какова траектория электрона, пролетающего между пластинами конденсатора, на которые подано переменное напряжение?
2. Если переменный электрический ток меняет направление тысячи раз в секунду, то тогда он протекает лишь по поверхности, не заходя внутрь проводника. Почему?
3. Что значит «совпадают по фазе» и «находятся в противофазе».

V. § 17. Упр. 2, №№ 4-5.

1. Находясь в темной комнате, наблюдайте изображение далекой люминесцентной лампы в плоском зеркале. Перемещая зеркало, добейтесь, чтобы изображение лампы в нем совершало круговое движение. Опишите ваши наблюдения и объясните их. Какие результаты вы получите, наблюдая за перемещением изображения лампы накаливания? Можно ли по результатам этого эксперимента определить частоту переменного тока?
2. Если на кусок алюминиевой фольги положить фильтровальную бумагу, смоченную 10 % раствором нашатыря, в котором растворено 0,3 г роданистой или желтой кровяной соли и быстро провести шилом (фольга и шило подключены к клеммам источника переменного напряжения б В), то на бумаге появится отчетливо видимая цветная прерывистая линия. Почему?
3. Если к насыщенному раствору поваренной соли подвести с помощью двух плоских железных электродов переменное напряжение б В, то мы получим ... электролитические часы. Докажите это. А что, если один из электродов заменить тонкой медной или железной проволокой диаметром не более 0,5 мм?

«Джордж, я люблю все делать наоборот. Нельзя ли дифференцировать наоборот?»
«Конечно, можно, Ленни. Это называется интегрированием».

Урок 73/17. АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В российских розетках частота 50 герц и напряжение 220 вольт. Что это значит?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с действиями переменного тока и сравнить их с действиями постоянного тока. Дать представление об активном сопротивлении в цепи переменного тока и ввести одну из основных характеристик переменного тока - действующее значение.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: реостат на 6 Ом, лампочка на подставке, ключ, звуковой генератор, демонстрационный осциллограф, вольтметр постоянного тока и вольтметр переменного тока на 250 В, неоновая лампа, выпрямитель ВУП-2.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: Переменный ток.

Задачи:

1. Зависимость силы тока от времени задана уравнением: $i = 5\sin 200\pi t$ (А). Найдите частоту и период колебаний, амплитуд силы тока, а также значение силы тока в момент времени t = 0,01 с.
2. Сила тока в проводнике сопротивлением 100 Ом за 50 с равномерно нарастает от 5 А до 10 А. Определить заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за это время.

"Не хочешь брать интеграл – бери лопату!"

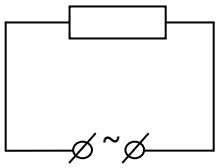
Вопросы:

1. Как понимать выражение «течет ток» в случае постоянного и переменного тока?
2. Почему в розетке нет плюса и минуса?
3. Для измерения магнитного поля Земли используется магнитометр, который состоит из проволочной рамки, приводимой в равномерное вращение с помощью электродвигателя. Объясните принцип его действия.
4. С какой частотой будет вспыхивать неоновая лампочка, включённая в сеть переменного тока частотой 50 Гц?
5. Магнитный поток через замкнутый контур изменяется по закону синуса. По какому закону изменяется возникающая в этом контуре переменная ЭДС?
6. Проводник размещен между полюсами сильного дугообразного магнита. Что будет происходить с проводником, если пропустить через него переменный ток промышленной частоты?
7. Будет ли проходить ток через электролитическую ванну с медным купоросом, если ее подключить к источнику переменного напряжения? Станет ли выделяться на электродах медь?
8. Как объяснить опыт Томсона: на железный стержень намотана катушка из большого числа витков медного провода. При включении катушки в цепь переменного тока алюминиевое кольцо, одетое на катушку, подскакивает. Будет ли подскакивать кольцо, если включить катушку в цепь постоянного тока?

III. Более детальное знакомство с процессами в проводнике, по которому течет переменный ток. Как движутся электроны в проводнике под действием переменного электрического поля? При частоте переменного напряжения 50 Гц электроны в проводнике за 0,01 с успеют переместиться на очень небольшое расстояние, как электрическое поле начнет действовать на них в противоположном направлении. Вот почему электроны отклоняются то в одну, то в другую сторону (колеблются), но не покидают проводник.

Будет ли проводник оказывать сопротивление переменному току? **Активное сопротивление (R) - сопротивление в цепи переменного тока, на котором выделяется энергия**. Примеры: электроплитка, лампочка. Демонстрация цепи

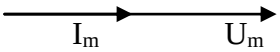
переменного тока с активным сопротивлением. Фазовые соотношения между силой тока и напряжением на активном сопротивлении.

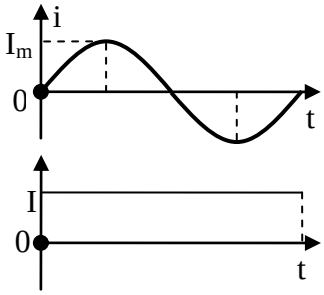


$u = U_m \cdot \sin \omega t$

На активном сопротивлении сила тока и напряжение совпадают по фазе.

Закон Ома для участка цепи переменного тока с активным сопротивлением: $i = \frac{u}{R} = \frac{U_{mR}}{R} \sin \omega t$ = I_m $\sin \omega t$, где I_m - амплитудное значение силы тока. Векторная диаграмма электрической цепи с чисто активным сопротивлением:





Одинаковое ли количество теплоты выделится на активном сопротивлении при постоянном и при переменном токе (графики переменного тока с амплитудой 10 А и постоянного 10 А на доске)? Нет! А какой постоянный ток выделит на сопротивлении такое же количество теплоты, как данный переменный за одно и тоже время? 7 А?! **Действующим значением переменного тока называют такое его значение, которое в тепловом отношении эквивалентно такой же силы постоянному току.**

$$dQ = i^2 R \cdot dt \rightarrow Q = \int_0^T i^2 R \cdot dt = I^2 RT \rightarrow \qquad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Определение напряжения зажигания неоновой лампы. Почему неоновая лампа горит, если ее подключить к источнику переменного напряжения с действующим значением, меньшим напряжения зажигания лампы?

Градуировка электроизмерительных приборов переменного тока.

Дополнительная информация: Одно из отрицательных свойств переменного тока - провода, по которым он протекает, необходимо рассчитывать на амплитудное значение, а практически используется немногим более 2/3 этого значения. Второе - переменный ток распределяется не равномерно по всему сечению, а главным образом вблизи поверхности (в медном проводе при частоте 50 Гц глубина проникновения 9 мм), что приводит к увеличению сопротивления проводника.

Почему говорят, что переменный ток более опасен для человека, чем постоянный?

Тяжесть поражения током	Переменный ток, 50 Гц	Постоянной ток
Порог чувствительности.	1,1 мА	6 мА
Не отпускающий ток (возникают непреодолимые судорожные сокращения мышц).	15 мА	50 - 80 мА
Фибрилляционный ток (может вызвать остановку сердца).	50 мА - 5 А	300 мА - 5 А

IV. *Задачи:*

1. Написать уравнения i(t) и u(t) в цепи электроплитки сопротивлением 50 Ом, включенным в сеть переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В.

Почему нить накала низковольтной лампы должна быть толстой, короткой и прочной?

2. Неоновая лампа включена в цепь переменного тока промышленной частоты напряжением 127 В, а напряжение зажигания лампы равно 84 В. Определите продолжительность вспышек неоновой лампы и время между ними. Считать напряжение зажигания лампы равным напряжению гашения.
3. Сила тока в проводнике сопротивлением R = 20 Ом нарастает в течение времени t = 2 с по линейному закону от I_0 = 0 до I_{max} = 6 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.

V. § 18

1. **Переменное напряжение** меняет своё значение с течением времени, точно так же, как вы меняете свое положение в пространстве, когда качаетесь на качелях. Проведите аналогию.

Хорошо! Рассмотрим для примера, например, такой пример!

Знание гордится тем, что так много узнало;
Мудрость стыдится того, что не узнало больше.
Уильям Купер

Урок 74/18.

ЁМКОСТЬ И ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

Кто не взял интеграл, пожалуйста, возьмите!

ЦЕЛЬ УРОКА: Рассказать о емкостном и индуктивном сопротивлениях в цепях переменного тока и практических применениях этих объектов.

ТИП УРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: батарея конденсаторов, блок питания ВС-24, лампа накаливания, звуковой генератор, электронный осциллограф, лампочка, набор конденсаторов, катушка индуктивности, трансформатор универсальный.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Активное сопротивление в цепи переменного тока. 2. Действующее значение переменного тока.

Задачи:

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.
2. 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.

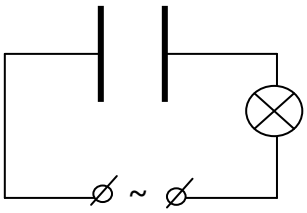
Вопросы:

1. На какое напряжение надо рассчитывать изоляторы линии электропередачи, если действующее значение напряжения 430 кВ?
2. Что вы теперь знаете о действующем, амплитудном и мгновенном значении переменного тока?
3. Каковы, по вашему мнению, недостатки люминесцентных ламп дневного света?
4. Почему для резистора не имеет значения, как меняется напряжение?

III. Конденсатор в цепи постоянного тока (демонстрация).

Конденсатор разрывает цепь постоянного тока. Конденсатор в цепи переменного тока. Разрывает ли конденсатор цепь переменного тока? Нет!

В металле, из которого сделаны пластины конденсатора, электроны смещаются к поверхности пластины, удаленной от полюса источника, образуя электрическое поле, которое проходит через изолятор к другой металлической пластине, вызывая смещение ее электронов к другому полюсу источника питания. Вот эти-то перемещения (или смещения) образуют кратковременный ток, при этом конденсатор заряжается от источника питания.



$u = U_m \sin \omega t$

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 (звуковой генератор): $X_c = \dfrac{1}{\omega C}$

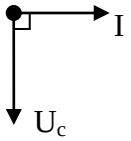
Для цепи с чисто емкостным сопротивлением: $i = I_m \sin \omega t$, $dq = i \cdot dt$, $q = \int I_{\max} \sin \omega t \cdot dt = \dfrac{I_{\max}}{\omega}(-\cos \omega t) = \dfrac{I_{\max}}{\omega}\sin(\omega t - \dfrac{\pi}{2})$. Постоянная интегрирования выбирается из начальных условий (когда ток равен нулю, заряд конденсатора максимальный) и равна нулю.

$$\text{Тогда } u = \frac{q}{C} = \frac{I_{\max}}{\omega C}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = U_{\max C}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2}).$$

– Это какая-то магия!

– Никакой магии нет! – есть лишь тупое следование правилам математики.

Демонстрация справедливости закона Ома для участка цепи переменно тока с электроемкостью (в качестве индикатора тока использовать лампочку или амперметр). Амплитуда силы тока и действующее значение тока в цепи, содержащей чисто емкостное сопротивление. Природа емкостного сопротивления (токи зарядки и разрядки). Фазовые соотношения между током и напряжением (демонстрация). Допустим, что $i = I_{\max} \sin \omega t$, тогда $u_C = U_{\max C}\sin(\omega t - \dfrac{\pi}{2})$. Векторная диаграмма электрической цепи с чисто емкостным сопротивлением.



Применения конденсатора:

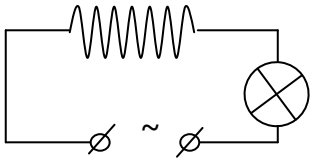
- **Ограничение силы переменного тока.**
- **Разделение постоянного и переменного тока.** Переменный ток, чаще играет роль сигналов, несущих полезную информацию.
- **Ослабление низких частот.**
- **Сдвиг фазы между силой тока и напряжением в цепи переменного тока (трехфазный электродвигатель можно включить в однофазную сеть).**

Почему емкостное сопротивление в линии электропередачи переменного тока зависимость от длины линии?

В сеть переменного тока промышленной частоты напряжением 120 В включили последовательно конденсатор и амперметр, который показал силу тока 240 мА. Чему равна емкость конденсатора?

Катушка индуктивности в цепи постоянного тока (демонстрация). Активное сопротивление катушки. Как его измерить? Будет ли оказывать катушка сопротивление переменному току? Какое же? **Индуктивное сопротивление (x_L) - дополнительное сопротивление катушки переменному току.**

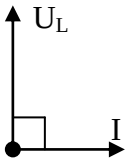
Демонстрация зависимости индуктивного сопротивления катушки от индуктивности катушки и от частоты переменного тока: $\mathbf{X_L} = \omega \cdot L$



$U = U_m \sin \omega t$

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

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



Природа индуктивного сопротивления (явление самоиндукции). Фазовые соотношения между силой тока и напряжением (демонстрация).

Допустим, что $i = I_{\max} \sin \omega t$, то $u_L = U_{\max L} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$. Векторная диаграмма электрической цепи переменного тока с чисто индуктивным сопротивлением. **Основные параметры высокочастотных катушек** – индуктивность, добротность (отношение индуктивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению).

Применения катушки индуктивности:

- **Ограничение силы переменного тока в цепи.**
- **Ослабление высоких частот.**
- **Сдвиг фазы между силой тока и напряжением.**

В высокочастотных цепях применяются катушки с индуктивностью от сотых долей микрогенри до десятков миллигенри. Катушки, используемые в низкочастотных цепях, имеют индуктивность до сотен и тысяч генри.

Алгебра щедра. Зачастую она дает больше, чем у нее спрашивают.

Жан Лерон Д'Аламбер

IV. *Задачи:*

1. Катушка с ничтожно малым активным сопротивлением (дроссель) включена в цепь переменного тока с частотой 50 Гц. При напряжении 125 В сила тока равна 2,5 А. Какова индуктивность катушки? **Дроссель - это катушка индуктивности с ничтожно малым активным сопротивлением.**

2. Колебания напряжения на конденсаторе в цепи переменного тока описывается уравнением: u = 40·cos500t, где все величины выражены в СИ. Емкость конденсатора равна C = 6 мкФ. Найти амплитуду силы тока в цепи.

Вопросы:

1. Каким способом лучше выключать освещение в зрительном зале?
2. Почему короткое замыкание конденсатора в цепи переменного тока равносильно тому, что его емкость становится бесконечно большой?
3. 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?
4. Почему конденсатор нагревается в цепи переменного тока, особенно на больших частотах?
5. Почему у катушек с ферритовыми сердечниками большая магнитная проницаемость и малые потери на больших частотах?
6. Последовательно с лампочкой в цепь переменного тока включена катушка. Как изменится накал лампочки, если: а) не меняя частоту, поместить в катушку железный сердечник; б) уменьшить частоту?

V. §§ 19-20. Упр. 2, №6.

1. Используя метод размерностей, выведите формулы индуктивного и емкостного сопротивлений.
2. Предложите конструкцию индуктивного или емкостного датчика перемещения; тензодатчика.

Истина - это то, что может быть использовано.

Будда

Урок 75/19.

РЕЗОНАНС В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Как из одной формулы получить целых шесть формул?

ЦЕЛЬ УРОКА: Углубить знания учащихся об электрических пенях переменного тока; познакомить их с явлением электрического резонанса.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: электронный осциллограф, батарея конденсаторов, трансформатор универсальный, звуковой генератор, лампочка на подставке.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Емкость в цепи переменного тока.

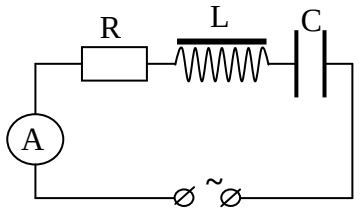
2. Индуктивность в цепи переменного тока.

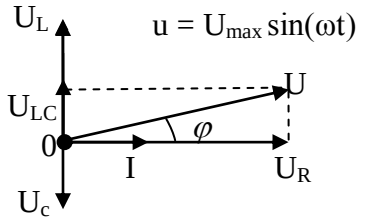
Задача: Генератор с ЭДС $e = \varepsilon_0 \sin \omega t$ момент времени t = 0 подключают к катушке индуктивности L. Определить зависимость тока в цепи от времени. Активным сопротивлением цепи можно пренебречь.

Вопросы:

1. По прямолинейному проводнику течет ток высокой частоты. Как изменится сопротивление этого проводника, если ему придать форму соленоида?
2. Что вы теперь знаете о катушке индуктивности; конденсаторе; резисторе?
3. Чему равно значение произведения 20 мкФ·500 Ом?
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. В проводнике течет пульсирующий ток. Предложите способ разделения постоянной и переменной составляющих этого тока.
7. Лампа включена последовательно с конденсатором в сеть переменного тока. Как изменится накал лампы, если в сеть включить еще один такой же конденсатор параллельно первому?
8. 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.
9. Что вы теперь знаете о катушке индуктивности; конденсаторе; резисторе?
10. В колебательный контур последовательно включен источник синусоидальной ЭДС постоянной амплитуды. Пренебрегая внутренним сопротивлением источника, оцените напряжение на катушке индуктивности и на конденсаторе при очень малых и очень больших частотах по сравнению с собственной частотой контура.

III. 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**:

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

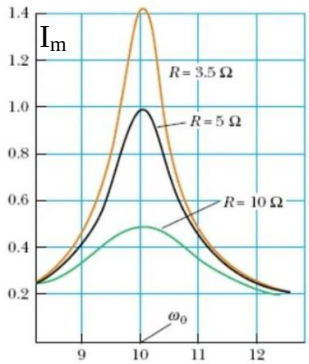
Фазовый сдвиг между силой тока и напряжением:

$$tg\varphi = \frac{U_{LC}}{U_R} = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R}; \quad \cos\varphi = \frac{R}{z}. \rightarrow i = I_{\max}\sin(\omega t - \varphi).$$

Мощность в цепи: $\overline{P} = \dfrac{\int_0^T u \cdot i \cdot dt}{T} = \quad P = UI\cos\varphi.$

Резонанс в электрической цепи переменного тока. Резонансная частота: $\nu_{рез} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Демонстрация резонанса.

Резонанс в электрической цепи наблюдается при совпадении частоты внешней переменной ЭДС с собственной частотой колебательного контура. Амплитуда силы электрического тока при резонансе. Амплитуда напряжения на конденсаторе и на катушке индуктивности при резонансе.



$$\nu_{рез} = \nu; \qquad I_{рез} = \frac{U}{R}; \qquad U_C = U_L = I_{рез}\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

В электрических цепях резонанс возникает на определённой частоте, когда напряжение на индуктивности и ёмкости системы уравновешены, что позволяет энергии циркулировать между магнитным полем индуктивного элемента и электрическим полем конденсатора. Сам механизм резонанса заключается в том, что магнитное поле индуктивности генерирует электрический ток, заряжающий конденсатор, а разрядка конденсатора создаёт магнитное поле в индуктивности — процесс, который повторяется многократно, по аналогии с механическим маятником. Резонанс может вызывать паразитный шум и искажения сигнала.

Фазовые соотношения между силой тока и напряжением в электрической цепи при резонансе: $\varphi = 0$. Мощность в цепи переменного тока при резонансе: $P = U \cdot I_{рез} = I^2_{рез} R$. Учет и использование резонанса в технике: компактные люминесцентные лампы, пуск однофазного электродвигателя переменного тока. Резонанс в быту: у каждого своя собственная частота, у некоторых много.

IV. *Задачи:*

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? (После определения емкости подобрать необходимый конденсатор и включить лампочку в сеть).
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?
3. Конденсатор ёмкостью C = 5 мкФ и проводник сопротивлением R = 150 Ом включены последовательно в цепь переменного тока с напряжением u = 120 В и частотой ν = 50 Гц. Определить амплитудное и действующее значение силы тока, сдвиг фаз между током и напряжением, а так же выделяющуюся в цепи мощность.

V. § 21. Упр. 2, № 6.

1. Настройте радиоприемник на передающую станцию, установив определенный уровень громкости. Медленно перемещая ручку настройки влево и вправо, опишите характер

изменения громкости звука. Постройте приблизительный график зависимости громкости звучания от частоты.

2. Резистор сопротивлением 2 кОм и конденсатор емкостью 1 мкФ соединены последовательно и включены в сеть с действующим значением напряжения 120 В стандартной частоты. Горизонтальные пластина осциллографа подключены параллельно резистору, а вертикальные - параллельно емкости. Нарисуйте картину, которую вы ожидаете увидеть на экране и сравните ее с реальной картиной.
3. По отношению к переменному току человеческое тело можно рассматривать как параллельно соединенный резистор и конденсатор. Правда ли, что в этом случае сопротивление тела человека меньше, чем при постоянном токе и поэтому переменный ток опаснее постоянного?

Удивительные вещи часто бледнеют перед лицом еще более чудесных вещей.

Галилей

Урок 76/20. ГЕНЕРАТОР НЕЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

ЦЕЛЬ УРОКА: Обобщить знания учащихся об автоколебательных системах; познакомить учеников с генератором незатухающих колебаний на транзисторе и усилителем низкой частоты.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: модель звукового генератора, выпрямитель ИЗПП-1, батарея конденсаторов, осциллограф радиолюбителя.

ПЛАН УРОКА:

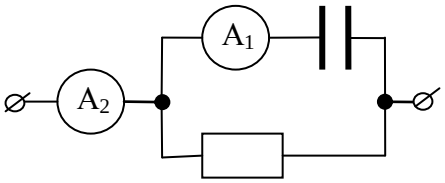
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Закон Ома для полной цепи переменного тока. 2. Резонанс в цепи переменного тока.

Задачи:

1. При подключении катушки индуктивности к батарее с напряжением 45 В через катушку течет ток 3 А. При ее подключении к источнику переменного напряжения 120 В стандартной частоты, сила тока через катушку равна 5 А. Определить индуктивность и активное сопротивление катушки.
2. Катушка индуктивности L обладает внутренним сопротивлением R. При какой частоте переменного напряжения ток будет отставать по фазе от напряжения на $\pi/4$?
3. 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.
4. 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?



5. Через параллельно соединенные резистор сопротивлением 200 Ом и конденсатор емкостью 5 мкФ течет переменный ток с циклической частотой 10^3 $с^{-1}$. Амперметр A_1 показывает силу тока 1 А. Найдите показание амперметра A_2. Сопротивление амперметров мало.

Вопросы:

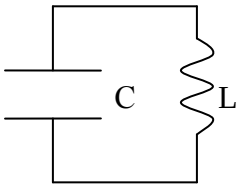
1. В электрическую цепь включена катушка, по которой пропускают сначала постоянный, а затем переменный ток того же напряжения. В каком случае катушка нагреется больше?
2. Электрическая лампа подключена последовательно с конденсатором к сети переменного тока. Как изменится накал лампы, если конденсатор будет пробит и цепь в этом месте замкнется?
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. Конденсатор и идеальная катушка индуктивности соединены последовательно (параллельно) и подключены к источнику переменного напряжения. Постройте векторную диаграмму цепи.
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. Предложите графический способ определения резонансной частоты в цепи переменного тока.
7. Ледяную корку на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным током до 100 – 130^{0}С. Почему этого почти не делают с помощью переменного тока стандартной частоты? А если для этого использовать переменный ток высокой частоты (больше 10 кГц)?
8. Катушка с активным сопротивлением 2 Ом и индуктивностью 75 мГн соединена последовательно с конденсатором и включена в сеть переменного тока с напряжением 50 В и частотой 50 Гц. При какой емкости конденсатора в цепи возникает резонанс?
9. Как экспериментально определить коэффициент мощности электрической цепи, содержащей R, L и C? Укажите, какую схему нужно использовать.

III. Генераторы незатухающих колебаний применяются во многих устройствах - радиоприемниках, телевизорах, магнитофонах, компьютерах, электроорганах

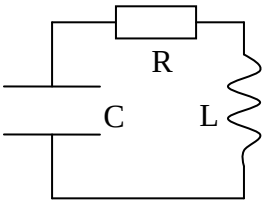
и т.д. Частоты генераторов могут лежать в диапазоне от нескольких десятков герц (низкие ноты в электрооргане) до сотен мегагерц (телевидение) и даже нескольких гигагерц (спутниковое телевидение, радары ГАИ). Мощность, которую может отдать генератор потребителю, составляет от нескольких микроватт (генератор в наручных часах) до десятков ватт (генератор телевизионной развертки). Форма колебаний возможна как самая простая - синусоидальная (гетеродин радиоприемника) или прямоугольная (таймер компьютера), так и весьма сложная - "имитирующая" звучание музыкальных инструментов (музыкальные синтезаторы).

В реальном контуре колебания затухающие (активное сопротивление).

Идеальный контур. **Реальный контур.**

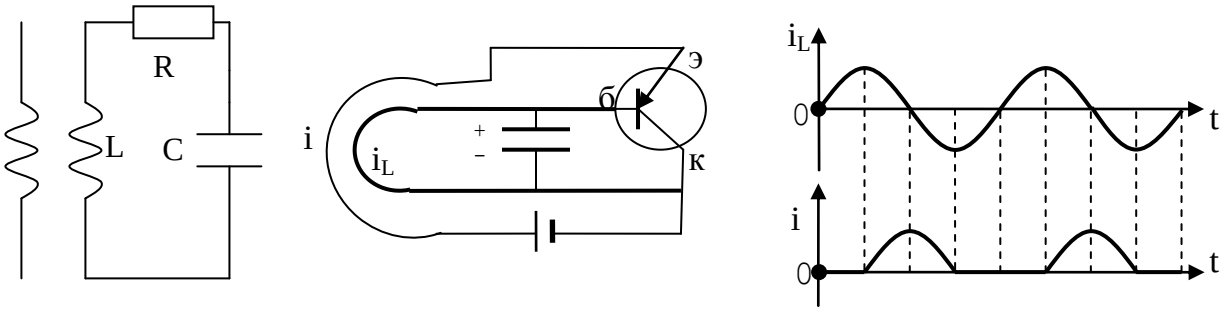


$$-Li' = \frac{q}{C}.$$

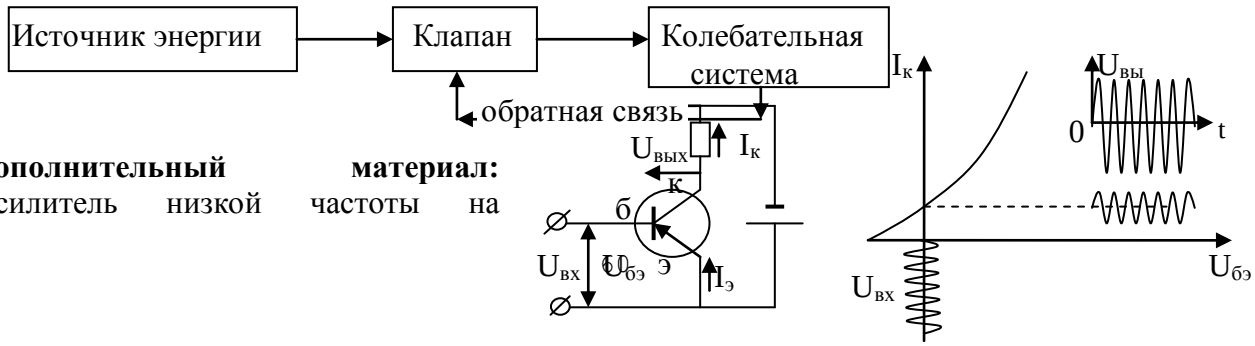


$$-Li' = iR + \frac{q}{C}.$$

Как скомпенсировать потери энергии в контуре? В контур необходимо подкачивать дополнительную энергию, т.е. ввести переменную ЭДС: $-Li' + e_i = iR + \frac{q}{C}$. Проще всего воспользоваться магнитным полем, создав



дополнительный переменный магнитный поток, пронизывающий витки катушки контура L. Для того чтобы изменять по нужному закону i_k, необходимы источник тока и транзистор. Принцип действия транзистора типа p-n-p (повторить). Генератор незатухающих колебаний на транзисторе (схема и графики тока на доске). Гармонические колебания в контуре. Зависимость частоты колебаний от параметров контура (демонстрация). Основные элементы автоколебательной системы: **колебательная система источник энергии, обратная связь.**



Дополнительный материал: Усилитель низкой частоты на

транзисторе (транзисторный усилительный каскад с общим эмиттером). Демонстрация и объяснение принципа действия. Обратная связь может стать неуправляемой, как бывает, когда звук из громкоговорителя проходит обратно через микрофон, мгновенно усиливаясь до невыносимого визга.

IV. *Задачи*

1. Активное сопротивление колебательного контура 0,33 Ом. Какую мощность потребляет контур при поддержании в нем незатухающих колебаний с амплитудой силы тока 30 мА?
2. Параметры колебательного контура имеют значения: C = 1 нФ, L = 6 мкГн, R = 0,5 Ом. Какую мощность нужно подводить к контуру, чтобы поддерживать в нем незатухающие колебания с амплитудой напряжения на конденсаторе 10 В?

Вопросы:

1. Чем отличается усилитель сигналов от генератора сигналов? Можно ли из усилителя сигналов сделать генератор?
2. Разрезанное алюминиевое кольцо подвешено на нити к штативу. Почему кольцо будет отталкиваться при быстром введении в него магнита с большой остаточной намагниченностью?
3. Каков принцип действия кварцевых часов (точность несколько долей секунды в сутки)?

V. § 22.

В вашем распоряжении есть резистор сопротивлением 1000 0м, катушка индуктивностью 1 Гн и конденсатор емкостью 10 мкФ. Источник переменного напряжения частоты 50 Гц имеет амплитуду 1 В. Как нужно соединить элементы цепи, чтобы ток через резистор был минимально возможным, но не нулевым? Как нужно их соединить, чтобы ток через резистор был максимальным? Найдите амплитуды этих токов. Элементы цепи считать идеальными.

"Вечным законом да будет: учить и учиться всему через примеры, наставления и применения на деле".

Ян Каменский

Урок 77/21.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учеников определять силу тока в электрической цепи, которая содержит активное или реактивное сопротивление; производить идентификацию электрических приборов по их вольтамперным характеристикам.

ТИП УРОКА: решение экспериментальных задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: прибор "Практикум", миллиамперметр постоянного тока 0-50 мА, миллиамперметр переменного тока 0-50 мА, "черные ящики".

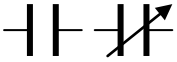
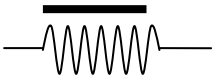
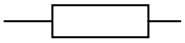
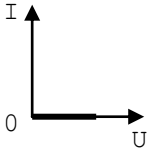
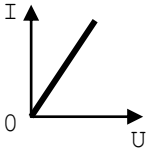
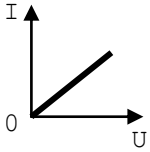
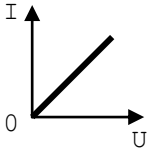
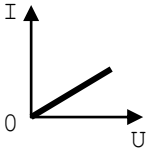
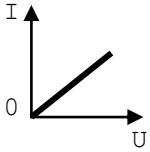
ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос-повторение
3. Эксперимент
4. Задание на дом

II. Заполнение обобщающей таблицы (первую строку заполняем вместе с учениками, а в остальных - только вольтамперные характеристики).

III. Выполнение экспериментального задания. Каждому ученику выдаются приборы и "черные ящики". Ученику необходимо построить вольтамперную характеристику ящика на

постоянном и переменном токе (оси координат и масштаб указать на доске) и по их виду обоснованно ответить на вопрос о содержимом "черного ящика".

Электрический прибор.	Конденсатор	Катушка индуктивности	Резистор
Устройство	Две обкладки, разделены изолятором.	Катушка с сердечником.	
Обозначение на схемах			
Характеристики прибора	Ёмкость; пробивное напряжение.	Индуктивность.	Сопротивление; мощность.
Вольтамперная характеристика на постоянном токе			
Вольтамперная характеристика на переменном токе			
Практические применения	Ограничение тока, фильтр низких частот, сдвиг по фазе.	Ограничение тока, фильтр высоких частот, сдвиг по фазе.	Ограничение тока.

Почему резистор не реагирует на изменение напряжения и силы тока, как это делают конденсаторы и катушки индуктивности?

IV. Упр. 2 №6

1. Цепь переменного тока промышленной частоты состоит из последовательно включенных активного сопротивления 10 Ом, индуктивности 0,2 Гн и конденсатора емкостью 20 мкФ. Определите максимальное число неизвестных величин, если действующее значение силы тока в цепи 1 А.
2. Цепь состоит из последовательно соединённых активного сопротивления R = 10 Ом и конденсатора C = 50 мкФ. Определить сдвиг фазы между силой тока и напряжением в цепи при циклической частоте тока $\omega = 10^3$ $с^{-1}$.

Если бы это было так, это бы ещё ничего, а если бы ничего,
оно бы так и было, но так как это не так, то оно и не этак!
Алиса в Зазеркалье

Я нашел способ превращения электричества в магнетизм и наоборот.
М. Фарадей

Урок 78/22.

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Что делать, если нам нужна электрическая энергия, но ее нет?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с устройством промышленного генератора переменного тока. Дать представление о способах получения постоянного тока.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: набор для изучения трехфазного тока, лампочка на подставке 36 В, модель генератора переменного тока, вольтметр демонстрационный, осциллограф демонстрационный, полупроводниковый

диод на колодке, мостиковая полупроводниковая схема выпрямления переменного тока.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: Генератор незатухающих колебаний.

Задача:

1. Контур состоит из катушки индуктивностью L = 30 мкГн, сопротивлением R = 1,0 Ом и конденсатора электроемкостью C = 200 мкФ. Какую мощность должен потреблять контур, чтобы в нем поддерживались незатухающие колебания, при которых максимальное напряжение на конденсаторе U_{max} = 300 В.

Вопросы:

1. Как достичь резонанса в цепи переменного тока, не изменяя индуктивности и емкости в цепи?
2. В каких случаях в колебательном контуре будут незатухающие электромагнитные колебания?
3. 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 мине или другому металлическому предмету, в телефонных наушниках высокий тон сменяется низким тоном. Как это объяснить?

III. Генерирование электрической энергии. Мы говорим о генерировании энергии, но на самом деле речь идет о ее преобразовании из одного типа в другой. Мы извлекаем химическую энергию из угля и природного газа и преобразуем ее в тепло, которое, в конечном счете, вращает турбины и создает электричество. Сама же химическая энергия, скрытая в угле и газе, получена ими от Солнца, и потому солнечная энергия есть корень почти всего, что работает на Земле.

Почему преимущественно все виды энергии преобразуют в электрическую энергию?

Преимущества электрической энергии:

- **Можно передавать по проводам на большие расстояния с малыми потерями.**
- **Удобно распределяется между потребителями.**
- **Электрической энергией легко управлять.**

- **С помощью несложных устройств легко преобразуется в другие виды энергии.**

Можно сказать, что **электричество легко передается на расстояние, не требует складских помещений, готово к немедленному потреблению и является экологически чистым.**

Важная особенность постоянного электрического тока - это возможность его аккумулирования, то есть накопления в аккумуляторах или получения его за счет химической реакции в батарейках. От аккумулятора мобильного телефона получают постоянный ток напряжением 3,7 В.

Бывшее когда-то преимущество переменного тока перед постоянным током: **переменный ток можно трансформировать.**

Генераторы: гальванические элементы, электрофорные машины, электромеханические индукционные генераторы. Демонстрация модели генератора переменного тока: индуктор и якорь, ротор и статор, щетки. Вращающийся магнит (индуктор) создает внутри обмотки (якоря) переменное магнитное поле и тем самым индуцирует в ней переменную ЭДС.

$$e = NBS\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t.$$

Мы сделаем электричество таким дешёвым, что жечь свечи будут только богачи.
Томас Эдисон

От каких факторов зависит частота индуцируемой генератором ЭДС? Демонстрация трехфазного генератора из набора. Конструктивные особенности: магнитная система почти замкнута, обмотки в пазах, ротор - индуктор, якорь - статор. Число пар полюсов и частота вращения. Примеры. Подключение лампочки к генератору и демонстрация ее свечения.

Связь между электричеством и магнетизмом наблюдается как при движении зарядов, создающих магнитное поле (как в электромагнитах и электродвигателях), так и при движении магнитов, создающих электрическое поле (как в электрических генераторах).

Дополнительный материал. Майкл Фарадей читал однажды лекцию в Королевском университете (Лондон). При этом он демонстрировал опыт: подносил к проволочной катушке магнит и показывал, что в катушке возбуждается чуть заметный электрический ток.

- Профессор, спросила его после лекции одна из слушательниц, - но если даже такой слабый ток и возникает, какое это может иметь значение?

- Мадам, - галантно ответил ей ученый, - можете ли вы предсказать судьбу новорожденного ребенка?

Дополнительный материал. Для получения магнитного поля с индукцией порядка 30 Тл П.Л. Капица использовал генератор переменного тока, ротор которого приводился во вращение электродвигателем. В момент, когда напряжение на клеммах генератора становилось равным нулю, к ним подключалась катушка с малым активным сопротивлением и через 0,01 с отключалась.

Одна сотая секунды – это громадное время, если вы знаете, как его использовать.
П. Л. Капица

Вопросы:

1. Почему ток в катушке достигал нескольких сотен ампер?
2. Почему катушка подключалась к генератору на такое короткое время?

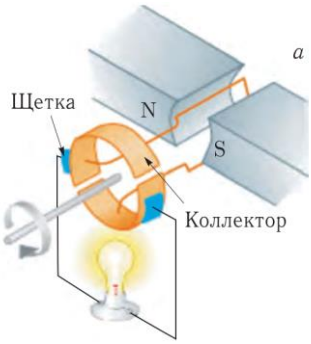
3. Почему отключение катушки производилось с помощью специального коммутатора?
4. Почему в первом опыте катушка была разорвана, и П.Л. Капице пришлось изготовить новую катушку из сверхпрочной бронзы?

Для каких целей в промышленности и технике необходим постоянный ток?

Например, неотъемлемую часть кабеля питания ноутбука - это адаптер, преобразующий переменный ток, получаемый от настенной электрической розетки, в постоянный ток, требуемый для питания ноутбука. Альтернативный источник питания устройства — внутренняя аккумуляторная батарея, которая представляет собой источник постоянного тока. Зарядные устройства трансформируют переменный ток из сети в постоянный ток, и уже в таком виде он заряжает аккумулятор. Трансформаторы, это катушки проводов и довольно сложные электрические цепи, поэтому сделать адаптеры очень маленькими пока не удается.

Постоянный ток используется:

- Для передачи электроэнергии на высоковольтных линиях электропередач (например, 1500 кВ).
- При электролизе (рафинирование металлов, гальванопластика, гальваностегия).
- В контактных сетях электрического транспорта – троллейбусов и трамваев – до 3000 В.
- В сетях до 1000 В для электродвигателей с тяжелыми условиями пуска – прокатные станы, центрифуги и прочее.
- Для электросетей до 500 В, используемых для грузоподъемных механизмов – подъемных электрических кранов.
- В качестве источника питания различных переносных бытовых приборов – фонарики, аудиоприёмники, диагностические приборы, мультиметры, мобильные телефоны.

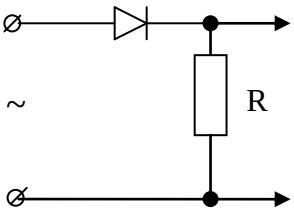


Как его получить? **Генератор постоянного тока.**

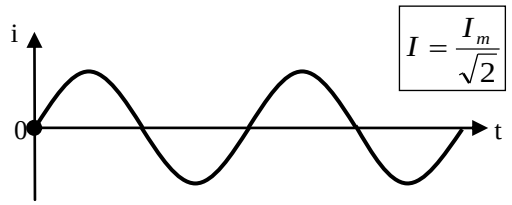
Полупроводниковые диоды (краткое повторение)

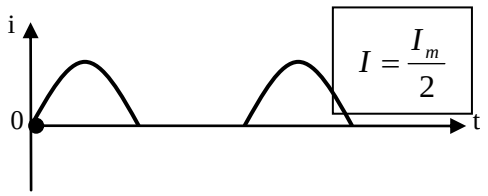
Однополупериодная схема выпрямления.

Демонстрация осциллограмм напряжения на нагрузке. RC – фильтр. Спектр пульсирующего тока содержит постоянную составляющую и гармоники с частотами, кратными частоте повторения импульсов.

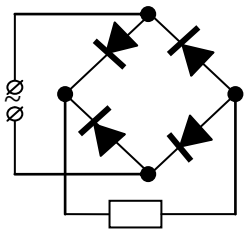


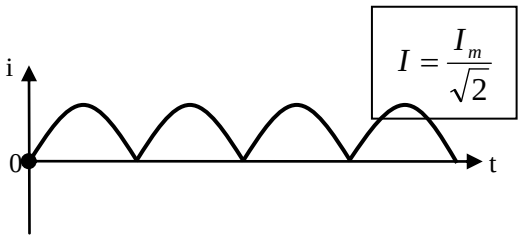
Емкость конденсатора фильтра выбирается с таким расчетом, чтобы его сопротивление было значительно меньше сопротивления нагрузки для первой гармоники выпрямленного тока.





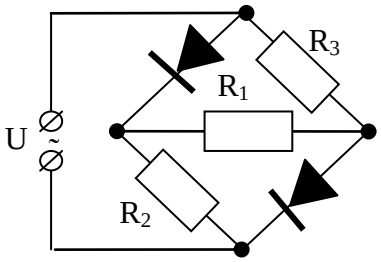
Мостиковая схема:





IV. *Задачи:*

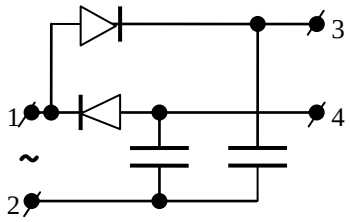
1. Рамка площадью 400 см^2 имеет 100 витков и вращается в однородном магнитном поле с индукцией 0,01 Тл, причем период ее вращения 0,1 с. Определите максимальное значение ЭДС, возникающей в рамке, если ось вращения перпендикулярна линиям магнитной индукции.
2. Сколько пар полюсов имеет генератор Горьковской ГЭС, если частота вращения ротора 62,5 об/мин?



3. В схеме, показанной на рисунке, R_1 = 10 кОм, R_2 = R_3 = 5 кОм, а на клеммы подано гармонически изменяющееся напряжение, действующее значение которого 220 В. Определить мощность, рассеиваемую на резисторе R_1. Диоды считать идеальными.
4. К обычной сети 220 В, 50 Гц подключили последовательно соединенные конденсатор емкостью 1 мкФ и нагреватель-резистор. Найти максимальную мощность такого нагревателя.

Вопросы:

1. Какова частота пульсирующего тока в схеме однополупериодного выпрямления; в мостиковой схеме?
2. Каковы недостатки при передаче и распределении электроэнергии с помощью постоянного тока?
3. Чему равно действующее значение пульсирующего тока, протекающего через резистор в схеме однополупериодного выпрямления; двухполупериодного выпрямления? Эквивалентны ли тепловые и химические действия этих токов?
4. Почему электромобили теряют мощность после достижения скорости 100-150 км/ч.
5. В цепи между точками 1 и 2 подается переменное напряжение: $u = U_0 \sin \omega t$. Какое напряжение установится между точками 3 и 4?



6. Почему плоскостные диоды не используют в цепях переменного тока высокой частоты?
7. Почему емкость фильтра конденсатора в двухполупериодном выпрямителе может быть в два раза меньше, чем в однополупериодном выпрямителе?

V. § 19. Упр. 3, №№ 1,2.

1. Можно ли с помощью диодного моста из постоянного тока получить переменный ток?
2. В генераторе есть специальная система, контролирующая равномерное вращение ротора независимо от того, сколько электроэнергии потребляется. Как вы себе представляете эту систему?

Дополнительная информация. Тесла и Эдисон («Война токов»). Будучи старше Тесла на девять лет, Эдисон гремел по всему миру. Он был самоучкой: после того, как однажды

учитель назвал Томаса «полным тупицей», возмущенная мать забрала его из школы, и тот продолжал образование самостоятельно. Томас много читал и, не имея достаточно средств на восхитительные игрушки, конструировал их сам, попутно дорабатывая и совершенствуя механизмы. Эдисон усовершенствовал многие из приборов. Организовав собственную лабораторию, он превратил ее в настоящую «фабрику изобретений». Усовершенствуя изобретенные другими приборы, он делал их удобными, популярными и продаваемыми (более 1000 патентов). Чувствуя в Тесле талантливого конкурента, Эдисон не поддержал его революционные планы относительно переменного тока. Когда Тесла получил патент на генератор переменного тока, ревнивый начальник развернул против него настоящую войну. К счастью, известный промышленник и изобретатель Джордж Вестингауз, присутствуя в 1888 г, на одном из докладов Тесла, сразу оценил его идеи и выкупил у него 40 патентов на системы передачи и распределения трехфазных токов (генераторы, электродвигатели, трансформаторы), примерно по 25000$ за патент. Вскоре принадлежащая фирме Вестингауза Ниагарская ГЭС начала генерировать переменный ток. Потерпев фиаско в доказательстве экономической нецелесообразности использования переменного тока, Эдисон обратился к другим аргументам – стал создавать образ смертельной опасности, которой подвергает себя всякий, кто рискует воспользоваться приборами и механизмами, питаемыми переменным током. В частности, провел показательные демонстрации убийства кошек и собак переменным током напряжением 330 В (на постоянном токе они выдерживали 1000 В), по слухам, лично сконструировал «электрический стул» на переменном токе. Однако вскоре Эдисону пришлось уступить, поскольку финансовая эффективность машин переменной тока стала очевидной.

Изобретателем я считаю человека, нашедшего новую комбинацию уже известных оборудований для наиболее экономного удовлетворения человеческих потребностей.

А. Эйнштейн

Урок 79/23. ТРАНСФОРМАТОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

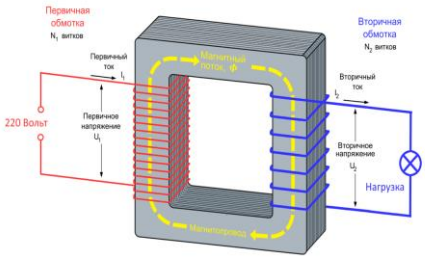
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с устройством и принципом действия трансформатора, его практическими применениями.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: трансформатор универсальный, катушка индуктивности, амперметр и вольтметр демонстрационные, реостат, трансформатор на панели, силовой трансформатор, лампочка 6,3 В на подставке, лампочка 220 В на подставке, осциллограф, кинофильм "Трансформаторы и их применение".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Генератор переменного тока. 2. Выпрямление переменного тока.

Задачи:

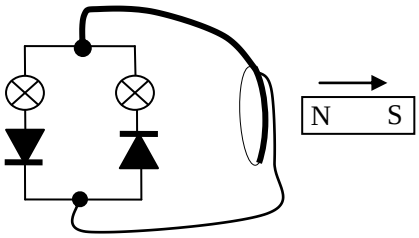
1. Записать закон изменения ЭДС с течением времени, наводимой в рамке, вращающейся в однородном магнитном поле, если ось вращения рамки

перпендикулярна линиям магнитной индукции, частота вращения составляет 50 об/с, площадь рамки 0,01 м^2 и магнитная индукция 0,2 Тл.

2. Электрический паяльник мощности 50 Вт рассчитан на включение в сеть переменного тока с напряжением 127 В. Какая мощность будет выделяться в паяльнике, если его включить в сеть переменного тока с напряжением 220 В последовательно с идеальным диодом? Сопротивление паяльника считать постоянным.
3. Переменный ток, выпрямляемый прибором, пропускающим только одну половину периода, проходит в течение 10 мин по раствору медного купороса. На электроде выделяется 200 мг меди. Какова амплитуда тока?
4. Какое число n оборотов в секунду разовьет электромотор постоянного тока с постоянным магнитом, включенный в цепь с ЭДС ε при полном сопротивлении цепи R? Работая в качестве генератора, он развивает ЭДС ε_1 при числе оборотов в секунду n_1, а момент силы трения на оси мотора равен M. Какой ток будет течь по цепи и чему будет равно число оборотов при M = 0?

Вопросы:

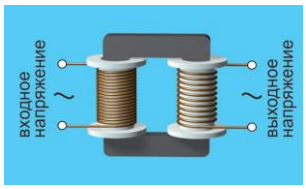
1. Каким образом механическое движение используется для получения электрической энергии?
2. Почему в цепях переменного тока высокой частоты используют точечные диоды?
3. Как выпрямить переменный ток, если напряжение на высоковольтной линии во много раз превышает напряжение пробоя полупроводникового диода?



4. Какая из ламп загорается при перемещении магнита?
5. Если к клеммам источника постоянного тока с мостиковой схемы выпрямления подключить конденсатор, то показания вольтметра увеличатся. Почему?
6. Как происходит сглаживание пульсаций индуктивностью?
7. Как происходит сглаживание пульсаций емкостью?

III. Можно начать с проблемной задачи о мощности, выделяющейся на проводе, по которому поступает электрическая энергия от ТЭЦ в город. У постоянного тока был существенный недостаток - ограниченность передачи электроэнергии по мощности и расстоянию. В электростанциях Эдисона использовалось напряжение, близкое к потребительскому напряжению - от 100 до 200 В. Потери энергии в проводах. Передача электроэнергии на расстояние по проводам (ЛЭП). Трансформаторы, повышая напряжение до значений порядка тысяч киловольт, позволяют существенно снизить потери при передаче электроэнергии на большие расстояния, а заодно и уменьшить площадь сечения проводов ЛЭП. Можно ли бытовые электроприборы подключать к этой сети (источникам тока)? Как? Можно ли лампочку на 6,3 В подключить к городской осветительной сети? Нет! А через трансформатор (демонстрация)? Можно! Напряжение, которое подается мощными генераторами электростанций, составляет порядка 330 000-220 000 Вольт. Такое напряжение нельзя подавать в дома и квартиры, это очень опасно и сложно с технической стороны. Поэтому переменный электрический ток с электростанций подается на электрические подстанции, где происходит трансформация с высокого напряжения на более низкое

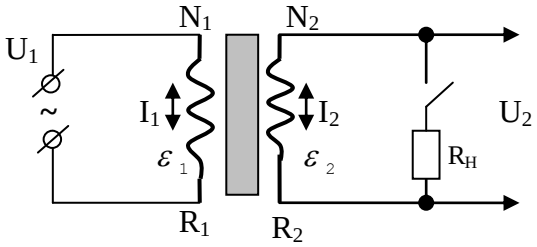
напряжение. Для дальнейшего преобразования напряжения переменного тока в сторону уменьшения (например, силовые трансформаторы с 10000 В городских сетей до 220 В домашней сети) применяются понижающие трансформаторы.



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

Обратное преобразование напряжения (демонстрация зажигания лампочки на 220 В от источника переменного напряжения 6,3 В). Устройство трансформатора и его обозначение на электрических схемах. Принцип работы.

Экзаменатор:
– Расскажите мне, как работает трансформатор.
Студент:
– Ж-ж-ж-ж-ж-ж.
– Неправильно. Трансформатор работает так – у-у-у-у-у-у.



Из чего состоит трансформатор? В простейшем случае — из одного металлического сердечника и двух обмоток. Обмотки электрически не связаны одна с другой и представляют собой изолированные провода. Первичная обмотка подключается к источнику переменного напряжения и по ней течет переменный ток, который перемагничивает сердечник. 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 расположены на одном сердечнике, то:

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

Демонстрация: Установив обмотки трансформатора рядом, друг с другом, снимаем осциллограмму выходного напряжения. Надев обмотки на сердечник и замыкая его ярмом, снимаем осциллограммы. Объясните результаты опытов.

Основные формулы: $U_1 = I_1R_1 + \varepsilon_1$; $\varepsilon_2 = I_2R_2 + I_2R_H$; $U_2 = I_2R_H$.

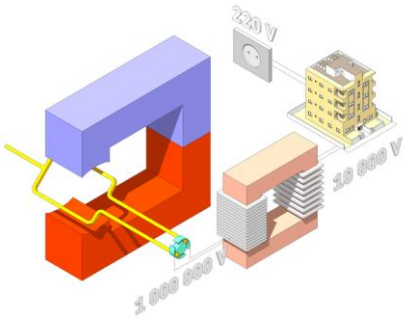
Основные режимы работы трансформатора:

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

Демонстрация трансформатора на панели. Каков коэффициент трансформации этого трансформатора? Как рассчитать трансформатор?

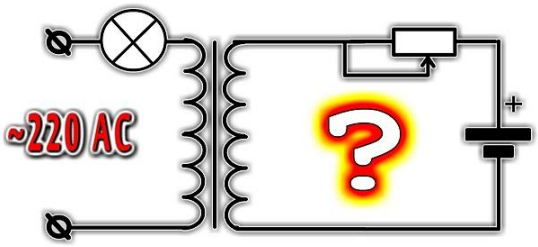
2. Режим нагрузки (вторичная обмотка замкнута через нагрузку). Основные формулы: $P_1 \approx P_2 \to \varepsilon_1 I_1 = \varepsilon_2 I_2$; $\eta = \frac{P_H}{P_1}100\% = \frac{I_2U_2}{I_1\varepsilon_1}100\% = \frac{U_2}{\varepsilon_2}100\%$.

КПД трансформатора порядка 98 % (медный провод, шихтованный сердечник). Демонстрация с универсальным трансформатором. Числовой пример: I_1 = 0,5 А, U_1 = 125 В, ε_2 = 25 В, I_2 -? Чем больше сила тока во вторичной обмотке трансформатора, тем сильнее ослабляется магнитный поток сердечника, тем меньше ЭДС самоиндукции в первичной обмотке и больше потребляемая трансформатором мощность.



Дополнительная информация. Коэффициент полезного действия трансформаторов достаточно высок. Тем не менее, в обмотке и сердечнике происходят потери энергии, приводящие к тому, что температура при работе трансформатора повышается. Охлаждение трансформаторов. Изготовление трансформатора (демонстрация с катушкой индуктивности, несколькими витками провода и осциллографом). **Применение трансформаторов** (микрокалькулятор, телевизор, сварочный трансформатор (демонстрация)).

Дополнительная информация (магнитный усилитель). Представьте простую катушку индуктивности: проволоку, обмотанную вокруг железного стержня (сердечника). Когда ток протекает по проводнику, внутри стержня возникает переменное магнитное поле. Если в переменном магнитном поле размещён проводник, то в нем появляется ЭДС самоиндукции, и она будет противодействовать переменному току. В случае, когда величина пропускаемого тока высока, железо, из которого изготовлен стержень, насыщается и перестаёт намагничиваться дальше. С этого момента ток проходит по проводнику практически без препятствий.



Внешне магнитный усилитель похож на трансформатор: в центре конструкции находится железный стержень, на него намотаны два или более витка проволоки. Чаще всего сердечник представляет собой кольцевую (тороидальная форма) или квадратную рамку. Вторая обмотка нужна для управления – пропускаемый через неё постоянный ток позволяет насыщать сердечник или выводить его из состояния насыщения, вызывая увеличение или уменьшение магнитного потока, пронизывающего рамку. Обмотка управления потребляет небольшую мощность. Это позволяет, используя малую силу тока, регулировать в широком диапазоне мощность нагрузки. Поэтому рассматриваемое нами устройство и получило такое название – усилитель. Усилитель ведёт себя как переключатель – в состоянии насыщения ток проходит по обмотке беспрепятственно, в ненасыщении ток полностью блокируется.

Магнитные усилители применяли в электрических тормозах локомотивов, грузовых машин и трамваев. Их использовали для регулирования освещения в театрах и кинотеатрах, для управления высоковольтными системами электропитания, а также в приводах наведения корабельных орудий и для модуляции выходного сигнала передатчика в соответствии с силой речевого сигнала в трансатлантической радиотелефонии.

IV. Демонстрация фрагмента кинофильма.

Задачи:

1. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации равным 10, включен в сеть с напряжением 220 В. Каково напряжение на выходе трансформатора, если сопротивление вторичной обмотки 0,2 Ом, а сопротивление полезной нагрузки 2 Ом?

2. Первичная обмотка повышающего трансформатора с коэффициентом трансформации 1/3 включена в городскую сеть с напряжением 220 В, а ко вторичной обмотке, имеющей сопротивление 20 Ом, подключен резистор. Напряжение на зажимах вторичной обмотки равно 650 В. Пренебрегая потерями и сопротивлением первичной обмотки, определите сопротивление резистора и силу тока в первичной обмотке.

-*Что за мужчины пошли, один, что такое трансформатор не знает, другой вон сидит и закона Ома не знает!*

Имейте в виду, если вы сделаете быстро и плохо, то люди забудут, что вы сделали быстро, и запомнят, что вы сделали плохо. Если вы сделаете медленно и хорошо, то люди забудут, что вы сделали медленно, и запомнят, что вы сделали хорошо!

С. П. Королёв

Вопросы:

1. Почему без нагрузки трансформатор потребляет очень мало энергии?
2. Изменяется ли мощность тока при преобразовании его в трансформаторе?
3. Почему сердечники трансформаторов должны легко перемагничиваться и не должны проводить электрический ток?
4. К чему приведет замена шихтованного сердечника в трансформаторе сплошным медным сердечником?
5. Имеется два одинаковых трансформатора с 220 В на 12 В. Можно ли их соединить так, чтобы получить б В?
6. В чем разница между трансформатором и генератором переменного тока?
7. Почему вторичная обмотка трансформатора при выключении из сети должна быть замкнута?
8. Почему при разомкнутой вторичной обмотке потребляемая трансформатором энергия минимальна? Чем она определяется?
9. Как изменится накал лампы, включенной в первичную обмотку трансформатора, при увеличении нагрузки во вторичной обмотке?
10. Зависит ли ЭДС в первичной и вторичной обмотке трансформатора от того, в каком режиме он работает?
11. Почему при геомагнитных бурях наиболее уязвимы понижающие трансформаторы?
12. Разборный школьный трансформатор включен в сеть, а к его вторичной обмотке подключена нагрузка. Опыт показывает, что при удалении верхней части сердечника, ток в первичной обмотке увеличивается, а во вторичной — уменьшается. Дайте объяснение этому явлению. $I_1 = \frac{U_1 - \varepsilon_{c1}}{R_1}, \varepsilon_{c1} = \frac{N_1 BS\omega}{\sqrt{2}}$.

V. § 24. Упр. 3, №№ 3-7.

1. Почему нагруженный трансформатор гудит? Какова частота звука трансформатора, включенного в сеть тока промышленной частоты?
2. Какие напряжения (десять) можно получить от источника переменного тока 12 В, используя трансформатор с двумя обмотками, если число витков в одной из них в 3 раза больше, чем в другой обмотке?

Теория, мой друг, сера, но вечно зеленое дерево жизни.

И.В. Гете

Урок 80/24.

ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.

Почему электрическую энергию передают при высоких напряжениях и малых токах?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся со способами производства электрической энергии, ее передачей к потребителям и использованием в промышленности и быту.

ТИП УРОКА; комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: два универсальных трансформатора, "линия электропередачи", лампочка на подставке, набор для изучения трехфазного тока, диафильм "Производство, передача и использование электрической энергии".

ПЛАН УРОКА:

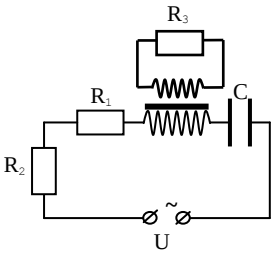
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Самостоятельная работа
5. Закрепление
6. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Трансформатор. 2. Основные режимы работы трансформатора.

Задачи:

1. 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.
2. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 5 включен в сеть с напряжением 220 В. Определить КПД трансформатора, если потерь энергии в первичной обмотке не происходит, а напряжение на вторичной обмотке 42 В. (95%)
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 η = 0,8.
4. Сила тока холостого хода в первичной обмотке трансформатора, питаемой от сети переменного тока с частотой ν = 50 Гц и напряжением U = 220 В, равна I_1 = 0,2 А. Электрическое сопротивлением первичной обмотки R_1 = 100 Ом. Определить индуктивность первичной обмотки трансформатора.
5. Напряжение на первичной обмотке трансформатора U_1 = 120 В и сила тока в ней I_1 = 0,5 А. Ко вторичной обмотке подсоединена лампа, сила тока в

которой I_2 = 3 А, а напряжение на ней U_2 = 10 В. КПД трансформатора η = 0,7. Найти сдвиг фазы между силой тока и напряжением в первичной обмотке.



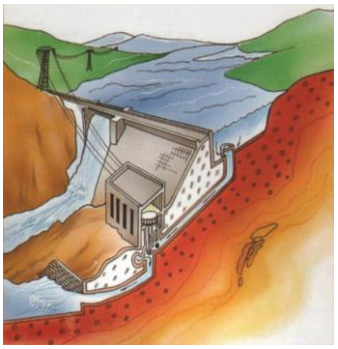
6. Определите силу тока в цепи первичной обмотки трансформатора. Коэффициент трансформации равен k, КПД трансформатора η считать равным 100%, циклическая частота переменного тока ω.

Вопросы:

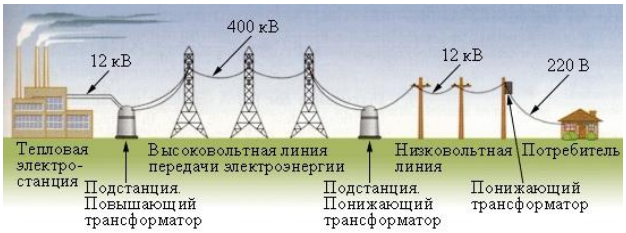
1. Почему во всех странах мира используют именно переменный ток?
2. В каком случае с вторичной обмотки трансформатора можно снимать постоянное напряжение?
3. Изменять подаваемое потребителю напряжение можно с помощью потенциометра (зарисуйте схему). В чем недостаток такого способа трансформации напряжения?
4. 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?
5. Предложите способ определения числа витков в обмотке трансформатора, не разматывая ее.
6. Почему с увеличением нагрузки во вторичной цепи автоматически увеличивается потребляемая трансформатором мощность?
7. Отчего наличие очень высокого напряжения во вторичной обмотке повышающего трансформатора не приводит к большим потерям энергии на выделение тепла в самой обмотке?
8. Как и почему будет изменяться напряжение и ток в первичной и во вторичной обмотке трансформатора при увеличении активной нагрузки?
9. Можно ли сделать короткое замыкание, ремонтируя розетку или выключатель?
10. Закрытый трансформатор имеет четыре клеммы. Как определить отношение числа витков в двух обмотках, не разбирая трансформатор? Как узнать, какие клеммы принадлежат одной обмотке?
11. Почему наибольший КПД имеют те трансформаторы, в которых обмотки из толстого провода расположены одна над другой или даже одна поверх другой?
12. Почему опасно замыкание хотя бы одного витка вторичной обмотки трансформатора?
13. Трансформатор рассчитан преобразовывать напряжение 220 В в напряжение 11 В. Какое напряжение выдаст трансформатор, если перепутать контакты и подключить напряжение 220 В к выходу, на котором должно быть 11 В?
14. Почему при разрыве тока в первичной обмотке трансформатора в замкнутой вторичной обмотке не получается перенапряжения как, например, в катушке индуктивности?

15. Почему для понижающих промышленных трансформаторов опасны токи, возникающие при сильных геомагнитных возмущениях (магнитные бури)?

III. Потребности электроэнергии по секторам экономики: промышленность - 33%, коммунальный сектор - 37%, транспорт -19%, сельское хозяйство - 3%, не топливные нужды – 8%. Потребности России в электроэнергии удовлетворяют электростанции суммарной мощностью 215 ГВт. Свыше 20% вырабатывают ГЭС, около 10% - АЭС, почти 70% - ТЭС, менее 1% ГеоЭС прямого и бинарного действия.



Передача электроэнергии на расстояние. Способы уменьшения потерь: уменьшение удельного сопротивления, сверхпроводимость, увеличение диаметра провода, уменьшение силы тока. Необходимость высокого напряжения видна из следующего простого расчета. Допустим, что электрическая мощность 66 кВт передается от электростанции в город под напряжением 220 В, а сопротивление ЛЭП равно 0,4 Ом. Тогда сила тока в ЛЭП: I = P/U = 300 А, а выделившаяся в линии мощность $P_{пот} = I^2 R$ =36 кВт, что составляет 54,5% от передаваемой мощности. А если эта мощность по той же ЛЭП передается при напряжении 22000 В, то потери составят только 0,005%.



Блок-схема линии передачи переменного тока. Присоединенный к линии высокого напряжения трансформатор доставляет энергию к потребителю.

Напряжение в 220 вольт задаёт не электростанция, а понижающая трансформаторная подстанция, которая находится не далее 500 метров от конечных потребителей.

Недостатки линии высокого напряжения: наличие индуктивного сопротивления (способы устранения: расщепление провода; включение в линию конденсаторов). Блок-схема линии передачи электроэнергии постоянного тока.

Необходимость создания дальних линий электропередачи. Способы уменьшения потерь в линии. **Сверхпроводящие линии. Преобразование энергии, поступающей от электростанции к потребителю.** Потери энергии. Общая тенденция: линии 500, 750, 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ постоянного тока. Создание единой энергетической системы России.

График суточной нагрузки в случае единой системы.

IV. Заполнение таблиц 56-58 на ст. 61-62.

Вопросы:

1. Если в темное время суток люминесцентную лампу воткнуть в землю под ЛЭП, то она ярко загорится. Почему?

2. Как увеличить КПД линии электропередачи?
3. Трансформатор, работающий на более высокой частоте, имеет меньшие габариты и вес, чем работающий на частоте пятьдесят герц. Почему?
4. Почему вспышки на Солнце могут привести к сбоям в работе трансформаторов в электрических сетях и даже выходу их из строя (перегорание первичных обмоток)?
5. Какие рекомендации по повышению устойчивости энергосетей в отношении изменения солнечной активности вы можете дать?
6. Почему так неэкономно (с большим провисом) развешены провода линии электропередачи?
7. При размыкании цепи постоянного тока возникает более устойчивая электрическая дуга, чем при размыкании цепей переменного тока. Почему?
8. ЛЭП постоянного тока по сравнению с ЛЭП переменного тока имеют меньшие потери на сопротивление проводов, большую пропускную способность и меньшие требования к изоляции. Так ли это?
9. Стоит птице на проводе линии высокого напряжения коснуться ещё какого-нибудь заземлённого предмета, например, металлической части опоры, она сразу погибает. Почему?
10. Нуждаются ли сверхпроводящие линии электропередачи в дорогом высоковольтном оборудовании?

V. *Задачи:*

1. От подстанции к потребителю передается мощность 62 кВт. Сопротивление линии 5 Ом. Для случаев осуществления передачи при напряжении линии 620 В и 6200 В определить: 1) Какую мощность получает потребитель; 2) напряжение потребителя.
2. 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?

VI. §§ 25,26.

1. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с современными представлениями о переменном токе.
2. Каким образом в ЛЭП постоянного тока поднимается напряжение до транспортного уровня?
3. Паяльник с номинальным напряжением U_H= 40 В и мощностью P = 65 Вт нужно питать от сети переменного тока частотой ν = 50 Гц и напряжением U = 220 В. Рассмотреть возможные варианты схем и выбрать наиболее эффективный с точки зрения экономичности и безопасности использования. Имеется возможность использовать любые материалы и комплектующие.

Помню я лестниц скрипучесть
И электричества тленье.
Помню я буйную учесть
Нашего поколения.
Л. Мартынов

Урок 81/25. **УСПЕХИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ РОССИИ**

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с перспективами электрификации России.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм, рефераты.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Сообщения учащихся
4. Решение задач
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Производство электроэнергии. 2. Передача электроэнергии. 3. Потребление электроэнергии.

Задачи:

1. По двум проводам сопротивлением 0,055 Ом каждый передается электрическая мощность 80 кВт. Каких потерь мощности в линии удастся избежать, если не подавать в линию напряжение 120 В, а сначала повысить его до 1200 В и в конце линии понизить снова до 120 В с помощью трансформаторов, КПД каждого из которых 99 %?
2. Потребитель мощностью 1 МВт подключен через линию электропередачи сопротивлением 0,1 Ом к шинам подстанции. Какое напряжение должно быть на шинах подстанции, чтобы потери мощности в линии электропередачи не превышали 5% от потребляемой мощности?
3. Определите массу меди, нужную для устройства двухпроводной линии длиной 5 км. Напряжение на шинах станции 2400 В, передаваемая потребителю мощность 60 кВт, допустимая потеря напряжения в проводке 8 %.

Вопросы: У вас есть пять электрических приборов: трансформатор, генератор, аккумулятор, конденсатор, полупроводниковый диод. Какой из приборов необходимо использовать для: а) промышленного производства электроэнергии; б) ослабления низких частот в цепях переменного тока; в) выпрямления переменного тока; г) накопления электрической энергии; д) преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

III. Сообщения учащихся. План ГОЭРЛО.

- Крупнейшие электростанции России и Кузбасса.
- Единая энергосистема России.
- Развитие атомной энергетики в России.
- Экологические проблемы и пути их решения.
- Возобновляемые и дармовые источники электрической энергии.

Со времени обоснования теоретической физики Ньютоном наибольшие изменения в её теоретических основах, другими словами, в нашем представлении о структуре реальности, были достигнуты благодаря исследованиям электромагнитных явлений Фарадеем и Максвеллом.

Альберт Эйнштейн

IV. *Задачи:*

- Электродвигатель питается от батареи с ЭДС 12 В. Какую мощность развивает двигатель при протекании по его обмотке тока 2 А, если при полном затормаживании якоря по цепи течет ток 3 А? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.
- Хватить ли мощности гидроэлектростанции, чтобы испарить воду, протекающую через ее турбину?

V. § 27.

1. Составить обобщающую таблицу "Переменный ток".

И вечный бой! Покой нам только сниться
Сквозь кровь и пыль …
Летит, летит степная кобылица
И мнет ковыль …

А. Блок

Урок 82/26.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

"Та теория, которую я предлагаю, может быть названа теорией электромагнитного поля, потому что она имеет дело с пространством, окружающим электрические или магнитные тела, и она может быть названа также динамической теорией, поскольку она допускает, что в этом пространстве имеется материя, находящаяся в движении, посредством которой и производятся наблюдаемые электромагнитные явления".

Максвелл

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ТЕМЕ: ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Поэзия – невидимый источник энергии, которая отражается в сознании как волны, подобные волнам жидкости.

О. Мандельштам

Много ли есть людей, которые, любуясь игрой волн на поверхности ручейка, думают, как найти уравнения, по которым можно было бы вычислить форму любого волнового гребня.

Л. Больцман

Урок

УРАВНЕНИЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ. ВОЛНЫ В СРЕДЕ.

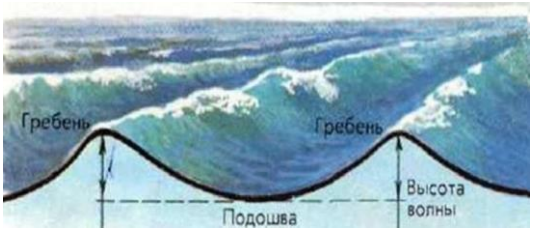
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с основными особенностями волнового движения (основными свойствами волн). Вывести уравнение бегущей плоской волны и исследовать его. Систематизировать знания учащихся о волнах.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: волновая ванна с принадлежностями, длинная спиральная пружина, волновая машина.

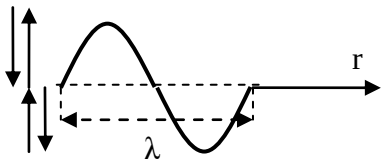
ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом

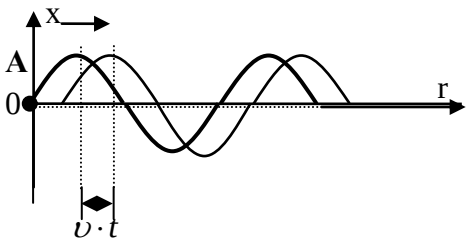


II. Волновые импульсы на резиновом шнуре и на спиральной пружине (демонстрация). Другие примеры: 1) воздушный волновой импульс; 2) передача в Петербург известия о коронации императрицы Елизаветы, происходящей в Москве (солдаты с флажками); 3) деполяризация мембраны аксона приводит к открытию натриевых пор (ионы натрия проникают внутрь аксона), что приводит к уменьшению потенциала снаружи в соседней области (деполяризация мембраны) и открытию натриевых пор. Активный участок перемещается по волокну со скоростью от 0,1 до 10 м/с. Кратко повторить свойства волновых импульсов. Встав в круг и взявшись за руки, продемонстрируйте распространение волнового импульса. **Свойства волновых импульсов (повторение).**

Как получить на спиральной пружине одиночный волновой импульс; перевернутый одиночный волновой импульс; синусоидальную волну (два и более волновых импульса)? **Длина волны (λ) - свойство гармонической волны повторять свою форму в пространстве, измеряемое длиной отрезка между двумя ближайшими точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах.**



Скорость распространения волны: $\upsilon = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$.



Поперечные и продольные волны (демонстрация). Встав в круг и взявшись за руки, продемонстрируйте распространение волны.

Скорость волны зависит от свойств той среды, в которой она распространяется. Волна всегда представляет собой результат противодействия двух факторов - инерции частиц или среды и некой возвращающей силы!

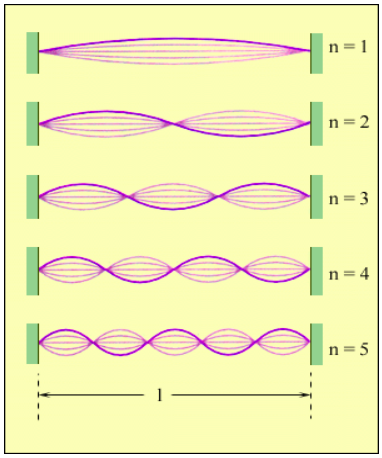
Скорость распространения поперечной волны по шнуру $\upsilon = \sqrt{\frac{F_н}{\mu}}$, где μ -

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

Волна вдоль бесконечного шнура (рисунок и демонстрация). Уравнение волны в данный момент времени: $x = A \cdot \sin\frac{2\pi r}{\lambda}$. $x = A \cdot \sin\frac{2\pi}{\lambda}(r - \upsilon t)$ - уравнение волны перемещающейся вправо. $x = A \cdot \sin\frac{2\pi}{\lambda}(r + \upsilon t)$ - уравнение волны, бегущей влево.

Преобразуем уравнение: $x = A\sin(\frac{2\pi}{\lambda}r - \frac{2\pi}{T}t) = A \cdot \sin(kr - \omega t)$.

Дополнительная информация. Наложение друг на друга двух одинаковых синусоидальных волн, бегущих по шнуру в противоположных направлениях и образование стоячей волны (демонстрация). Уравнение **стоячей волны**: $x = 2A \cdot \sin\frac{2\pi}{\lambda}r \cdot \cos\frac{2\pi}{T}t$. Расстояние между двумя соседними узлами в стоячей волне ℓ = λ/2. Длины стоячих волн на струне, концы которой закреплены: $\lambda_n = \frac{2l}{n}$ и собственные частоты колебаний струны: $\nu_n = \frac{\upsilon}{2l}n$, где n = 1,2,3,…,n. **Основной тон и обертоны**. Если «погасить» основной тон, слегка приложив палец к середине звучащей струны, то мы услышим звук вдвое большей частоты (первый обертон).



"Кто волны, вас остановил.
Кто оковал ваш бег могучий,
Кто в пруд безмолвный и дремучий
Поток мятежный обратил?"
А.С. Пушкин

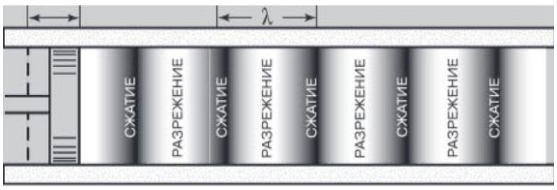
"Несгибаемый характер" синусоидальной волны (ослабление волны, изменение длины волны, однако она остается синусоидальной).

Волны в среде. Волновой процесс - процесс распространения колебаний в сплошной среде (перенос энергии без переноса вещества). Волна в океане может достигать высоты полукилометра, так, например, в 1958 г. на Аляске мощный оползень в бухте создал волну, которая просто захлестнула противоположный берег, смыв с него лесной покров и выбросив на берег стоявшие в бухте суда.

Плоская волна (рисунок). Почему волна называется плоской? Волновая поверхность и луч. Фазовая скорость: $\varphi = kr - \omega t = пост.$ $\frac{d\varphi}{dt} = 0 = k\frac{dr}{dt} - \omega \to \upsilon = \frac{\omega}{k}$.

Демонстрация плоских волн. **Кольцевые волны и сферические волны.** В бегущей волне энергия складывается из равных долей кинетической и потенциальной энергии.

Если в среде сечением S распространяется продольная (поперечная) волна, то: E = $\frac{kA^2}{2}, k = 4\pi^2 m\nu^2$, поэтому $E = 2\pi^2\rho S\upsilon \cdot t\nu^2 A^2$.



Энергия, переносимая волной, прямо пропорциональна квадрату ее амплитуды.

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: $I = \frac{E}{S \cdot t}$. $I = \rho\upsilon \cdot v^2 2\pi^2 A^2$.

Интенсивность волны прямо пропорциональна квадрату ее амплитуды. 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: $A \sim \frac{1}{r}$.

Дополнительная информация: Волна существует везде, кроме точки, из которой была испущена. Так ли это? Если волна цунами выходит на мелководье, то ее скорость уменьшается, а амплитуда волны увеличивается. Почему? Другое выражение для плотности потока энергии: $\frac{N}{S} = \frac{F}{S}\upsilon \rightarrow I = p\upsilon = \sigma\upsilon$. Каким образом передается энергия от буксира к судну? Через трос? Плотность потока энергии (интенсивность):

- Солнечной энергии у поверхности Земли $1{,}6 \cdot 10^4$ Вт/м^2
- В турбинах ГЭС 10^7 Вт/м^2
- Для плавок и испарения в вакууме 10^9 Вт/м^2
- Обработка материалов пучком заряженных частиц $5 \cdot 10^{12}$ Вт/м^2
- При взрыве кумулятивного заряда 10^{15} Вт/м^2
- В современных мощных лазерах 10^{25} Вт/м^2

В Южной Корее запустили самый мощный в мире лазер, который поможет раскрыть множество загадок физики. Интенсивность импульсов лазерной установки равна всему падающему на Землю свету Солнца, сфокусированному в луч диаметром 10 микрон (10^{27} Вт/м^2).

Ударная волна. Вещество впереди тела, которое движется со сверхзвуковой скоростью (например, самолет), образует фронт ударной волны (ширина порядка нескольких длин свободного пробега). Ударная волна, которая возникает при атомном взрыве, имеет температуру порядка 3500 К и давление свыше 100 атмосфер.

III. *Задачи:*

1. Уравнение бегущей волны имеет вид: x = 0,2 sin (20r – 30t). Какова скорость волны?
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?
3. Скорость распространения волны по струне с закрепленными концами равна 2 м/с. Расстояние между узлами стоячих волн 4 см. Какова частота колебаний?
4. Найти частоту звуковых колебаний в стальном стержне, если расстояние между ближайшими точками звуковой волны, отличающимися по фазе на $\pi/2$, составляет 1,54 м. Скорость звука в стержне 5000 м/с.
5. Подсчитать максимальное ускорение и максимальную скорость частиц воздуха в ультразвуковой волне частотой 50 кГц и амплитудой смещения частиц 0,1 мкм.

6. Сравнить скорости распространения акустических волн в стали и меди, приняв модуль Юнга для стали E_{Fe} = 216 ГПа, для меди E_{Cu} = 118 ГПа.
7. Каково соотношение амплитуд колебаний в точках волны, отстоящих от источника соответственно на 10 и 25 см, когда источник излучает: а) плоскую волну; б) сферическую волну.

Вопросы:

1. Если подставить лезвие ножа под тонкую струйку воды, то на поверхности ножа возникает стоячая волна? Почему? Чем определяется длина этой волны?
2. Натягивая струну сильнее, мы изменяем частоту колебаний. Как вы думайте, увеличивается частота или уменьшается?
3. Каким образом передается энергия при обработке материала зубилом?
4. Почему басовые струны музыкальных инструментов оплетают спиралью из проволочки?
5. Зажимая струну гитары пальцем, мы как бы уменьшаем ее длину, почти не меняя натяжения. Как вы думайте, что происходит с высотой звука?
6. Пластинку на 33 оборота в минуту поставили на 45 оборотов в минуту. Как изменилась частота всех записанных на ней звуков?
7. Как вы думаете, почему скорость звука в воде увеличивается как с увеличением температуры, так и с увеличением давления?
8. Утверждается, что на улице струнные инструменты звучат выше, чем в теплом помещении, а духовые наоборот. Так ли это?
9. Если вы стоите в полосе прибоя, то маленькая волна не собьет вас с ног. Почему?
10. Зависит ли звук струны от ее обмотки, и если да — то какая это зависимость? У какой струны звук будет громче, а у какой — выше?
11. Каким образом ветер разгоняет волну на озере? Как изменяется ее скорость, длина волны и амплитуда?
12. Что является причиной шелеста, который можно услышать на поле, засеянном зерновыми культурами?
13. Почему волны на море тем выше, чем больше для них простора, чем сильнее ветер и чем дольше он дует?
14. Почему интенсивность гравитационных волн очень мала?
15. 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).
16. Гравитационная волна сжимает пространство в одном направлении и растягивает в перпендикулярном. Это волна поперечная или продольная?
17. Почему увеличивается амплитуда цунами (наката волны) при выходе на берег (до 30 м)?

IV. Конспект

1. Встаньте в одну шеренгу и попытайтесь продемонстрировать распространение поперечной волны; продольной волны.
2. Как, пользуясь соображениями размерности, определить зависимость скорости звуковых волн в стержне от модуля Юнга и плотности материала?
3. Как должна зависеть скорость распространения звука в океане от глубины?
4. Воздушный шарик, наполненный водой почти до разрыва, сбрасывают без начальной скорости с высоты 5 м на асфальт. Оцените максимальный размер пятна, образующегося на асфальте в результате разрыва шарика. Как зависит размер пятна от высоты падения шарика?
5. Объясните опыты:

1) Наливаем воду в стакан и переворачиваем его вверх дном. Почему вода выливается?
2) Наливаем воду в тот же стакан, накрываем его листом бумаги, переворачиваем стакан и отпускаем листок. Почему вода не выливается?
3) Наливаем воду во флакон от духов и переворачиваем его. Почему вода не выливается?

Было показано, что две одинаковые серии волн, исходящих из близко расположенных друг к другу центров, могут разрушать эффект каждой из них в определенных точках, а в других точках удвоить эти эффекты.

Т. Юнг

Урок 2.

СВОЙСТВА ВОЛН

Можно ли почувствовать землетрясение во время полета на самолете?

ЦЕЛЬ УРОКА: Повторить с учащимися явления интерференции и дифракции волн, законы преломления и отражения.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: волновая ванна с принадлежностями, осветитель для теневого проецирования, штатив.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Повторение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Скорость волн. 2. Уравнение бегущей волны. 3. Стоячие волны.

Задачи:

1. При распространении плоской волны частицы среды колеблются с частотой ν = 25 Гц. Частицы среды, отстоящие друг от друга на расстоянии Δx = 0,1 м, колеблются с разностью фаз $\Delta\varphi$ = 600. Найти скорость распространения волны.
2. Пусть синусоидальная волна распространяется по растянутому шнуру, состоящему из двух участков с линейными плотностями μ_1 и μ_2 ($\mu_2 < \mu_1$). Найти отношение скоростей волн и отношение длин волн в двух участках шнура. При переходе изменяется скорость волны, длина волны, а частота неизменна!
3. Смещение от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии 4

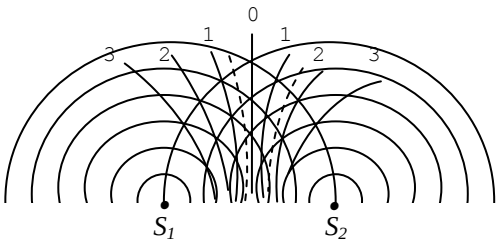
см от источника колебаний, в момент времени t=T/6 равно половине амплитуды. Найти длину волны.

4. Частоты двух последовательных обертонов струны равны 320 и 360 Гц. Чему равна частота основного тона?
5. На колеблющейся струне длиной 12 см узлы расположены на расстоянии 4 см друг от друга. Скорость распространения волны 30 м/с. Определить частоту колебаний. Перечислите все возможные низшие резонансные частоты. Найдите натяжение струны при условии, что ее масса равна 24 г.

Вопросы:

1. Струна звучит с частотой 400 Гц. В каком месте и как следует задержать движение струны, чтобы она звучала с частотой: 1) 800 Гц; 2) 2000 Гц?
2. На каком расстоянии от края звучащей струны нужно приложить палец, чтобы услышать второй обертон?
3. Почему ультразвук обладает достаточной энергией, чтобы на расстоянии измельчать почечные камни и сжигать опухоли?
4. Почему шум от движущегося поезда резко возрастает, когда поезд въезжает в туннель?
5. Как изменится высота тона колеблющейся струны при повышении температуры воздуха?
6. Почему одна и та же нота не звучит одинаково на различных музыкальных инструментах?
7. Почему более сильное натяжение струны соответствует более высокой тональности?
8. Каким образом постоянный ветер над океаном может увеличивать высоту гребней и глубину впадин волн?
9. Почему скорость звука в среде обратно пропорциональна её плотности?
10. Если бросить в воду камень у берегов Гибралтара, то дойдет ли волна до берегов Северной Америки, и какова будет у нее амплитуда? Расстояние между этими точками по карте 6500 км.

III. Демонстрация интерференции водяных волн**.**



Разность хода волн до точки наблюдения, лежащей на n-ой узловой линии:

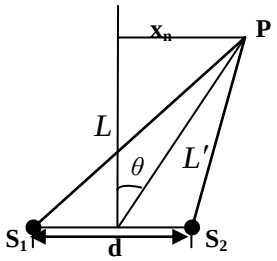
$\Delta_n = (n - \frac{1}{2})\lambda$ или $\Delta_n = (2n - 1)\frac{\lambda}{2}$, где $n = 1,2,3.....$

Интерференцией называется явление наложения волн друг на друга, в результате которого вдоль одних направлений происходят колебания удвоенной амплитуды, а вдоль других она равна нулю.

Что можно определить по наблюдаемой интерференционной картине? Разность хода волн до некоторой точки наблюдения по рисунку на доске. Разность хода волн до точки

наблюдения, лежащей на n-ой линии максимума: $\Delta_n = n\lambda$ или $\Delta_n = 2n\frac{\lambda}{2}$, где $n = 0,1,2,3,\ldots$. **Если до некоторой точки наблюдения разность хода равна целому числу длин волн (четному числу полуволн), то в этой точке происходит усиление колебаний, а если не целому (нечетному числу полуволн), то в этой точке происходит ослабление колебаний.**

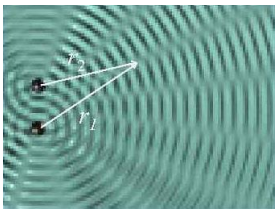
А если известен результат интерференции в некоторой точке интерференционной картины? В этом случае, зная номер максимума (минимума) и разность хода волн до этой точки, можно определить длину волны. **Как рассчитать разность хода волн?** $\Delta = PS_1 - PS_2 = d \cdot \sin\varphi = d\frac{x_n}{L'} \approx d\frac{x_n}{L}$.



Можно ли наблюдать **интерференцию звуковых волн**; **световых волн**? Как были измерены длины световых волн?

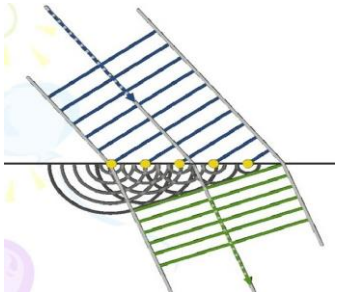
Будет ли наблюдаться интерференционная картина, если источники волн не когерентны (колеблются с одинаковой частотой, но не с постоянной разностью фаз)?

Принцип Гюйгенса: Каждая точка среды, до которой дошло возмущение, является источником вторичных волн, огибающая которых дает положение фронта волны в следующий момент времени.



Отражение и преломление волн. **Закон преломления волн:**

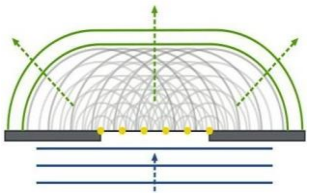
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{\lambda_1\nu}{\lambda_2\nu} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{21}$$



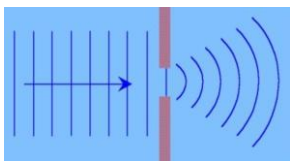
Любая волна может распространяться, не отражаясь, в среде, содержащей рассеивающие центры, если они расположены в виде идеальной периодической решетки (демонстрация). Малейшие отклонения от периодичности: изменение расстояния между центрами, замена одного центра другим, отсутствие центра, вызывают рассеяние волн (демонстрация).

Дисперсия волн. Демонстрация преломления волн различных частот в волновой ванне. Почему "длинные" волны преломляются сильнее, чем "короткие"? Для каких волн показатель преломления больше? **Дисперсия волн - явление разбрасывания волн на границе раздела двух сред, показатель преломления которой зависит от частоты. Дисперсия** (от лат. dispergo – разбрасывать). Как будет вести себя на границе раздела "белая" волна?

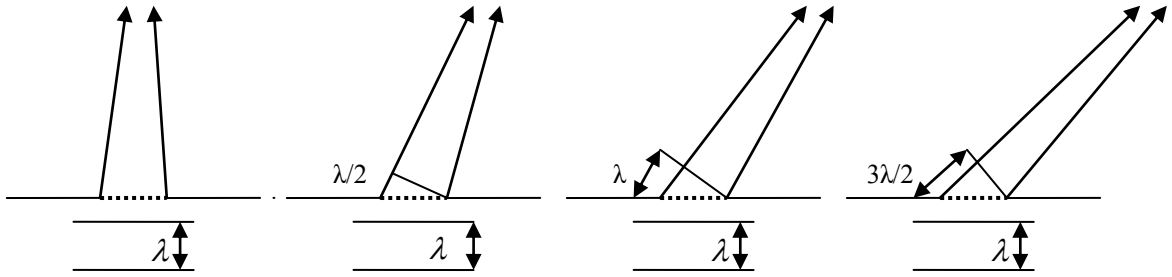
Почему "опрокидываются" волны, приближающиеся к берегу (морской прибой)? Скорость волн на воде зависит от амплитуды (чем больше, тем больше), поэтому "белая" волна или волновой импульс будут рассеиваться. Если компенсировать эффект разрушения, то возникает солитон.



Применение принципа Гюйгенса-Френеля для объяснения дифракции волн. **Дифракцией называется огибания**



волнами препятствий (демонстрация дифракции от щели и от препятствия).



Теория дифракции света от щели (повторение). Направления, вдоль которых будет происходить частичное гашение (а) и полное гашение (б) волн: а) $\Delta_n = (n - \frac{1}{2})\lambda$, где n = 1,2,…,n; б) $\Delta_n = n\lambda$, где n = 1,2,…,n. Условие максимума: $\Delta_m = (2m-1)\cdot(\lambda/2)$, где = 1,2…m. Ширина центрального максимума: y = $d + \frac{2\lambda L}{d}$. В каком случае дифракция наблюдается наиболее отчетливо; плохо? Как можно наблюдать дифракцию света?

IV. *Задачи:*

1. Продольная сейсмическая волна падает на границу раздел двух пород под углом 40°. Относительные плотности первой и второй породы равны соответственно 3,6 и 4,9. Определите угол преломления, считая модули упругости этих пород одинаковыми.
2. Скорость волн в воде 1450 м/с. Частота колебаний 725 Гц. На каком расстоянии находятся ближайшие точки, совершающие колебания: 1) в противоположных фазах, 2) в одинаковых фазах, 3) при разности фаз π/4.
3. Расстояние между двумя когерентными источниками волн на поверхности воды 5 см. Точка наблюдения P, лежащая на третьей узловой линии, находится на расстоянии 10 см от центральной линии и на расстоянии 20 см от точки, лежащей посредине между источниками. Определите длину волны.
4. 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.
5. От первого источника акустических волн колебания достигают микрофона M за время τ_1 = 0,67 с. От второго источника, начавшего работать одновременно с первым, колебания в точку расположения микрофона доходят за τ_2 = 0,7 с. Минимальный или максимальный сигнал будет фиксировать микрофон, если волны с λ = 6,8 м когерентные.

Вопросы:

1. Почему волна «лижет» берег?
2. Экспериментатор наблюдает интерференцию волн от двух когерентных монохроматических источников. При каких условиях он не увидит на экране полного гашения волн?
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. Вращая звучащий камертон около уха, можно заметить усиление и ослабление звука.
6. Если две волны интерферируют друг с другом, то влияет ли одна волна на распространение другой?
7. Как паук, сидящий в центре своей ловчей сети, узнает, в каком месте муха запуталась в паутине или прилипла к ней?
8. Почему засыпанный снежной лавиной человек может услышать спасателей, а спасатели не могут услышать погребенного человека под снегом?
9. Можно ли возникновение стоячих волн считать частным случаем интерференции?
10. Дайте определение волны.
11. Дайте определение дисперсии.
12. Если скорости ветра и волн равны, ветер вовсе не передает волне энергию. Почему?
13. Почему от прямоугольного кирпича на поверхности воды распространяется кольцевая волна?
14. Почему короткие волны на поверхности воды теряют больше энергии, чем длинные волны?
15. Волны из открытого океана в том месте, где они достигают берега, они всегда ему параллельны. Почему?
16. Принцип Гюйгенса-Френеля дает возможность объяснить такие явления, как рефракцию, дифракцию, интерференцию. Поясните!
17. Почему на воздушном шаре пассажиры хорошо слышат звуки, порожденные на земле?
18. Звук, рождающийся в воздухе, там и остается, а звук, рождающийся в океане, остается в океане. Почему?
19. Почему излучаемые точками волнового фронта вторичные волны образуют только бегущую вперед волну?
20. Почему звуковая волна, попадая в пустой корпус гитары, усиливается?

V. Повторить тему "Звуковые волны".

1. Бросьте в спокойный пруд одновременно два камушка и наблюдайте интерференцию волн.
2. Почему характерная рябь на поверхности сосульки имеет почти постоянную длину волны?
3. Попытайтесь получить сходящиеся водяные волны искусственно, бросая обод (кольцо) на поверхность воды. Что вам удалось наблюдать в опыте?
4. Почему волновой фронт имеет одностороннюю направленность во времени? Почему принцип Гюйгенса ничего не "говорит" о вторичных волнах, распространяющихся в обратном направлении (в прошлое)?
5. Почему может гудеть водопроводная труба; провода?
6. Скорость звука в газе зависит от давления p и плотности газа ρ. Получите формулу для

скорости звука.
7. Оцените спектральную разрешающую способность вашего уха.
8. Услышав шум самолета - пригнитесь. Опишите ваши ощущения и объясните их.
9. При ударе биллиардных шаров слышен звук. Какова высота основного тона? Каковы обертоны?
10. Почему шумит вода в чайнике? Оцените среднюю частоту этого шума.
11. Составьте обобщающую таблицу "Механические волны", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
12. Опишите вымышленную ситуацию в ферме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с современными представлениями о волнах.

Анекдот: Чукчу оставили сторожить большую баржу с кирпичом. Когда утром приехали разгружать ее, то чукча бросал в воду последний кирпич и приговаривал:
- *Никак не пойму, почему кирпич прямоугольный, а волны кольцевые*. В самом деле, почему?

Музыка есть радость души, которая вычисляет, сама того не сознавая.

Готфрид Лейбниц

Урок.

ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ

Шум Ниагарского водопада приравнивается шуму фабричного цеха.

ЦЕЛЬ УРОКА: На примере звуковых волн углубить и систематизировать знания учащихся о волнах.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: генератор звуковой, микрофон, УНЧ-3, осциллограф, громкоговоритель - 2 шт., экраны металлические от ПСР, камертон с молоточком. Магнитострикционный излучатель (18 кГц), пробирка с ацетоном, алюминиевая пудра, стеклянная трубка, ликподий, круглая дюралевая пластинка, песок.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Интерференция волн. 2. Дифракция волн. 3. Отражение и преломление волн.

Задачи:

1. Определить мощность точечного изотропного источника акустических волн N, если на расстоянии r = 25 м интенсивность составляет I = 20 мВт/м^2.
2. По поверхности озера бегут волны со скоростью 2 м/с. Моторная лодка движется навстречу волнам со скоростью 5 м/с. С какой частотой бьются волны о нос лодки, если поплавок на поверхности воды колеблется с частотой 0,5 Гц?

III. **Волной** называют всякое изменяющееся во времени пространственное чередование максимумов и минимумов любой физической величины (плотности, высоты поверхности воды, электромагнитного поля и т. д.).

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 $\upsilon = \lambda \cdot \nu$.

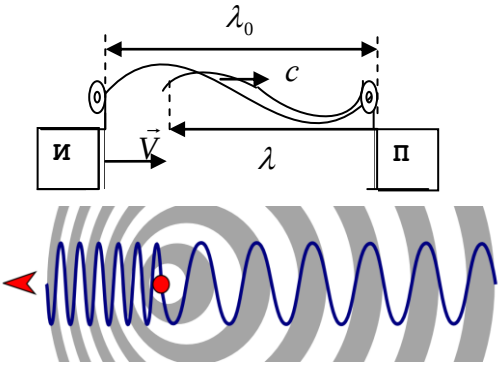
Громкость звука. Интенсивность – измеряемое свойство звуковой волны, а громкость – ощущение, вызванное звуковой волной. Зависимость громкости звука от амплитуды звуковой волны (демонстрация). Единица громкости звука - децибел (дБ): $\beta = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_o}$, где $I_0 = 1 \cdot 10^{-12}$ Вт/м^2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

Крик синего кита во время брачного периода можно услышать за сотни километров, громкость его достигает почти 190 дБ. Запуск космического шаттла также оглушителен - его громкость достигает 170 дБ. Музыкальные звуки и шумы. Прибор для измерения шума - **шумомер**. Осциллограмма человеческого голоса. С развитием Фурье-анализа - разложения сложных колебаний и волн на множество независимых колебательных процессов - математическое изучение волн стало настолько удобным, что огромное количество задач, казалось бы, не связанных с волновыми процессами, стали изучать именно в терминах волн! В формировании **тембра** каждого конкретного звука ключевое значение имеют его обертоны и их соотношение по высоте и громкости, шумовые призвуки и другие факторы. **Ощущение тембра определяется величиной амплитуд отдельных гармоник - основного тона и обертонов. Ультразвук и инфразвук.**

Свойства звуковых волн:

1. **Отражение звуковых волн** (демонстрация).
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** (демонстрация с двумя одинаковыми динамиками на частотах 1000 - 1500 Гц и измерение длины волны).
4. **Дифракция звуковых волн** (демонстрация на частоте 2000 Гц).
5. **Независимость распространения звуковых волн** (демонстрация).

6. **Эффект Доплера** (демонстрация). $T_0=\lambda_0/c$ - период колебаний при неподвижном источнике звука, $\lambda = \lambda_0 - VT_0$ - длина волны, воспринимаемая неподвижным наблюдателем, если источник звука движется навстречу приемнику со скоростью $\vec{V}$:



$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_0 - VT_0} = \frac{c}{\lambda_0 - \frac{V}{c}\lambda_0} \rightarrow \nu = \frac{\nu_0}{1-\frac{V}{c}}.$$

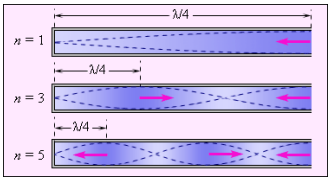
Дополнительная информация. Эффект Доплера – явление изменения частоты волн, регистрируемых от движущихся объектов или движущимися объектами, – наблюдается повсеместно. Это справедливо и для звука, и для электромагнитных волн (конечно, с определенными поправками). С эффектом Доплера мы постоянно сталкиваемся в жизни, например, когда слышим звук сначала приближающейся сирены, а потом – удаляющейся. Сначала звук кажется выше, а потом – наоборот, ниже тоном. Теоретически он был обоснован австрийским физиком еще в 1842 году, а сегодня этот эффект применяется во многих сферах науки и техники – от космических исследований… до выписывания штрафов водителям. Например, благодаря эффекту Доплера, астрономы установили, что Вселенная расширяется, и галактики разбегаются, определяются параметры движения звезд, планет и космических аппаратов. Демонстрация с динамиком на нити, подключенным к звуковому генератору.

Дополнительная информация (биения): Если два громкоговорителя излучают звуки, немного отличающиеся по частоте, то возникает эффект регулярного изменения громкости – биения. Если одна звуковая волна имеет частоту 500 Гц, а другая – 503 Гц, то частота биений 3 Гц. Настройщик пианино использует камертон и регулирует соответствующие струны пианино до тех пор, пока не будут устранены биения.

Применение свойств звука. Ультразвуковые сенсорные экраны.

IV. *Задачи:*

1. Определите длину звуковой волны в воде, если ее длина в воздухе равна 0,797 м. Скорость звука в воздухе принять равной 343 м/с, в воде 1483 м/с.
2. Звуковая волна с уровнем громкости 75 дБ надает на барабанную перепонку площадью $5\cdot10^{-5}$ м^2. Сколько энергии поглощает барабанная перепонка в секунду?
3. Звуковое ощущение сохраняется у человека примерно 0,1 с. На каком расстоянии должен находиться человек от преграды, чтобы слышать раздельно основной и отраженный от преграды звуки?
4. Скорый поезд приближается к станции, двигаясь прямолинейно с неизменной скоростью. Машинист дал свисток продолжительностью 10 с, но стоящий на станции пассажир слышал этот свисток в течение 9 с. Найдите скорость движения поезда, если скорость звука в воздухе 340 м/с, ветра нет.
5. Для определения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса используется труба с поршнем и звуковой мембраной, закрывающей один из его торцов. Найти скорость звука, если расстояние между соседними положениями поршня, при которых наблюдается резонанс на частоте 2000 Гц, составляет 8,5 см. Какой длины должна быть открытая с обоих концов органная труба, чтобы основная частота её звучания при температуре воздуха 20°С была равной 264 Гц? 650 мм



Вопросы:

1. Почему закрытые окна гораздо заметнее защищают от дорожных шумов квартиры на верхних этажах здания, чем на нижних этажах?
2. Наши предки могли расслышать далекий топот копыт, припав ухом к земле. Почему же этот звук не был слышен в воздухе?
3. Отчего эхо от высокого звука, например крика, обычно громче и отчетливее, чем от низкого?
4. При очень громких звуках рекомендуют открывать рот. Для чего?
5. Почему у скрипки всего четыре струны, а у арфы или пианино – десятки?
6. Зачем полый корпус скрипки, виолончели, гитары делают фигурным?

Чтобы набор собственных частот инструмента был как можно богаче.

7. Почему длина звуковой волны в воздухе, производимой гитарной струной на основной ее частоте, не равна удвоенной длине струны? У гитары длины струн одинаковы, а частоты разные (сечения струн разные).
8. На какой частоте слышен гул из трансформаторной будки?
9. Почему днем на пляже голоса звучат приглушенно, а вечером наоборот звучат громко?
10. Почему после вдыхания тяжелого газа фторида серы, который впятеро плотнее воздуха, даже женщины начинают говорить басом?
11. Мощные ветра циклона порождают инфразвук, который можно зафиксировать на расстоянии нескольких тысяч километров. Почему?
12. Какое выражение является правильным: «всякое звучащее тело колеблется» или «всякое колеблющееся тело звучит»?
13. В соревнованиях «Формула – 1» проезжающий автомобиль издает шум громкостью примерно 110 дБ. Какой громкости шум будут издавать 20 одновременно проезжающих мимо наблюдателя автомобилей?
14. Чему равна минимальная длина ящика резонатора камертона, звучащего на частоте 340 Гц?
15. Что, если скорость ветра превысит скорость звука?
16. Зачем лягушки раздувают пузыри - ушные или зобные?
17. Отчего при поднесении к уху чашки или раковины морского моллюска слышен звук, напоминающий отдаленный шум моря?
18. Почему звуковые волны при землетрясениях проходят через все более глубокие слои с всевозрастающей скоростью?
19. В условиях тишины слышно тиканье часов, а в условиях шума можно не услышать даже громкий разговор. Почему?
20. Правда ли, что рокот прибоя – следствие интерференции волн (биения)?
21. Как, по-вашему, почему в бокале шампанского обертоны высших частот затухают быстрее, чем основной тон?
22. Чему равен показатель преломления воды относительно воздуха для

звуковых волн?

23. Зависит ли скорость звука от свойств среды, в которой звук распространяется?
24. Почему у мальчиков «ломается голос»?
25. Изменяется ли высота звука свистка, когда дует ветер (аналогия с периодической установкой пакетов на движущуюся ленту контейнера)?
26. Каким образом создается шум при движении поезда (автомобиля) и как его можно уменьшить?
27. Голос слышен на большом расстоянии, но слов иногда разобрать нельзя. Чем это объяснить?
28. Можно ли услышать броуновское движение?
29. Почему броуновское движение частиц воздуха не вызывает шум в ушах?
30. Когда скоростной автомобиль или самолет преодолевает звуковой барьер, окружающие слышат хлопок. Слышит ли этот звук сам пилот?

V. Конспект.

1. Как возникает звук от упавших в озеро (лужу) капель дождя?
2. Почему в бокале шампанского обертоны высоких частот затухают быстрее, чем более низкий основной тон?
3. Почему люди говорят на разных языках?
4. Когда разбивается стекло, трещина распространяется со скоростью 4828 км/ч. Скорость звука в стекле 4800 м/с. Как вы думаете, что больше и почему?
5. На берегу моря резиновый шар-зонд, приближенный к уху, вызывает сильную боль в ухе, если где-то в море бушует шторм. Чем объяснить это явление?
6. Почему одинаковый звук (скрип) издают столь разные предметы: двери, половицы, новая обувь, кусок мела и пр.? Отчего они потом могут перестать скрипеть?
7. Предполагают, что на границе тропосферы и озонового слоя существует звуковой канал: звук распространяется вдоль него и не может его покинуть. Почему такое возможно?
8. Как погонщики скота щелкают своим кнутом: энергия и импульс волны практически сохраняются, а толщина кнута стремится к нулю, поэтому скорость колебания увеличивается и становится сверхзвуковой. Так ли это?
9. Почему печка гудит, когда топится?
10. Когда вышедшие из первого фокуса эллипса F_1 волны доберутся до второго фокуса, их фронты будут иметь вид окружностей с центром F_2, и мы заметим в этот момент всплеск в точке F_2. Почему это произошло?
11. Предложите метод перемещения предметов звуковыми волнами.
12. Если взять в рот один конец короткой соломинки и сильно подуть в него, то пространство внутри соломинки становится резонатором, и она издаёт звук, длина волны которого превышает длину соломинки в два раза. Так ли это?
13. Как определить скорость корабля по фото его волнового следа?
14. Если в хрустальном бокале, наполненном водой, провести по его краю мокрым пальцем, то он начнет "петь", при этом в центре возникает бугорок (аналогично с кастрюлей из нержавейки). Исследуйте и объясните явление.
15. Предложите проект устройства, которое бы гасило неприятные звуки в вашей комнате?
16. Когда тонкие бумажные полоски обдуваются потоком воздуха, слышен характерный шум. Можно ли по этому шуму определить скорость потока?
17. Энергия, которую обычно переносят звуковые волны, очень мала. Если стакан с водой полностью поглощал всю падающую на него звуковую энергию, соответствующую громкости 70 дБ, то для того, чтобы нагреть воду до кипения потребовалось бы 30000

лет. Так ли это?

18. Сколько нужно кричащих людей, чтобы произвести достаточно энергии для зажигания обычной лампочки накаливания?
19. Если подуть в графин с длинным и узким горлышком, то раздастся звук частотой ν. Найдите объем горлышка, если площадь сечения горлышка графина равна S, его длина ℓ, а скорость звука в воздухе с.
20. Иногда при резком встряхивании полотенцем можно услышать характерный звук, подобный звуку щелканья хлыста. Исследуйте это явление. Почему мокрое полотенце щёлкает громче, чем сухое?
21. Почему на дне водоемов образуется ребристая структура и как она зависит от глубины водоема?
22. Зачем камертон делается с двумя ножками? Годится ли камертон для своего обычного применения, если одну из его ножек отпилить?
23. Каков, по вашему мнению, принцип действия акустического холодильника?

Электромагнитное поле - это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии.

Д. Максвелл

Урок 3.

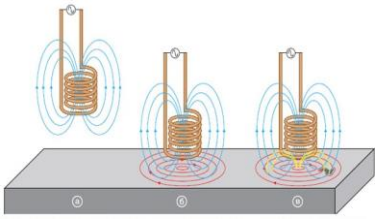
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА

Для вас может быть полезен девиз Максвелла «Work, finish, publish».

ЦЕЛЬ УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся об электромагнитном поле. Пользуясь качественной формулировкой уравнений Максвелла, обосновать факт существования электромагнитных волн. Дать определение понятия "электромагнитная волна".

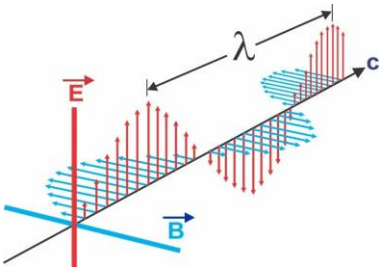
ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: катушка индуктивности, гальванометр от вольтметра, магнит дугообразный, осциллограф, трансформатор универсальный, ГВЧ с излучателем и приемным диполем, ВУП-2, кинофрагмент "Электромагнитные волны".



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Интерференция волн. 2. Дифракция волн. 3. Отражение и преломление волн.

Задачи:

1. 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?

Конус сильно сжатого воздуха распространяется вокруг любого объекта, скорость которого больше скорости звука. Когда это сжатие достигает человека, то он слышит внезапный и громкий звук – звуковой удар.

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.

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. Модуль упругости бетона определяют ультразвуковым методом. Для этого через бетонный кубик с ребром 100,0 мм и массой 2,21 кг пропускают ультразвук. Среднее время прохождения продольных ультразвуковых волн оказалось равным 26 мкс. Какое значение модуля Юнга получено в эксперименте? 33 ГПа
5. С авианосца, движущегося со скоростью υ_a = 60 км/ч навстречу эсминцу, посылается по воде ультразвуковой сигнал частотой ν_0 = 60 кГц. Отраженный от эсминца сигнал принимается на авианосце с частотой ν = 63 кГц. Определить скорость $\upsilon_э$ эсминца. Скорость ультразвука в воде с = 1,5 км/с.

Вопросы:

1. Поглощаемость звука стеклом значительно меньше поглощаемости звука воздухом, однако, закрывая окно, мы значительно ослабляем слышимость уличного шума. Чем это можно объяснить?
2. От носа лодки, идущей по спокойной воде в озере со скоростью V = 10 м/с, бежит волна, образующая угол $\varphi = 20^0$ с направлением движения лодки. С какой скоростью u распространяется эта волна? $u = V \cdot \sin\varphi \approx 3{,}42$ м/с.
3. Почему звуковые волны, испускаемые китами, распространяются на очень большие расстояния, а дельфинов – только на несколько десятков метров?
4. Почему не наблюдается интерференция звука от двух динамиков домашнего кинотеатра?
5. Почему свист слышен на большем расстоянии, чем крик?
6. Почему оконные стекла лопаются со звоном, а бумага при свертывании - шуршит?
7. Почему во время снегопада так тихо (воздух в снежинках).
8. По мере погружения в глубину голос водолаза становится визгливым, а речь неразборчива («утиная» речь). Почему?
9. Почему скорость звука сложно назвать константой?
10. Существует ли верхняя граница скорости звука?
11. Какова роль рупора?
12. Амплитуда звуковой волны возросла вдвое. Чему это соответствует в децибелах?
13. Интенсивность звука от громкоговорителя прямо пропорциональна квадрату приложенного напряжения. Если напряжение увеличивается в 10

раз, то, на сколько децибел возрастает громкость звука?

14. Если дерево падает в лесу, где никого нет, производит ли оно грохот?
15. Чем объяснить, что человек хуже слышит низкие и высокие частоты (то же относится к зрению)?
16. Эффект Доплера при распространении звука сильнее, когда движется источник, чем, когда движется наблюдатель. Так ли это?
17. Почему индийские факиры брали для своих фокусов металлические вазы с длинным тонким горлышком?
18. Почему неполный чайник перед закипанием воды "шумит" сильнее, чем полный?
19. На реке, текущей со скоростью v, расположен неподвижный источник колебаний. Ниже и выше по течению реки установлены также неподвижные приемники колебаний. Какие частоты регистрируют приемники.
20. 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?
21. Можно ли увидеть звон?

III. Основные сведения об электромагнитном поле: **Вихревое электрическое поле создается переменным магнитным полем** (Рис. 1). **Магнитное поле создается электрическим током и переменным электрическим полем** (Рис. 2). Асимметрия между

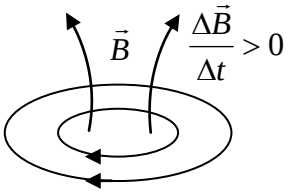


Рис. 1

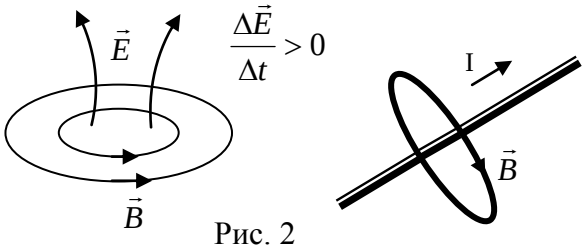
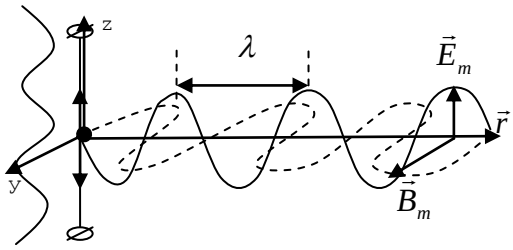
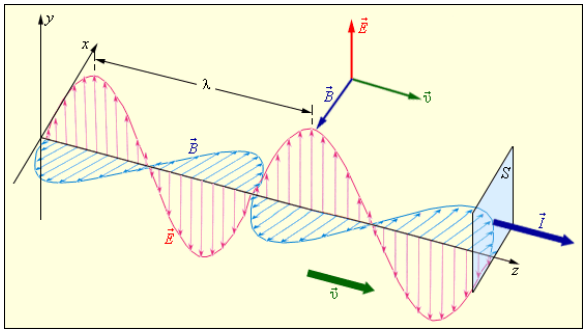


Рис. 2

переменными электрическими и магнитными полями. Проявления электрических и магнитных полей. **Электрическое и магнитное поле - проявления единого и неделимого электромагнитного поля.** Изменение электрического тока в проводнике и распространение электромагнитного импульса. Зарисовать распространение импульса в пространстве (сзади изменения гасят друг друга, а вперед распространяется электромагнитный импульс со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с). То есть, мы можем рассматривать проводник с переменным током, как генератор электромагнитного поля уходящего далеко в пространство, о чем говорят так: переменный ток создает электромагнитную волну в пространстве. Поместив на ее пути проводник, мы обнаруживаем эту электромагнитную волну.





Электромагнитная волна - последовательность электромагнитных импульсов, распространяющихся вправо от изменяющегося в данной области

пространства электрического или магнитного поля. Направление магнитного и электрического поля электромагнитной волны в ее распространении расположены так, как растопыренные под углами 90^0 большой, указательный и средний палец правой руки.

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

Формулы электродинамики: $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ (скорость света); B = E/c; $\upsilon = \frac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$.

Уравнения электродинамики, открытые Максвеллом в XIX веке, легли в основу развития электроники в XX веке. Согласно уравнениям Максвелла для электромагнитного поля, свет в пространстве всегда движется с одной и той же скоростью, независимо от скорости наблюдателя.

Самым увлекательным предметом моего учения была теория Максвелла. Переход от сил дальнодействия к полям как основным величинам, делал эти теорию революционной.

А. Эйнштейн

Обычно говорят, что электромагнитная волна дважды поперечна, в отличие от звуковой волны, которая лишь единожды продольна.

Дополнительная информация. В вакууме скорость распространения электромагнитных волн с ≈ $3 \cdot 10^8$ м/с. В какой системе отсчета? Такая гипотетически выделенная ИСО была объявлена сопутствующей мировому эфиру как среде, в которой распространяются электромагнитные волны. Эфир должен быть текучим, как жидкость или газ, чтобы равномерно заполнять пространство, и вместе с тем в миллионы раз тверже стали, чтобы поддерживать высокие частоты распространения электромагнитных волн. Кроме того, эфир должен быть безмассовым и с нулевой вязкостью, чтобы не влиять на орбиты планет, а также полностью прозрачным, несжимаемым и т.д. Такой эфир выходил за все рамки здравого смысла. Кандидат на роль нового эфира – физический вакуум. Темная энергия и расширение Вселенной с ускорением, которое началось через 5 миллиардов лет после Большого Взрыва.

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.**

Качественное объяснение. Неподвижный заряд не излучает энергию, как и движущийся с постоянной скоростью, иначе всегда можно было бы установить, нахожусь я в движущейся ИСО или неподвижной. **Излучать энергию может только ускоренно движущийся заряд,** причем, чем больше ускорение (a_x), тем больше плотность потока энергии (I). I ~ a_x^2 поскольку заряд излучает при смещении в положительном направлении оси x, так и в отрицательном, но тогда **I ~ a^2 ~ ω^4 ~ ν^4. Причиной возникновения электромагнитных волн является ускоренное движение электрических зарядов.**

Вопрос: Электроны, которые летят по окружности со скоростью, близкой к скорости света, в магнитном поле теряют энергию в виде фотонов! Почему?

Электромагнитная волна - взаимосвязанные колебания электрических и магнитных полей, которые распространяются в пространстве с конечной скоростью и переносят энергию.

Дополнительная информация. Приборы сверхвысокой частоты на сегодняшний день заполонили всё: это микроволновки, сотовая связь, интернет, радиолокации, спутниковое телевидение и ещё куча-куча всего. Если время колебания электрона будет столь малым, что он будет фактически колебаться на месте, ни о каком токе или напряжении речи быть и не может! Однако если мы поставим рядом с цепью приёмник, то он зарегистрирует энергию. Это наводит нас на мысль о том, что не ток и напряжение главные, а поля. Именно сочетания полей, возникающие в результате колебания электронов, передают энергию на расстояние.

Благодаря Максвеллу стало понятно, что видимые лучи являются электромагнитной волной - энергией, распространяющейся в пространстве.

Я полагаю, что распространение магнитных сил от магнитного полюса похоже на колебание взволнованной водной поверхности или же на звуковые колебания частиц воздуха, т.е. я намерен приложить теорию колебаний к магнитным явлениям, как это сделано по отношению к звуку, и является наиболее вероятным объяснением световых явлений.

12 марта 1832 г. *М. Фарадей*

IV. Демонстрация кинофрагмента "Электромагнитная волна".

Задача:

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. Определить длину электромагнитной волны в вакууме, если частота колебаний в ней $4{,}5\cdot10^{11}$Гц. Чему равна скорость распространения и длина этой же волны в парафине?

Вопросы:

1. Вокруг заряженного тела в зависимости от выбора системы отсчета можно регистрировать наличие электрического, магнитного и электромагнитного полей. Означает ли это, что выбором системы отсчета поле может быть "уничтожено"?
2. В непосредственной близости друг от друга находятся электрически заряженный шар и постоянный магнит. Существует ли в окружающем их пространстве электромагнитное поле?
3. 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?
4. Почему электромагнитные волны движутся в воздухе быстрее, чем в воде, а звуковые – наоборот?

V.

1. Переведите электрическую энергию, запасенную в конденсаторе емкостью 10 мкФ, который заряжен до напряжения 30 В, в энергию звуковую. Разработайте устройство, не содержащее внутри себя источников энергии, которое бы обеспечивало на расстоянии 1 м: а) максимальную громкость звука для человеческого уха; б) максимальную длительность сигнала.

2. Дж. К. Максвелл своими удивительными уравнениями в 1865 году объединил различные разделы физики: оптику, электричество, магнетизм. Обоснуйте эту мысль.
3. Изготовьте модель электромагнитной волны.
4. Мимо неподвижного наблюдателя проходит электропоезд. При приближении электропоезда наблюдатель воспринимает частоту сирены ν_1 = 1100 Гц, а при удалении поезда – ν_2= 900 Гц. Определить скорость электропоезда и частоту излучаемого звука.

...эти опыты могут служить основанием для теории электромагнитных явлений, которую создал Максвелл, основываясь на воззрениях Фарадея.

Г. Герц

Урок 4.

ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Электромагнитная волна появляется при движении заряженных частиц с ускорением.

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление об условиях излучения электромагнитных волн. Познакомить учеников с опытами Герца.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: ГВЧ с принадлежностями, амперметр демонстрационный, выпрямитель высоковольтный "Разряд".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

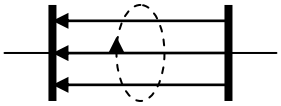
II. Опрос фундаментальный: 1. Электромагнитное поле. 2. Электромагнитная волна.

Задачи:

1. Электрическая составляющая электромагнитного поля изменяется по закону: $E_z(t,x) = 2\cdot\sin(3\cdot10^{15}t - 2\cdot10^{7}r)$ В/м. Найдите показатель преломления среды, в которой электромагнитная волна распространяется.

Вопросы:

1. Почему вода очень сильно поглощает электромагнитные волны?
2. Внутри конденсатора на рисунке существуют электрические и магнитные поля. Изменяется ли и как заряд на обкладках конденсатора?
3. Каким будет уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с показателем преломления n?



4. Чем вихревое поле отличается от потенциального поля?
5. Если две электромагнитные волны одинаковой частоты приходят в одну точку, то чему равна разность фаз между ними?
6. Почему все материалы, температура которых выше абсолютного нуля, являются источниками электромагнитных волн (электромагнитный шум)?
7. 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?

III. Зависимость напряженности вихревого электрического поля от скорости

изменения индукции магнитного поля и наоборот. Волна будет достаточно интенсивной, если электрические и магнитные поля будут изменяться с большой скоростью. Плотность энергии и плотность потока электромагнитного излучения (интенсивность):

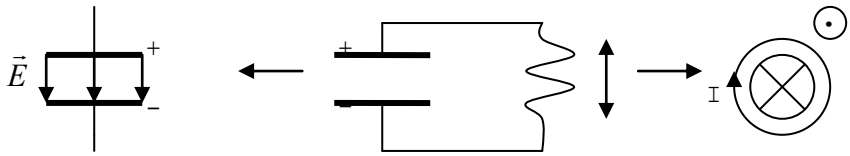
$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \cdot E^2 + \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0} = \varepsilon_0 \cdot E^2 = \frac{B^2}{\mu_o}; \qquad I = \frac{u}{S}\frac{dV}{dt} = u \cdot c = \varepsilon_0 c E^2 = \frac{cB^2}{\mu_0}.$$

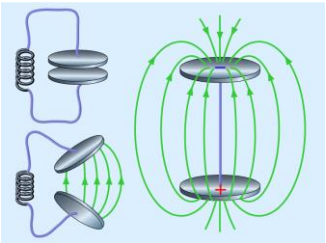
В формуле B и E - действующие значения. **Плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне равны друг другу** (одно поле порождает другое). Электромагнитная волна поддерживает себя в состоянии движения только благодаря тому, что одна ее составляющая, двигаясь вперед, подпитывает своей энергией другую: $\mathbf{I \sim E^2 \sim B^2 \sim \omega^4 \sim \nu^4 \rightarrow I \sim \nu^4}$.

Интенсивность излучаемой электромагнитной волны пропорциональна частоте в четвертой степени.

Что можно использовать в качестве источника электромагнитных волн? Колеблющийся магнит?! Колеблющийся заряд?! Колебательный контур!

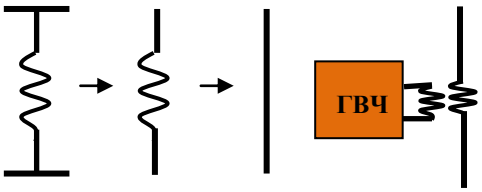
Собственная частота контура: $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.





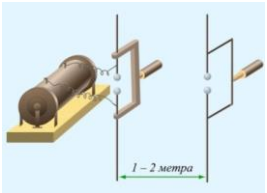
Закрытый колебательный контур практически не излучает. **Открытый колебательный контур.** Изменение его собственной частоты и плотности потока его излучения.

Объявление. *Новый конденсатор без вредных утечек ищет идеальную катушку индуктивности для создания совместного колебательного контура. Катушки могут быть бессердечными, низкие частоты не предлагать.*



Минимальная длина антенны: $\ell = \frac{\lambda}{2}$. Заземление позволяет уменьшить длину антенны еще вдвое. Включение последовательно емкости уменьшает длину излучаемой волны, а индуктивности – увеличивает. Обозначение антенна на схемах. Длина волны «бытового» радиодиапазона составляет от 5,5 м для ТВ-канала до 8 см для канала сотовой связи.

Перемещение электронов в проводнике и колебания заряженного шарика приводят к излучению электромагнитных волн. Вращающийся диполь-излучатель электромагнитных волн. А атом?



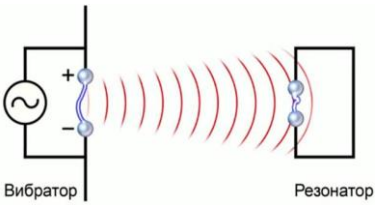
Почему в радиотехнике используют колебания высоких частот?

Вибратор Герца. Приемный вибратор Герца. Опыты Герца. Скорость распространения электромагнитных волн.

«Я считаю, — писал Герц Гельмгольцу в марте 1888 года, — что волновую природу звука в свободном пространстве нельзя представить так же ясно и наглядно, как волновую природу электродинамического распространения».

Электрические силы могут отделяться от весомых тел и существовать далее самостоятельно как состояние или изменение пространства.

Г. Герц



Колебания электронов под воздействием переменного электрического напряжения в антенне радиопередатчика создают электромагнитные волны, распространяющиеся в земной атмосфере!

Вот так! Генрих Герц соорудил в лаборатории петлю из проволоки, и заметил, что между проволочками проскакивает искра! Вот так открытия в физике меняют нашу жизнь!

Дополнительная информация: В 1888 – 1895 годах Тесла экспериментирует в своей лаборатории с высокочастотными магнитными полями (трансформатор Тесла, высокочастотные генераторы, беспроволочная передача электрической энергии на расстояние). В 1986 г. Тесла добился передачи сигнала на расстояние 40 км, но многие сочли это колдовством. В мае 1899 г. по приглашению местной электрической компании Тесла переехал в городок Колорадо-Спрингс, где организовал лабораторию. Здесь, для создания стоячих электромагнитных волн, он спроектировал резонансный трансформатор. От металлического шара исходили грозовые разряды длиной до 45 м, а гром был слышан на расстоянии до 24 км. Он предположил, что его устройство генерирует стоячие электромагнитные волны, которые сходятся на противоположной точке земного шара.

Дополнительная информация: Излучатель электромагнитных волн в микроволновой печи – магнетрон. Магнетрон (подогреваемый катод, анод, магнитное поле, электроны движутся по спирали и изменяют заряд резонаторов). Колебания заряда в резонаторах вызывает электромагнитное поле с частотой 2,45 ГГц. Магнетроны как генераторы сверхвысоких частот широко используются в современной радиолокационной технике.

Дополнительная информация: Кольцо синхротрона имеет не идеально круглую форму - в нем есть несколько сегментов с очень крутыми поворотами и изгибами, которые ученые называют ондуляторами. Когда пучок частиц, движущихся почти со скоростью света, проходит через эти повороты, порождаемые специальными магнитами, электроны начинают тормозить, что заставляет их вырабатывать мощнейшие пучки рентгеновских фотонов и частиц света меньшей энергии (синхротронное излучение). Это излучение, обладающее невероятно высокой яркостью и "кучностью", можно использовать для того, чтобы следить за движением электронов внутри атомов и преобразовать эти данные в очень четкие фотографии крупных молекул.

Дополнительная информация: Даже если убрать всю материю, пространство обладает своего рода эластичностью, которая (как было недавно подтверждено), позволяет гравитационным волнам - ряби самого пространства - распространятся по нему.

IV. *Задачи:*

1. Какой длины электромагнитные волны в вакууме создает колебательный контур емкостью 2,6 пФ и индуктивностью 0,012 мГн?
2. Какая энергия переносится за 1 ч через площадку 1 см^2 электромагнитной волной, в которой среднеквадратичное (действующее) значение напряженности электрического поля равно 25 В/м?
3. Плоская электромагнитная волна с напряженностью электрического поля $E_z = 200\cdot\sin(6{,}28\cdot10^8 t + 4{,}55x)$ распространяется в среде с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$. Какова скорость волны и показатель преломления вещества среды?

4. Луч лазера мощностью 5 мВт имеет диаметр 2 мм. Чему равны среднеквадратичные значения E и B в луче лазера? 774 В/м; 0,258 мТл
5. При какой плотности энергии электромагнитной волны начнется ионизация воздуха, если электрический пробой воздуха происходит при напряженности поля 30 кВ/см?
6. Найдите частоту генератора, если подключенная к нему незаземленная антенна излучает максимальную мощность, когда ее длина равна 30 см.

Вопросы:

1. Можно ли использовать в качестве излучающей антенны резистор; конденсатор; катушку индуктивности?
2. От чего зависит скорость электромагнитной волны?
3. Обкладки заряженного конденсатора замыкают сверхпроводником. Куда девается запасенная в конденсаторе энергия?
4. 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.
5. Чему равна объемная плотность энергии в текущей со скоростью $\vec{\upsilon}$ воде?
6. Клубни картофеля пекут в микроволновой печи, предварительно натерев их солью. Зачем это делают?
7. Если длина проводника равна целому числу полуволн (для предметов, стоящих на земле, - четвертей волн), то возникает резонанс и проводник сам начинает излучать радиоволны. Почему?
8. Покоящаяся заряженная частица, как и движущаяся с постоянной скоростью частица, не излучает электромагнитную волну, так как ей неоткуда взять для этого энергию. Так ли это?
9. Во сколько раз надо увеличить частоту колебаний электромагнитной волны, чтобы при удалении от источника на расстояние, вдвое большее первоначального, интенсивность волны не изменилась?
10. Почему кусок сырого мяса, завернутый в металлическую фольгу, даже не нагревается в микроволновой печи?
11. Почему в микроволновой печи разогреваются любые продукты, содержащие воду, ведь вода плохой проводник электрического тока?

В бытовых микроволновых печах используются волны, частота которых составляет 2450 МГц. Дипольные молекулы воды под действием электрического поля поворачиваются, изменяя свое направление 2450000000 раз за каждую секунду, совершая колебательное движение с огромной скоростью. Это приводит к повышению температуры продуктов.

Нельзя ли придумать оружие, нацеленное на воду в теле человека? Ведь наши тела в среднем на три пятых состоят из воды. Такое оружие работает на том же принципе, что и микроволновка. Если направить такие лучи на человека, он почувствует себя так, как если бы кто-то приставил к их коже горячий железный прут, – почувствуют даже сквозь одежду.

V. Конспект.

1. Некоторые из опытов с электромагнитными волнами можно провести в домашних условиях, используя в качестве излучателя - выключатель, а в качестве приемника - телевизор. Проведите эти опыты и опишите их.
2. Почему увеличивается дальность передачи при помещении передающего вибратора Герца

(искрового промежутка) в масло?

3. Если в ледяной стакан вставить двойной пластиковый стакан с водой и поместить в микроволновку, то вода через минуту закипит, а лед еще не растает. Почему?
4. Почему в микроволновой печи нельзя разогревать пищу в пластиковой упаковке?

Дипольные молекулы отсутствуют в бумаге, стекле и пластике.

В заключение могу выразить надежду, что мой прибор, при дальнейшем усовершенствовании его, может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией.

А. С. Попов

Урок 5.

ИЗОБРЕТЕНИЕ РАДИО А.С. ПОПОВЫМ. ПРИНЦИП РАДИОСВЯЗИ.

Почему электромагнитное поле влияет на человека?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с одним из важнейших технических применений электромагнитных волн - беспроволочной связью на расстоянии. Обобщить знания учащихся о принципе радиосвязи.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: модель радиоприемника А.С. Попова, выпрямитель "Разряд", амперметр демонстрационный, излучатель и приемник электромагнитных волн с когерером, таблица "Принцип радиосвязи".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Плотность потока электромагнитного излучения. 2. Открытый колебательный контур. Опыты Герца. 3. Принцип современной радиосвязи.

Задачи:

1. Если емкость разрезного диполя, использованного Герцем, была 30 пФ, то чему была равна его индуктивность при резонансной частоте, равной 1 ГГц?
2. Стандартная частота микроволновой печи 2450 МГц. Какой длине волны это соответствует? Каково расстояние между излучателем и отражателем?

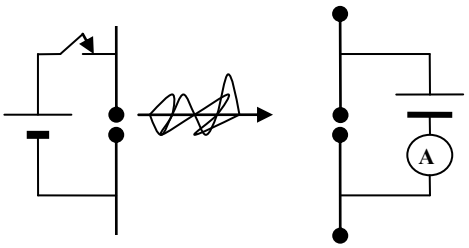
Благодаря совпадению частоты СВЧ-излучения 2.45 ГГц и собственной у молекул воды (резонанс), происходит разогрев продуктов внутри микроволновой печи. Гиротроны способны генерировать на частотах 30 – 170 ГГц излучение мощностью до 1 МВт с КПД 40 – 50%. Создать микроволновку было бы невозможно без магнетрона, прибора, придуманного швейцарским физиком по фамилии Грейнахер.

3. На расстоянии 300 м от Останкинской телевизионной башни плотность потока излучения максимальна и равна 40 мВт/м^2. Какова плотность потока излучения на расстоянии уверенного приема, равном 120 км?
4. Предположим, что электрон проводимости находится в переменном электрическом поле $E_x = E_0 \cos\omega t$, где E_0 = 100 В/м и ν = 10 МГц. Какова амплитуда его колебаний и максимальная скорость?

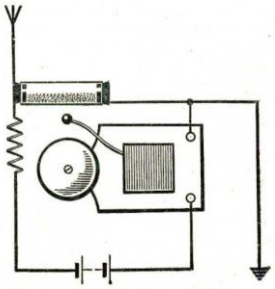
Вопросы:

1. В каком частотном диапазоне проводились опыты Герца и каково их значение для радиотехники?
2. Почему одинаковы объемные плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне?
3. Почему для ускорения электронов в циклотроне необходимо затратить большую энергию, чем в линейном ускорителе?
4. Назовите источники электромагнитных волн.
5. Почему инфракрасное излучение нагревает предметы, а радиоволны — нет?
6. Помещая перед генератором электромагнитных волн металлический лист, получили стоячую волну. Расстояние между пучностями равно 15 см. Определить частоту генератора.
7. Во сколько раз надо увеличить частоту колебаний электромагнитной волны, чтобы при удалении от источника на расстояние, вдвое большее первоначального, интенсивность волны не изменилась?
8. Если бы скорость света в вакууме была больше или меньше известного значения, то плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне были бы не равны и нарушался бы закон сохранения энергии. Так ли это?
9. Принцип действия клистрона, на котором происходит разгон частиц в ускорителе, отчасти похож на механизм работы микроволновки. Как это понимать?
10. Почему электрическая дуга является источником электромагнитных волн различной длины и создает помехи в радиоприемнике?
11. Как выражается скорость света в вакууме через электрическую и магнитную постоянную?
12. Почему не всякая электромагнитная волна, например, свет от карманного фонарика, способна зажарить отбивную?
13. Человек – антенна, принимающая электромагнитные волны. Чему равна собственная частота этой антенны?
14. От чего зависит биологический эффект действия электромагнитного поля?

III. Вибратор Герца демонстрационный. Основные элементы вибратора и принцип его действия. Природные вибраторы Герца - грозовые облака. Приемник электромагнитных волн с когерером. Излучение и прием электромагнитных волн (демонстрации с объяснением принципа действия радиоприемника А.С. Попова).



Можно ли прибор использовать в качестве грозоотметчика? Устройство (грозо-



отметчика) А.С. Попова. Основные элементы радиоприемника и их назначение: когерер, батарея, звонок, антенна, заземление. **Объяснение принципа работы радиоприемника**.

А. С. Попов, сконструировав первый радиоприемник, считал, что это будет отличный прибор для предсказания погоды. Развитие радиосвязи. Маркони. В сентябре 1896 году Маркони публично продемонстрировал передачу/прием сообщения на расстоянии в полторы мили, в июне следующего года получил патент на приемник радиосигналов. В 1902 году Гульéльмо Маркони (Нобелевская премия 1909 г) осуществил радиопередачу на расстояние 3400 км (радиосигнал преодолел Атлантический океан). Сообщение из трёх точек, что на языке азбуки Морзе означает «S», было отправлено с юго-запада Англии на частоте 500 кГц и принято на острове Ньюфаундленд на антенну высотой 150 м. Радиопередающие и радиоприемные системы того времени работали по принципу «включено/выключено»: либо испускание радиоволн, либо их отсутствие.

Существовал всего один канал радиопередачи, и им пользовались все потенциальные участники радиосвязи. Искровые передатчики излучали на всех частотах!

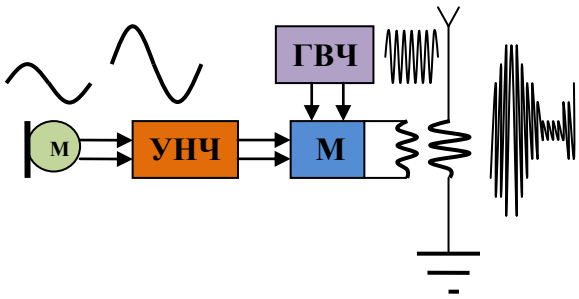
Принцип современной радиосвязи (объяснение по плакату). Блок-схемы передающего и приемного устройств. Звуковые колебания: ν = {20 - 20000 Гц}.

Радиосвязь — передача и приём информации с помощью электромагнитных волн радиодиапазона.

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

Телевидение — передача и приём изображения, речи и музыки с помощью электромагнитных волн радиодиапазона.

Задающий генератор электрических колебаний высокой частоты **ГВЧ** вырабатывает гармонические колебания высокой частоты ВЧ (несущая частота более 100 000 Гц). **Несущая частота** – переносчик низкочастотных колебаний, т.е. играет роль почтальона.



Образное сравнение: «Высокочастотный ишак несет на себе низкочастотную почту».

- **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.

Лишь после того, как Клерк Максвелл сформулировал четыре математических уравнения, выражающих четыре принципа, раскрытие которых было медленным и потребовало большой затраты труда и мысли, радио, как мы теперь называем его, стало возможностью.

Вильям Брегг

Почему в 150 световых годах от Земли радиопередачи будут неуловимы до 2045 года?

IV. *Задачи:*

1. Сколько радиостанций могут работать без помех в диапазоне длин волн 20000 - 5000 м, если каждой станции отводят полосу частот 4 кГц?
2. Вертикальная антенна радиостанции мощностью 50 кВт излучает по всем направлениям электромагнитную волну. Чему равна интенсивность радиосигнала на расстоянии 10 км от передающей станции?
3. Плотность потока электромагнитного излучения Солнца у поверхности Земли составляет 1400 Вт/м^2. Каково среднее значение напряженности электрического поля излучения?

V.

1. Изучите зависимость сопротивления когерера от емкости (C), напряжения (U) и заряда (q) конденсатора, используемого в качестве излучателя электромагнитных волн.
2. Известно, что стеклянная трубка с двумя электродами и металлическими опилками между ними (когерер) обладает различным сопротивлением в цепях переменного и постоянного тока. Исследуйте зависимость электрического сопротивления когерера от частоты тока.

Всегда почетно идти во главе наук. Но величайшее удовольствие чувствуешь от счастливого их применения, призывающего участвовать в нем все народы…

Араго

Урок 6.

РАДИО

Наука — это серьезный бизнес, человек отдается ей целиком!

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о принципах современной радиосвязи. Дать представление об амплитудной модуляции и о принципе действия простейшего радиоприемника.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: Звуковой генератор, осциллограф, микрофон, УНЧ-3, трансформатор на панели, детекторный радиоприемник, прибор ПСР с принадлежностями, выпрямитель ВУП-2 - 2 шт., соединительные провода.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Радио А.С. Попова. 2. Принцип современной радиосвязи.

Задачи:

1. Сравните интенсивности электромагнитных волн, излучаемых вибратором при одинаковой амплитуде колебаний электрического тока в антенне, если частоты колебаний 20 МГц и 1 МГц.
2. Антенна длиной 1,8 м ориентирована параллельно вектору напряженности электрического поля электромагнитной волны. Какова интенсивность волны, если она возбуждает в антенне ЭДС 1 мВ?

Вопросы:

1. Правда ли, что в опытах Гальвани лягушачья лапка служила индикатором электромагнитных волн, а скальпель играл роль антенны?
2. Почему молния является источником радиоволн (радиоприемники трещат в грозу)?
3. Разряд молнии представляет собой колебания некоторой частоты. Почему?
4. Почему грозовые разряды часто игнорируют медные громоотводы и выбирают альтернативные пути к земле?
5. Почему опилки в когерере радиоприемника А.С. Попова сваривались при прохождении через них электромагнитной волны?
6. Виды микрофонов: динамические, конденсаторные, электретные. Каков принцип их действия?

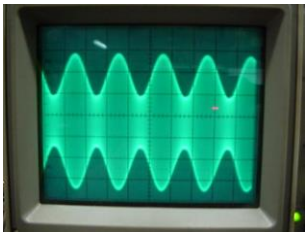
III. Радио (от лат. radio – испускать лучи) – способ передачи информации на расстояние электромагнитными волнами.

Можно ли использовать электромагнитные волны для передачи информации на расстояние? Если включать-выключать передатчик с помощью ключа и принимать сигнал на слух или на бумажную ленту, то получим азбуку Морзе (демонстрация с использованием ГВЧ и телеграфного ключа). Схема передатчика очень проста, поэтому активно используется в беспроводных пультах, радиокнопках и прочих устройствах.

Можно ли передать на расстояние речь; музыку? Как?

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. Назначение микрофона. Усилитель низкой частоты. Можно ли колебания с выхода УНЧ подать непосредственно на антенну? Будет ли антенна излучать эти колебания? Как велика интенсивность излучаемых антенной электромагнитных волн? На каком расстоянии возможен прием? А если использовать более мощный усилитель низкой частоты?

Низкочастотные электромагнитные колебания нельзя непосредственно передать на расстояние. Высокочастотные колебания. Только точки и тире ...?! Где же выход? А если на высокочастотный сигнал наложить низкочастотный? **Модуляция - изменение амплитуды, частоты или фазы высокочастотного сигнала, колебаниями низкой частоты.** Демонстрация амплитудной модуляции (АМ). Модулированный высокочастотный сигнал. Если его подать на антенну, то излучаемая электромагнитная волна будет достаточно интенсивна. В свою очередь модулированный сигнал несет

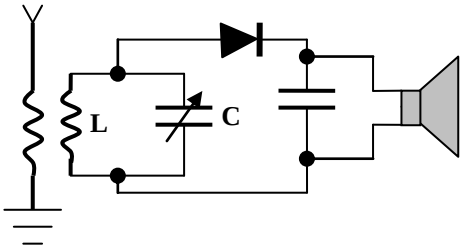
информацию о низкочастотном сигнале.

Частотная модуляция. В частотной модуляции работает всем известное FM-вещание.

Демонстрация модуляции ультразвуковой волны колебаниями звуковой частоты (ультразвуковой прожектор). Передатчик в системах сотовой связи работает в режиме импульсной модуляции (изменяют, например, высоту импульсов в соответствии с полезным звуковым сигналом).

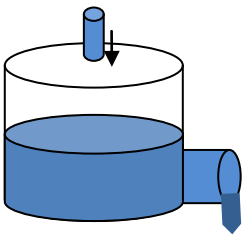
Простейшая схема радиопередатчика. В радиосвязи используют электромагнитные волны с длиной волны от $5 \cdot 10^{-5}$ до 10^{10} м (в качестве несущих), которые называются **радиоволнами**.

Приемная антенна. Высокочастотные переменные токи в антенне (каждая радиостанция использует свою несущую частоту). Как выделить из колебаний различных частот колебания данной частоты? Свойство выделять определенную частоту переменного тока у пары конденсатор-индуктивность называют резонансом. Демонстрация явления резонанса с ГВЧ и приемным контуром. Если в приемной антенне амплитуда колебаний достигает нескольких милливольт, то в контуре при резонансе напряжение в сотни раз больше - порядка 1 В. Можно ли выделенные колебания непосредственно подать на динамик?



При резонансе напряжение на конденсаторе может стать во много раз больше (примерно в 120 – 150) напряжения генератора. Следовательно, колебательный контур обладает частотной избирательностью и во время резонанса многократно увеличивает напряжение поданных на него колебаний.

Детектирование (демодуляция) - выделение низкочастотного сигнала из модулированного высокочастотного колебания. Детектор. Демонстрация выпрямленных высокочастотных колебаний. Фильтр. Аналогия с сосудом, в который по трубе малого сечения поступают с определенной частотой порции воды, а по трубе большого сечения вода вытекает. Демонстрация низкочастотных колебаний. Телефон. Усилитель низкой частоты. Динамик.



В современных радиоприемниках для управления местным источником энергии применяются вместо когерера электронная лампа или транзистор.

IV. *Задачи:*

1. Станция работает на длине волны 30 м. Сколько колебаний несущей частоты происходит в течение одного периода звуковых колебаний с частотой 5 кГц?
2. Будут ли передающий и приемный колебательный контур настроены в резонанс, если их параметры таковы: C_1 = 160 пФ, L_1 = 5 мГн; C_2 = 100 пФ, L_2 = 4 мГн?
3. Колебательный контур радиопередатчика настроен на частоту 1 МГц. Как и во сколько раз нужно изменить индуктивность катушки контура, чтобы передатчик излучал радиоволну длиной 150 м?

Вопросы:

1. Если металлическая труба (кирпичная труба с металлической шиной для заземления) имеет высоту 70 м, то с какой радиостанцией она будет находиться в резонансе? Почему такая труба может петь? (Так устроен ионофон).
2. Назовите приемники электромагнитных волн.
3. 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?
4. Почему все радиостанции не работают на одной несущей частоте?
5. Как осуществляется модуляция и демодуляция?
6. На расстоянии нескольких сот метров от передающей радиостанции загорается лампочка от карманного фонарика, включенная в цепь приемной антенны. Почему?

V.

1. Познакомьтесь с принципиальной электрической схемой бытового радиоприемника. Каково назначение отдельных блоков и узлов радиоприемника?
2. Из чего состоит радиоволна?
3. Каким образом в радиоприемнике выделяются из большого числа высокочастотных колебаний, индуцируемых в антенне, только колебания нужной радиостанции?
4. Какую нужно выбрать индуктивность и емкость в колебательном контуре детекторного радиоприемника, чтобы он мог в диапазоне частот от 200 кГц до 400 кГц?

Описанные эксперименты, как, по крайней мере, кажется мне, устраняют сомнения в тождественности света, теплового излучения и электродинамического волнового движения.

Г. Герц

Урок 7. СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Что такое свойства, и какие они бывают?

ЦЕЛЬ УРОКА: Пользуясь качественной формулировкой уравнений Максвелла и следующему из них факту существования электромагнитных волн, подтвержденному экспериментально, обосновать логическую стройность электродинамики. Развить понятие "электромагнитная волна" и продемонстрировать свойства электромагнитных волн.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: прибор ПСР с принадлежностями, выпрямитель ВУП-2, динамик и УНЧ из набора по радиотехнике, соединительные провода.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Принцип радиопередачи. 2. Детекторный радиоприемник.

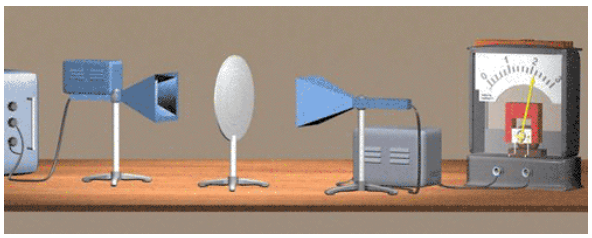
Задачи:

1. Электроемкость конденсатора в колебательном контуре радиоприемника плавно меняется от 5 до 25 пФ, а индуктивность от 20 до 100 мГн. В каком диапазоне длин волн может работать радиоприемник?
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 $2 \cdot 10^{-4}$ Вт/м^2? Как необходимо расположить катушечную антенну, чтобы наводимая в ней ЭДС была максимальна?
3. Во сколько раз нужно увеличить емкость контура радиоприемника, настроенного на частоту 6 МГц, чтобы можно было слушать радиостанцию, работающую на длине волны 100 м?

Вопросы:

1. При резонансе длина антенны должна быть в четыре раза меньше длины принимаемой электромагнитной волны. Почему же на практике пользуются антеннами значительно меньшей длины?
2. На какой частоте суда передают сигналы бедствия, если по международному соглашению длина радиоволны должна быть 600 м?
3. Почему увеличение дальности радиосвязи с космическими аппаратами в два раза требует увеличение мощности передатчика как минимум в четыре раза?

III. Последовательность изучения электродинамики повторяется по плану изучения физической теории. Уравнения Максвелла. Существование электромагнитных волн. Максвелл умер в 1879 г.



Зачем, когда так ярко Солнце,
Зачем, когда прекрасна жизнь
Такая боль приходит?
Максвелл

Экспериментальная проверка теории (Г. Герц в 1888 году). Повторение опытов Герца на современном оборудовании. Устройство и принцип действия генератора высокой частоты (повторить). Генератор сантиметровых волн (собственная частота колебаний 10 ГГц). Рупорная антенна. Приемник электромагнитных волн и его принцип действия.

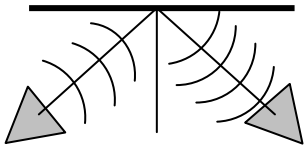
Есть ли в классе ученики с биополем (вместо динамика использовать миллиамперметр)?

Свойства электромагнитных волн с объяснением по рисунку на доске и в тетради:

1. **Отражение** (металл и диэлектрик). Применения: радиолокация, технология "Стелс" (демонстрация).
2. **Поглощение слоем диэлектрика** (проверка "умственных способностей" слабого

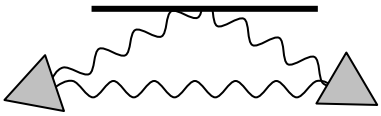
ученика).

3. **Преломление треугольной диэлектрической призмой.**
4. **Диэлектрическая линза**.

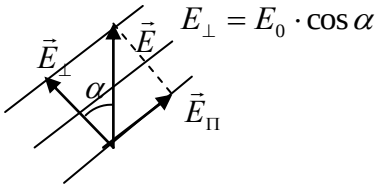


Интерференция волн. Услышав шум самолета – пригнитесь. Можно ли по данным этого опыта измерить λ? Сложение когерентных волн: $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi)$.

5. **Стоячие волны** (измерение длины электромагнитной волны и скорости ее распространения в вакууме): $\lambda/2 = 1{,}5$ см, $c = \lambda\cdot\nu = 3\cdot10^8$ м/с.
6. **Дифракция электромагнитных волн**.



7. **Электромагнитных волн – поперечные волны.** Поляризационная решетка. Поляризованная электромагнитная волна. Поляризатор и анализатор. Поворот плоскости поляризации. Волна, излучаемая вертикальной передающей антенной, имеет вертикальную поляризацию, то есть ее электрическое поле направлено то вверх, то вниз с той же частотой, что и породивший это поле заряд. Принято считать, что напряженность поля меньше 5 В/м в электромагнитной волне безопасна для человека.



Свойства волн любой природы по обобщающей таблице. **Знание свойств радиоволн дает нам представление о волнах света и даже о рентгеновских лучах!**

IV. *Вопросы:*

1. Установите соотношение между углом падения и углом отражения электромагнитной волны.
2. Предложите способы измерения длины электромагнитной волны.
3. Две электромагнитные волны, излученные когерентными источниками с одинаковой начальной фазой, дошли до точки наложения с разностью фаз 2π, π, 2π/3. Интенсивность каждой волны равна I. Чему равна интенсивность в этой точке вследствие интерференции. 4I, 0, 2I
4. Почему столик, на котором готовится блюдо внутри микроволновой печи, делают медленно вращающимся?
5. В чем отличие электромагнитной волны от механической волны?
6. Почему магнитола в автомобиле помещена в металлический корпус?
7. Почему излучение микроволновой печи не выходит наружу через прозрачную дверцу?
8. Эколог, выступая по радио, сказал, что проживание человека в железобетонных домах усиливает воздействие на него электромагнитных полей. Прав ли он?
9. Какие бытовые приборы создают электромагнитное поле в вашей квартире?
10. Почему тонкие металлические пленки непрозрачны для видимого света, а для ультрафиолетовых лучей прозрачны?
11. Чтобы принимать телепередачу, идущую в эфире, нужен телевизор. Без него нет ни

картинки, ни звука - это просто волны в эфире, не более того, и отождествлять их самих по себе с картинкой и звуком не имеет смысла. Так ли это?

V. 1. Отразите в рисунках эксперименты по изучению свойств волн различной природы.

Свойства волн	Отражение	Преломление	Интерференция	Дифракция	Поляризация
Водяные					
Звуковые					
Электромаг-нитные					

2. Зольность каменного угля можно определить разными способами: измерение электропроводности образца, измерение интенсивности, прошедшей через образец электромагнитной волны и т.д. Используя необходимое оборудование, исследуйте эти эффекты и предложите конструкцию прибора для измерения зольности угля.

Дополнительная информация: В охранных товарных этикетках (лейблы) помещен резонатор, выполненный из аморфной магнитной металлической полоски строго определенного размера (толщины и длины), который возбуждается под действием магнитного поля волны, излучаемой передатчиком на частоте 58 кГц (сверхдлинные волны). Передатчик и приемник вмонтированы в раму входных дверей. Приемник включается на 11 мс между импульсами передатчика (в момент паузы) и считывает сигнал, передаваемый этикеткой. Если на приемник поступает четыре сигнала, включается сигнал тревоги. Сканер на кассовом аппарате размагничивает этикетки.

И то, что носится в колеблющихся очертаниях,
закрепляется в прочных мыслях.
Гете

Урок 8. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ.

Почему приборы для дистанционного чтения мыслей невозможны в принципе?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с особенностями передачи радиосигналов на длинных, средних, коротких и ультракоротких волнах. Развить представления учащихся о принципе радиосвязи.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофрагмент "Распространение радиоволн.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Принципы радиопередачи. 2. Детекторный радиоприемник.

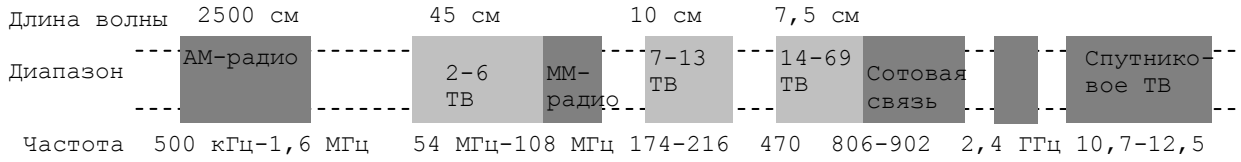
Задачи:

1. Колебательный контур радиоприемника имеет индуктивность 0,32 мГн и конденсатор переменной емкости. Радиоприемник может принимать волны длиной от 188 до 545 м. В каких пределах изменяется электроемкость конденсатора в приемнике?
2. Какой должна быть емкость конденсатора в колебательном контуре, чтобы с катушкой, имеющей индуктивность 25 мкГн, обеспечить настройку в

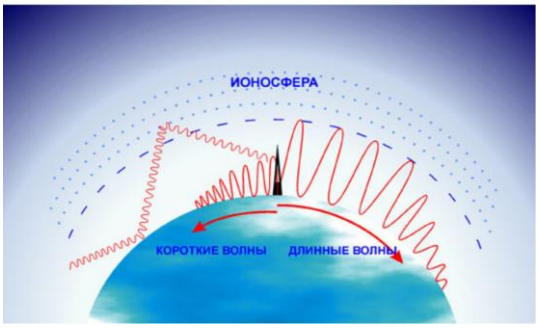
резонанс на длину волны 100 м?

3. Две когерентные световые волны одинаковой амплитуды E_m = 0,1 В/м, линейно поляризованные в одном направлении, приходят в одну точку с разностью хода Δ = 2,4 мкм. Длина волны света λ = 733 нм. Определить амплитуду колебаний в этой точке. Ответ: 0,13 В/м
4. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный (n = 1,5) сосуд, и отражается от дна. Отраженный луч полностью поляризован при падении его на дно сосуда под углом $42{,}67^0$. Под каким углом должен падать на дно сосуда луч света, идущий в этой жидкости, чтобы наступило полное внутреннее отражение?

III. Диапазон радиоволн по справочнику (Енохович, табл. 208 на ст. 175). К какому диапазону принадлежат электромагнитные волны с длиной волны 5 м; 35 м; 105м?



Ионосфера – это оболочка из электронов и заряженных атомов и молекул, окружающая Землю и простирающаяся на высотах от 50 до 1000 км. Доля ионизованных молекул в ионосфере не превышает 1% (слабоионизованная плазма). Концентрация электронов в плазме в дневное время на порядок больше, чем в ночное время.



Плазма влияет на распространение радиоволн тем, что электромагнитная волна приводит в движение свободные электроны, которые излучают вторичные волны. Отражение радиоволн ионосферой (демонстрация с ПСР и лампой дневного света).

В ионосфере образуется несколько слоев (D, E, F) с повышенной концентрацией электронов. Интерференция отраженных от этих слоев вторичных волн приводи к искажению и ослаблению сигнала.

Дополнительная информация. Wifi и Bluetooth работают на частоте 2,4 ГГц, а сотовая связь, включая «страшный» 5G, — на частоте 3,4 до 3,8 ГГц. Если появится 6G, он может работать на частотах от 30 ГГц до 3000 ГГц. Предельно допустимая норма электромагнитного излучения составляет 10 мкВт/см^2. Современные радиосистемы и радиосистемы планируемого будущего даже близко не подошли к этому порогу.

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. Демонстрация кинофрагмента.

Дополнительная информация: 60% линейных молний – внутри облачные и между облаками, 35% - нисходящие молнии и 5% - восходящие молнии. Мощный разряд восходящей молнии приводит к быстрому изменению электрического поля над тучей и возникновению сферической электромагнитной волны, которая на высоте около 100 км

вызывает свечение разреженного атмосферного азота (спрайты и эльфы).

Дополнительная информация: Терагерцевые волны имеют частоту в интервале 0,1 – 10 триллион герц. Длина такой волны может быть от 3 до 0,03 мм. Т-лучи соответствуют спектральному диапазону электромагнитных волн, который является промежуточным между инфракрасным спектральным диапазоном и радиочастотным СВЧ. Самое главное достоинство терагерцевых волн – они не обладают ионизирующим действием и менее опасны для человека. Т-лучи хорошо пропускают пластик, дерево и поглощают металлы. Приборы с терагерцевым излучением используют в аэропортах и на вокзалах.

IV. *Задачи:*

1. Какой минимальной высоты должны быть две телевизионные антенны-ретранслятора, для обеспечения устойчивой передачи сигнала, если расстояние между ними 200 км?
2. Коротковолновый передатчик излучает с поверхности Земли на частоте 30 МГц. Радиоволны, отражаясь от ионосферных слоев, расположенных на высоте 100 км и 300 км, попадают в приемник, удаленный от передатчика на расстояние L = 2000 км. Найдите закон изменения интенсивности сигнала, если приемник перемещается вдоль прямой линии, соединяющей его с передатчиком. Перемещение мало по сравнению с L. Сферичность Земли не учитывать.

Вопросы:

1. Почему нельзя осуществить радиосвязь с подводной лодкой, когда она находится под водой?
2. Почему антенны автомобильных радиоприемников устанавливают, как правило, вертикально?
3. Что общего и в чем отличие электромагнитной волны от механической волны?
4. Для чего серебрят провод, идущий на изготовление коротковолновых и ультракоротковолновых контурных катушек?
5. Почему не используют радиоволны для передачи энергии на расстояние?
6. Почему дальность действия УКВ - телефона ограничена?
7. Почему при радиосвязи на коротких волнах образуются зоны молчания?
8. 12 декабря 1901 года итальянский инженер Гульельмо Маркони осуществил первый в мире трансатлантический сеанс радиосвязи. Почему это ему удалось?
9. Радиосвязь – передача электроэнергии на расстояние с помощью электромагнитных волн. Почему мал КПД этого процесса?
10. Почему длинноволновые радиопередатчики должны иметь большую мощность?

V. Заполнить таблицу:

Диапазон радиоволн	Длина волны, м	Частота, МГц	Область применения
Сверхдлинные	10^5 - 10^4		
Длинные (ДВ)	10^4 - 10^3		
Средние (СР)	1000 - 100		
Короткие (КВ)	100 - 10		
Ультракороткие	Меньше 10 м		

1. Как влияет на качество изображения положение приемной антенны телевизионного приемника? Почему?

2. Разработайте способ передачи информации, в котором она переносилась бы волнами на поверхности воды. Исследуйте направленность изготовленных вами передающих и приемных устройств.
3. Синусоидальная электромагнитная волна - это бесконечная синусоида строго одной частоты, и она не несет никакой информации. Почему? Чтобы создать сигнал, нужно сделать какую-то "отметку" на волне (модуляция). Но как только отметка сделана, волна теряет синусоидальность. Она становится модулированной, состоящей из набора простых гармоник - группой волн. Скорость перемещения отметки и является скоростью сигнала (групповой скоростью), которая меньше скорости света в вакууме. Почему это так?

Вся история развития науки показывает, что овладение всякой новой областью явлений природы всегда приводит к практическим применениям, часто совершенно неожиданно.

И.Е. Тамм

Урок 9.

РАДИОЛОКАЦИЯ

На каких принципах основана работа радиолокатора?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с одним из важнейших технических применений радиоволн - радиолокацией. Научить учащихся решать задача на определение глубины разведки радиолокатора.

ТИП УРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: прибор ПСР с принадлежностями, выпрямитель ВУП-2, диафильм "Радиолокация", демонстрационный осциллограф.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: Распространение радиоволн.

Задачи:

1. 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?

Вопросы:

1. Почему после продолжительного проливного дождя (над обширными водными поверхностями) дальность радиопередачи увеличивается?
2. Каковы преимущества и недостатки антенны типа «заячьи уши»?
3. Зачем наружная антенна имеет несколько металлических стержней разного размера?
4. Почему пропадает сигнал спутникового телевидения при сильном дожде?
5. Почему нестабильные магнитосфера и ионосфера сами генерируют радиоволны, заполняя шумом широкий диапазон частот?

6. В каком направлении в Новокузнецке нужно ориентировать спутниковую антенну? Какова минимальная частота стоячей электромагнитной волны, "зажатой" ионосферой вокруг Земли.
7. Почему автомобильный приемник «замолкает» в туннеле?
8. После солнечной вспышки радиосвязь для пилотов, летающих в полярных широтах, становится невозможной. Почему?
9. Почему на коротковолновом диапазоне радиоприемника слышно гораздо больше станций, чем на длинноволновом диапазоне?
10. Если в качестве антенны пользуются городской осветительной сетью, то между сетью и приемником необходимо включить разделительный конденсатор. Зачем это делается и чему должна быть равна емкость такого конденсатора?

III. Что называют локацией? Каким образом можно определить направление (азимут) и расстояние до цели, если она не видна? Локация с помощью звуковых волн (по кадрам диафильма).

Для этого необходимо:

1. **Создать направленный звуковой сигнал.**
2. **Принять отраженный звуковой сигнал.**
3. **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 (радара). Способы получения незатухающих электромагнитных колебаний. Конструкция антенны, создающей остронаправленное излучение. 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: $l = \frac{ct}{2}$. Определение азимута (демонстрация ПСР). Можно ли для измерения промежутка времени прохождения сигнала до цели и обратно пользоваться секундомером? Электронно-лучевая трубка (демонстрация осциллографа). Время развертки и определение дальности до цели. Какова глубина разведки радиолокатора, если время развертки 1/1000 с; 1/100 с?

Какова дальность до цели, если время развертки 1/100 с, а "всплеск" от отраженного сигнала возник в центре экрана?

Градуировка в километрах. Блок-схема радиолокатора (зарисовать в тетрадь).

Во всём мире используется импульсно-доплеровский радар, в котором определение дальности до цели выполняется путем измерения времени задержки отраженного от неё зондирующего сигнала, а определение скорости цели - по сдвигу частоты отраженного сигнала, возникающему вследствие эффекта Доплера.

Радар может быть опасен, если находиться слишком близко к нему. Безопасное расстояние от радаров зависит от их типа и варьируется от 100 до 400 метров. Однако если держаться на безопасном расстоянии от рабочего сонара, он не будет представлять никакой угрозы.

Дополнительная информация. Применение радиолокации: Радиолокационные установки обнаруживают корабли и самолеты на расстояниях до нескольких сот километров. На их работу лишь незначительно влияют условия погоды и время суток. В больших аэропортах локаторы следят за взлетающими и идущими на посадку самолетами. Наземная служба передает по радио пилотам необходимые указания и таким образом обеспечивает безопасность полетов. Корабли и самолеты также снабжены радиолокаторами, служащими для навигационных целей. Такие локаторы создают на экране картину расположения объектов, рассеивающих радиоволны, и оператор видит радиолокационную карту местности. В настоящее время применение радиолокации становится все более разнообразным. С помощью локаторов наблюдают метеоры в верхних слоях атмосферы. Локаторы используются службой погоды для наблюдения за облаками. Локаторы используются в космических исследованиях. Каждый космический корабль обязательно имеет на борту несколько радиолокаторов. В 1946 г. в США и Венгрии был осуществлен эксперимент по приему сигнала, отраженного от поверхности Луны. В 1961 г. учеными нашей страны произведена радиолокация планеты Венера, что позволило оценить период ее вращения

вокруг своей оси. В настоящее время осуществлена локация и других планет Солнечной системы. Сегодня в астрономии радиолокация занимает свое особое место, радиоастрономия – это один из видов очень серьезных, быстроразвивающихся частей науки. Радары активно применяются в военном деле (крылатые ракеты и т.д.), радары ГИБДД, радарные печи (микроволновое излучение) и нагревание вещества, внеземная электростанция (передача микроволнового излучения на Землю). Радары на длинных и сверхдлинных волнах (мощность 1 – 2 МВт, дальность действия 3000 – 6000 км, высота антенны порядка 100 м).

Дополнительная информация: Летучая мышь использует для эхолокации ультразвук частотой $8 \cdot 10^4$ Гц, что соответствует длине волны порядка 4 мм. Сонары летучих мышей улавливают сигналы от комаров, пролетающих на расстоянии нескольких метров, различают эхо от неподвижных и от движущихся объектов, воспринимают эхо от летящего комара на фоне во много раз более интенсивного эха от поверхности земли, ориентируются в полной темноте пещеры при издающих звуки многих сотен особей. Сигналы, посылаемые летучей мышью в полете, имеют характер импульсов – щелчков. Длительность щелчка $(1 – 5) \cdot 10^{-3}$ с. Ежесекундно мышь производит около 10 щелчков. Заметив объект, мышь начинает посылать сигналы более часто, а сами щелчки становятся более короткими. Длительность сигналов уменьшается примерно в десять раз, когда частота их следования до 100 – 200 импульсов в секунду.

Дополнительная информация (стелс-технологии): Все углы конструкции B-2 рассчитаны так, что луч радара, направленный с любой точки, не будет отражаться сразу обратно к источнику - что означало бы обнаружение самолета. Вместо этого самолет скорее похож на зеркальный шар в дискоклубе: он разбрасывает луч радара во все стороны. Но особая форма - не единственная мера. Современные самолеты покрыты краской, которая состоит из крошечных железных шариков, впитывающих энергию радара и превращающих ее в тепло, затем передающееся воздуху вокруг самолета.

IV. *Задачи:*

1. Радиолокатор посылает 2000 импульсов в секунду. Определи дальность действия этого радиолокатора.
2. Радиолокатор работает в импульсном режиме. Частота повторения импульсов ν = 1500 Гц. Длительность импульсов τ = 1,2 мкс. Чему равны максимальная и минимальная дальности обнаружения цели?
3. На экране электроннолучевой тубки радиолокатора расстояние между пиками отправленного и отраженного сигнала d = 10 мм. Скорость движения по экрану луча, производящего горизонтальную развертку, υ = 1 м/с. Чему равно расстояние оит локатора до объекта?
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.

Вопросы:

1. Почему увеличение дальности радиолокации в два раза требует увеличение мощности радиопередатчика как минимум в 16 раз?
2. Почему для обнаружения летающих объектов выгоднее использовать электромагнитные волны, а не звуковые?
3. Излучаемая радаром электромагнитная волна отразилась от космического

объекта и вернулась на Землю через несколько лет. Может ли быть такое?

4. Почему с помощью радиолокатора можно определить размеры радиоактивного облака и его скорость?
5. Почему для загоризонтных РЛС необходимы сверхмощные и сверхбольшие приемопередающие антенны?
6. Как «помешать» работе радара?

V.

1. Наблюдая на экране телевизора сдвоенное изображение и измеряя величину смещения, рассчитайте расстояние до предмета (объекта), отражающего электромагнитные волны.
2. Предложите метод измерения скорости объекта с помощью радиолокатора.
3. Предложите конструкцию радарного спидометра, в основе работы которого лежит эффект Доплера.

Управлять природой можно, только подчиняясь ей.

Френсис Бэкон

Урок 10.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Что вы теперь знаете об электромагнитной волне?

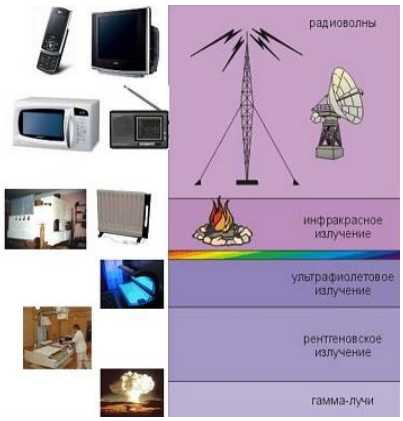
ЦЕЛЬ УРОКА: Продолжить формирование умений решать задачи на определение собственной частоты контура, длины излучаемой электромагнитной волны, дальности действия радиолокатора.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: Радиолокация.

Задачи:

1. На каком расстоянии от радиолокатора находится самолет, если отраженный от него сигнал принят через $2 \cdot 10^{-4}$ с после момента посылки этого сигнала?
2. Антенна радиолокатора находится на высоте 50 м над уровнем моря. На каком максимальном расстоянии может быть обнаружен катер противника? С какой максимальной частотой при этом должны испускаться зондирующие импульсы?
3. Радиолокатор работает на волне 15 см и испускает импульсы с частотой 4 кГц. Длительность каждого импульса 2 мкс. Какова наибольшая дальность обнаружения цели? Сколько колебаний содержится в одном импульсе?

Вопросы:

1. Каков принцип действия СВЧ-печи?
2. Каким образом эффект Доплера облегчает обнаружение движущихся объектов при радиолокации?
3. Почему птицы, попадающие в зону действия сверхмощного радара, падают

замертво уже сварившимися птицами?

4. Какую ошибку в определении расстояния до объекта мы допускаем, используя при радиолокации зондирующие импульсы микросекундной (наносекундной) длительности?
5. Почему в микроволновой печи еда помещается на вращающемся столе, а в обычной печи – нет?
6. Почему на экране радиолокатора человек будет неотличим от мешка с грязным бельём?
7. 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?
8. Можно ли видеть дальше линии горизонта?
9. Можно ли с помощью СВЧ-печи сварить яйцо?

III. *Задачи:*

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?
2. Изменение тока в колебательном контуре соответствует уравнению: $i = 0{,}3 \sin(15{,}7)\, t$. Найдите длину излучаемой контуром электромагнитной волны.
3. Какая энергия переносится за 1 ч через площадку 1 см^2 электромагнитной волной, в которой действующее значение напряженности электрического поля равно 25 В/м?
4. 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?
5. Какую емкость C нужно подключить к катушке индуктивностью $L = 0{,}001$ Гн, чтобы полученный колебательный контур был настроен в резонанс с электромагнитной волной, длина которой $\lambda = 300$ м? Скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.
6. Кто быстрее услышит голос певца: зритель в зале на расстоянии 50 м или у телевизора на расстоянии 3000 км при прямой трансляции?

Дополнительная задача: Локатор посылает радиоимпульсы один за другим через интервалы времени T_1. Отраженные от удаляющегося автомобиля импульсы возвращаются вдоль шоссе назад к локатору через равные промежутки T_2. Какова скорость автомобиля?

IV. №№ 16,17 из раздела "Задачи на повторение".

1. Посредине тарелки насыпьте полоску тертого сыра шириной около 1 см. Поместите тарелку в микроволновку, предварительно отключив функцию вращения блюда. Через 10 – 15 с выньте тарелку из печи и определите скорость света.

Сила и мощь науки беспредельны, так же беспредельны и практические ее приложения на благо человечества.
А.Н. Крылов

Урок 11.

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Человек имеет 46 хромосом, на 2 меньше, чем картофель.

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся со способами преобразования оптического изображения в электрический сигнал и обратным преобразованием. Дать представление о применениях телевидения на транспорте, в видеотелефонной связи, медицине, промышленности, компьютерной технике.

ТИП УРОКА: урок-лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Физические основы телевидения", телевизор с видеомагнитофоном, дисплей.

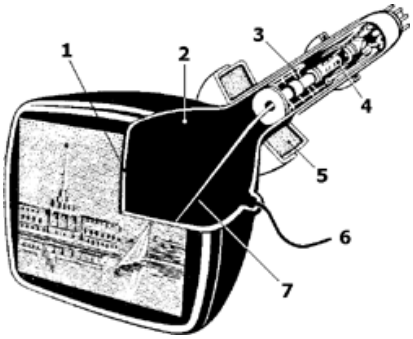
ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом

II. Телевидение (от греч. tele - вдаль, далеко). Стробоскопический эффект. Принципы, лежащие в основе кино.

Принципы, лежащие в основе телевидения:

- **Преобразование оптического изображения в электрические сигналы.**
- **Передача электрических сигналов изображения с помощью электромагнитных волн.**
- **Прием и преобразование переданных электрических сигналов в оптическое изображение.**



Черно - белое аналоговое телевидение. Передающая телевизионная трубка - **иконоскоп.** Мозаичный экран предназначен для преобразования оптического изображения в электростатическое изображение. Катушки строчной и кадровой развертки. Движение электронного луча по мозаичному экрану. В России используется 625 строк разложения при 24 кадрах в секунду. Число элементов разложения в кадре 520000. В телевидении используются несущие частоты порядка миллиардов герц. Передача и прием видеосигнала.

Кинескоп. Последовательное преобразование видеосигнала в оптическое изображение. Синхронизирующие импульсы. УКВ. Ретрансляторы. Система "Орбита".

Принципы, лежащие в основе цветного телевидения. Принципы, лежащие в основе работы видеомагнитофона. Применения телевидения.

Цифровое телевидение. В цифровом ТВ стандарты включают в себя разрешение изображений до 1080 линий и 1920 точек на линию, что дает 2073600 точек на изображение – это примерно в десять раз больше, чем разрешение аналоговых телевизоров.

Вопрос: Космический микроволновый фон (реликтовое излучение) мог быть обнаружен в самых неожиданных местах: например, в старом телевизоре. Поясните.

Дополнительная информация. Как появляется изображение на экране компьютера? Появление плоских экранов обусловило разработку смартфонов и ноутбуков, поскольку такие экраны могут иметь малые размеры. Эти новые дисплеи также управляются электронами, но гораздо более сложным способом. Вся площадь экрана делится на множество крошечных квадратиков, пикселей, а электронное управление каждым таким пикселем определяет, светится ли он. Если разрешение экрана составляет 1280 × 800 пикселей, значит, вы смотрите на сетку, состоящую из более миллиона отдельных цветовых точек. Каждая из таких точек управляется (включение/выключение) раздельно путем подачи на них крошечных напряжений. Состояние каждого пиксела обновляется не менее шестидесяти раз в секунду. Координация раздельного управления таким количеством пикселов — чрезвычайно сложная задача, но даже она кажется тривиальной по сравнению со сложностью функций, выполняемых вашим ноутбуком.

Дополнительная информация. Как устроен пульт удалённого управления, которым можно переключать каналы? Цифровые сигналы, передаваемые инфракрасным пультом, немного отличаются при нажатии разных кнопок. Светоприёмное устройство анализирует разницу в периодичности моргания света, определяет, какая кнопка была нажата, и переключает канал.

III. *Задачи:*

1. Определить скорость перемещения светящегося пятна по экрану трубки в телевизоре, если известно, что в течение 0,04 с луч создает на экране одно изображение, прочерчивая 625 горизонтальных строк, длиной 23 см каждая. Временем обратного хода луча пренебречь.

Вопросы:

1. Почему для подключения антенны к телевизору используют коаксиальный кабель?
2. Почему невозможно сфотографировать изображение с экрана телевизора при более короткой выдержке, чем 1/30 с?
3. Почему газета притягивается к кинескопу работающего телевизора?
4. Что вы теперь знаете о телевизоре; видеокамере; видеомагнитофоне?
5. Говорят, что близко летящий самолет влияет на работу телевизора? Почему?
6. Опишите, что в действительности мы меняем при регулировании ручек телевизора «размер кадра по вертикали», «яркость»?
7. Каким образом получают черный цвет на экране цветного телевизора?
8. Можно ли создать лампочку по принципу работы кинескопа телевизора?

IV. § 44.

1. Ознакомьтесь с принципиальной электрической схемой телевизора. Каково назначение отдельных блоков и узлов телевизионного приемника?
2. Попробуйте увидеть люминофорные полоски на освещенном экране цветного телевизора.

«Если ученик в школе не научился сам ничего творить, то в жизни он всегда будет только подражать, т.к. мало таких, которые бы, научившись копировать, умели сделать самостоятельно применение этих сведений».

Л. Н. Толстой

Систему связи нашей планеты в будущем можно наглядно себе представить в виде системы гигантских рек, по которым текут потоки информации из одной страны в другую, из одного города в другой.

Н.Т. Петрович

Урок 12. РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ СВЯЗИ В РОССИИ.

Приборы МРТ работают, измеряя радиоволны, испускаемые молекулами воды в теле человека.

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с главными направлениями развития средств связи в РФ.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: набор диапозитивов, таблицы.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Сообщения учащихся
4. Задание на дом

II. Опрос провести по пройденной теме, используя карточки-задания по теме "Электромагнитные волны".

Задача:

1. 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?
2. 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 $\alpha = 10°$. Какова самая низкая частота поперечных колебаний таких проводов при ветре? А продольных?

Вопросы:

1. Какие явления наблюдаются при включении в сеть телевизора?
2. Максвелл был бы весьма удивлен, обнаружив, что в записанных им уравнениях электромагнитного поля спрятана беспроволочная радиосвязь, телевидение и радиолокация. Так ли это?
3. Почему на экране телевизора при появлении летящего самолета возникает двойное изображение?
4. Почему башни телецентров строят очень высокими?
5. В каком случае на экране телевизора можно увидеть летящий вертолет с неподвижными лопастями?
6. Электромагнитные волны переносят небольшую энергию, но от них можно попробовать получить толику, достаточную, чтобы нарастить заряд в аккумуляторе телефона. Так ли это?

III. Телефонная связь по воздушным линиям. Кабельные радиолинии.

Радиорелейные линии связи. Ретрансляционные спутники связи. Телеграф и фототелеграф. Информационная энтропия.

В некоторых диапазонах электромагнитных частот (радиоволны) земля «светит» ярче Солнца и в радиусе 100 световых лет все, кто хотят и могут, знают о существовании нашей планеты.

Мы еще далеки от создания единой системы связи на Земле, но рано или поздно придем к этому.

А. Кларк

История человечества - это и история развития средств связи, от сигнальных костров (африканские барабаны, факелы, сигнальные выстрелы) до спутников связи и трансокеанских оптических кабелей. 10% всей электроэнергии, которую производит человечество, уходит на поддержку интернета и связи!

1. **Оптический телеграф,** 1794 г, братья Шапп. Оптический телеграф представлял собой цепочку башен на дистанции прямой видимости между французскими городами Париж и Лиль, расстояние между которыми 225 км.
2. В 1873 г. Самуэль Морзе усовершенствовал электромагнитный телеграфный аппарат и изобрел код, названный азбукой Морзе. 27 июля 1866 года успешно завершилась пятая по счету экспедиция по прокладке телеграфного кабеля по дну Атлантического океана.
3. 1901 г. Г. Маркони осуществил радиотелеграфную передачу через Атлантический океан.
4. **Волоконно-оптические линии связи.** В настоящее время общая длина проложенных волоконных линий связи превышает 500 млн. км, ими соединены все развитие страны на всех континентах. Скорость передачи информации 10 Тбит/с, через 20 лет - 100 Тбит/с.
5. **Сеть дальней космической связи НАСА,** представляет собой три комплекса из нескольких «тарелок», расположенных в различных уголках нашей планеты. Радиообсерватории расположены в США, Испании и Австралии. Каждая имеет на вооружении мощный 70-метровый радар, способный добраться до самых далёких мест в Солнечной системе. Имеются «тарелки» и поменьше. Расположение обсерваторий не является случайным - все они равноудалены друг от друга на 120 градусов по долготе, таким образом все три наблюдательных пункта обеспечивают 360-градусный охват небесной сферы. Комплекс начал работать в начале 1960-годов. Цель его создания - связь с космическими аппаратами, радиолокация планет Солнечной системы и исследования космоса в радиодиапазоне. Если мощности передатчиков на Земле не особо ограничены, то мощность передатчика, расположенного на космическом аппарате, очень сильно отличается от земного. Ограничен и диаметр антенны. В случае с "Вояджерами" диаметр антенны составляет всего 3,7 метра. Сейчас один из аппаратов, Вояджер-2, находится на расстоянии около 17.5 миллиардов км от нашего дома. Мощность его сигнала безумно мала. В десятки миллионов раз слабее, чем сигнал от базовой станции, который ловит сейчас ваш мобильный телефон. Скорость передачи данных с зонда - 20 байтов в секунду. Удивительно, но человечество всё ещё связывается с этим небольшим аппаратом, который в настоящее время покидает Солнечную систему. "Вояджер-1" улетел ещё дальше (больше 20 миллиардов километров), от него сигнал ещё слабее и скорость соединения тоже хуже, но и он до сих пор контролируется человеком.
6. **Сотовая связь** – это форма связи, которая позволяет использовать мобильные телефоны.

   Сотовый телефон - мобильный **телефон**, предназначенный для работы в сетях **сотовой** связи (диапазон частот 850МГц, 900МГц, 1800МГц, 1900МГц); использует приёмопередатчик радиодиапазона и традиционную телефонную коммутацию для осуществления телефонной связи на территории зоны покрытия **сотовой** сети. Приём и передача сигнала происходят на разных частотах (пара частот сотовой связи). Например,

длина волны исходного сигнала, передаваемого мобильным телефоном, равнялась 34,067 сантиметра, а длина волны сигнала, переданного базовой станцией обратно на мобильный телефон, - 34,059 сантиметра. Эти волны имеют разную длину и не смешиваются друг с другом. То обстоятельство, что по сотовой связи одновременно разговаривает множество людей, не имеет значения, поскольку все они пользуются радиоволнами разной (хотя и различающейся на ничтожную величину) длины.

Мобильный телефон - это двунаправленное радио, которое обеспечивает одновременную передачу и прием.

Сотовая связь — разновидность радиосвязи. Между устройством, отправляющим сигнал, и устройством, принимающим его, находятся базовые станции, которые ретранслируют сигнал. Этих станций очень много, и они размещены так, чтобы их «круги охвата» краями накладывались друг на друга и вместе образуют сеть. На идеальной (ровной и без застройки) поверхности зона покрытия одной БС представляет собой круг, поэтому составленная из них сеть имеет вид шестиугольных ячеек (сот).

Основные составляющие сотовой сети — это сотовые телефоны и базовые станции, которые обычно располагают на крышах зданий и вышках. Будучи включённым, сотовый телефон прослушивает эфир, находя сигнал базовой станции. После этого телефон посылает станции свой уникальный идентификационный код. Телефон и станция поддерживают постоянный радиоконтакт, периодически обмениваясь пакетами. Если телефон выходит из поля действия базовой станции (или качество радиосигнала сервисной соты ухудшается), он налаживает связь с другой. Операторы могут заключать между собой договоры роуминга. Благодаря таким договорам абонент, находясь вне зоны покрытия своей сети, может совершать и принимать звонки через сеть другого оператора.

Услуги сотовой связи:

- Голосовой звонок;
- Автоответчик в сотовой связи (услуга);
- Роуминг;
- АОН (Автоматический определитель номера) и АнтиАОН;
- Приём и передача коротких текстовых сообщений (SMS);
- Приём и передача мультимедийных сообщений — изображений, мелодий, видео (MMS-сервис);
- Мобильный банк (услуга);
- Доступ в Интернет;
- Видеозвонок и видеоконференция

Дополнительная информация: Электромагнитный импульс (ЭМИ), сгенерированный в результате атомного взрыва, создается в основном гамма-лучами. В этих лучах так много энергии, что они выбивают отрицательно заряженные электроны из атомов в воздух, с которым сталкиваются. Пробегая через воздух, эти электроны создают сильный электрический ток. Ток ускоряется под воздействием естественного магнитного поля Земли, и эти ускоренные электроны испускают импульс электромагнитного излучения. Любой проводник на его пути — например, схемы электроприборов - ведет себя как антенна и поглощает некоторую часть волн, в результате чего появляется электрический ток. Если ток достаточно сильный, он перегрузит электрическую цепь, сожжет ее компоненты и приведет прибор в негодность.

Работа неядерных ЭМИ - устройств основана на применении обыкновенного подрывного заряда, который сжимает магнитное поле до высокой интенсивности. Ток пропускается через виток провода, который - благодаря индукции - генерирует в центре магнитное поле. Внутри витка находится полая металлическая трубка, покрытая слоем взрывчатого вещества. Когда оно детонирует, ударная волна сжимает металлическую трубку и магнитное поле у нее внутри, что приводит к сильному выбросу электромагнитного излучения.

Вопросы:

1. Нуждаются ли сверхпроводящие линии связи в дорогом высоковольтном

оборудовании?

2. Высоковольтные ЛЭП с напряжением больше 100 кВ создают звук, похожий на громкий шелест или потрескивание. Почему он возникает при коронном разряде воздуха вблизи мест крепления проводов к опорам через изоляторы.
3. 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?
4. Почему радио – разновидность беспроводной связи?
5. Существует целых трёх способах услышать звуки в космосе! Как?

IV.

1. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с законами электродинамики.
2. Предложите проект передачи энергии на расстояние без проводов.

И твердит природы голос:
В вашей власти, в вашей власти.
Чтобы все не раскололось
На бессмысленные части!
Л.Н. Мартынов

Урок 12. ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

ЦЕЛЬ УРОКА: Обобщить и систематизировать знания учащихся по электродинамике. Повторить основные понятия, основные законы, следствия, структурную схему изучения электродинамики.

ТИП УРОКА: повторительно-обобщающий.

ОБОРУДОВАНИЕ: два легких проводящих шарика от прибора "Весы чувствительные" на шелковых нитях, эбонитовая и стеклянная палочки, прибор для изучения магнитного взаимодействия, выпрямитель ВС-24, катушка индуктивности, гальванометр, магнит полосовой, обобщающая таблица "Электродинамика".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Самостоятельная работа
4. Задание на дом

II. Заполнение таблицы: ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

I. ОСНОВАНИЕ

1. Наблюдения: электризация тел, действия электрического тока, электрический разряд, магнитные спектры.
2. Эксперименты: взаимодействие заряженных тел, электрические цепи, взаимодействие электрических токов, опыты Эрстеда, Ампера, Фарадея,

Эйхенвальда.

3. Основные понятия: электрический заряд, напряженность электрического поля, потенциал электростатического поля, сила электрического тока, индукция магнитного поля, электромагнитная волна.
4. Модель:

II. ЯДРО ТЕОРИИ

1. Постулаты:
2. Законы: источниками электрического поля являются электрические заряды; у магнитного поля источников нет; вихревое электрическое поле создается переменным магнитным полем; магнитное поле создается электрическим током и переменным электрическим полем.
3. Константы: ε_0 = 8.85·10^{-12} Ф/м; μ_0= 4π·10^{-7} Гн/м; с = 3·10^{8} м/с.

III. СЛЕДСТВИЯ

1. Формулы-следствия: закон Кулона, закон Ома, закон электромагнитной индукции, правило Ленца, формула Томсона, существование электромагнитных волн.
2. Экспериментальная проверка: опыты Герца.
3. Границы применимости: Законы электродинамики неприменимы при больших частотах электромагнитных волн.
4. Практические применения: радио, телевидение, электрические генераторы и двигатели, радиолокация, электронно-вычислительные машины, расчеты электрических и магнитных полей.

III. Классификация предложений по структурным элементам теории. Зачетная папка "Электродинамика".

Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения.

1. Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна 300000 км/с.
2. Вихревое электрическое поле создается переменным магнитным полем.
3. Радиоприемник А.С. Попова - устройство, предназначенное для обнаружения и регистрации электромагнитных волн.
4. Период свободных электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре можно рассчитать по формуле Томсона: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.
5. Электромагнитная волна - взаимосвязанные колебания электрических и магнитных полей, распространяющиеся с конечной скоростью в пространстве.
6. Законы классической электродинамики применимы при малых частотах электромагнитных волн.

7. При всяком изменении магнитного потока через замкнутый проводящий контур в нем возникает индукционный ток.
8. Уравнения Максвелла описывают излучение строго постоянной частоты и амплитуды в течение бесконечно большого времени, что является идеализацией.
9. Г. Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн.
10. Электромагнитные волны, как и любые волны, способны проходить друг через друга, не изменяя своей формы.

IV. Подготовка к контрольной работе.

1. Составьте обобщающую таблицу "Электродинамика", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Циклотронное излучение — это излучение электрона, вращающегося поперек силовых линий в магнитном поле. Частота излучения равна частоте обращения электрона и не зависит от его энергии, пока электрон не релятивистский. Почему она зависит только от величины поля?
3. Когда часть атомов первого материала оказывается в энергетических минимумах поля другого, а часть, наоборот, в максимумах, то при скольжении атомы меняются ролями, и при этом не происходит поглощения энергии (движения без трения). Так ли это?
4. На какой высоте над Землёй 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?
5. Происходит взаимодействие между магнитным полем света и магнитным полем, создаваемым магнитом?
6. Как вы думаете, почему при коротком замыкании провода искрят?

В науке вам не обязательно быть вежливым, достаточно просто быть правым.

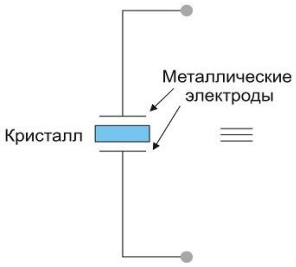
Уинстон Черчилль

Урок 14.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Дополнительная информация.

Как работает керамический резонатор? **Керамический резонатор** - это электронный компонент, состоящий из куска пьезоэлектрического керамического материала с прикрепленными к нему двумя или более металлическими электродами. В основе работы используется явление механического резонанса в пьезоэлектрической керамике. Приложение электрического потенциала к керамической пластине вызывает ее деформацию и наоборот, деформация керамики приводит к появлению на поверхности пластины электрических зарядов. Приложение переменного электрического потенциала приведет к возбуждению механических колебаний керамической пластины. Если частота этих колебаний близка к частоте собственного механического резонанса керамической пластины, то амплитуда колебаний значительно возрастает, увеличивается величина зарядов, обусловленных пьезоэффектом. В этом случае керамический резонатор, включенный в электрическую цепь, проявляет себя эквивалентно колебательному контуру. В зависимости от того, в какой плоскости пластины происходит резонанс, можно получить различные рабочие частотные диапазоны.



Анекдот.
Ведется опрос среди преподавателей. Задают вопрос преподавателю по геометрии и алгебре:
— *Как принести слона в университет?*
— *Просто: приводим его к каноническому виду, раскладываем по базису, переносим по векторам и в обратном порядке собираем.*
Этот же вопрос задают преподавателю по матанализу.
— *Просто: дифференцируем его, переносим и интегрируем. Все ок.*
Спрашивают декана.
— *У слона хвост есть?*
— *Есть.*
Декан (надменно):
— *Ха, если есть «хвост» — сам придет.*

ЛИТЕРАТУРА:

1. Л.Я. Зорина. Дидактические основы формирования системности знаний старшеклассников. – М.: Педагогика, 1978.
2. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
3. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
4. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. − М.: Дрофа,2002.
5. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе. - М.: Просвещение, 1972.
6. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
7. И.Е. Иродов, И.В. Савельев, О.И. Замша. Сборник задач по общей физике. – М.: Наука, 1975.
8. Сборник задач по физике, под общей редакцией М.С. Цедрика, Минск, Вышэйшая школа, 1976 г.
9. Д. Джанколи. Физика. - М.: Мир,1989.
10. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
11. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
12. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
13. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
14. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
15. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн. Кн.2. Электродинамика. Оптика. – М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
16. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2010 г.
17. А.А. Найдин. Системное знание на уроках физики в школе. Новокузнецк, МАОУ ДПО ИПК 2010 г., ISBN 978-5-7291-0489-5.
18. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
19. Горлач В. В. Методы решения физических задач. – М.:ООО Юрайт, 2024.
20. К о н д р а т ь е в А. С., У з д и н В. М. Физика. Сборник задач. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 392 с. — ISBN 5-9221-0579-5.
21. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. https://naidin.ru