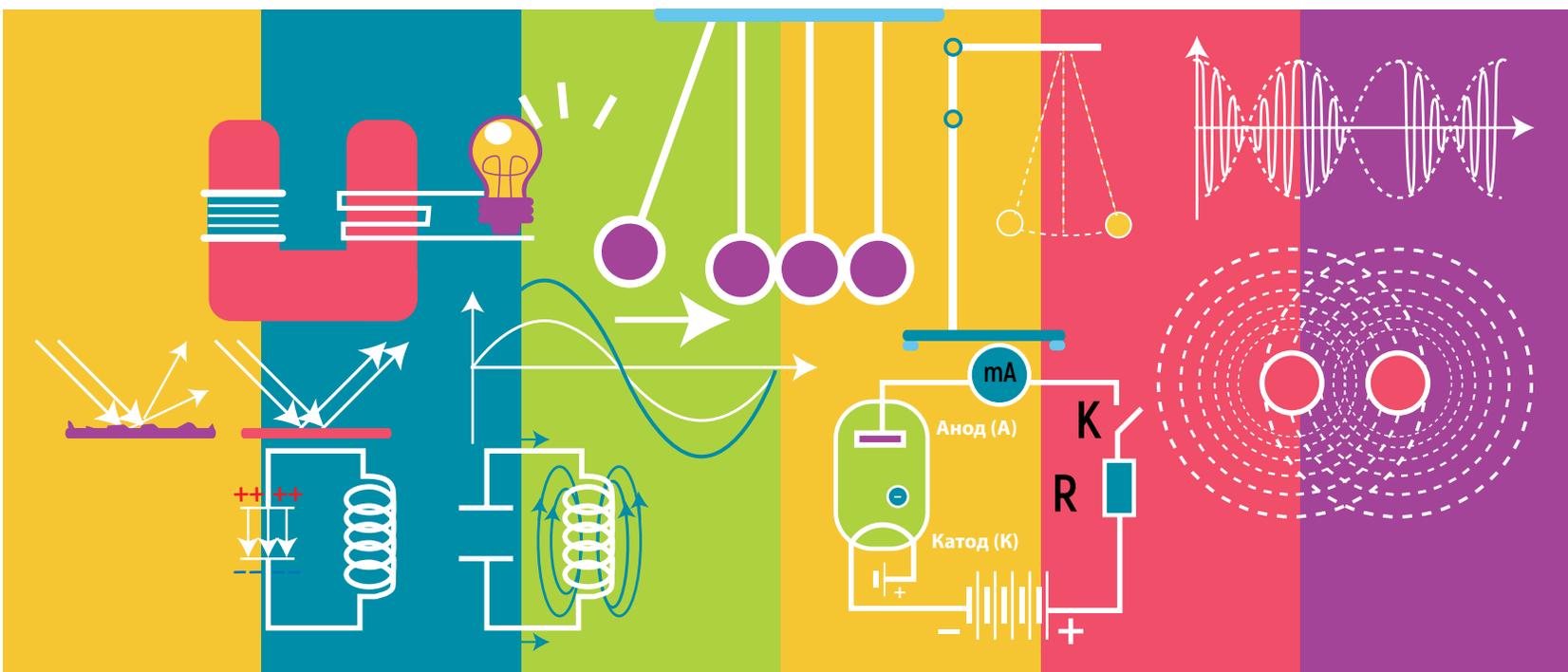


Кабинет-лаборатория «ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В ОПЫТАХ И ЭКСПЕРИМЕНТАХ».

Комплект методических материалов для сопровождения демонстраций
экспериментов и выполнения исследовательских
и инженерно-конструкторских работ

Грант Президента Российской Федерации на развитие
гражданского общества № 17-1-007905



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Фонд президентских грантов

Региональная общественная организация
«Нижегородский центр поддержки и развития музеев»

Музей «Нижегородская радиолaborатория»

Кабинет-лаборатория «Физическая картина мира. Колебания и волны в опытах и экспериментах»

*Комплект методических материалов
для сопровождения демонстраций экспериментов
и выполнения исследовательских
и инженерно-конструкторских работ*

Нижегород
2018

УДК 621.37
ББК 22.336
К 12

Кабинет-лаборатория «Физическая картина мира. Колебания и волны в опытах и экспериментах»: Комплект методических материалов для сопровождения демонстраций экспериментов и выполнения исследовательских и инженерно-конструкторских работ. — Нижний Новгород, 2018. — 201 с.

Составитель:

Л.В. Пигалицын — заведующий отделом научных демонстраций и экспериментов музея «Нижегородская радиолaborатория» ННГУ им. Н.И. Лобачевского, народный учитель РФ

Редактор:

Ю.В. Масленникова — к.п.н., заведующая кафедрой педагогики и управления образовательными системами

Кабинет-лаборатория «Физическая картина мира. Колебания и волны в опытах и экспериментах» создан в год 100-летия Нижегородской радиолaborатории (1918–1928) при поддержке Фонда президентских грантов.

Комплект методических материалов продолжает научно-просветительские и популяризаторские традиции, заложенные сотрудниками Нижегородской радиолaborатории, и развивает их на новом уровне, с использованием цифровых технологий.

Методические материалы разработаны для сопровождения циклов опытов и экспериментов по базовым направлениям физики, которые представлены в Кабинете-лаборатории «Физическая картина мира...» музея «Нижегородская радиолaborатория» Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского: механика, электростатика, постоянный ток, магнитное поле, механические колебания и волны, электромагнитные колебания, электромагнитные волны, оптика, атом и атомное ядро, астрономия. Методическая разработка каждого опыта и эксперимента включает описание физического явления или закона, план проведения демонстрации, основные выводы и формулирование проблемных вопросов, связанных с конкретным опытом.

Комплект предназначен для проведения в музее циклов занятий для школьников разных возрастов, которые получают возможность постигать законы физики в «живой», опытно-экспериментальной форме.

Предлагаемые разработки могут быть использованы при проведении дополнительных занятий в школах, техникумах, центрах детского и юношеского творчества, для организации выполнения учебно-исследовательских и проектных работ.

УДК 621.37
ББК 22.336

- © Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, 2018
- © Региональная общественная организация «Нижегородский центр поддержки и развития музеев», 2018
- © Музей «Нижегородская радиолaborатория», 2018

ВВЕДЕНИЕ

Познавая окружающий мир, человек создает в своем сознании его определенную модель – картину мира. Значение естествознания в формировании научной картины мира настолько велико, что нередко научную картину миру сводят к физической картине мира.

Понятие «**физическая картина мира**» употребляется в естествознании давно, но лишь в последнее время оно стало рассматриваться не только как итог развития физического знания, но и как особый самостоятельный вид знания – самое общее теоретическое знание в физике, система понятий, принципов и гипотез, служащих исходной основой для построения теорий. Физическая картина мира, с одной стороны, обобщает все ранее полученные знания о природе, а с другой стороны, вводит в физику новые философские идеи и обусловленные ими понятия, принципы и гипотезы, которых до этого не было.

Как известно, привычным подходом к изучению предметов естественнонаучного цикла и, в первую очередь, физики является последовательное освоение отдельных разделов – механики, акустики, теплоты, электричества, магнетизма. Такое деление преобладает не только в средней, но и в высшей школе, поскольку отражает в известной мере качественное различие форм движения в объективном мире. С другой стороны, изучая звук и свет, механические и электромагнитные явления, мы наталкиваемся на поразительную общность многих закономерностей. В связи с этим наряду с изучением особенностей этих явлений возникает целесообразность выявления их самых общих свойств и закономерностей.

Основоположники Нижегородской (Горьковской) радиофизики, получившей мировое признание, – академик А.А. Андронов, профессор Г.С. Горелик обосновали и развили единый подход к описанию и изучению физических явлений, опирающийся на теорию колебаний. По словам академика Л.И. Мандельштама, каждая из областей физики – оптика, механика, акустика – говорит на своем «национальном» языке. Но есть «интернациональный» язык, и это язык теории колебаний и волн. Именно эта теория объединяет и обобщает различные области физики.

Когда мы говорим: качание маятника, звучание ноты *ля*, желтый свет натриевого пламени, магнитное поле лампового генератора, мы пользуемся языком механики, акустики, оптики, радиофизики. На язык общей теории колебаний все эти термины – и еще многие другие – переводятся одинаковым образом: все перечисленные явления можно рассматривать, с определенной степенью приближения, как гармонические колебания, описываемые единой математической формулой. Ее вид: $s = A \cos(\omega t)$, где s – смещение или скорость, компонента напряженности электрического поля, изменение давления или температуры в данной точке пространства, сила тока, угол отклонения стрелки и т. д., t – время (параметры A и ω характеризуют конкретный колебательный процесс).

То, **что** колеблется в опыте с камертоном или в опыте с радиопередатчиком, различно. То, **как и почему** происходят колебания в обоих случаях, одинаково. Обоснование единого подхода к колебаниям и волнам различной физической природы состоит в том, что единые законы колебаний и волн, охватывающие как механические (в частности, акустические), так и электромагнитные (в частности, световые) колебания и волны, являются отражением многочисленных общих черт, объективно присущих этим процессам. Именно отсюда проистекает и целесообразность единого «колебательного» подхода к формированию физической картины мира. Поэтому, как подчеркивал Л. И. Мандельштам, изучая колебательные явления в одной области, например в оптике, мы приобретаем интуицию в другой области, например радиофизике. Часто, наоборот, «темные места в оптике освещаются, как прожектором, при изучении колебаний в механике».

Общий методологический подход к изучению физических законов и процессов, базирующийся на учении о колебаниях и волнах, и положен авторами проекта «Физическая картина мира. Колебания и волны в опытах и экспериментах» в основу концепции создания Кабинета-лаборатории научных демонстраций и экспериментов музея «Нижегородская радиолaborатория». Разработанные в рамках проекта циклы экспериментов позволят выявлять закономерности явлений природы, разбираться в сути различий, могут оказаться плодотворными

для самостоятельных размышлений и исследований, причем не только в области физики, но и в химии, биологии, социальных науках, так как большинство процессов, происходящих в окружающей нас среде, являются колебательно-волновыми. Указанный общий методологический подход даст возможность сформировать в сознании посетителей музея целостную физическую картину мира.

В Кабинете-лаборатории будут представлены следующие разделы:

1. Механика
2. Электростатика
3. Постоянный ток
4. Магнитное поле
5. Механические колебания и волны
6. Электромагнитные колебания
7. Электромагнитные волны
8. Оптика.
9. Атом и атомное ядро.
10. Астрономия.

Для организации экскурсий и абонементных циклов занятий в Кабинете-лаборатории музея «Нижегородская радиолaborатория» разработаны серии демонстраций и экспериментов по указанным направлениям физики, рассчитанные на лиц разного возраста и с разным уровнем подготовки.

Эффективность занятий обеспечена подробными методическими рекомендациями к каждому опыту, в которые включены:

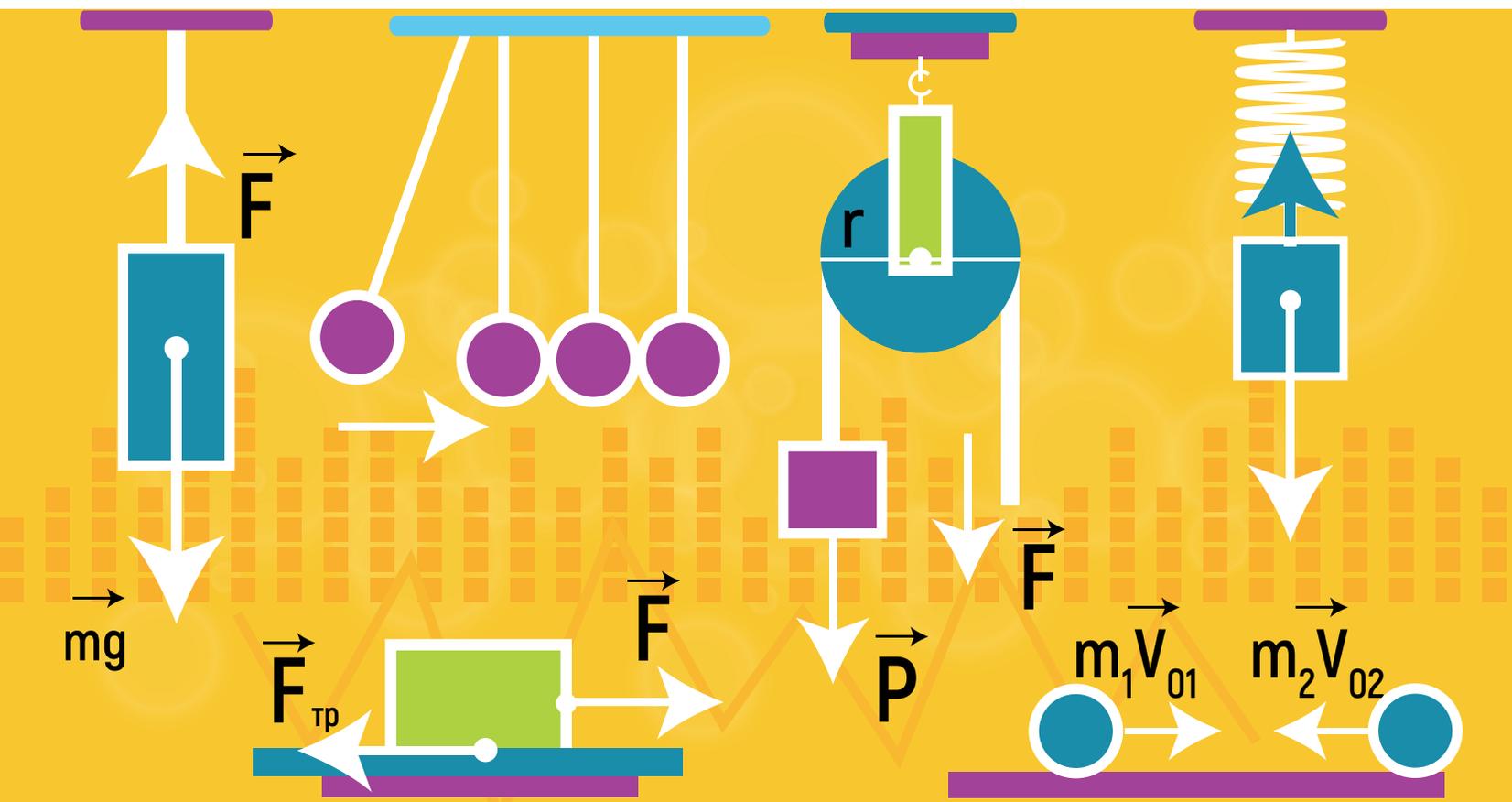
1. Физическое описание проблемы;
2. Изложение технологии проведения эксперимента;
3. Формулирование проблемных вопросов, связанных с конкретным опытом;
4. Правильный ответ–пояснение экскурсовода или волонтера.

Методические материалы могут быть успешно использованы при организации выполнения школьниками учебно-исследовательских и инженерно-конструкторских работ.

Комплект методических материалов предназначен для сотрудников музея и волонтеров, прошедших специальную подготовку по использованию экспериментальной базы Кабинета-лаборатории, преподавателей средних школ и образовательных учреждений среднего профессионального образования, педагогов дополнительного образования, родителей.

Л.В. Пигалицын, Народный учитель России,
заведующий отделом научных демонстраций и экспериментов
музея «Нижегородская радиолaborатория» ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
ответственный исполнитель проекта «Физическая картина мира. Колебания и волны
в опытах и экспериментах» – победителя первого конкурса Фонда президентских
грантов 2017 года в области науки, образования, просвещения.

МЕХАНИКА



Демонстрация 1. Сила тяжести.

1. Сила тяжести. Падение тел под действием силы тяжести.

На все тела, находящиеся вблизи гравитационных масс, действует сила тяжести. «Сила тяжести – это сила, с которой тело притягивается Землей или другим небесным телом».

Сила тяжести имеет направление. Она направлена к центру Земли или другого небесного тела.

На тело, висящее на нити, действует сила тяжести mg .

Проблема: Почему тело не падает?

Ответ. Дело в том, что его удерживает сила F_1 , действующая на него со стороны нити (рис. 1).

Разрежем нить. Удерживающей силы уже нет, и тело падает под действием силы тяжести F .

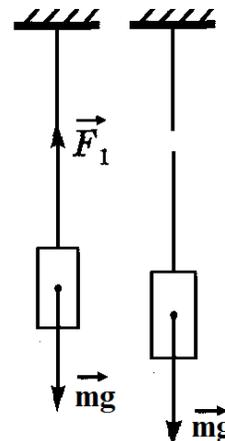


Рис. 1.

2. Игра «Ванька – встанька».

На шероховатой подставке стоит вертикально цилиндрический прибор, называемый «Ванька-встанька». Если его положить, то он будет лежать горизонтально (рис. 2).

Проблема. Что будет происходить, если его поместить на наклонную плоскость (рис. 3)?

Ванька-встанька начнет перекатываться. Почему?

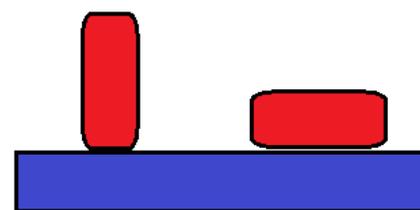


Рис. 2.



Рис. 3.



Рис. 4.

Ответ. Секрет «фокуса» заключается в том, что внутри игрушки находится металлический шарик (рис. 4), который при наклоне игрушки под действием силы тяжести скатывается вниз, игрушка опрокидывается, потом все повторяется сначала.

3. Игрушка «Неваляшка».

Проблема. Почему неваляшка при отклонении от вертикального положения всегда возвращается в вертикальное положение?



Рис. 5.



Рис. 6.

Ответ. В нижней части неваляшки находится небольшой, но массивный металлический диск. Так как масса пластмассовой неваляшки мала, то центр тяжести неваляшки находится почти в центре диска. Когда неваляшка стоит вертикально (рис. 5), то центр тяжести находится в самом низком положении и неваляшка находится в устойчивом равновесии. Когда мы неваляшку наклоняем, положение центра тяжести повышается и неваляшка переходит в неустойчивое равновесие. Если неваляшку отпустить, то сила тяжести, действующая на диск, возвращает неваляшку в первоначальное положение.

Если неваляшка со звуком, то он создается металлическими стержнями разной длины (чтобы ноты звучания были разными), по которым ударяет подвешенный на нити металлический шарик при качании неваляшки (рис. 6). Стержни вставлены в верхнюю часть металлического диска.

Демонстрация 2.

1. Масса. Инертность — свойство тела в большей или меньшей степени препятствовать изменению состояния покоя или своей скорости при воздействии на него внешних сил.

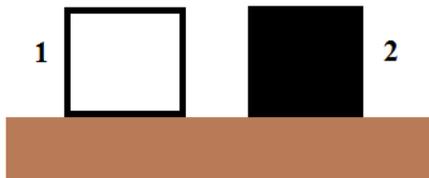


Рис. 1.

Физическая величина, характеризующая инертность тел, называется массой. Обозначается буквой m . Единицы измерения массы – мг, г, кг, т. Масса величина скалярная. Какой брусок – поролоновый (1) или металлический (2) сдвинуть легче (рис. 1)?

Проблема. Почему металлический брусок сдвинуть труднее, чем поролоновый?

Ответ. Масса металлического бруска больше, поэтому он более инертен.

2. Инерция.

Инерция — свойство тел оставаться в инерциальных системах отсчёта в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствие или при взаимной компенсации внешних воздействий. Существуют два вида инерции – инерция покоя и инерция движения.

а) Массивный шар висит на нити. К нижней части шара привязана еще одна такая же нить.

Проблема. Что произойдет с нитями, если нижнюю нить привести в движение (рис. 2)?

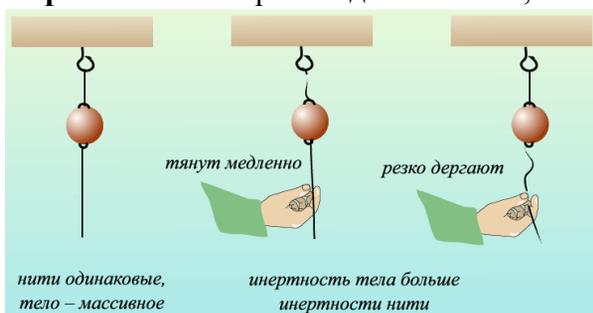


Рис. 2.

Ответ. Если нижнюю нить тянуть медленно, то постепенно придут в движение нижняя нить и тело. Верхняя нить не выдерживает и рвется.

Если нижнюю нить резко дернуть вниз, то тело, благодаря инерции покоя, не успеет придти в движение и нижняя нить оборвется.

в) На легкоподвижной тележке стоит деревянная фигурка.

Проблема. Что будет происходить с фигуркой при различных видах движения тележки (рис. 3)?

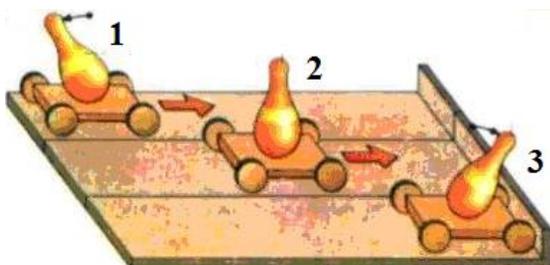


Рис. 3.

Ответ.

1. Если тележку резко привести в движение вправо, то фигурка упадет влево благодаря инерции покоя.

2. Если тележку двигать равномерно вправо, то она под действием силы трения тоже придет в движение и будет двигаться вместе с тележкой благодаря инерции покоя.

3. Если движущаяся тележка столкнется с препятствием, то она остановится, а фигурка благодаря инерции движения упадет в сторону движения.

3. Определение массы тела.

Проблема. Как определить массу тела?

Определить массу тела можно разными способами – гравитационными, столкновениями тел и т.д. Определение массы тел с помощью весов (рис. 4). **В данном случае мы сравниваем массы тел.**



Рис. 4.

Ответ. Сначала уравниваем весы.

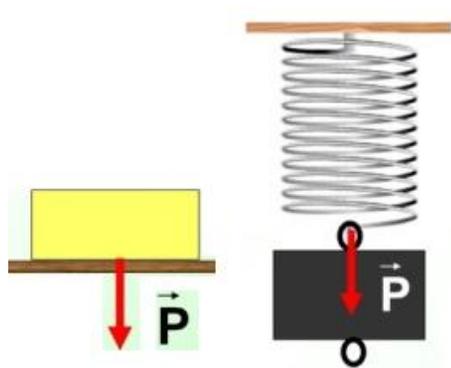
На левую чашку весов положим тело неизвестной массы.

На правую чашку весов кладем разновесы, начиная с большего разновеса.

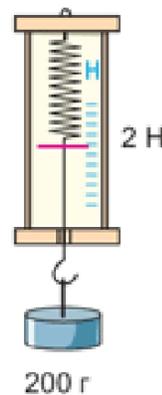
Если правая чашка весов перевешивает, то меняем разновес на разновес меньший по массе, и т.д., пока весы не уравниваются.

Демонстрация 3.

1. Вес тела.



P - вес тела.
[P] = 1 Н
 Измеряют динамометром.



Вес тела – сила, с которой тело давит на поверхность (рис. 1) или растягивает подвес (пружину) (рис. 2). Единицы силы – 1 Н, 1 кН.

Проблема. Как измерить вес тела.

Ответ. Измеряют вес динамометром (рис. 3).

Связь веса и массы тела.

Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

2. Невесомость. Проблема. Может ли тело, имеющее массу, не иметь веса?

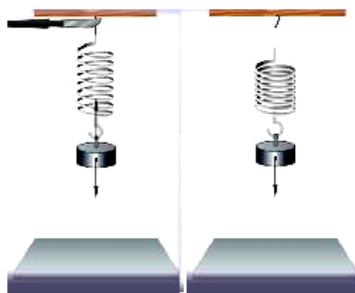


Рис. 4.

Рис. 5.

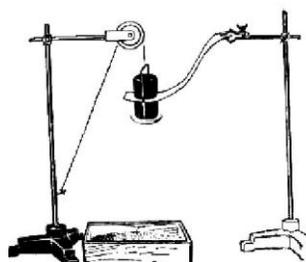


Рис. 6.

Ответ. Да. Если тело не давит на подставку или не растягивает подвес.

На рис. 4. груз висит на пружине. Пружина растягивается под действием веса тела. Если пружину сверху освободить, то тело и пружина будут падать. Тело уже не будет действовать на пружину, так как оно будет в невесомости (вес тела равен 0), и она сожмется (рис. 5).

На установке (рис. 6) на подвесе висят два груза. Между ними находится лист бумаги, который невозможно выдернуть.

Проблема. Что произойдет с листом бумаги, если нить перерезать?

Ответ. Тела будут падать и находиться в невесомости. Верхнее тело не будет давить на нижнее, и бумажка выскользнет из тел. Невесомость испытывают летчики и космонавты.

3. Перегрузка.

Проблема. Что произойдет с весом тела, если его быстро двигать вверх?

Ответ. Вес тела увеличится. Это хорошо заметно в опыте с динамометром, на котором подвешен груз. Если динамометр резко поднимать вверх, то благодаря инерции груза он будет сильнее действовать на динамометр (рис.7).

Перегрузку испытывают летчики и космонавты.

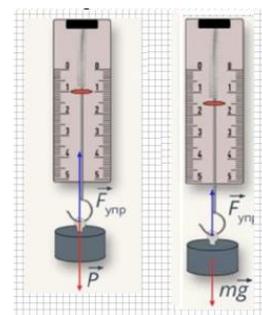


Рис. 7.

Изменение веса тела можно продемонстрировать датчиком силы компьютерной лаборатории PASCO.

4. Биконус.

Проблема. Как будет двигаться биконус?



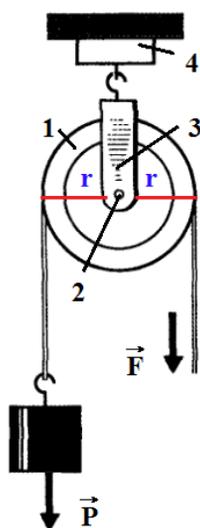
Рис. 8.

Ответ. Если тело (биконус) будет находиться на двойной угловой наклонной плоскости, то, так как вес тела стремится занять наинизшее положение, в зависимости от угла между плоскостями тело, находящееся в середине наклонной плоскости, будет покоиться или двигаться влево

(подниматься по наклонной плоскости) или вправо (опускаться по наклонной плоскости) (рис. 8). Проверьте на опытах.

Демонстрация 4. Подвижные и неподвижные блоки. Тали.

1. Неподвижный блок.



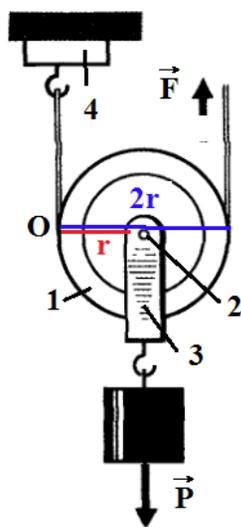
Неподвижный блок состоит из диска 1 с канавкой по окружности, насаженного на ось 2, который вставляется в обойму 3. Обойма крепится к неподвижной площадке 4, например, к штативу. Через блок по канавке перекидывается нить. К одному концу нити подвешивается груз весом P , а другой удерживают или передвигают с силой F . Во время движения нити вниз под действием силы F груз P поднимается вверх. Ось неподвижного блока остается на месте. Поэтому такой блок называют неподвижным (рис. 1).

Проблема. Чему равна сила F ?

Ответ. Неподвижный блок представляет обычный рычаг с равными плечами r . Так как моменты сил P и F равны – $Pr = Fr$, то $P = F$.

Отсюда делаем вывод: **используя неподвижный блок, мы не получаем выигрыш в силе, но можем изменять направление силы F по своему усмотрению.**

Рис. 1.



2. Подвижный блок.

Подвижный блок состоит из диска 1 с канавкой по окружности, насаженного на ось 2, которая вставляется в обойму 3. К обойме подвешивается поднимаемый груз P . Через блок по канавке перекидывается нить. Один конец нити прикрепляют к неподвижной площадке 4, а другой удерживают или передвигают с силой F . Во время движения нити вверх под действием силы F блок поворачивается вокруг точки O и груз P поднимается вверх. Сам блок движется вверх, поэтому такой блок называют подвижным (рис. 2).

Проблема. Чему равна сила F ?

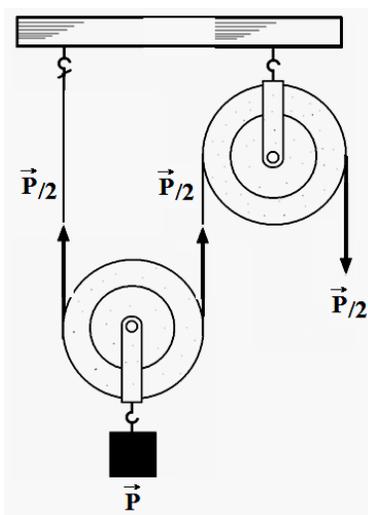
Ответ. Подвижный блок представляет обычный рычаг с разными плечами r и $2r$. Так моменты сил P и F равны, $Pr = F 2r$, а плечо силы F ($2r$) в два раза больше плеча силы P (r), то $F = P/2$.

Отсюда делаем вывод: **используя подвижный блок, мы получаем выигрыш в силе в 2 раза, но проигрываем в расстоянии в 2 раза.**

Рис. 2.

3. Тали.

Тали состоит из системы подвижных и неподвижных блоков (3, 4, 5 и больше).



В приведенном случае тали состоит из двух блоков – подвижного и неподвижного (рис. 3).

Проблема. Зачем нужна такая система?

Ответ.

Груз подвешивается к подвижному блоку. С помощью подвижного блока мы получаем выигрыш в силе в 2 раза.

Затем идет неподвижный блок. Он не дает выигрыша в силе, но зато с его помощью, мы изменяем направление движения нити – нить мы тянем вниз, так гораздо удобнее.

Если использовать большее количество неподвижных и подвижных блоков, то можно получить очень большой выигрыш в силе.

Так, например, маленький мальчик с помощью многоблочных тали может поднять большой автомобиль.

Рис. 3.

Демонстрация 5. Атмосферное давление.

1. Перевернутый стакан с водой.

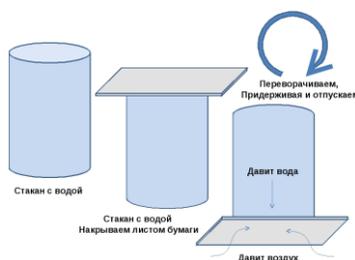


Рис. 1.

Возьмите большую кювету. Поставьте в нее стакан и налейте в стакан воды. Положите на стакан лист плотной бумаги (рис. 1). Прижмите бумагу к стакану ладонью руки так, чтобы бумага не помялась, и в таком положении переверните стакан.

Бумага не отпадет и вода не выльется.

Проблема. Почему вода не выливается из стакана?

Ответ.

Дело в том, что на лист бумаги снизу по закону Паскаля действует атмосферное давление, а сверху только вода и немного воздуха, совместное давление которых меньше атмосферного.

2. Загадочная бутылка.

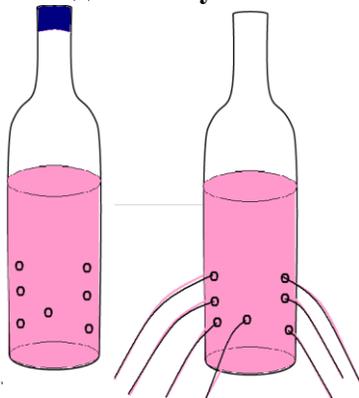


Рис. 2.

Подготовка. Перед опытом сделайте шилом отверстия в боковой стенке по контуру. В раковине налейте в нее воды из-под крана и плотно закройте крышкой. Вода вытекать из бутылки не будет, а отверстия на фоне пластика бутылки не будут видны.

Демонстрация. Возьмите большую кювету. Поставьте в нее пластиковую бутылку с водой, плотно закрытую закручивающейся крышкой (рис. 1). Поднимите бутылку над кюветой. Вода не выливается.

Отвинтите крышку и снимите ее с бутылки. Вода будет вытекать струями из отверстий в боковых стенках бутылки. Закройте бутылку крышкой. Вода перестанет вытекать из отверстий в бутылке.

Проблема. Почему при закрытой крышке вода не вытекает через боковые отверстия в крышке, а при открытой вытекает?

Ответ. При закрытой крышке вода не вытекает из бутылки потому, что в начале, когда над раковиной вода вытекала из бутылки, при закрытой крышке давление воздуха над водой стало меньше атмосферного. А снаружи, через отверстия, на воду действовало атмосферное давление, и поэтому вода из бутылки не вытекала. Как только мы открывали крышку, сверху на воду действовало атмосферное давление + давление воды, а с боков только атмосферное давление, поэтому вода из отверстий вытекала.

3. Сосуд Мариотта. Возьмем пластиковую бутылку, сделаем в ней на боковой стенке два отверстия. расположенных на разной высоте, заклеим их изолентой, нальем в бутылку воды и закроем крышкой (рис. 3). Отклеим нижнее отверстие (рис. 4). Вода из отверстия вытекать не будет.



Рис. 3.

Рис. 4.

Рис. 5.

Проблема. Почему?

Ответ. Если бы вода вытекала через нижнее отверстие, то в верхней части бутылки создавалось бы разрежение, следовательно, давление было бы меньше атмосферного, а так как снаружи давление равно атмосферному, то вода не вытекает.

Откроем верхнее отверстие (рис. 5). Вода начинает вытекать из нижнего отверстия.

Проблема. Почему?

Ответ. Через верхнее отверстие атмосферный воздух проникает в верхнюю часть бутылки. Над поверхностью воды давление становится равным атмосферному + давление столба воды от нижнего отверстия то поверхности воды, поэтому вода вытекает из нижнего отверстия.

4. Магдебургские полушария. Возьмем магдебургские полушария (рис. 6) и насос Комовского.

Соединим магдебургские полушария и откачаем из них воздух.

Проблема. Почему после откачивания воздуха очень трудно разорвать полушария?

Ответ. После откачивания воздуха давление воздуха в полушариях практически равно 0, а снаружи на них давит атмосферное давление, которое и прижимает полушария друг к другу.



Рис. 6.

Демонстрация 6. Закон Бернулли.

1. Движение воздуха и листы бумаги.

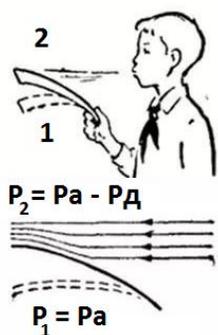


Рис. 1.

Если взять в руку лист бумаги, то он прогнется под действием силы тяжести (рис. 1).

Проблема. Что произойдет с листом бумаги, если подуть над листом бумаги?

Ответ. Он поднимется вверх, так как под листом бумаги на лист будет давить **атмосферное давление** воздуха (1), а над листом воздух стал двигаться, поэтому над листом появилось динамическое давление воздуха. Результирующее давление на лист бумаги сверху (2) равно $P = P_a - P_d$. Следовательно, давление

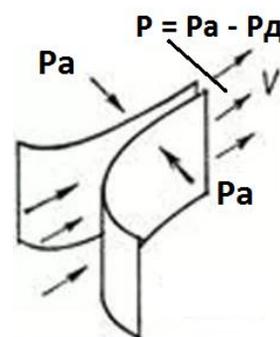


Рис. 2.

воздуха на лист снизу больше, чем сверху ($P_a > P$), и он поднимается вверх. Так же объясняется эффект сближения листов бумаги на рис. 2.

2. Пульверизатор.

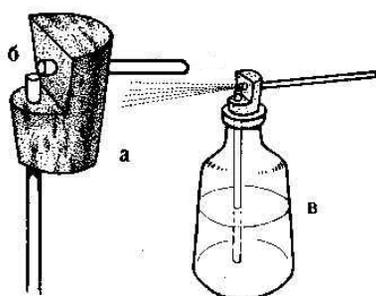


Рис.3.

Если взять простейший пульверизатор (рис. 3) и подуть в горизонтальную трубочку, то из бутылки будет выходить и распыляться вода.

Проблема. Почему распыляется вода?

Ответ. На основании уравнения Бернулли при выходе воздуха из горизонтального отверстия возникает динамическое давление воздуха. Рядом с концом горизонтальной трубки находится вертикальная трубка. Следовательно здесь результирующее давление воздуха $P = P_a - P_d$, а в банке на воду через отверстие в пробке давит атмосферное давление P_a . Так как оно больше P , то

под действием атмосферного давления вода поднимается вверх по трубке и распыляется.

3. Парящий шарик.



Рис. 4.

Если взять установку, изображенную на рисунке 4, и продуть воздух в трубку, то шарик от пинг понга будет парить в воздухе.

Проблема. Почему шарик парит в воздухе?

Ответ. На рис. 5 видно, что струи воздуха обтекают шарик со всех сторон. По закону Бернулли давление воздуха со всех боковых сторон одинаковое $P = P_a - P_d$, поэтому он находится в равновесии. Если шарик немного сдвинуть, то давления с боковых сторон будет не одинаковое, и он возвратится в центральное положение.

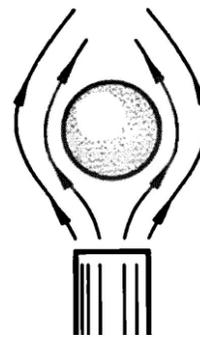


Рис. 5.

4. Судно на воздушной подушке.



К старому компакт-дису приклеим небольшой пластиковый цилиндр, и наденем на него воздушный шарик. Через отверстие в диске надуем его и закрутим над диском. Теперь, если положить диск на гладкую поверхность и отпустить шар, то он раскрутится, воздух будет выходить через нижнее отверстие в диске и вся установка будет без трения скользить по поверхности.

Проблема. Почему это произойдет?

Ответ. При выходе воздуха из компакт-диска под диском возникнет «воздушная подушка», которая будет удерживать диск. Это явление используется в судах на воздушной подушке.

Опыт 1. Свободное падение тел.

Монета и кружок из бумаги. Долгое время люди считали, что тяжелые тела падают быстрее, а легкие медленнее. Проверим это. Возьмем в разные руки монету достоинством 5 рублей и кружок из бумаги такого же диаметра. Отпустим их, и они начнут падать. Сначала упадет монета, а затем бумажный кружок (а). Затем положим кружок бумаги на монету, расположим их горизонтально и отпустим их (б). Они упадут вместе (рис. 1)

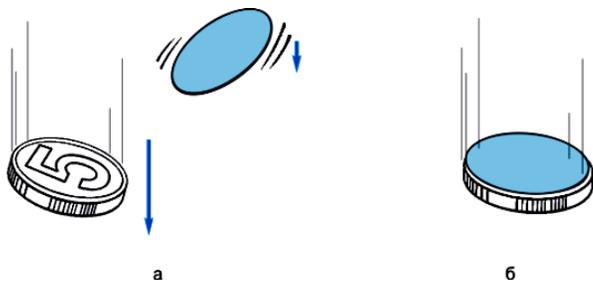


Рис. 1.

падал медленно, а сила тяжести, действующая на монету, была намного больше силы сопротивления воздуха, поэтому монета упала быстрее. Во втором случае сила сопротивления воздуха на бумажный кружок не действовала (рис. 1б). Поэтому монета и бумажный кружок упали одновременно. Значит, если убрать силу сопротивления воздуха, то тела будут падать одинаково. Итальянский ученый Г. Галилей доказал, что все тела независимо от их массы падают с одинаковым ускорением. **Падение тел под действием силы тяжести называется свободным падением.**

Проблема. Почему в первом опыте монета упала раньше бумажного кружка, а во втором случае одновременно?

Ответ. Все тела независимо от их масс падают с одинаковым ускорением свободного падения. В первом случае листок бумаги тормозила сила сопротивления воздуха, которая была чуть меньше силы тяжести (рис. 1а), поэтому листок

Опыт. Трубка Ньютона. Этот опыт экспериментально доказывает, что все тела, на которые действует только сила тяжести, падают на нашей широте с одинаковым ускорением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.



Рис.2.

Трубка Ньютона представляет стеклянную колбу, закрытую с одного конца (внизу), и герметичной пробки с краном (вверху). В трубку помещены тела разной массы, но приблизительно одинаковых размеров – свинцовая дробинка, пробка и птичье перышко. Кран у пробки открыт, поэтому в трубке давление воздуха равно атмосферному давлению. Если трубку повернуть так, чтобы пробка с краном оказались внизу, то все тела окажутся внизу.

Опыт 1. Переворачиваем трубку Ньютона пробкой вверх и наблюдаем падение тел (рис. 2). Сначала упадет свинцовая дробинка, потом пробка, а потом птичье перышко.

Проблема. Почему?

Ответ. На каждое падающее тело действует разная сила тяжести и примерно одинаковая сила сопротивления воздуха. Равнодействующая сил тяжести и сопротивления воздуха для свинцовой дробинки была больше, для пробки – меньше, а для птичьего перышка совсем маленькая. Поэтому сначала упала свинцовая дробинка, потом пробка и, наконец, птичье перышко.



Рис. 4.



Рис. 3.

Опыт. Возьмем насос Комовского, соединим его с трубкой Ньютона и откачаем воздух из трубки (рис. 3). Закроем кран **К** у пробки (рис. 4). Устанавливаем трубку Ньютона пробкой вверх и наблюдаем падение тел (рис. 4). Свинцовая дробинка, пробка и птичье перышко упадут одновременно.

Проблема. Почему?

Ответ. Г. Галилей экспериментально установил, что все тела независимо от их масс падают с одинаковым ускорением. Для всех тел сила сопротивления воздуха отсутствовала, поэтому все тела падали одновременно с одинаковым ускорением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Опыт 2. Машина Атвуда.

Джордж Атвуд (1745-1807) – английский физик и математик XVIII – XIX века; изобретатель машины для иллюстрации действия законов Ньютона; член Лондонского королевского общества. Он получил широкую известность изобретением прибора для изучения закона падения тел под действием силы тяжести, который был назван машиной Атвуда.

Машина Атвуда позволяет определить ускорение, массу движущихся тел и силу натяжения нити.

Один из вариантов машины Атвуда состоит из штатива **1**, к которому прикреплен неподвижный блок **2**. Через блок перекинута нить, к концам которой прикреплены грузы **3** и **4**. Основание штатива **5** стоит на электронных весах **6**, у которых есть шкала **7**. На штативе лежит кусок поролона **8**, на который будет падать груз **3**.

Машина Атвуда изображена на рис. 1.

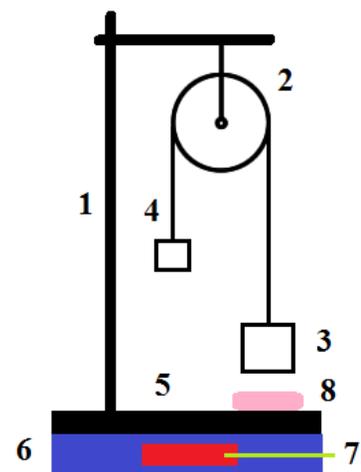


Рис. 1.

Опыт 2.1. На нити машины Атвуда подвешены грузы одинаковой массы (рис 2).

Проблема. Почему грузы находятся в покое?

Ответ. Неподвижный блок представляет равноплечий рычаг, на который с обеих сторон действуют равные силы. Так как блок покоится, то моменты сил, действующих на блок, равны.

Поэтому нить не вращает блок, и грузы находятся в покое.

Проблема. Что будут показывать электронные весы?

Ответ. Весы будут показывать общий вес штатива, блока, грузов и поролона.

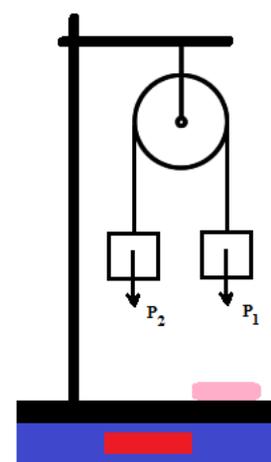


Рис. 2.

Опыт 2.2. На нити машины Атвуда подвешены грузы разной массы $m_1 > m_2$. Если грузы отпустить, то так как $m_1 > m_2$, $P_1 > P_2$, и грузы придут в движение. Груз m_1 будет двигаться вниз, груз m_2 – вверх.

Проблема. Как движутся тела – равномерно или равноускоренно?

Ответ. Движение равноускоренное, так как на тело m_1 действует равнодействующая сила $P_1 - P_2$, которая сообщит телам ускорение $a = (P_1 - P_2) / (m_1 - m_2)$.

Проблема. Что будут показывать электронные весы?

Ответ. Весы будут показывать величину меньше суммарного веса штатива, блока, грузов и поролона. Дело в том, что вес груза m_1 , движущегося вниз, будет уменьшаться (приближение к невесомости), а вес груза m_2 , движущегося вверх, будет немного увеличиваться (перегрузка).

Но уменьшение веса груза m_1 будет больше, чем увеличение веса груза m_2 , поэтому результирующее изменение веса грузов будет уменьшенным, и электронные весы покажут меньшее значение, чем у

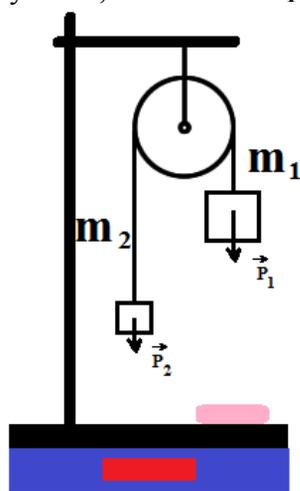


Рис. 3.

покоящихся грузов, т.е. здесь проявляются элементы невесомости для левого тела и элементы перегрузки для второго тела.

Если воспользоваться II и III законами Ньютона, то можно вычислить ускорение, массу движущихся тел и силу натяжения нити.

Опыт 3. Стробоскопический диск.

1. Для изучения параметров поступательного и вращательного движений в экспериментах часто используется стробоскопический метод. Стробоскоп (рис. 1) состоит из корпуса, в котором размещены генератор импульсов и безынерционная лампа с отражателем. При включении стробоскопа в электрическую сеть лампа стробоскопа начинает вспыхивать с определенной частотой.

Частота вспышек изменяется рукояткой частоты.

Диапазоны частот 30 – 20000 Гц изменяются кнопочными переключателями, расположенными на задней стенке стробоскопа.

При наблюдении объектов, вращающихся с большой скоростью, например электродвигателя, стробоскоп делает их кажущимися медленно движущимися или остановившимися, путем регулировки частоты мигания света лампы стробоскопа. При совпадении частоты мигания стробоскопа с частотой вращения электродвигателя двигателя кажется неподвижным.



Рис. 1.

2. **Опыт.** Соберем установку, изображенную на рис. 2. Она состоит из кулера (вентилятора от компьютера) и стробоскопа.

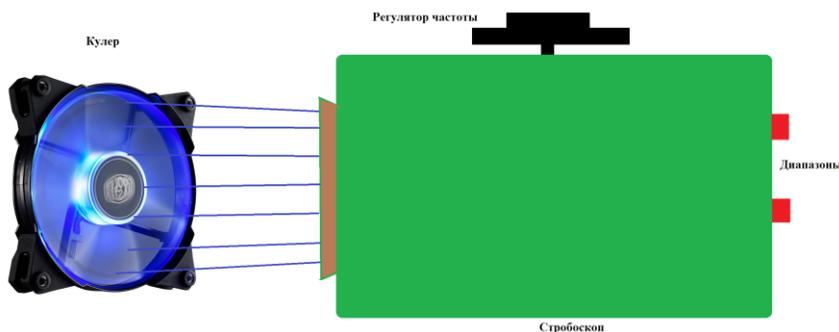


Рис. 2.

Подключим стробоскоп и кулер к источникам питания. Во время вращения кулера осветим его светом стробоскопа. При этом лопасти вращающегося кулера рассмотреть невозможно. Установим частоту вспышек стробоскопа на 30 Гц и, освещая кулер, будем постепенно увеличивать частоту вспышек.

При увеличении частоты стробоскопа лопасти кулера будут казаться медленно движущимися, а при определенной частоте лопасти кулера будут казаться остановившимися. В этом случае частота вращения кулера будет равна частоте вспышек стробоскопа.

Проблема. Почему при определенной частоте вспышек стробоскопа лопасти вращающегося кулера кажутся остановившимися?

Ответ. Потому что частота вспышек стробоскопа равна частоте вращения кулера.

Проблема. Что произойдет, если увеличивать частоту вспышек стробоскопа?

Ответ. Если частоту вспышек стробоскопа увеличивать дальше, то сначала лопасти кулера не будут видны, а при удвоенной частоте вспышек стробоскопа можно опять увидеть «остановившиеся» лопасти кулера и т.д.

Стробоскоп используется для измерения скорости вращения двигателей, ветряных и гидравлических турбин и т.д.



Рис. 3.



Рис. 4.

В звуковоспроизведении можно точно установить частоту вращения проигрывателя, у которого есть стробоскопические метки по периметру диска (рис. 3, 4).

В дополнение к измерению скорости вращения различных дисков в об/мин стробоскопический метод позволяет провести анализ колебаний, а также мониторинг

движения, например, в подвижных мембранах, громкоговорителях и т.д.

Опыт 4. Сила трения.

1. Сила трения покоя.

Проблема. Почему не удастся сразу сдвинуть тяжелый ящик или шкаф?

Ответ. Чтобы сдвинуть тело, к нему нужно приложить силу. Дело в том, что если мы начнем двигать тело, то нам будет препятствовать сила, действующая на тело в сторону, противоположную движению. Эта сила называется силой трения (рис. 1) Она возникает из за шероховатости поверхности и тела (рис. 2). Если тело двигать с помощью динамометра, постепенно увеличивая силу, действующую на тело, то показания динамометра

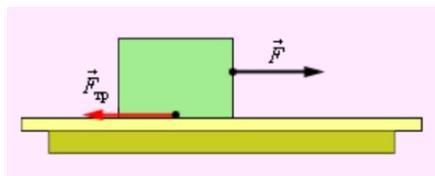


Рис. 1.

будут увеличиваться, хотя тело будет находиться в покое. Двигаться телу мешает возрастающая сила трения, а так как тело в это время покоится, то эту силу назвали **силой трения покоя**. Она будет постепенно увеличиваться от 0 Н до какого-то значения, после которого тело начнет двигаться.



Рис. 2.

Сила трения покоя препятствует движению тела, но она может быть и движущей, так, например человека при ходьбе движет сила трения покоя со стороны Земли, движущей силой автомобиля служит сила трения его колёс о дорожное покрытие.

2. Сила трения скольжения.

Сила трения скольжения возникает при скольжении одного тела по поверхности другого.

Для того, чтобы сдвинуть брусок с места, необходимо преодолеть силу трения покоя. Как только это произошло, брусок начнет двигаться, и динамометр будет показывать силу трения скольжения: $F_{т.с.} = \mu F_d$, где F_d – сила давления, а μ – коэффициент трения.

Опыт 4.1. Как измерить силу трения скольжения?

Ответ. Возьмем трибометр. Положим на него плоское тело и будем его двигать динамометром равномерно по трибометру. Динамометр покажет величину силы трения скольжения.

Опыт 4.2. Зависимость силы трения скольжения от площади поверхности.

Проблема. Как изменится сила трения скольжения, если повернуть брусок на 90° ?

Ответ. Если брусок повернуть на 90° , то изменится площадь соприкосновения бруска с поверхностью. Повторив опыт, увидим, что показания динамометра будут такими же, как и в предыдущий раз.

Это говорит о том, что **сила трения не зависит от площади соприкосновения с поверхностью**.

Опыт 4.3. Зависимость силы трения от силы давления.

Проблема. Как изменится сила трения скольжения, если увеличить силу давления?

Ответ. Сила трения увеличится. Положим на брусок груз и будем тянуть его динамометром. Показания динамометра увеличатся. Положите еще один груз. Показания динамометра увеличатся еще больше.

Вывод: Сила трения скольжения увеличивается с увеличением силы давления - $F_{т.с.} = \mu F_d$.

Опыт 4.4. Зависимость силы трения скольжения от материалов трущихся поверхностей.

Проблема. Как изменится сила трения скольжения, если изменить материал поверхности, по которой движется тело?

Ответ. Сила трения скольжения изменится. Положим на стол лист металла. На металл положим брусок без груза. Если мы его будем двигать динамометром, то сила трения скольжения уменьшится, так уменьшится сцепления частиц дерева бруска и металла.

Вывод: Сила трения скольжения зависит от рода поверхностей плоскости и бруска.

3. Сила трения качения.

Сила трения качения возникает при перекатывании тел друг по другу.

Причина трения качения — деформация катка и опорной поверхности (рис.3).

Опыт 4.5. Определение силы трения качения деревянного цилиндра.

Проблема. Почему сила трения небольшая?

Ответ. Потому что небольшая деформация цилиндра и поверхности.

В большинстве случаев величина трения качения гораздо меньше величины трения скольжения при прочих равных условиях, и потому качение является распространенным видом движения в технике. Поэтому трение скольжения заменяют трением качения, например, в шариковых подшипниках. Силу трения можно уменьшить смазкой трущихся поверхностей, заменив силу трения скольжения или качения жидким трением.

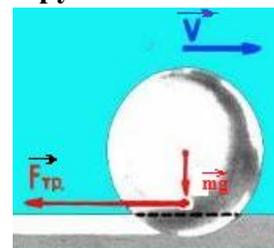


Рис. 3.

Зависимость силы трения от различных параметров тела можно получить с помощью цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 5. Упругие и неупругие соударения.

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

m_1, m_2 – массы взаимодействующих тел, кг
 \vec{v}_1, \vec{v}_2 – скорости тел до столкновения, м/с
 \vec{v}_1', \vec{v}_2' – скорости тел после столкновения, м/с

Одним из законов сохранения, является закон сохранения импульса. Импульс тела это произведение массы тела на его скорость $m \vec{V}$. Импульс тела – величина векторная.

« В замкнутой системе тел сумма импульсов тел со временем не изменяется при любых взаимодействиях этих тел».

Рассмотрим взаимодействие двух тел, представляющих замкнутую систему. Различают три вида взаимодействия тел

– абсолютно упругие, неупругие и абсолютно неупругие.

1. Абсолютно упругие взаимодействия. Пусть навстречу друг другу движутся два шара с разными скоростями и разными массами и сталкиваются абсолютно упруго (рис. 1).

Проблема. Как будут двигаться тела после столкновения?

Ответ. Так как соударение абсолютно упругое, то после столкновения тела будут двигаться в разные стороны с другими скоростями (рис.2). Рассчитать их можно используя закон сохранения импульса и закон сохранения энергии. Суммы импульсов тел до соударения и после соударения будут равны.



Рис.1.



Рис.2.

2. Абсолютно упругое взаимодействие тележек.

Пусть листовая пружина прикреплена к правой тележке. Загнем ее, как показано на рис 3 и пододвинем к ней слева вторую тележку такой же массы.

Проблема. Как будут двигаться тележки, если пережечь нитку?

Ответ. Так как при пережигании пружины тележки будут взаимодействовать абсолютно упруго, и на них по 3 закону Ньютона будут действовать одинаковые силы, поэтому они будут двигаться в разные стороны с одинаковыми скоростями. При этом они откатятся на одинаковые расстояния (рис.4). Рассчитать их можно используя закон сохранения импульса и закон сохранения энергии. Суммы импульсов тел до соударения и после соударения будут равны.

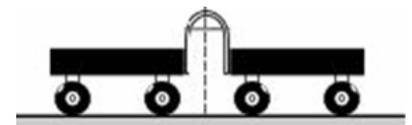


Рис.3.



Рис.4

3. Абсолютно неупругие взаимодействия. Пусть металлический шар m_1 сталкивается с покоящимся пластилиновым шаром массой m_2 (рис. 5).

Проблема. Как будут двигаться тела после столкновения?

Ответ. Так как соударение абсолютно не упругое, то после столкновения тела слипнутся и будут двигаться в сторону движения металлического шара, но с меньшей скоростью (рис. 6).

Рассчитать ее можно используя закон сохранения импульса и закон сохранения энергии. Суммы импульсов тел до соударения и после соударения будут равны

4. Абсолютно неупругое взаимодействие тележек.

Пусть движущаяся левая тележка со скоростью V_1 сталкивается с неподвижной правой тележкой (рис. 7). Для получения неупругого взаимодействия тележек к ним прикреплены пластилиновые шарики.

Проблема. Как будут двигаться тележки после столкновения?

Ответ. Так как при столкновении тележек они соединятся, то они будут двигаться в сторону движения левой тележки, но с меньшей скоростью (рис. 8). Рассчитать скорость движения тележек V , можно используя закон сохранения импульса и закон сохранения энергии. Суммы импульсов тел до соударения и после соударения будут равны.

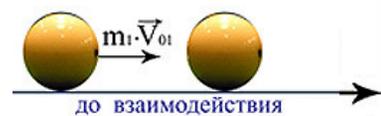


Рис.5.



Рис.6.

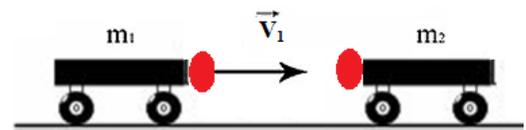


Рис.7.

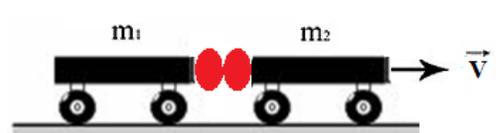


Рис.8.

Неупругие соударения в силу их сложность мы рассматривать не будем.

Опыт 6. Воздушный шарик. Парусная лодка и вентилятор.

1. Воздушный шарик.

Надуем воздушный шарик и отпустим его. Шарик полетит.

Проблема. Почему шарик летит?

Ответ. Шарик, выталкивая через отверстия воздух со скоростью V , действует на него с силой F_1 (рис. 1). По 3 закону Ньютона всякому действию есть равное противодействие. Следовательно, на шарик со стороны воздуха будет действовать такая же сила F . Шарик будет двигаться под действием этой силы.

Второе объяснение. Шарик, выталкивая воздух, сообщает ему импульс mV . По закону сохранения импульса шарик получает от воздуха такой же импульс в противоположном направлении.

Аналогично, но более эффектно движется шарик по ниточке (рис. 2).

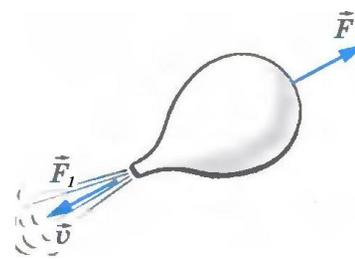


Рис. 1.

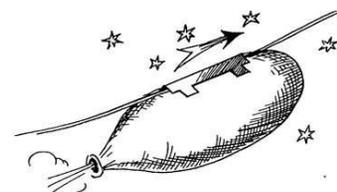


Рис. 2.

2. Парусная лодка и вентилятор.

а). Поставим на легкоподвижную тележку бумажный парус и кулер от блока питания компьютера, который будет играть роль вентилятора (рис. 3). Источник питания находится вне кулера и соединяется с ним тонкими проводами.

Включим кулер. Он будет направлять струю воздуха на парус.

Проблема. Будет ли двигаться тележка, ведь на парус оказывает давление струя воздуха, идущая от кулера?

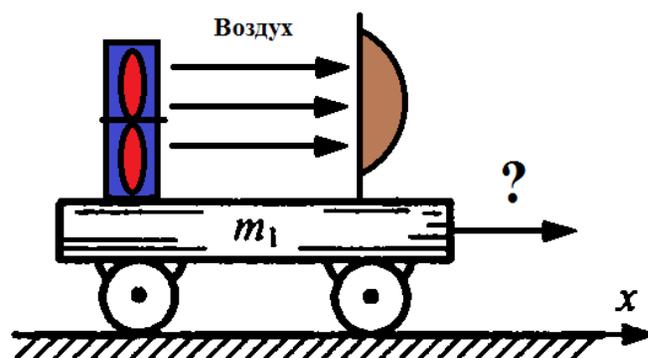


Рис. 3.

Ответ. Тележка двигаться не будет, так как, несмотря на то, что воздух от кулера давит на парус, с другой стороны – когда лопасти кулера действуют на воздух, который давит на парус, по 3 закону Ньютона на кулер действует такая же сила в обратном направлении. Поэтому сила, действующая со стороны воздуха на парус, и сила, действующая на кулер, одинаковы по величине, но противоположны по направлению. А так как они, по сути дела, приложены к легкоподвижной тележке, то уравнивают друг друга, и тележка стоит на месте. Примерно так же было и с бароном Мюнхаузеном, когда он пытался вытащить себя и коня из болота.

б). Поставим на легкоподвижную тележку бумажный парус и кулер от блока питания компьютера, но теперь струю воздуха от кулера направим в противоположную сторону (рис. 4).

Проблема. Будет ли двигаться тележка, ведь на парус не оказывает давление струя воздуха, идущая от кулера?

Ответ. Тележка двигаться будет, так как лопасти кулера давят на воздух и струя воздуха вылетает вправо. В свою очередь выходящий из кулера воздух по 3 закону Ньютона действует на кулер. Так как кулер прикреплен к тележке, эта сила действует и на тележку, поэтому она движется.

Парус здесь не при чем. Уберите парус. Эффект будет тот же самый.

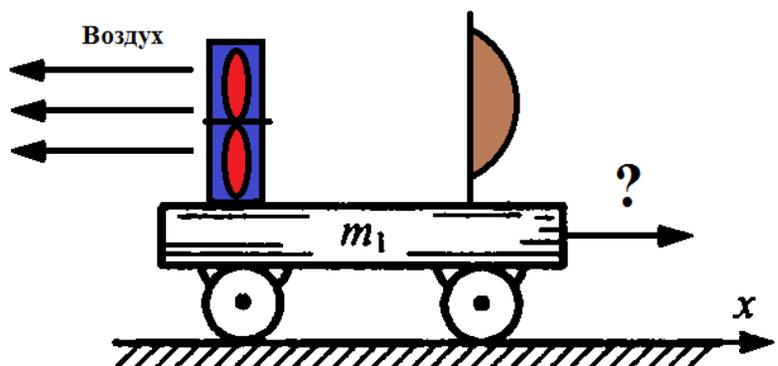


Рис. 4.

Эти оба случая легко объяснить и с точки зрения закона сохранения импульса.

Опыт 7. Закон сохранения момента импульса. Юла(волчок). Гирскоп. Периметрический волчок.

1. Закон сохранения момента импульса (закон сохранения углового момента) – один из фундаментальных законов сохранения. Момент импульса тела равен $L = mVr$, где m – масса вращающегося тела, V – линейная скорость вращающегося тела, r – радиус вращения. Закон сохранения импульса выражается формулой $L = \text{const}$. В соответствии с этим момент импульса замкнутой системы в любой системе координат не изменяется со временем, а так как момент импульса величина векторная, то сохраняется и направление оси вращения. Из формулы $L = mVr$ видно, что если у вращающегося тела будет изменяться радиус вращения, то, так как $L = \text{const}$, будет изменяться и скорость вращения. Закон сохранения импульса проявляется в опыте со скамьей Жуковского (рис. 1).



Рис. 1а.

Рис. 1б.

Опыт. На рис. 1а изображен человек находящийся на вращающейся скамье Жуковского. Гантели, которые он держит в руках, прижаты к телу. Скорость вращения человека большая. Если он раздвинет руки с гантелями (рис. 1б), то скорость вращения его уменьшится.

Проблема. Почему?

Ответ. Так как радиус вращения гантелей увеличится, то, исходя из закона сохранения импульса, скорость вращения уменьшится.

Закон сохранения импульса нашел широкое применение в технике. На его основе работают гирокомпасы на кораблях, самолетах и подводных лодках. Он применяется в гиродинах орбитальных станций и космических зондах для поддержания постоянной ориентации в космосе. На основе гиродина был создан двухколесный автомобиль. Применяется закон сохранения момента импульса в балете и танцах на льду (фигура «Волчок»).

2. Юла (волчок). Юла представляет собой один из видов тела, которое в физике называется волчком. Чаще всего она имеет конструкцию, состоящую из двух полукупонов, соединённых вместе, по центру которых проходит ось. (рис. 2). Ничто не может заставить волчок сохранять вертикальное положение, когда он неподвижен. Но стоит только раскрутить его, как он будет прочно стоять на остром конце. И чем быстрее скорость его вращения, тем устойчивее его положение. Согласно закону инерции, открытому Ньютоном, все тела, находящиеся в движении, стремятся сохранить направление движения, величину и направление скорости. Соответственно, подчиняется этому закону и вращающийся волчок. Сила инерции препятствует падению волчка, пытаясь сохранить первоначальный характер движения. Конечно, сила тяжести пытается свалить волчок, но чем быстрее он вращается, тем труднее преодолеть силу инерции. Со временем скорость вращения волчка снижается, и его движение начинает замедляться. Верхняя его точка постепенно отклоняется от первоначального положения в стороны. Её движение проходит по расходящейся спирали. Это и есть прецессия оси волчка.



Рис. 2.

3. Гирскоп. Среди механических гироскопов выделяется **роторный гирскоп** – быстро вращающееся твёрдое тело (ротор), ось вращения которого может свободно изменять ориентацию в пространстве (рис. 3). Основное свойство такого гироскопа – способность сохранять в пространстве неизменное направление оси вращения при отсутствии воздействия на него моментов внешних сил и эффективно сопротивляться действию внешних моментов сил. Впервые это свойство использовал Фуко в 1852 г. для экспериментальной демонстрации вращения Земли. **Демонстрации: Различные волчки. Гирскоп. Периметрический волчок.**

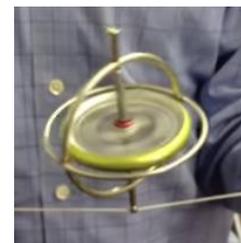


Рис. 3.

Проблема. Почему волчки и гироскопы сохраняют постоянное положение оси вращения?

Ответ. Потому что при вращении этих тел выполняется закон сохранения импульса.

Опыт 8. Колыбель Ньютона.

Основными законами в физике являются законы сохранения. Рассмотрим установку, в которой применяются закон сохранения импульса и закон сохранения энергии.

Колыбель Ньютона (маятник Ньютона) – механическая система, названная в честь Исаака Ньютона для демонстрации преобразования энергии различных видов друг в друга: кинетической в потенциальную и наоборот. В отсутствие сил трения и сопротивления воздуха система могла бы действовать вечно, но в реальности это недостижимо.

Устроена колыбель Ньютона очень просто. На доске висят 5 стальных шариков.

Опыт. 8.1. Отклоним один шарик влево и, подняв на некоторую высоту, отпустим его (рис. 1).

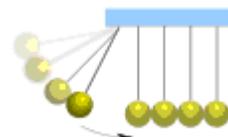


Рис. 1.

Проблема. Что произойдет с системой шариков?

Ответ. Первый шарик, столкнувшись абсолютно упруго со вторым, передаст импульс mV второму шару. Но ему не даст двигаться третий шарик, третий четвертому шару, а четвертый пятому. У пятого шарика преграды нет, поэтому он будет двигаться вперед с импульсом mV (рис. 2) Опыт можно объяснить на основании закона сохранения энергии.

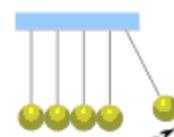


Рис. 2.

Опыт 8.2. Отклоним два шарика влево, и, подняв их на некоторую высоту, отпустим (рис.3).

Проблема. Что произойдет с системой шариков?

Ответ. Два шарика, столкнувшись абсолютно упруго с третьим, передадут импульс $2mV$ третьему шару. Он передаст импульс четвертому шару, а так как передаваемый импульс $2mV$, то отклонятся четвертый и пятый шарик (рис. 4).

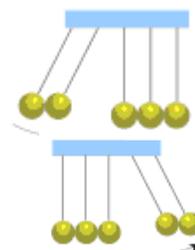


Рис. 3,4.

Опыт 8.3. В опыте отклоним 3 шарика, а в опыте 4 отклоним 4 шарика (рис.5).

Проблемы. Почему так происходит?

Ответы. Объяснение аналогичное опытам 1 и 2.

Численные значения высот, на которые отклонятся шарики/, и скоростей шариков после ударов можно определить, решая совместно закон сохранения импульса и закон сохранения энергии.

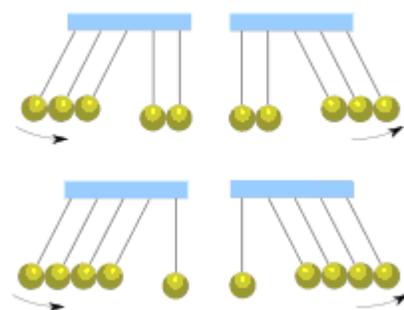


Рис. 5.

Установка для демонстрации колыбели Ньютона

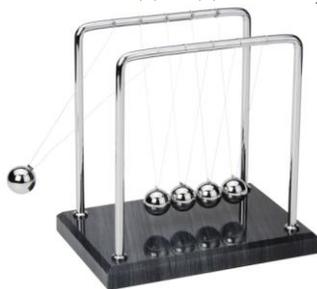


Рис. 6.

Опыт 9. Энергия. Прибор для подпрыгивающих шариков. Мертвая петля.

Закон сохранения энергии является одним из основных законов природы.

Опыт 9.1. При падении шариков коричневого и белого потенциальная энергия каждого шарика mgH превращается в кинетическую $mV^2/2$ (рис. 1). При столкновении с поверхностью кинетическая энергия переходит в энергию упругости $kx^2/2$ (рис.2). Потом энергия упругости переходит в кинетическую энергию, а та в потенциальную mgh (рис.3).

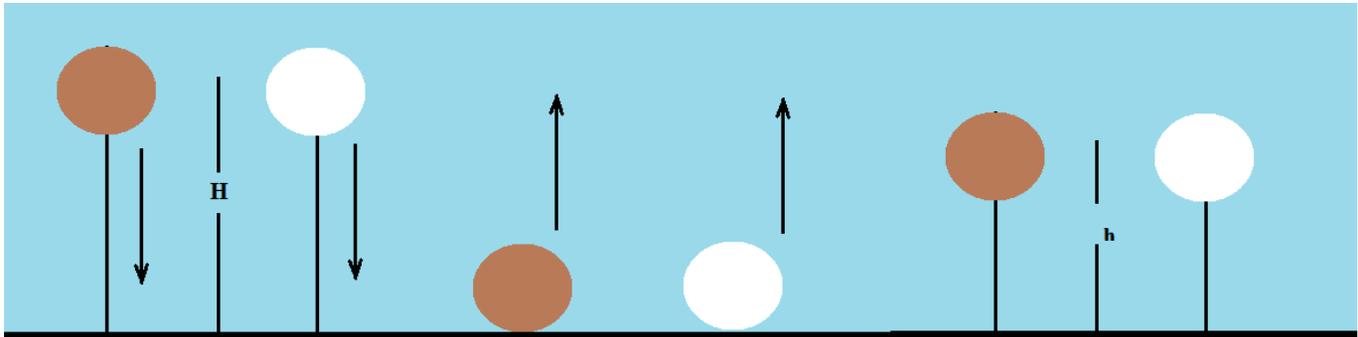


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

Из рисунков видно, что потенциальная энергия mgh на рис. 3 немного меньше первоначальной энергии mgH .

Проблема. Почему уменьшилась энергия?

Ответ. Часть энергии шариков была потрачена на сопротивление воздуха и работу по деформации шариков во время удара.

Опыт 9.2. На установке расположены шарик резиновый и от пинг-понга с отверстиями вдоль оси. Через отверстия продеты нити, которые закреплены вертикально. Пусть с высоты H падает шарик от пинг-понга на резиновый шарик (рис. 4).

Проблема. На какую высоту отскочит пинг-понговый шарик после соударения с резиновым шариком?

Ответ. Шарик поднимется на большую высоту, потому что резиновый шарик после деформации отдаст часть энергии шарiku от пинг-понга и он поднимется на гораздо большую высоту h (рис. 5).

А что будет, если шарики поменять местами?

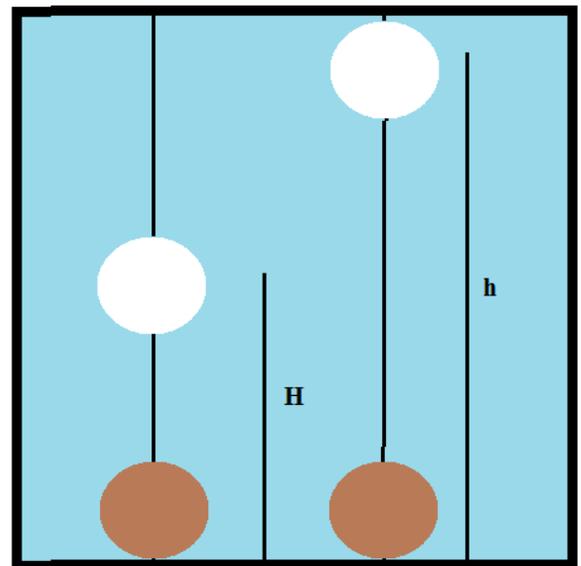


Рис.4.

Рис.5.

Опыт 9.3. Мертвая петля.

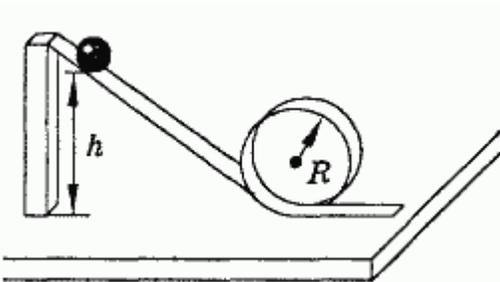


Рис. 6.

ускорение было бы больше или равно g . Поэтому если шарик пустить с большой высоты, то его центростремительно ускорение будет больше g , а если с малой, то меньше (рис. 7).

Прибор для демонстрации мертвой петли состоит из подставки и своеобразной дороги в виде петли.

Если шарик пустить с большой высоты, то он совершит мертвую петлю, а если с небольшой, то нет (рис. 6).

Проблема. Почему так происходит?

Ответ. При движении шарика необходимо, чтобы в верхней точке петли радиуса R , центростремительное

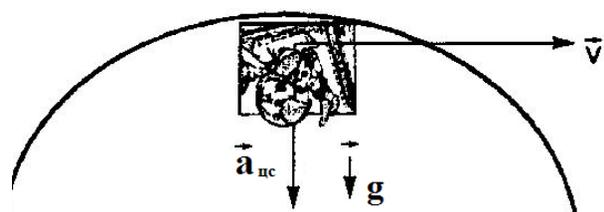


Рис. 7.

Опыт 10. Маятник Максвелла.

Маятник Максвелла (иначе колесо Максвелла) известен как классическая иллюстрация превращения механической энергии. Маятник состоит из диска, который закреплен на горизонтальной оси, а ось подвешена с двух сторон на длинных нитях к опоре. Концы нитей закреплены на оси вращения (рис.1). При накручивании нити на ось вращения и ее раскручивании маятник совершает колебательные движения вверх-вниз.

Для запуска маятника необходимо накрутить нити на ось, подняв таким образом маятник на максимальную высоту (потенциальная энергия здесь максимальна), а затем отпустить. Под действием силы тяжести маятник начнет опускаться вниз, все быстрее вращаясь, с постоянным ускорением.



Рис. 1.

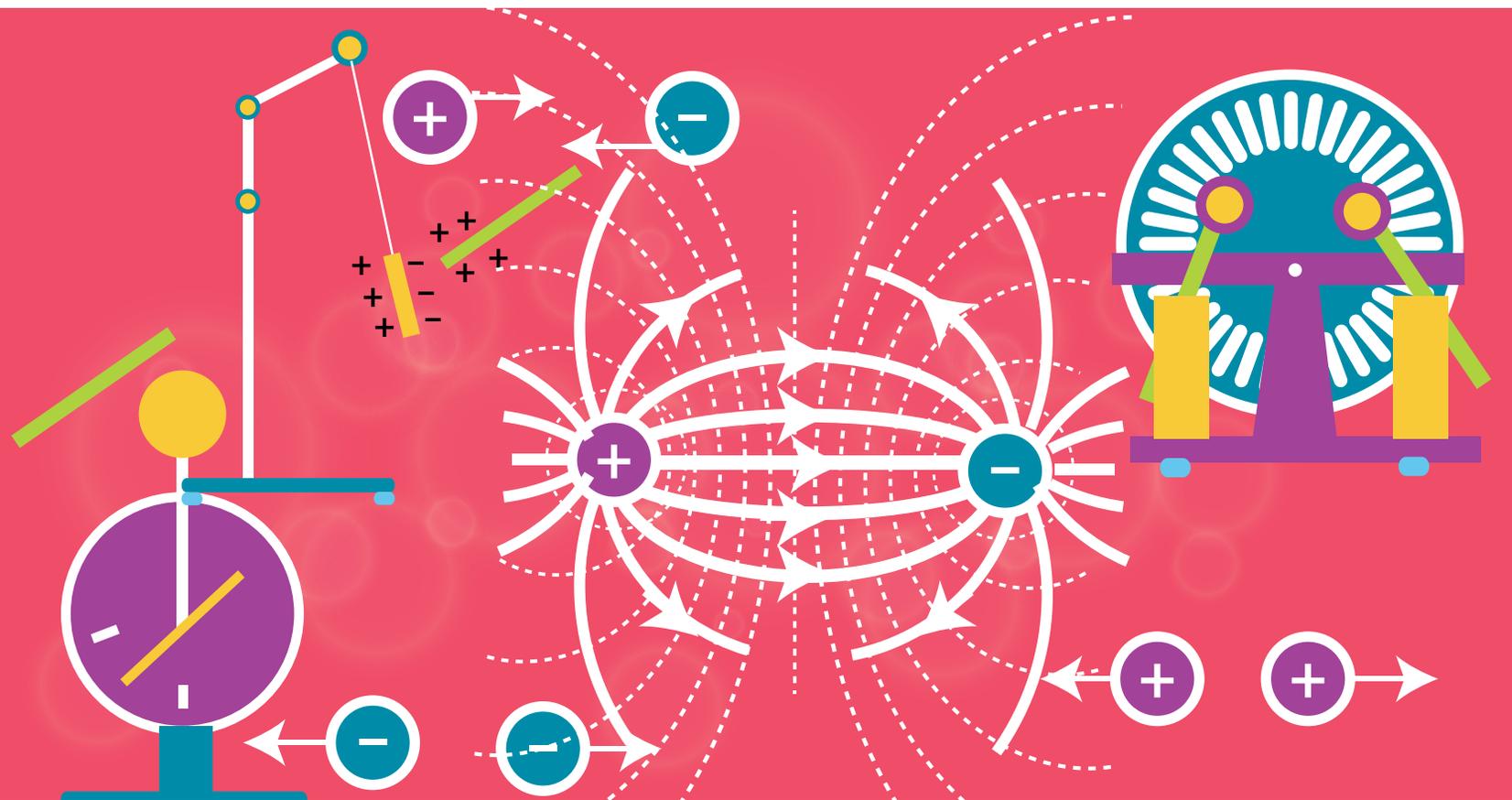
По мере движения вниз потенциальная энергия ранее поднятого маятника переходит в кинетическую энергию поступательного и вращательного движения. Опускания и подъемы диска со все уменьшающейся амплитудой повторяются много раз, пока маятник, наконец, не останавливается, т.к. весь первоначальный запас энергии в результате трения превращается в тепловую энергию.

Проблема. Почему маятник, дойдя до нижней точки, начинает подниматься вверх?

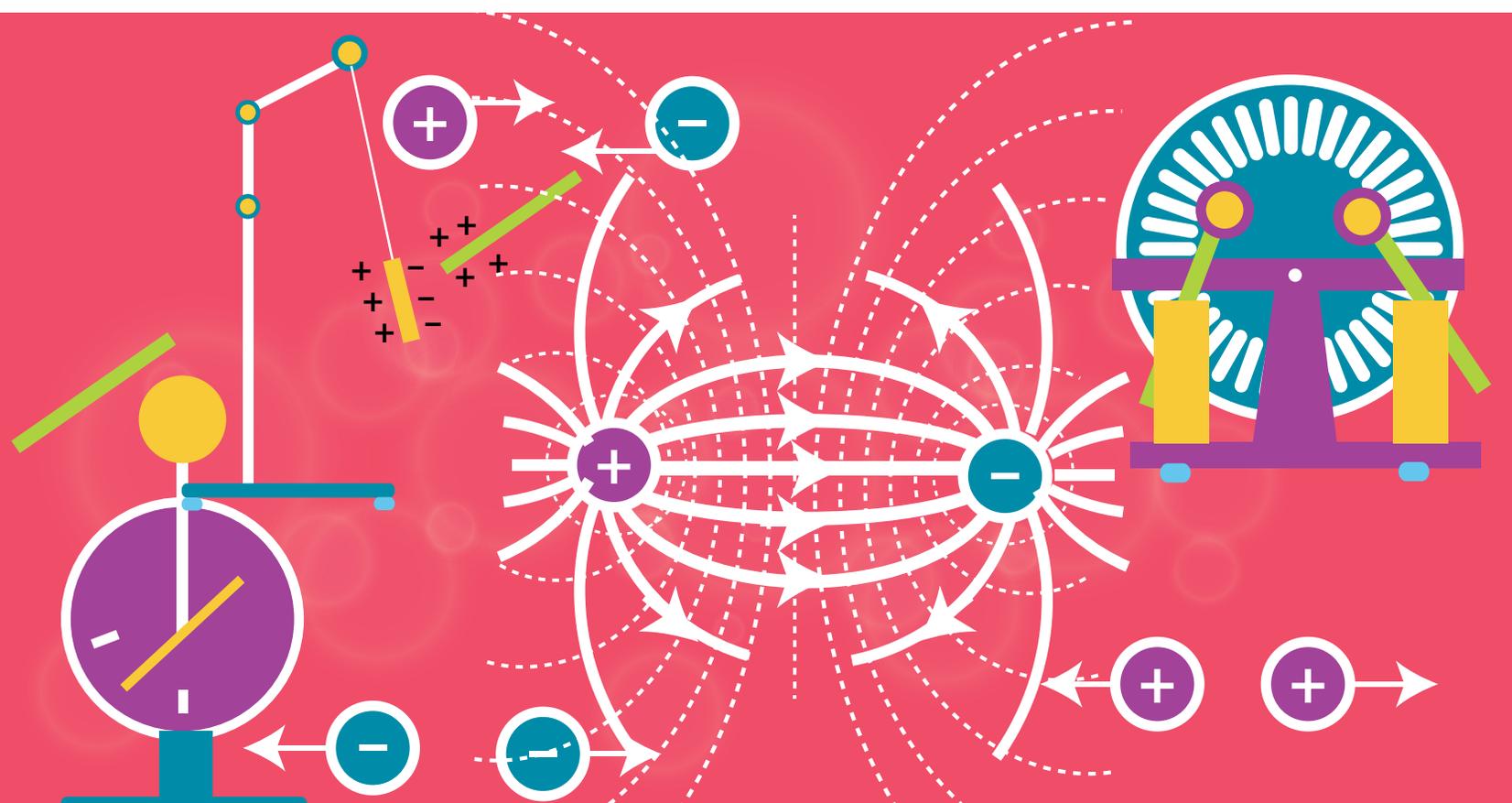
Ответ. Действие прибора основано на одном из основных законов механики - законе сохранения механической энергии: полная механическая энергия системы постоянна. Маятник Максвелла представляет собой твердое тело, насаженное на ось. Ось подвешена на двух накручивающихся на нее нитях (рис. 1). Под действием силы тяжести маятник совершает колебания в вертикальном направлении и вместе с тем крутильные колебания вокруг своей оси. При освобождении маятника он начинает движение под действием силы тяжести: поступательное вниз и вращательное вокруг своей оси. При этом потенциальная энергия переходит в кинетическую. Опустившись в крайнее нижнее положение, маятник будет по инерции вращаться в том же направлении, нити намотаются на ось и маятник поднимется. Так происходят колебания маятника. Однако теперь он не достигнет первоначальной высоты, т.к. часть механической энергии маятник теряет за счет трения и сопротивления воздуха. Сделав несколько десятков колебательных движений (в зависимости от конструкции), маятник остановится.

Превращения энергии маятника Максвелла.

1. В верхней точке потенциальная энергия маятника максимальна.
2. При опускании маятника вниз потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию поступательного движения + кинетическую энергию вращательного движения.
3. При подъеме маятника вверх кинетическая энергия маятника будет превращаться в потенциальную энергию и маятник будет подниматься вверх, увеличивая свою потенциальную энергию.



ЭЛЕКТРОСТАТИКА



Демонстрация 1. Электризация тел.

Электризация тел. Это явление было обнаружено еще в глубокой древности. Древнегреческие ученые заметили, что янтарь (окаменевшая смола хвойных деревьев, которые росли на Земле много сотен тысяч лет назад) при натирании его шерстью начинает притягивать к себе различные легкие тела. По-гречески янтарь – электрон, отсюда произошло название “электричество”.

Демонстрация 1. Электризация трением. Если взять одно тело и потереть его о другое тело, то после натирания оно будет притягивать к себе легкие предметы. Такие тела называются наэлектризованными (рис. 1).

Проблема. Почему при трении стеклянной палочки о шелк палочка электризуется?

Ответ. Все вещества состоят из атомов, в которых есть электроны. Но они с разной силой притягиваются к положительным ядрам атомов. У стеклянной палочки электроны связаны с ядрами атомов слабее, чем у шелка, поэтому при трении стеклянной палочки о шелк со стеклянной палочки больше электронов уйдет на шелк.

Палочка наэлектризуется (зарядится) положительно, так как у нее появятся не скомпенсированные положительные ионы, а шелк зарядится отрицательно, так как на нем появятся дополнительные электроны. Аналогично будет происходить с эбонитовой палочкой, только заряды поменяются местами.

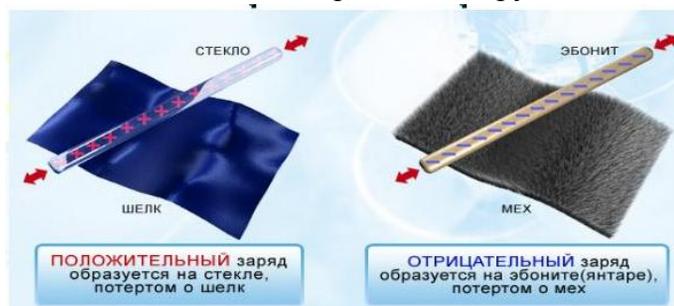


Рис. 1.

Демонстрация 2. Притяжение незаряженных тел.

Все наэлектризованные тела притягивают к себе другие тела, например листочки бумаги (рис. 2).

Проблема. Почему наэлектризованные эбонитовая и стеклянные палочки притягивают мелкие листочки бумаги?

Ответ. Поднесем отрицательно заряженную эбонитовую палочку к незаряженным листочкам бумаги.

Молекулы листочка бумаги поляризуются и поворачиваются положительно заряженными концами в сторону отрицательно заряженной палочки. Так как разноименные заряды притягиваются, то бумажные листочки будут притягиваться к палочке.



Рис. 2.

Демонстрация 3. Электризация через влияние.

Подвесим к штативу на шелковой нити незаряженную металлическую гильзу. Поднесем к ней стеклянную положительно заряженную палочку. Гильза будет притягиваться к палочке (рис. 3).

Проблема. Почему?

Ответ. В металлической гильзе есть свободные электроны. Они под действием положительного заряда палочки будут скапливаться на правой стороне, а так как разноименные заряды притягиваются, то поэтому гильза будет отклоняться в сторону палочки.

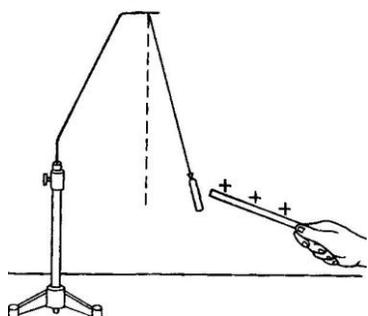


Рис. 3.

Демонстрация 4. Электризация соприкосновением.

Коснемся наэлектризованной палочкой незаряженного металлического шарика (рис. 4).

Проблема. Что произойдет с шариком?

Ответ. Шарик зарядится положительно, так как часть свободных электронов с шарика перейдет на палочку (рис. 4). Положительный же заряд палочки несколько уменьшится за счет пришедших электронов.

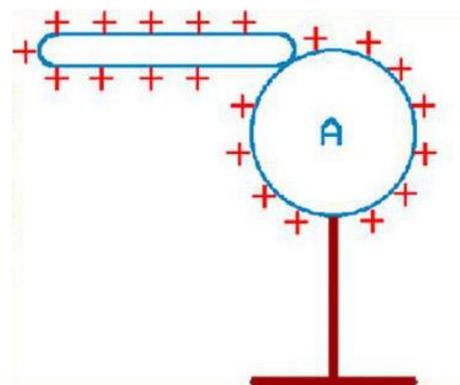


Рис. 4.

Демонстрация 2. Взаимодействие электрически заряженных тел.

1. Заряженные электрические тела взаимодействуют друг с другом. Характер взаимодействия зависит от знаков электрических зарядов. Одноименные заряженные тела отталкиваются друг от друга, разноименные притягиваются (рис. 1,2).

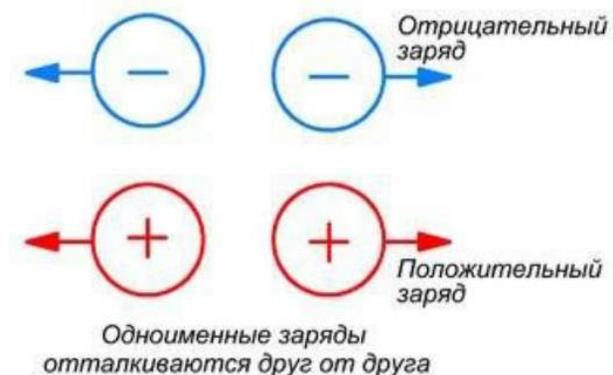


Рис. 1.



Рис. 2.

Демонстрация 2.1. Взаимодействие заряженных гильз. На шелковых нитях, прикрепленных к штативам, подвешены заряженные металлические гильзы. Левые гильзы заряжены положительно.

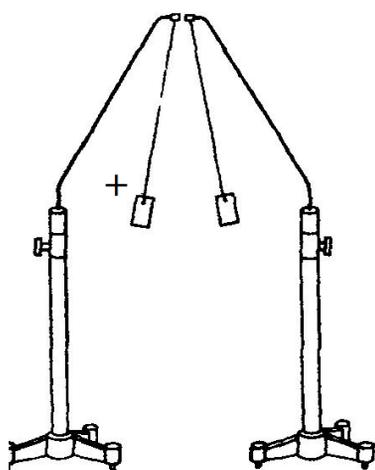


Рис. 3.

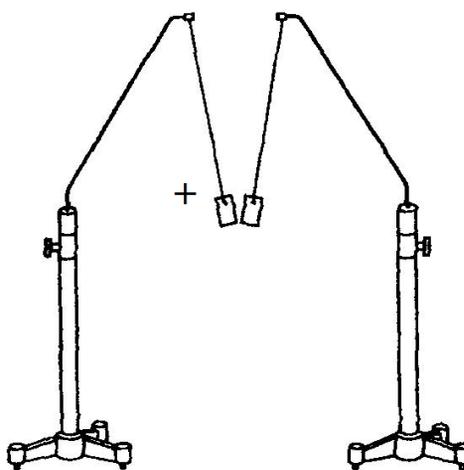


Рис. 4.

Проблема.

Как заряжены правые гильзы (рис. 3,4)?

Ответ.

На рис 3 правая гильза заряжена положительно, так как одноименно заряженные тела отталкиваются.

На рис.4 правая гильза заряжена отрицательно, так как разноименно заряженные тела притягиваются.

Демонстрация 2.2.

Проблема. Как будут взаимодействовать наэлектризованные эбонитовая и стеклянная палочки (рис.5).

Ответ. Палочки будут поворачиваться вокруг осей, и их концы будут приближаться друг к другу, так как разноименные заряженные тела притягиваются.

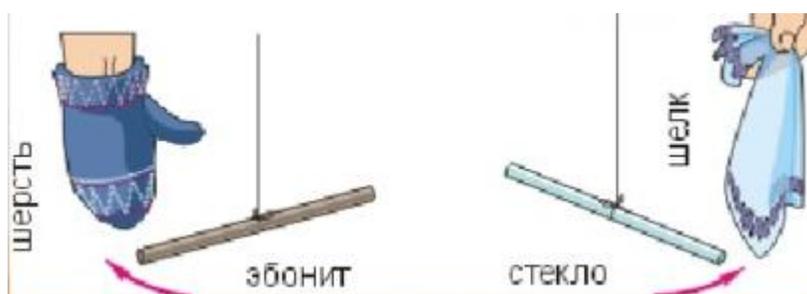


Рис. 5.

Демонстрация 3. Электрофор.

Алессандро Вольта родился в Комо в 1745 г. Он происходил из почтенной итальянской семьи и готовился в священники. Но изучение физики, к которому он отнесся с особым рвением, привлекало его гораздо больше. В 1774 г. он стал профессором физики в родном городе, а через год выступил со своим первым интересным электрическим прибором – электрофором.

Электрофор Вольта состоит из 2 частей смолы, 2 частей скипидара и 1 части воска, вылитого в металлическое блюдо (рис. 1). Смола должна иметь гладкую и блестящую поверхность. Кроме того, электрофор имеет металлическую крышку, которая несколько меньше, чем смоляной круг, и поддерживается на шелковых нитях.

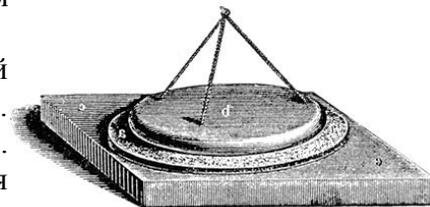


Рис. 1.

Мы используем несколько другой электрофор.

Демонстрация 3.1. Возьмем лист темной пластмассы или полиуретана, положим его на горизонтальную поверхность и наэлектризуем мехом. Лист пластмассы зарядится отрицательно (рис. 2).



Рис. 2.

Проблема. Почему?

Ответ. Темная пластмасса или полиуретан электризуются аналогичным зарядом как и эбонитовая палочка, т.е отрицательно.

Демонстрация 3.2.

Будем подносить к наэлектризованному листу пластмассы металлический диск с изолирующей ручкой. На нем наведутся электрические заряды, Снизу положительные, сверху отрицательные (рис. 3).

Проблема. Почему?

Ответ. В металлическом диске есть свободные электроны. При приближении его к заряженному листу пластмассы свободные электроны будут отталкиваться от отрицательного заряда листа пластмассы. Следовательно, на верхней части диска появится отрицательный заряд, а на нижней положительный.

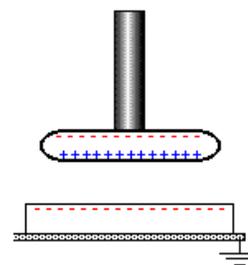


Рис. 3.

Демонстрация 3.3

Положим диск на наэлектризованный пластмассовый лист и заземлим верхнюю часть металлического диска (рис. 4).

Проблема. Что произойдет?

Ответ. Электроны с верхней части металлического диска уйдут в Землю. Верхняя часть диска будет не заряжена, а нижняя заряжена положительно.

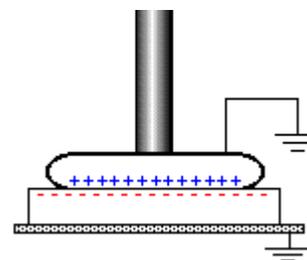


Рис. 4.

Демонстрация 3.4.

Поднимем за ручку металлический диск вверх. Оставшиеся электроны равномерно перераспределятся по диску и весь диск будет заряжен положительно (рис. 5).

Проблема. Как доказать, что диск заряжен?

Ответ. Для этого достаточно дотронуться диском до электроскопа. Листочки электроскопа разойдутся, значит, диск был заряжен.

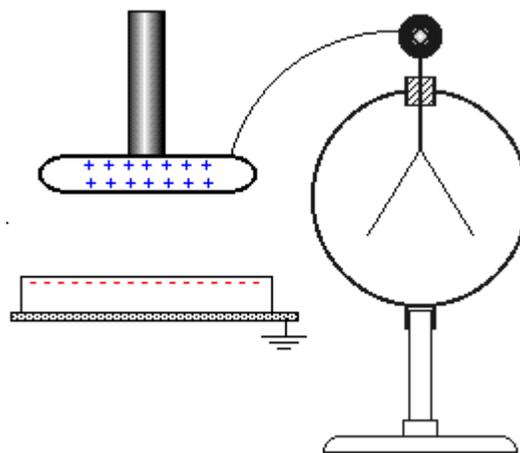


Рис. 5.

Чтобы определить знак заряда, надо коснуться шарика электроскопа наэлектризованной палочкой. Если коснуться эбонитовой палочкой, то листочки опадут, а если стеклянной палочкой, то еще больше разойдутся. Такую операцию можно проводить много раз. Таким образом мы создали неисчерпаемый источник электроэнергии.

Опыт 1. Металлические проводники в электрическом поле.

1. Рассмотрим, как будут вести себя металлические предметы в электрическом поле, создаваемом заряженными палочками.

Опыт 1.1. Поднесем положительно заряженную палочку к металлической фольге, не касаясь ее. Фольга будет притягиваться к палочке.

Проблема. Почему?

Ответ. Фольга притягивается к палочке потому, что электрическое поле, создаваемое положительным зарядом стеклянной палочки, будет действовать на свободные электроны, имеющиеся в металлической фольге, которые будут двигаться в сторону положительно заряженной палочки.

Поэтому верхняя часть фольги зарядится отрицательно.

зарядится отрицательно. В нижней части кусочка фольги останутся не скомпенсированные положительные ионы металла, из которого сделана фольга, поэтому нижняя часть фольги будет заряжена положительно. Отрицательный заряд фольги будет находиться ближе к палочке, поэтому листочек фольги будет притягиваться к палочке (рис. 1).

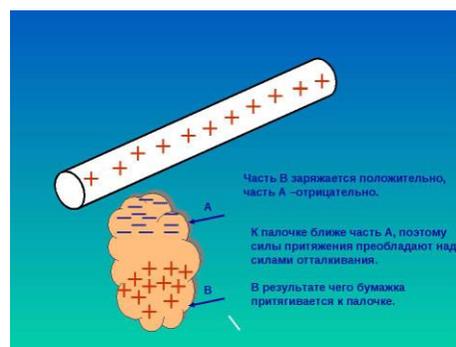


Рис. 1.

Опыт 1.2. На изолированном штативе на шелковой нити висит металлический шарик (рис. 2). К шарiku подносят эбонитовую отрицательно заряженную палочку. Шарик притягивается к палочке (рис. 3).

Проблема. Почему?

Ответ. Электрическое поле отрицательно заряженной эбонитовой палочки будет отталкивать свободные электроны, находящиеся в металлическом шарике, влево, поэтому там будет отрицательный заряд. На правой стороне шарика будут находиться не скомпенсированные положительные ионы металла, из которого изготовлен шарик, поэтому правая сторона шарика будет заряжена положительно. Так как положительный заряд шарика находится ближе к палочке, шарик притягивается к палочке (рис. 3).

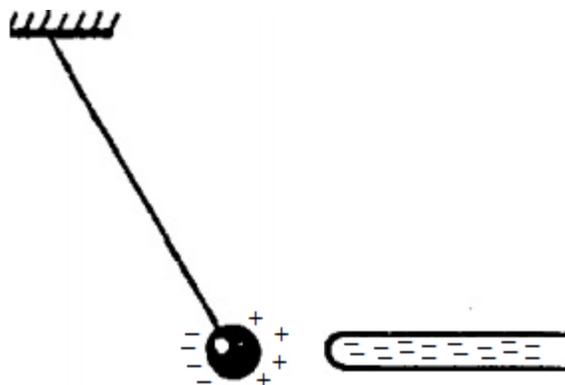


Рис. 3.

Опыт 2. Электризация шаров через влияние.

На столе стоят два незаряженных металлических шара (рис. 1). В шариках количество положительных ионов и свободных электронов совпадает, поэтому они не заряжены

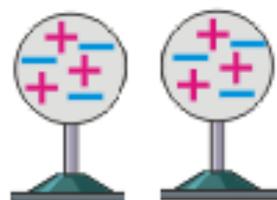


Рис. 1.

Проблема. Как зарядить шарики разноименными электрическими зарядами с помощью заряженной палочки (положительной или отрицательной), не касаясь палочкой металлических шариков?

Ответ.

а) Приведем шарики в соприкосновение (рис. 2). Ничего не произойдет. Количество положительных ионов и свободных электронов в шариках не изменится

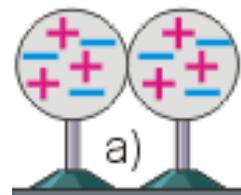


Рис. 2.

б) Поднесем к шарикам, не касаясь их, положительно заряженную палочку. Электроны в шариках начнут двигаться в сторону положительно заряженной палочки и соберутся, в основном, в левом шарике (рис. 3). Следовательно, левый шарик будет заряжен отрицательно. В правом шарике будет недостаток электронов, поэтому он будет заряжен положительно.

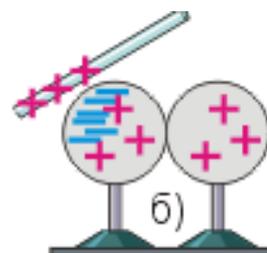


Рис. 3.

в) Не убирая палочки, отодвинем правый шарик вправо (рис. 4).

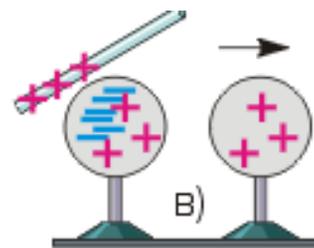
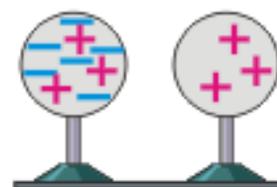


Рис. 4.

г) Убираем заряженную палочку. Шарики будут заряжены разноименно. Левый шарик будет заряжен отрицательно, так как в нем будет избыток электронов, а правый положительно, так как в нем будет недостаток электронов (рис.5).



Р
Рис. 5.

Таким образом можно производить зарядку шариков бесконечное количество раз и получить при их соединении (+ с +, - с -) очень большие электрические заряды.

Проверить, какими зарядами зарядились шары можно с помощью заряженной гильзы, подвешенной на ниточке.

Опыт 3. Получение заряда на электрометре через влияние.

1. Рассмотрим электризацию электрометра через влияние. Электрометр состоит из металлического цилиндрического корпуса с боковыми стеклянными стеклами. Внутри электрометра через изолятор вставляется металлический стержень с легкой подвижной металлической стрелкой. На верхнюю часть стержня надевается полый металлический шар (рис. 1).

Если поднести к незаряженному электрометру положительно заряженную палочку, то шарик зарядится отрицательно, а стержень и стрелка – положительно.

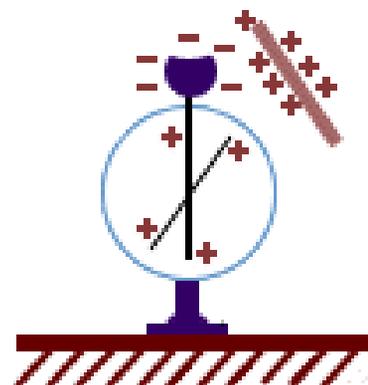


Рис. 1.

Проблема. Почему?

Ответ. На незаряженном шарике электрометра находятся свободные электроны. Когда мы подносим положительно заряженную стеклянную палочку к шарика, электроны в шарике, стержне и металлической стрелке будут притягиваться к положительно заряженной палочке. Следовательно, шарик зарядится отрицательно, так как в нем будет избыток электронов, а так как часть электронов ушла со стрелки и стержня, то они зарядятся положительно. Это тоже называется электризацией через влияние.

2. Зарядим электрометр положительно с помощью отрицательно заряженной палочки, не касаясь его электрометра.

Проблема. Как это сделать?

Ответ.

а) Поднесем к электрометру, не касаясь его, отрицательно заряженную палочку. Вследствие электризации через влияние шарик зарядится положительно, а стрелка и стержень отрицательно, так как свободные электроны с шарика уйдут в стержень и стрелку (рис. 2).

б) Не убирая палочки, дотронемся рукой до шарика электрометра, при этом часть отрицательного заряда с шара, стрелки и стержня электрометра через тело человека уйдет в землю. Стрелка и стержень будут не заряжены, и стрелка электрометра упадет (рис.3).

в) Убрав палец, а затем и палочку, мы оставляем на электрометре только положительный заряд, который распределяется между шариком, стержнем и стрелкой электрометра (рис. 4,5). Стрелка оттолкнется от одноименно заряженного стержня. Таким образом, электрометр будет заряжен положительно.



Рис. 2.

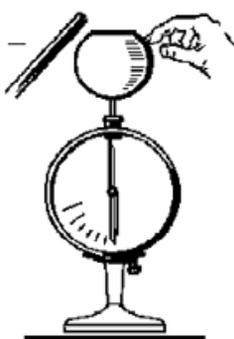


Рис. 3.

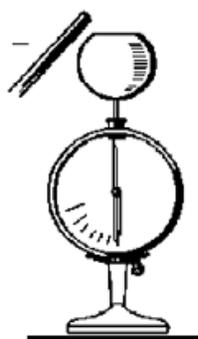


Рис. 4.



Рис. 5.

Исследование явления электризации через влияние можно провести с помощью цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 4. Электрофорная машина.

На рис. 1 изображен источник электрического тока, который называется электрофорной машиной. В ней механическая энергия превращается в электрическую.

1. Устройство электрофорной машины (рис. 1). Основой машины являются 2 стеклянных диска, на которых по периметру наклеены продолговатые полоски из алюминиевой фольги (1,2). Диски насажены на общую ось и с помощью ременной передачи вращаются в разные стороны при вращении рукоятки 7. К дискам прикасаются заземленные металлические щетки 6, 6. В результате трения скольжения щеток по дискам диски электризуются, и заряд с них вследствие электризации через влияние передается на лейденские банки (конденсаторы) 3, 4, к которым прикреплены стержни с шариками на концах 5, 5, называемых кондукторами.

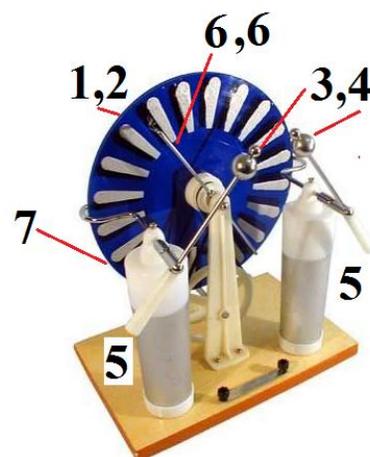


Рис. 1.

2. Принцип действия электрофорной машины.

При вращении ручки диски электрофорной машины вращаются в разные стороны. На обкладке одного диска в результате электризации трением возникает положительный заряд. Он притянет к себе на противоположном диске отрицательный заряд. Положительный заряд уйдет через проводник со щетками, который касается противоположной обкладки, в одну лейденскую банку, а отрицательный – в другую. С лейденских банок заряды переходят на кондукторы.

На обоих кондукторах заряды в какой-то момент становятся настолько большими, что в воздушном пространстве возникает пробой и проскакивает электрическая искра (рис. 2). При нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) и влажности воздуха (60%) 1 мм воздуха пробивается напряжением 1000 В.

В данном опыте расстояние между кондукторами равно 70 мм. Таким образом, между кондукторами возникло напряжение в 70 000 В! (рис. 2).

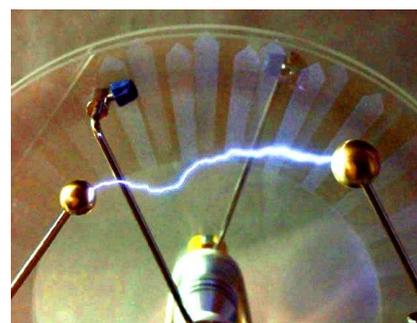


Рис. 2.

С помощью электрофорной машины можно поставить ряд эффектных опытов.

Опыт 4.1. На изолирующую площадку поставим человека с длинными чистыми волосами, дать ему в руку провод от одного из кондукторов, а второму экспериментатору взять в руки другой провод (он через обувь соединен с Землей) и вращать ручку электрофорной машины. У человека с длинными чистыми волосами волосы разойдутся в разные стороны.



Рис. 3.

Опыт 4.2. На стол с ножками из изолятора поставим цветок в горшке (в качестве стола может служить доска, положенная на четыре граненых стакана). Соединим проволокой один полюс электрофорной машины с цветком и приведем ее в действие. Цветок заряжается.

Проблема. Что произойдет, если поднести к нему неоновую лампочку?

Ответ. Лампочка вспыхнет. Если ее держать в соприкосновении с цветком, то лампочка горит непрерывно (рис. 4.), так как цветок является проводником электрического тока и лампочка будет находиться в сильном электрическом поле.

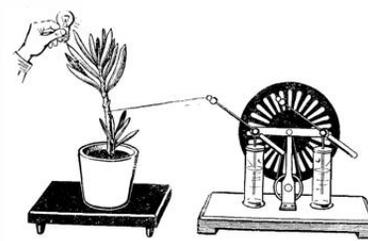


Рис. 4.

Опыт 5. Опыты с султанами. Молниеотвод.

1. Электрический султан.



Это прибор, состоящий из узких полосок тонкой бумаги, прикрепленных к держателю на металлическом изолированном штативе (рис. 1).

Проблема. Если султан соединить с одним из кондукторов электрофорной машины и покрутить ее ручку, то электрический султан зарядится и листочки султана разойдутся.

Почему?

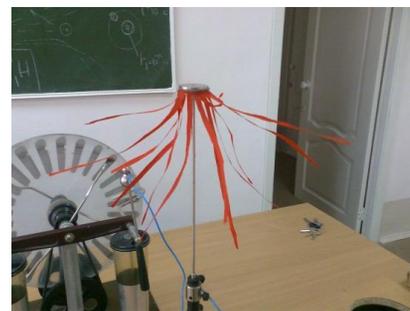
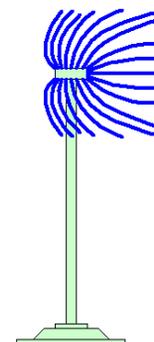
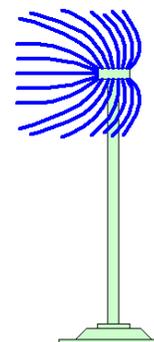
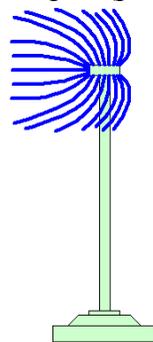
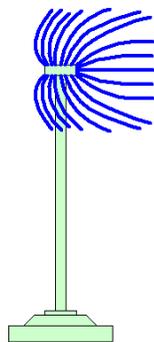


Рис. 1.

Рис. 2.

Ответ. Они разойдутся, так как будут иметь одноименный заряд (рис. 2).

Проблема. Почему, если султаны подсоединить к обоим кондукторам электрофорной машины, то листочки султанов будут притягиваться друг другу (рис. 3).



Ответ. Они будут притягиваться, так как разноименные заряды притягиваются друг к другу.

Проблема. Почему, если султаны подсоединить к одному кондуктору электрофорной машины, то листочки султанов разойдутся и будут отталкиваться друг от друга (рис. 4).

Рис. 3.

Рис. 4.

Ответ. Они будут отталкиваться, так как одноименные заряды отталкиваются друг от друга.

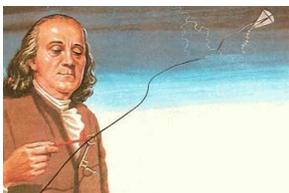
2. Молния. Молниеотвод.

При движении облаков в воздухе они трутся о воздух и электризуются. Электрический заряд накапливается в них настолько большой, что может произойти электрический разряд между облаком и Землей или между облаками. Этот разряд называется молнией. Молния очень опасна для людей, животных и зданий (рис. 5). Если она попадет в дом, то дом может загореться. От разряда молнии погиб русский ученый соратник М.В. Ломоносова Г. Рихман.



Рис. 5.

Для защиты от молний американский изобретатель Франклин изобрел молниеотвод. Он проводил опыты во время грозы, запуская воздушного змея на тонкой проволоке. При поднесении к



проволоке металлического ключа между ключом и проволокой проскакивала искра (рис. 6).

Таким образом, он изобрел молниеотвод (рис. 7).

На дом ставился вертикальный

металлический стержень,

который соединялся проводом с Землей. При попадании молнии в стержень электрический заряд по нему уходил в Землю. Конус, проведенный вокруг дома, показывает площадь, защищенную молниеотводом от грозового разряда.



Рис. 7.

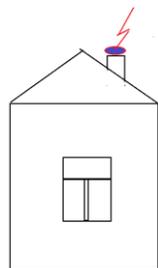


Рис. 8.

Опыт. В трубу бумажной модели домика положим кусочек ваты, смоченной в спирте. Поднесем к трубе дома провод от высоковольтного прибора «Разряд».

Проблема. Что произойдет, если между проводом и трубой проскочит искра (рис. 8)?

Ответ. Модель дома загорится.

Опыт 6. Получение спектров электрических полей.

1. Электрическое поле по предложению Майкла Фарадея решили изображать с помощью линий напряженности электрического поля или просто силовых линий (рис. 1). Они, по предложению Фарадея, должны выходить из положительно заряженного тела и уходить в бесконечность или входить в отрицательно заряженные тела. Если тело заряжено отрицательно, то силовые линии входят в отрицательный заряд из бесконечности или из положительно заряженного тела.

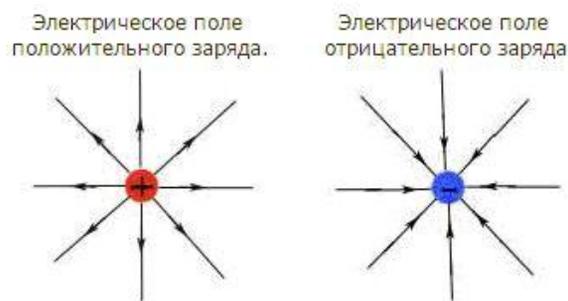


Рис. 1.

2. Если рядом находятся два заряженных тела, то в зависимости от знаков зарядов силовые линии будут располагаться так, как показано на рис. 2.

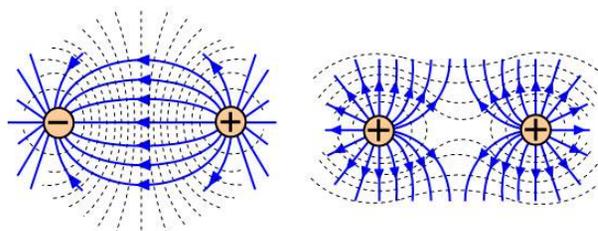


Рис. 2.

3. Для наблюдения электрических полей создан прибор (рис. 3), который позволяет провести опыты по получению спектров электрических полей.

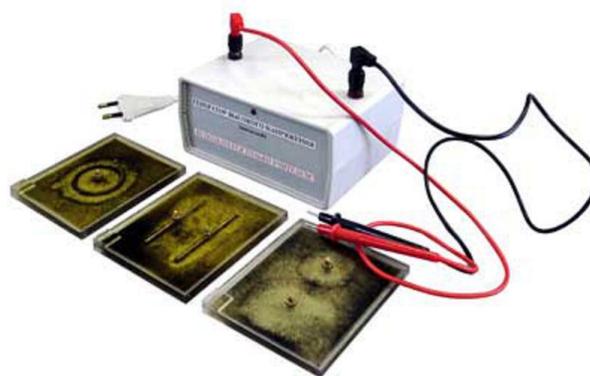


Рис. 3.

4. Опыт.

Нальем в стеклянный (пластмассовый) сосуд дистиллированную воду или глицерина, насыпем на ее поверхность ликоподия (детской присыпки), вставим в него два электрода и подключим их к прибору «Разряд» (рис. 4).

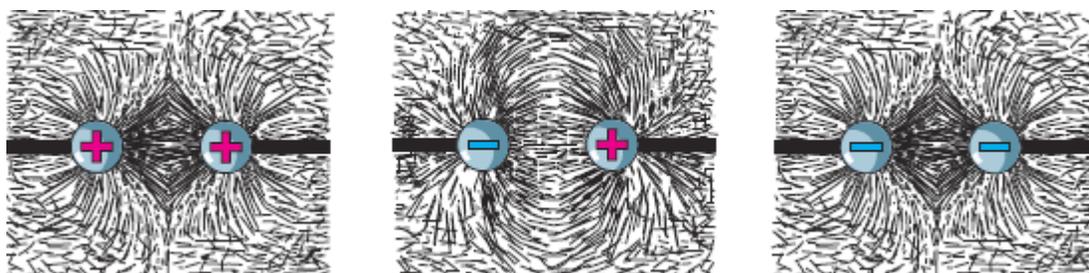


Рис. 4.

Проблема. Почему получаются такие картины электрического поля?

Ответ. Потому что частички ликоподия зарядятся одноименными или разноименными электрическими зарядами и будут притягиваться или отталкиваться вдоль силовых линий электрического поля.

Опыт 7. Трансформатор Тесла.

1. Трансформатор Тесла состоит из двух катушек – первичной и вторичной, а также схемы, состоящей из разрядника, конденсатора, тороида, зарядного конденсатора и высоковольтного источника питания (рис. 1,2).

Первичная катушка может достигать 60 витков провода большого диаметра или медной трубки, а вторичная из многих витков меньшего диаметра.

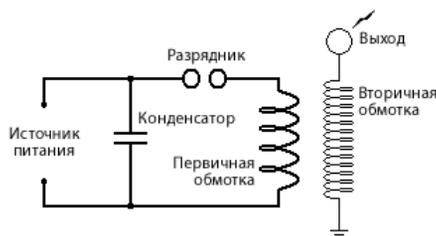


Рис. 1.

Первичная катушка вместе с конденсатором образует колебательный контур, в который включён разрядник (искровой промежуток). Разрядник в простейшем случае выполнен из массивных электродов. При проскакивании в разряднике искры в колебательном контуре, состоящем из конденсатора и первичной обмотки, возникают высокочастотные колебания. Вследствие электромагнитной индукции в выходном колебательном контуре также возникают высокочастотные колебания, так как вторичная катушка также образует колебательный контур, где роль конденсатора выполняет ёмкостная связь между тороидом, оконечным устройством, витками самой катушки и другими электропроводящими элементами контура с Землей.

2. При подключении катушки Тесла из тороида будет выходить сноп искр, примерно так, как показано на рис. 3.

С помощью катушки Тесла можно показать много опытов по электростатике – например, с алюминиевыми гильзами, султанами, шарами, электроскопами, и проводить учебно-исследовательские работы.

Проблема. Почему из тороида катушки Тесла будут выходить искры?

Ответ. 1 мм воздуха пробивается напряжением 1000 В, а на тороиде напряжение 500 000 В, поэтому воздух пробивается таким напряжением.

3. По схеме трансформатора Тесла созданы светящиеся газоразрядные лампы (рис. 4).

Схема лампы, как видно из рис. 5, практически полностью повторяет схему трансформатора Тесла.

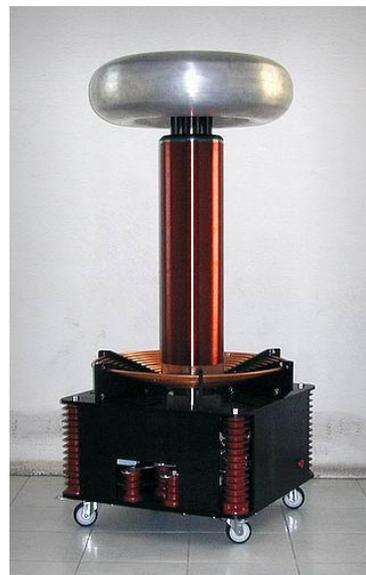


Рис. 2



Рис. 3.



Рис.4.

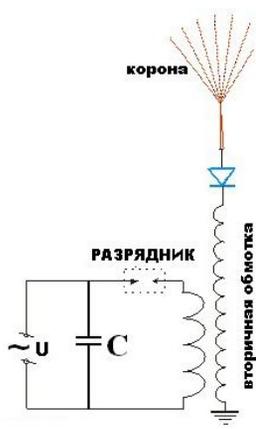


Рис. 5.

Электрическая схема светящейся газоразрядной лампы.

Опыт 8. Электрический маятник на основе прибора «Разряд».

1. Возьмем плоский демонстрационный конденсатор. В промежуток между обкладками поместим легкий металлический шарик на нити. Подключим обкладки конденсатора к высоковольтному источнику тока «Разряд» и установим на нем напряжение 5 кВ. Шарик начнет совершать колебательное движение (рис. 1).

Проблема.

Почему шарик начнет совершать колебательное движение?

Ответ.

Вначале, когда включается источник тока, на металлическом шарике вследствие электризации через влияние будут смещаться электроны в сторону положительно заряженной пластины. Поэтому эта часть шарика и пластина будут заряжены разноименно и он будет двигаться в сторону положительно заряженной пластины.

При столкновении с положительно заряженной пластиной отрицательный заряд с шарика перейдет на положительно заряженную пластину. На шарике возникнет недостаток электронов, следовательно, он будет заряжен положительно. Он оттолкнется от одноименно заряженной положительной пластины и будет двигаться к отрицательно заряженной пластине.

При столкновении с отрицательно заряженной пластиной на шарик с отрицательно заряженной пластины перейдет отрицательный заряд. На шарике возникнет избыток электронов, следовательно, он будет заряжен отрицательно. Он оттолкнется от одноименно заряженной отрицательной пластины и будет двигаться к положительно заряженной пластине. Затем этот процесс будет повторяться. Маятник будет совершать вынужденные колебания.

2. Аналогичное явление будет наблюдаться, если шарик поместить между кондукторами работающей электрофорной машины (рис. 2).

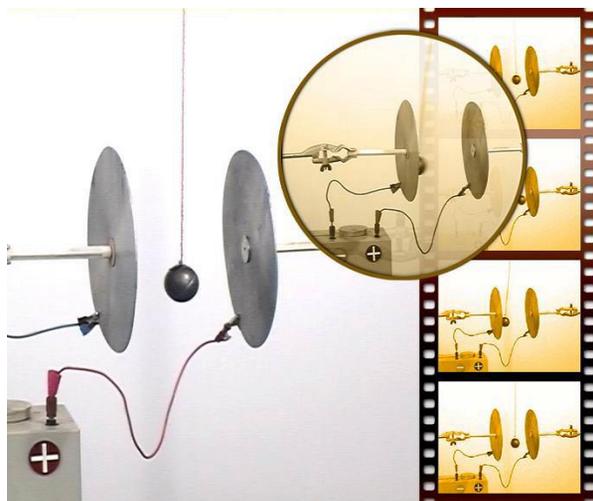


Рис. 1.

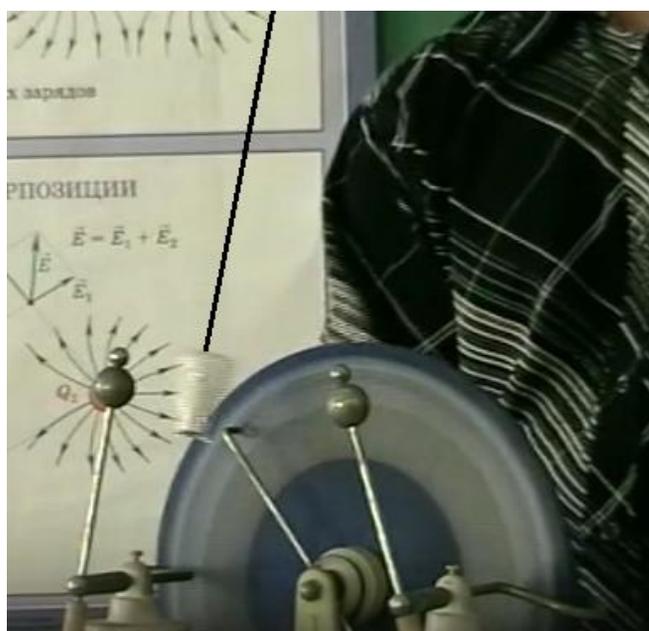


Рис. 2.

Опыт 9. Опыты с генератором Ван де Графа.

1. **Генератор Ван де Граафа** – генератор высокого напряжения, принцип действия которого основан на электризации трением движущейся диэлектрической ленты. Первый генератор был разработан американским физиком Робертом Ван де Граафом в 1929 году и позволял получать разность потенциалов до 80 киловольт. В 1931 и 1933 годах им же были построены более мощные генераторы, позволившие достичь напряжения в 1 миллион и 7 миллионов вольт соответственно.

Генератор Ван де Граафа (рис. 1) состоит из диэлектрической (шёлковой или резиновой) ленты (4), вращающейся на роликах 3 и 6, причём верхний ролик диэлектрический, а нижний металлический и соединён с землёй. Один из концов ленты заключён в металлическую сферу 1. Два электрода 2 и 5 в форме щёток находятся на небольшом расстоянии от ленты сверху и снизу, причём электрод 2 соединён с внутренней поверхностью сферы 1. Через щётку 5 воздух ионизируется от источника высокого напряжения 7, образуя положительные ионы под действием силы Кулона движутся к ролику 6 и оседают на ленте. Движущаяся лента переносит заряд внутрь сферы 1, где он снимается щёткой 2 и поступает на поверхность сферы. Таким образом, на внешней поверхности сферы накапливается электрический заряд. Возможность получения высокого напряжения ограничена коронным разрядом, возникающим при ионизации воздуха вокруг сферы.

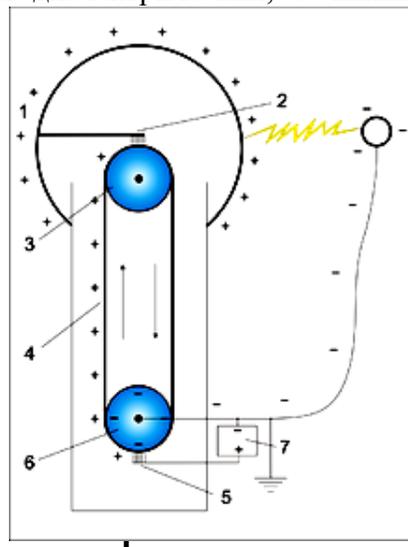


Рис. 1.

2. На рис. 2 изображен один из вариантов школьного генератора Ван де Графа.

3. Опыты с генератором Ван де Граафа.

а) Получение электрической искры (рис. 3).

б) Волосы расходятся, как лепестки султанов (рис. 4).

Проблема. Почему у человека, стоящего на изолированной подставке, если он дотронется до шара генератора Ван де Граафа (рис. 4),



Рис. 3.

расходятся волосы в разные стороны?

Ответ. Волосы у человека расходятся потому, что они заряжаются через тело человека одноименными зарядами. А одноименно заряженные тела отталкиваются друг от друга.



Рис. 2.



Рис. 4.

Опыт 10. Клетка Фарадея.

1. Клетка Фарадея – устройство, изобретённое английским физиком Майклом Фарадеем в 1836 году для экранирования аппаратуры от внешних электрических полей, представляет собой клетку, выполненную из хорошо токопроводящего материала.

Если взять металлическую клетку и поместить ее в электрическое поле, то напряженность электрического поля в клетке будет равна 0.

Проблема. Почему?

Ответ.

Если проводник, в котором есть свободные электроны (рис. 1), поместить в электрическое поле E_0 , то под действием электрического поля свободные электроны будут перемещаться против силовых линий электрического поля (влево) и скапливаться на левом конце проводника (рис. 2), поэтому левый конец проводника зарядится отрицательно.

На правом конце проводника возникнет недостаток электронов, и он будет иметь положительный заряд. Заряды на концах проводника создадут свое электрическое поле E' . В результате по принципу суперпозиции результирующее поле внутри проводника будет равно нулю (рис. 2).

То же самое будет, если внутри проводника будет полость (рис. 3).

В полости проводника, помещенного в электрическое поле, напряженность электрического поля будет равна 0.

2. Поместим в клетку Фарадея, сделанную из металлической сетки, электрометр и соединим клетку с электрофорной машиной так, как показано на рисунке 4. При вращении ручки электрофорной машины клетка окажется в очень сильном электрическом поле, но стрелка

электрометра

будет неподвижной,

это свидетельствует о том, что электрическое поле внутри клетки отсутствует.

Ниже показаны примеры применения клетки Фарадея.

- Девушка в клетке Фарадея.
- Сетка Кольбе.
- Мобильный телефон в клетке Фарадея.

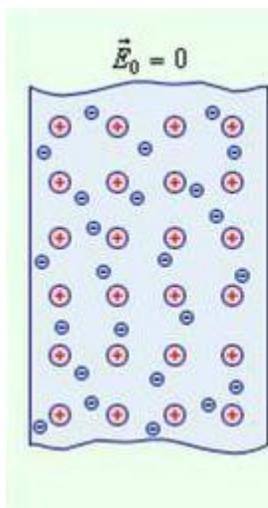


Рис. 1.

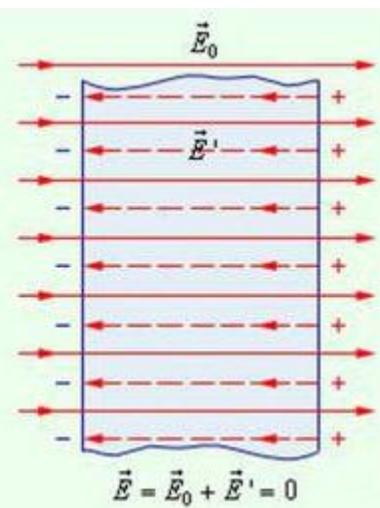


Рис. 2.

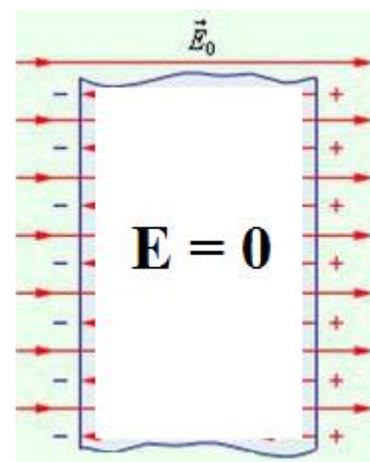


Рис. 3.

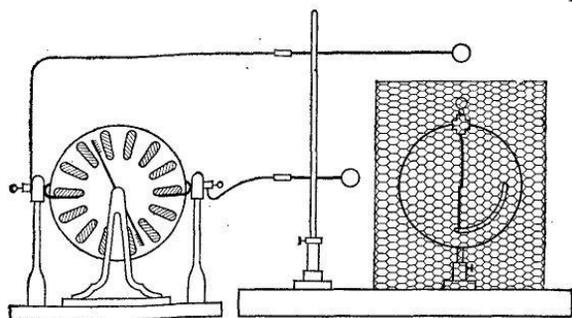
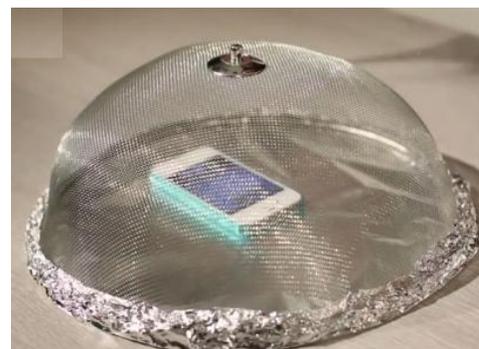
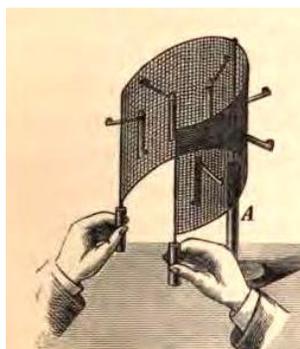


Рис. 4.



Опыт 11. Опыты с лейденской банкой.

Лейденская банка – первый электрический конденсатор, изобретённый голландским учёным Питером ван Мушенбруком и его учеником Кюнеусом в 1745 в Лейдене.

Лейденская банка имеет форму цилиндра, обычно стеклянного (рис. 1). Банка оклеена внутри и снаружи металлической листовой фольгой до 2/3 её высоты и прикрыта деревянной крышкой. Сквозь крышку в банку был воткнут металлический стержень. Лейденская банка позволяла накапливать и хранить сравнительно большие заряды, порядка микрокулона.

Благодаря Лейденской банке удалось впервые искусственным путём получить электрическую искру.

В современном мире лейденская банка применяется только для демонстраций, как компонент электрофорной машины (рис. 2), в электротехнике она вытеснена куда более удобными и ёмкими высоковольтными конденсаторами закрытого типа.



Рис. 1.

2. Лейденская банка является первым конденсатором, созданным учеными.

Получение искры с помощью лейденской банки (рис. 3). Возьмем лейденскую банку и присоединим центральный стержень лейденской банки к одному из кондукторов электрофорной машины.

Корпус лейденской банки соединим с другим кондуктором электрофорной машины. Приведем диски электрофорной машины во вращение и зарядим лейденскую банку. Осторожно отсоединим провода, соединяющие электрофорную машину и лейденскую банку. Соединим один конец разрядника с корпусом

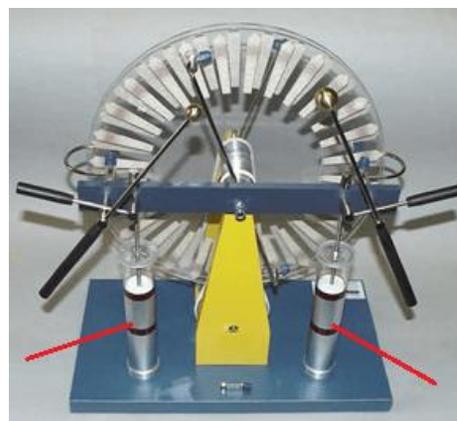


Рис. 2.

лейденской банки, а другой конец разрядника поднесем к центральному стержню лейденской банки. Между разрядником и стержнем проскочит электрическая искра (рис. 2).

Проблема. Почему в данном опыте проскакивает электрическая искра.

Ответ. В данном опыте между контактами лейденской банки проскакивает электрическая искра потому, что она заряжена от электрофорной машины, которая вырабатывает напряжение до 100 000 В, а напряжение пробоя воздуха составляет 1 мм на 1000 В.



Рис. 3.

В настоящее время вместо лейденских банок используют конденсаторы, которые могут накапливать электрический заряд гораздо больший, чем лейденские банки (рис. 4).



Рис. 4.

Опыт 12. Исследование емкости плоского конденсатора.

Исследуем зависимость емкости демонстрационного плоского конденсатора от расстояния между пластинами, площади пластин и диэлектрической проницаемости диэлектрика помещенного между пластинами. Для этого возьмем демонстрационный плоский конденсатор и подсоединим его обкладки к электromетру (рис. 1). Зарядим конденсатор наэлектризованными стеклянной и эбонитовой палочками разноименными зарядами.



Рис. 1.

1. Проблема. Что произойдет с электроемкостью конденсатора, если увеличить расстояние между обкладками?

Ответ. При увеличении расстояния между обкладками заряженного конденсатора $d_1 > d$ напряженность электрического поля не изменится, так как величины зарядов на обкладках конденсатора не изменяются (рис. 2).

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

Согласно формуле электроемкости конденсатора (d стоит в знаменателе) электроемкость конденсатора уменьшается.

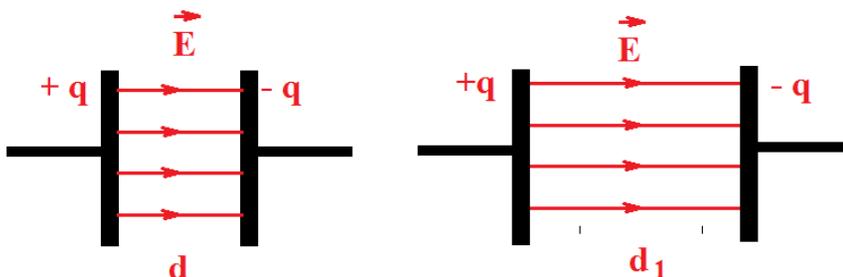


Рис. 2.

2. Проблема. Что произойдет с электроемкостью конденсатора при уменьшении площади пластин?

Ответ. При уменьшении площади пластин между обкладками заряженного конденсатора $S_1 < S$ напряженность электрического поля увеличится, так как заряды на обкладках конденсатора не изменяются, а площадь пластин уменьшается (увеличивается густота линий напряженности) (рис. 3).

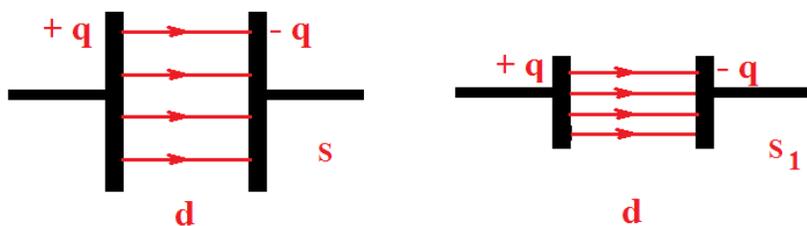


Рис. 3.

Согласно формуле электроемкости конденсатора (S стоит в числителе) электроемкость конденсатора уменьшается, а при увеличении площади пластин – увеличивается.

3. Проблема. Что произойдет с электроемкостью конденсатора, если между пластинами конденсатора вставить диэлектрик?

Ответ. Если между пластинами вставить диэлектрик, то вследствие поляризации диэлектрика электрическое поле внутри конденсатора уменьшится в ϵ раз – у нас $\epsilon = 2$ (рис. 4)

Согласно формуле электроемкости конденсатора (ϵ стоит в числителе) электроемкость конденсатора увеличивается.

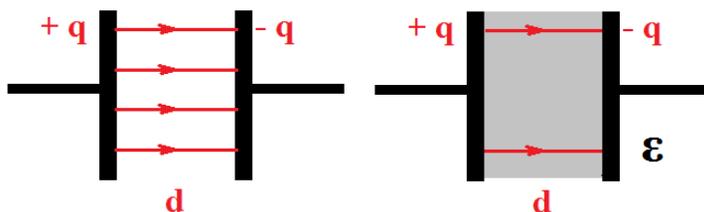


Рис. 4.

Опыт 13. Энергия заряженного конденсатора.

Возьмем конденсатор и зарядим его от источника тока. Замкнем выводы заряженного конденсатора проводником. При замыкании выводов конденсатора между выводами конденсатора проскочит электрическая искра.

Проблема. Почему?

Ответ. Когда конденсатор заряжается, на его обкладках появляются электрические заряды. Для того, чтобы заряды поместить на обкладки конденсатора, необходимо совершить работу. Эта работа идет на создание электрического поля конденсатора. Следовательно, электрическое поле и сам конденсатор будут обладать энергией. Энергия определяется по формуле (рис.

1), где W – энергия конденсатора, C – емкость конденсатора, а U – напряжение на конденсаторе. Поэтому, когда мы замыкаем заряженный конденсатор, он разряжается и выделяется энергия, запасенная конденсатором, в виде электрической искры.

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

Рис. 1.

Опыт 13.1.

Соберем электрическую цепь из источника тока, конденсатора C , ключа K с двумя положениями (1 и 2) и лампочки накаливания. Подключим с помощью ключа K конденсатор к электрической батарее (рис. 1). Конденсатор зарядится. На верхней обкладке конденсатора будет $-$, а на нижней $+$. Это можно проверить вольтметром с большим входным сопротивлением.

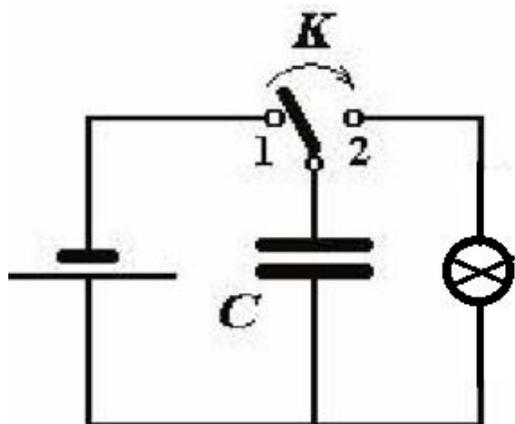


Рис. 1.

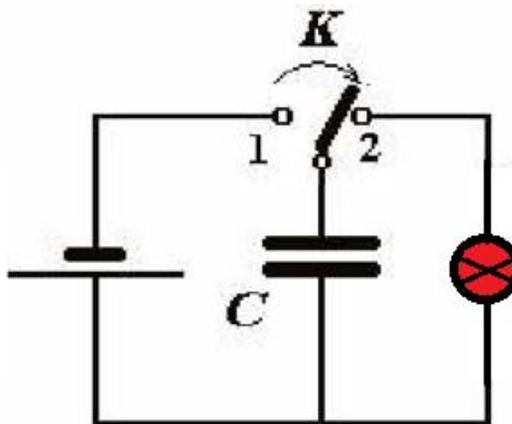
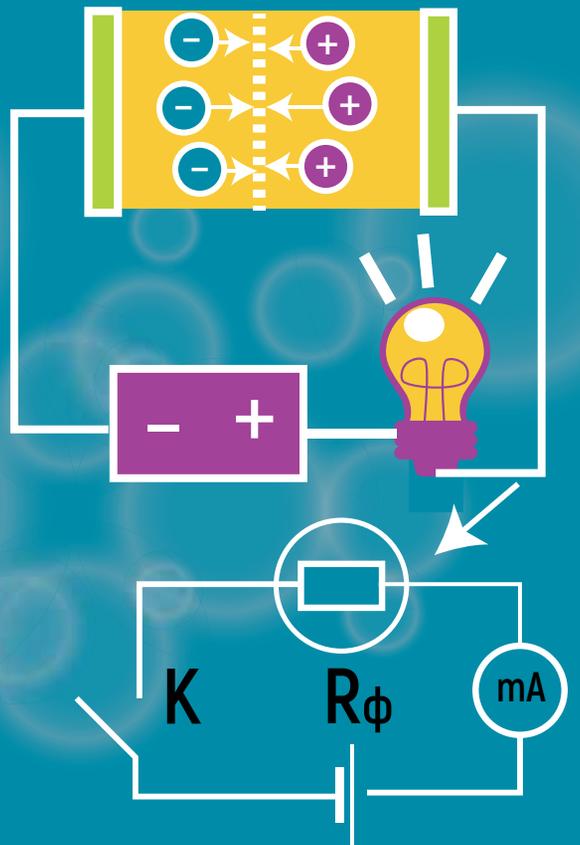
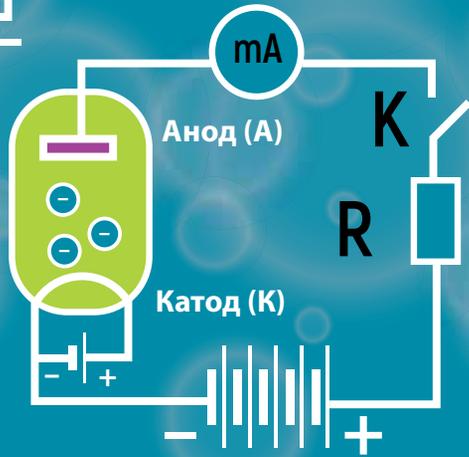
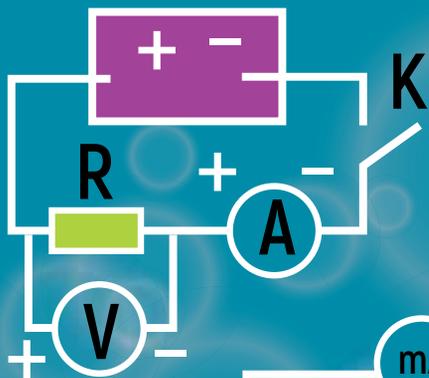


Рис. 2.

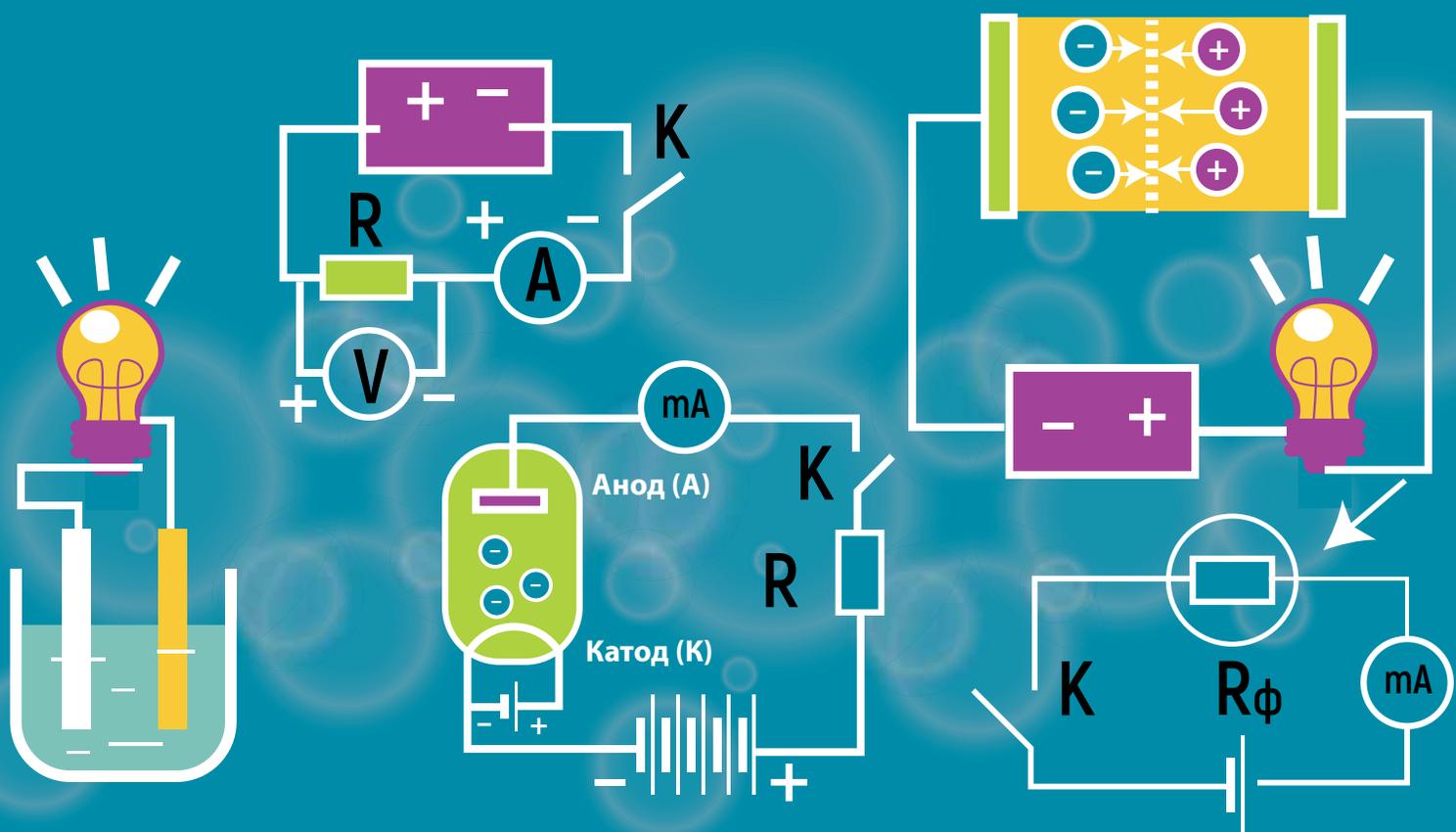
Переключим ключ в положение 2. Конденсатор будет разряжаться на лампочку, и она вспыхнет (рис. 2). Этот опыт доказывает, что у заряженного конденсатора есть энергия, которая идет на горение лампочки.

Опыт 13.2.

Повторим эксперимент несколько раз, изменяя емкость конденсатора и напряжение источника тока (следите, чтобы напряжение источника тока не превышало рабочее напряжение конденсатора).



ПОСТОЯННЫЙ ТОК



Демонстрация 1. Элемент Вольта.

1. В 1799 году итальянский учёный Алессандро Вольта опустил в банку с раствором серной кислоты две пластинки – цинковую и медную и соединил их проволокой. После этого цинковая пластинка начала интенсивно растворяться, а на медной пластинке стали выделяться пузырьки газа. А. Вольта доказал, что по проволоке протекает электрический ток. Так был изобретён «элемент Вольта» – первый гальванический элемент. Извещение об открытии было отправлено Вольта 20 марта 1800 года в письме президенту Лондонского Королевского общества. Император Наполеон пригласил Вольта в Париж, лично присутствовал на демонстрации опыта, осыпал наградами и почестями. Благодаря этим первым элементам постоянного тока вскоре были сделаны выдающиеся открытия.

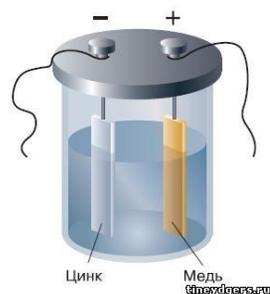


Рис. 1.

2. **Опыт.** Соберем элемент Вольта. Для этого понадобится стеклянный стакан с раствором медного купороса, два электрода – цинковый и медный и держатель электродов. Подключим к элементу Вольта электрическую лампочку. Лампа загорится (рис. 2).

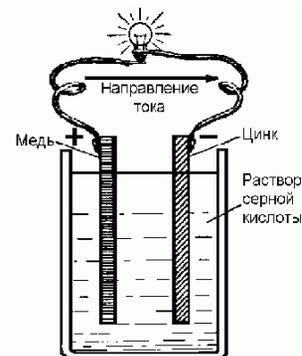


Рис. 2.

Проблема. Почему лампа загорится?

Ответ. В элементе Вольта цинк начнет растворяться в растворе серной кислоты, и в раствор будут уходить положительные ионы цинка.

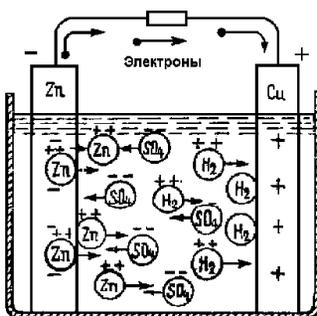


Рис. 3.

Следовательно, раствор кислоты будет заряжаться положительно, а цинковый электрод отрицательно за счет оставшихся не скомпенсированных электронов. Медный электрод практически не реагирует с серной кислотой и поэтому будет иметь такой же заряд, как и электролит, т.е. положительный (рис. 3).

Таким образом, цинковый электрод будет заряжен отрицательно, а медный положительно. Т.е. между электродами появится электрическое напряжение. В нашем опыте вместо раствора серной кислоты

используется более безопасный раствор медного купороса CuSO_4 .

3. Чтобы получить большее напряжение, надо было соединить несколько элементов Вольта последовательно. С этой целью А. Вольта придумал системе элементов Вольта форму вертикального цилиндра (столба), состоящего из соединённых между собой колец цинка, сукна, пропитанного серной кислотой, и меди. Получился прибор, который назвали «Вольтов столб», высотой в полметра. Он создавал напряжение около 50 В, чувствительное для человека (рис. 4).

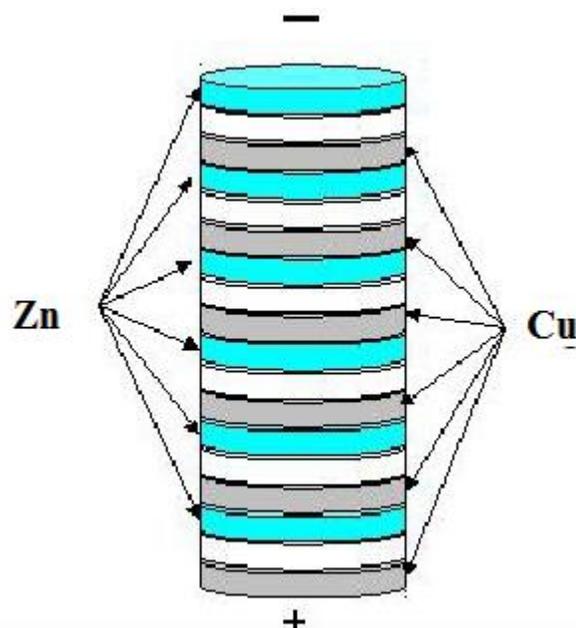


Рис. 4.

В честь А. Вольта единицу электрического напряжения назвали 1 В.

Разность потенциалов на зажимах элемента Вольта можно измерить с большой точностью датчиком напряжения цифровой лаборатории PASCO.

Демонстрация 2. Электричество из воды (из чайника).

1. Возьмем алюминиевый или медный чайник и металлический **оцинкованный** стакан. В чайник нальем соленой воды. Соединим чайник с миллиамперметром, а миллиамперметр со стаканом (рис. 1).

Будем выливать воду из чайника в металлический стакан. Стрелка миллиамперметра отклонится. Это значит, что по цепи пошел электрический ток.

Проблема.

Почему по цепи пошел электрический ток?

Ответ.

Все объясняется очень просто. Стакан сделан из цинка. Чайник сделан из алюминия.

В чайник налили подсолненную воду.

Когда подсолненная вода выливается из чайника, **цинковый стакан – подсолненная вода – алюминиевый чайник** образуют гальванический элемент, аналогичный элементу Вольта.

образуют гальванический элемент, аналогичный элементу Вольта.

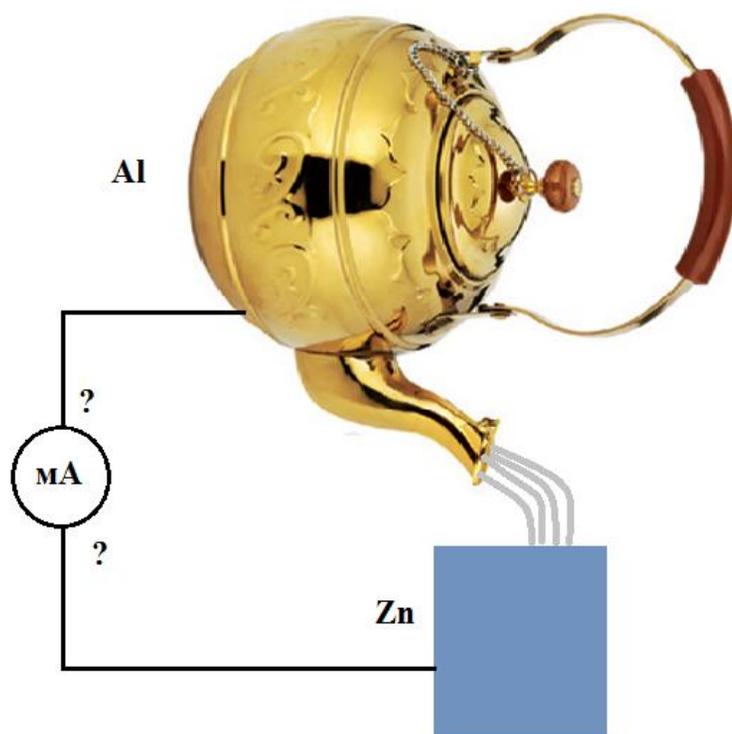


Рис. 1.

Стенки цинкового стакана начинают растворяться в растворе соли. Положительные ионы цинка выходят из стенок стакана в подсолненную воду, вода заряжается отрицательно, а чайник через воду заряжается положительно. Вот и появился оригинальный источник тока. Этот источник тока замкнут на миллиамперметр, и по миллиамперметру потечет электрический ток.

Демонстрация 3. Действия электрического тока (тепловое, световое, магнитное, механическое, химическое)

1. Тепловое действие электрического тока.

Проблема. Почему лампочка нагревается и горит (рис. 1)?

Ответ. Проволочная нить накала в электрической лампочке содержит свободные электроны. При подключении к лампочке источника тока по цепи пойдет электрический ток.

Электроны от минуса источника тока движутся по цепи и, проходя внутри нити накала лампочки, сталкиваются с положительными ионами лампы и передают им часть энергии. В результате скорость колебаний ионов, из которых состоит лампочка, увеличивается, и температура нити накала повышается. Если столкновений будет много, то лампа начнет светиться.

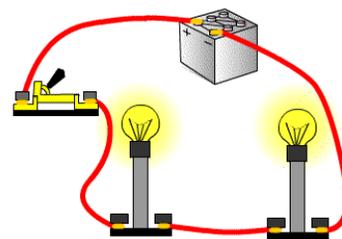


Рис. 1.

2. Световое действие электрического тока.

Проблема. Почему светодиоды светятся (рис. 2)?

Ответ. В полупроводнике в р-п переходе светодиода энергия движущихся электронов переходит в световое излучение.



Рис. 2.

3. Магнитное действие электрического тока.

Проблема. Почему катушка с сердечником, по которой пропускают электрический ток, притягивает железные предметы (рис. 3)?

Ответ. Электрический ток, проходя по катушке, создает магнитное поле, которое усиливается сердечником. Катушка становится электромагнитом, а известно, что все магниты притягивают железные предметы.



Рис. 3.

4. Механическое действие электрического тока.

Проблема. Почему вал электромотора начинает вращаться при подключении к нему источника электрического тока (рис. 4)?

Ответ. По бокам мотора стоят магниты или электромагниты. Они создают магнитное поле. Если в катушку, находящуюся на валу электромотора, подать электрический ток от источника тока, то магнитное поле магнитов электромотора будет действовать на них с силой Ампера и вал мотора начнет поворачиваться.

Непрерывное вращение вала мотора обеспечивает коллектор, который периодически переключает направление тока в катушке, находящейся на валу мотора.



Рис. 4.

5. Химическое действие тока.

Проблема. Если через угольные электроды, находящиеся в растворе медного купороса, пропускать электрический ток, то на одном из электродов будет выделяться чистая медь (рис. 5). Почему?

Ответ. Медный купорос CuSO_4 , помещенный в воду, при растворении будет разлагаться на положительные ионы меди Cu^+ и отрицательные ионы кислотного остатка SO_4^- . При подключении источника тока к электродам положительные ионы Cu^+ будут притягиваться к отрицательному электроду, и медь будет осаждаться на нем. Отрицательные бесцветные ионы SO_4 при движении попадают на положительный электрод и образуют бесцветные пузырьки газа.

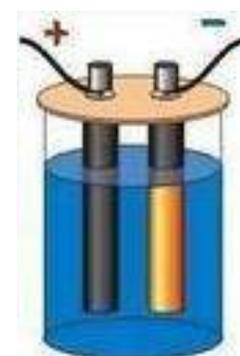


Рис. 5.

Демонстрация 4. Вольтметр.

1. Вольтметр – измерительный прибор для определения напряжения в электрических цепях или ЭДС на зажимах источника тока. Вольтметр **всегда подключается параллельно нагрузке** или источнику электрической энергии. Идеальный вольтметр должен обладать бесконечно большим внутренним сопротивлением. Поэтому чем выше внутреннее сопротивление в реальном вольтметре, тем меньшее влияние оказывает прибор на измеряемое напряжение и, следовательно, тем выше точность измерения напряжения. Вольтметр измеряет напряжение в **Вольтах**.

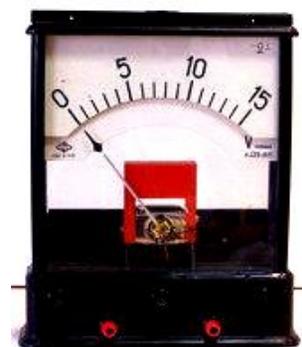


Рис. 1.

2. Устройство измерительной системы вольтметра.

Измерительная система состоит из катушки, намотанной на немагнитный цилиндр, насаженный на ось вращения. В катушку подается электрический ток через возвратные спиральные пружины. Катушка с цилиндром находятся между полюсами постоянного подковообразного магнита. К оси вращения прикреплена стрелка (рис. 2) При прохождении электрического тока по катушке на нее со стороны магнитного поля постоянного магнита действует сила Ампера, под действием которой катушка вместе со стрелкой поворачивается на некоторый угол. Около стрелки ставят шкалу с делениями, по которым судят о величине тока, протекающего через катушку. Такой прибор называют гальванометр.

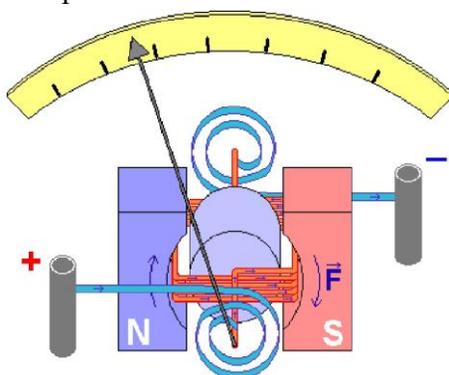


Рис. 2.

3. Вольтметр это прибор, который включает в себя гальванометр и добавочное сопротивление **R_{доб}** (рис. 3). Измеряет напряжение в вольтах (В). Пределы измерений вольтметра изменяют, изменяя величину добавочного сопротивления. Кроме стрелочных вольтметров применяют цифровые вольтметры.

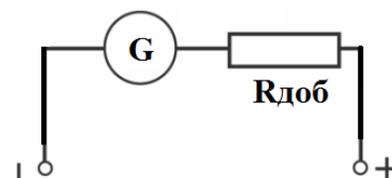


Рис. 3.

Вольтметры всегда подключают параллельно нагрузке.

4. Опыт. Измерение ЭДС батареи (рис. 4).

Проблема. Почему вольтметр измеряет не напряжение на клеммах батареи, а ЭДС?
Ответ. Сопротивление вольтметра очень большое, ток через него практически не потечет и падение напряжения на нем будет равно 0, поэтому он будет показывать ЭДС батареи.

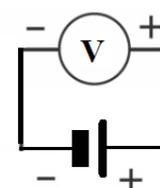


Рис. 4.

5. Опыт. Измерение напряжения на электрической лампочке.

Соберем электрическую цепь согласно схеме (рис. 5). Подключим вольтметр параллельно лампочке. Вольтметр будет показывать напряжение на лампочке.

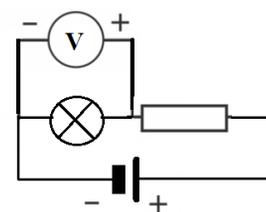


Рис. 5.



Примеры вольтметров

Очень точные значения ЭДС источников тока и напряжения можно измерить датчиком вольтметра цифровой лаборатории PASCO.

Демонстрация 5. Амперметр.

Амперметр это прибор, который измеряет силу тока в цепи.

Амперметр может измерять силу тока в различных единицах силы тока – в мА (миллиамперметр), в А (амперметр), в кА (килоамперметр).

На рисунке 1 представлен демонстрационный амперметр.

Амперметр состоит из чувствительного гальванометра, параллельно которому подключается шунт – сопротивление, величина которого меньше внутреннего сопротивления гальванометра, так как для того, чтобы чувствительность амперметра была наибольшей, величина тока, протекающая через него, должна быть наименьшей. Величина сопротивления шунта зависит от предела измерения амперметра (рис. 2).

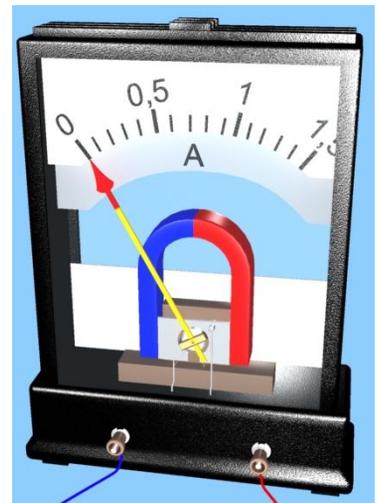


Рис. 1.

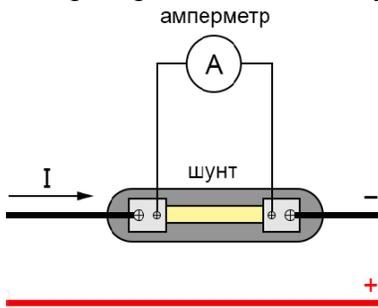


Рис. 2.

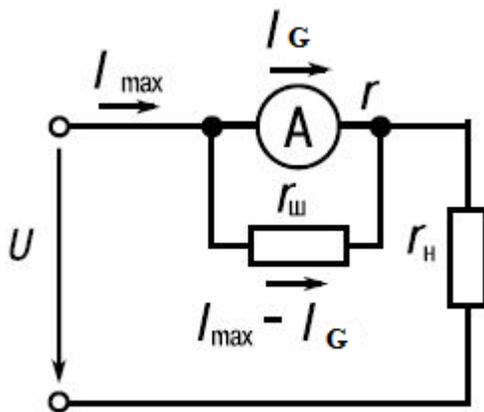


Рис. 3.

Для увеличения чувствительности гальванометра максимальная сила тока, которая, проходит через гальванометр I_G , должна быть очень мала. Поэтому параллельно гальванометру подключается шунт с сопротивлением $r_{ш}$, величина которого намного меньше сопротивления гальванометра r_G ($r_{ш} \ll r_G$) (рис. 3).

Это сделано для того, чтобы большая сила тока шла через шунт, а меньшая через гальванометр ($I_{ш} \gg I_G$).

Амперметр в электрическую цепь включается последовательно с нагрузкой.

Опыт 1. Измерить силу тока, протекающую через электрическую лампу.

Соберем цепь согласно рис. 4. Проверим, соответствует ли предел измерения амперметра предполагаемой силе тока. **Как?** Если не соответствует, то изменим шунт. Замкнем ключ. Амперметр покажет величину тока, протекающую через амперметр, а, следовательно, и через лампочку, так она соединена последовательно с амперметром.

Проблема. Можно ли амперметр включать параллельно нагрузке?

Ответ. Нет, так как амперметр создаст короткое замыкание в цепи, потому что его сопротивление очень мало.

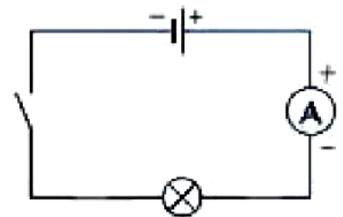


Рис. 4.

Опыт 2. Измерить силу тока в отдельном участке цепи. Соберем цепь согласно рис. 5. Проверим, соответствует ли предел измерения амперметра предполагаемой силе тока. **Как?** Если не соответствует, то изменим шунт. Замкнем ключ.

Проблема. Амперметр покажет величину тока, протекающую через резистор R. Почему?

Ответ. Потому что амперметр и резистор R соединены последовательно, а в последовательно соединенной цепи силы тока одинаковые во всех проводниках.

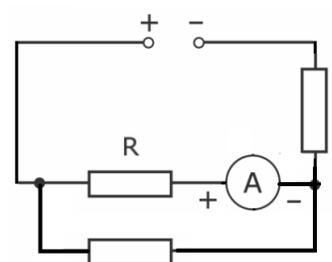


Рис. 5.

Очень точные значения силы тока в электрических цепях можно измерить датчиком силы тока цифровой лаборатории PASCO.

Демонстрация 6. Резисторы.

1. Резистор или **сопротивление** (англ. *resistor*, от лат. *resisto* – сопротивляюсь) – пассивный элемент электрических цепей, обладающий постоянным или переменным значением электрического сопротивления, предназначенный для ограничения величины электрического тока, поглощения электрической энергии и др. Резистор – широко используемый компонент практически всех электрических и радиоэлектронных устройств.

2. Резистор представляет собой проводник с определенным сопротивлением. Сопротивление проводника определяется по формуле $R = \rho l/S$. По такой же формуле рассчитывается и сопротивление резисторов. Сопротивление резисторов измеряется в Ом, кОм и Мом.

Каждый резистор рассчитан на определенную мощность, измеряемую в ваттах (0,125 Вт, 0,25 Вт, 0,5 Вт и т.д.).

Резисторы бывают постоянные, переменные (реостаты, потенциометры).

- **Постоянные резисторы** (рис. 1). Это резисторы, сопротивление которых постоянно.

Обозначения постоянных резисторов на схемах:

1. Обозначения на отечественных схемах.
2. Обозначения на зарубежных схемах.
3. Отечественные резисторы разной мощности.
4. Зарубежные резисторы разной мощности с цветовой маркировкой.

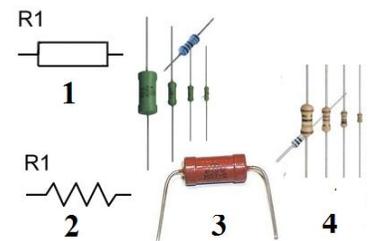


Рис. 1.

- **Реостаты.** Это проволочные резисторы, сопротивление которых можно изменять с помощью перемещения движка.

Реостат состоит из керамического цилиндра, на который намотана проволока с большим удельным сопротивлением. Вверху реостата есть металлический стержень, по которому может перемещаться движок, имеющий контакт со спиралью реостата (рис. 2).

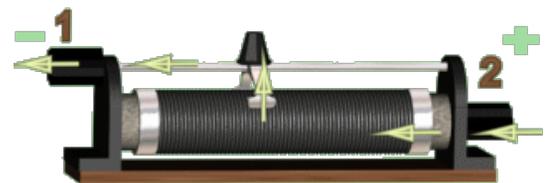


Рис. 2.

В данном случае электрический ток (рис. 2), входя в клемму 2 (см. направление стрелки), идет по правой части реостата, доходит до движка и через него идет по стержню к клемме 1. Смещая движок вправо или влево, можно изменять количество подключенных витков проволоки в правой части реостата, следовательно изменять его сопротивление.

- **Потенциометры.** Это переменные проволочные или угольные резисторы, которые, в отличие от реостатов, имеют три контакта (рис. 3). Устройство потенциометра изображено на рис. 4. При вращении желтого движка с помощью ручки изменяется сопротивление между ножками А и В и ножками В и С. Потенциометры нашли широкое применение в делителях напряжения, регуляторах громкости и тембра звука в усилителях, яркости в телевизорах и т.д.

Проблема. Почему изменяются сопротивления между клеммами А и В, В и С при повороте движка потенциометра?

Ответ. Потому что между ними изменяется длина угольной дорожки, а сопротивление проводника зависит от его длины.

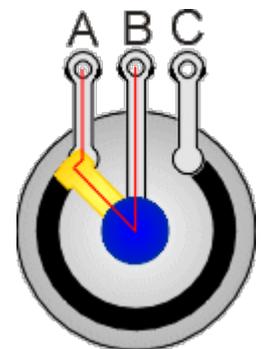


Рис. 4.



Рис. 3.

Демонстрации всех типов резисторов сопровождаются измерением их сопротивления мультиметром.

Демонстрация 7. Ток в полупроводниках.

1. Полупроводники в настоящее время используются практически во всей электронной аппаратуре, начиная с простейших мобильных телефонов до компьютеров и сложных вычислительных комплексов, в военной технике и пр.

2. Полупроводники являются своеобразными проводниками электрического тока. Дело в том, что носителями электрического тока в полупроводниках являются электроны и дырки. Откуда они берутся? Атомы в полупроводниках, например в **Ge** и **Si**, связаны друг с другом ковалентными связями. При абсолютном нуле и в абсолютной темноте электроны находятся в своих ковалентных связях, поэтому свободных носителей тока нет, следовательно, электрический ток в них не потечет.

Если полупроводник нагревать или освещать, то под действием энергии тепла или света ковалентные связи разрушаются и электроны, выходя из ковалентных связей, становятся свободными.

На их месте образуются положительно заряженные дырки (рис. 1). Теперь, если полупроводник подключить к источнику тока, то в нем потечет ток **I**, образованный электронами и дырками.

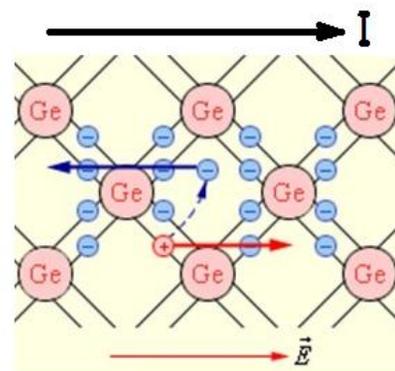


Рис. 1.

Электрический ток в полупроводниках представляет направленное движение электронов и дырок.

Опыт 1. Терморезистор. Это кусочек полупроводника с двумя выводами, покрытый краской для защиты от внешнего света. Соберем схему согласно рис. 2. Миллиамперметр покажет силу тока, протекающую через терморезистор. Если терморезистор нагревать, то показания миллиамперметра увеличатся.

Проблема. Почему?

Ответ. При нагревании полупроводника разрушается больше ковалентных связей, появляются дополнительные носители тока и сопротивление полупроводника уменьшается.

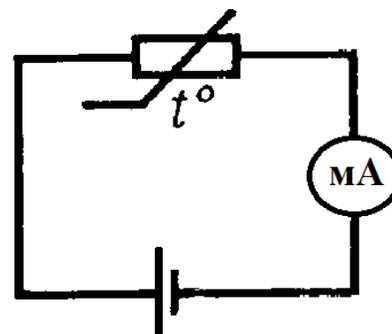


Рис. 2.

Опыт 2. Фоторезистор. Это кусочек полупроводника с двумя выводами, имеющий не покрашенную поверхность, через которую может падать свет на фоторезистор. Соберем схему согласно рис. 3. Миллиамперметр покажет силу тока, протекающую через фоторезистор. Если фоторезистор дополнительно освещать, то показания миллиамперметра увеличатся.

Проблема. Почему?

Ответ. При освещении полупроводника разрушается больше ковалентных связей, появляются дополнительные носители тока и сопротивление полупроводника уменьшается.

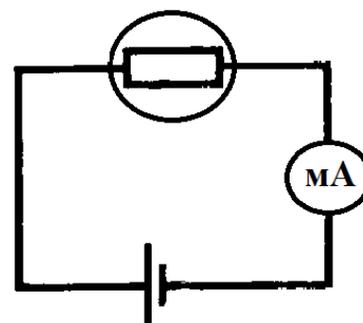


Рис. 3.

Демонстрация 8. Электрический ток в вакууме.

В вакууме нет свободных электрических зарядов, поэтому электрического тока в нем быть не должно. Но в 1883 году американский изобретатель Томас Эдисон решил ввести в изобретенную им лампу накаливания металлический электрод. Собрав схему (рис. 1), он обнаружил электрический ток в вакууме. Причиной возникновения электрического тока стала **термоэлектронная эмиссия** - это явление испускания металлом электронов под действием высокой температуры. Впоследствии на этом принципе изобрели вакуумный диод и другие радиолампы.

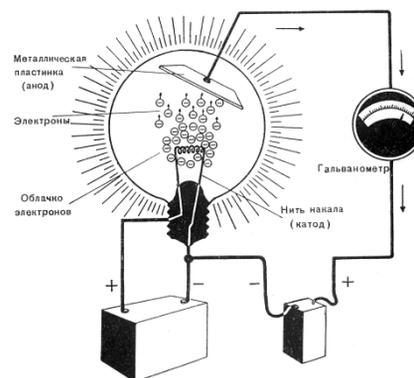


Рис. 1.

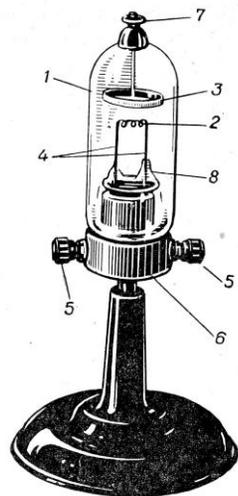


Рис. 2.

Вакуумный диод (рис. 2) состоит из баллона **1**, из которого выкачан воздух, нити накала (катода) **2**, анода **3** с выводом **7**.

К клеммам **5** для разогрева нити накала подключался источник тока на 6,3 В. К спирали нити накала (катода) подключали минус анодного источника питания, а к аноду через гальванометр подключали плюс источника питания.

Нить накала (катод) нагревали, вследствие чего она начинала постоянно испускать электроны (рис. 3). Эти электроны образовывали вокруг катода электронное облако. При подключении к катоду и аноду источника анодного питания электроны двигались от катода к аноду, т.е. возникал электрический ток.

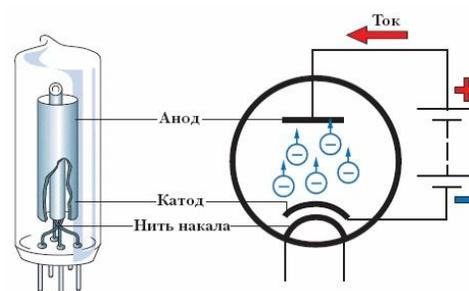


Рис. 3.

Опыт 1. Соберем электрическую цепь, состоящую из вакуумного диода, амперметра и источника питания согласно рисунку 4. Включим источник питания. После разогрева нити накала вакуумного диода замкнем ключ **К**.

Амперметр покажет наличие электрического тока в анодной цепи.

Проблема. Почему по анодной цепи течет электрический ток? Ведь в диоде находится вакуум и носители электрического тока отсутствуют, следовательно, электрического тока там не может быть.

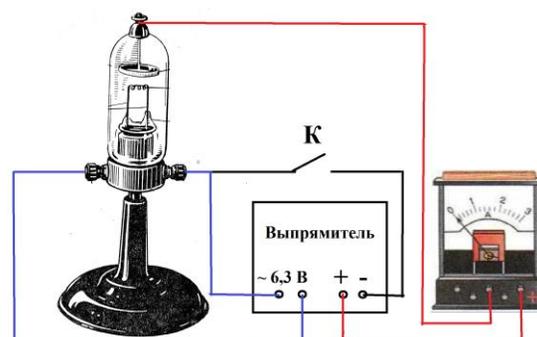


Рис. 4

Ответ. Электрический ток в анодной цепи течет потому, что при нагревании катода из него вылетают свободные электроны (происходит термоэлектронная эмиссия), образуя электронное облако. Электроны из этого электронного облака движутся под действием электрического поля, которое возникает между катодом и анодом, создавая электрический ток.

Демонстрация 9. Электрический ток в газах.

1. Электрический ток в газах, как и ток в любой другой среде, требует наличия свободных электрических зарядов. В нормальном состоянии газа в нем таких зарядов нет, поэтому их необходимо создать искусственно. Для этого используется явление ионизации газов. Ионизация – процесс расщепления нейтральных молекул на ионы и электроны. Для протекания процесса ионизации необходимо каким-либо способом придать молекулам дополнительную энергию, чтобы они смогли разорвать внутримолекулярные связи. Для этого используется нагревание газа, облучение газа ультрафиолетовым, рентгеновским или радиоактивным излучениями.

Несамостоятельная проводимость газов.

Опыт 1. Соберем электрическую цепь, состоящую из демонстрационного конденсатора, демонстрационного миллиамперметра, источника постоянного тока и ключа (рис. 1). Замкнем ключ. Миллиамперметр не покажет никакого электрического тока.

Проблема. Почему?

Ответ. В воздухе, находящемся между пластинами конденсатора, нет свободных электрических зарядов. В воздухе имеются только нейтральные молекулы воздуха. Поэтому электрического тока нет.

Опыт 2. Внесем в промежуток между пластинами пламя спиртовки (или облучим воздух ультрафиолетовым, рентгеновским или радиоактивным излучениями). Стрелка миллиамперметра отклонится. Электрический ток через воздух потечет.

Проблема. Почему?

Ответ. При введении ионизатора между пластинами конденсатора молекулы воздуха под действием ионизатора распадаются на свободные положительные и отрицательные ионы и электроны. А между пластинами есть электрическое поле, созданное источником электрического тока, которое приведет в движение ионы и электроны, следовательно, возникнет электрический ток. Такая проводимость газов, возникающая только под действием внешних ионизаторов, называется **несамостоятельной проводимостью газов**. Носителями электрического тока в газах являются положительные и отрицательные ионы и электроны.

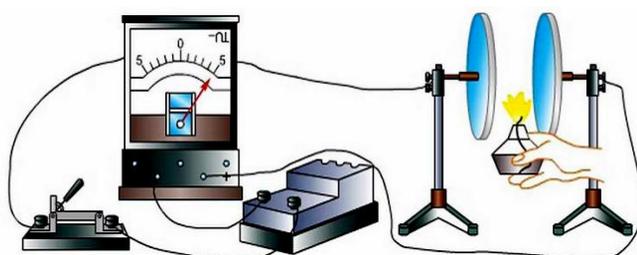


Рис. 1.

Самостоятельная проводимость газов.

Самостоятельная проводимость газов возникает тогда, когда газ очень сильно разрежен и будет находиться в сильном электрическом поле.

Опыт 2. Трубка с двумя электродами 1 (рис. 2) закреплена на штативе 4, электроды трубки соединены с высоковольтным источником тока «Разряд-2» 2. Насосом Комовского 3 будем откачивать воздух из трубки. При определенном давлении воздуха в трубке газовый разряд приобретает фиолетового цвета. Это и будет самостоятельная проводимость воздуха.

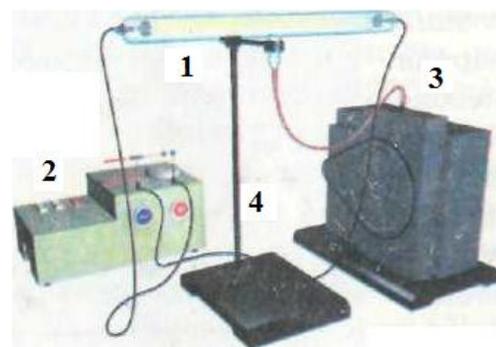
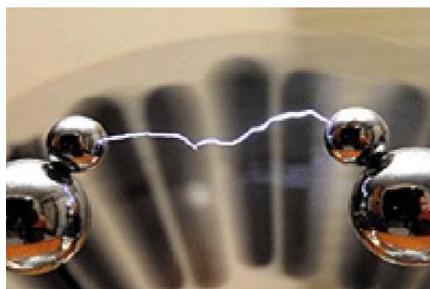


Рис. 2.

Примерами самостоятельной проводимости газов являются:



Искровой разряд



Коронный разряд



Неоновая лампа Люминесцентная лампа



Демонстрация 10. Коронный разряд. Плазменный шар.

1. Коронный разряд – это самостоятельный газовый разряд, возникающий в резко неоднородных полях у электродов с большой кривизной поверхности (острия, тонкие провода).

Получить коронный разряд можно с помощью генератора Ван де Графа – генератора высокого напряжения, принцип действия которого основан на электризации движущейся диэлектрической ленты. Первый генератор был разработан американским физиком Робертом Ван де Граафом в 1929 году и позволял получать разность потенциалов до 80 киловольт.

Он состоит из диэлектрической ленты (рис. 1), вращающейся с помощью электромотора. К движущейся ленте касается щетка, соединенная с источником высокого напряжения. Через щетку положительные заряды, снятые с источника тока, оседают на ленте, движущаяся лента переносит заряд внутрь металлического шара. Заряд с ленты вследствие явления электростатической индукции передается на металлический шар и распределяется по его внешней поверхности. Со временем заряд накапливается очень большой, поэтому на шаре возникает потенциал в миллионы вольт.

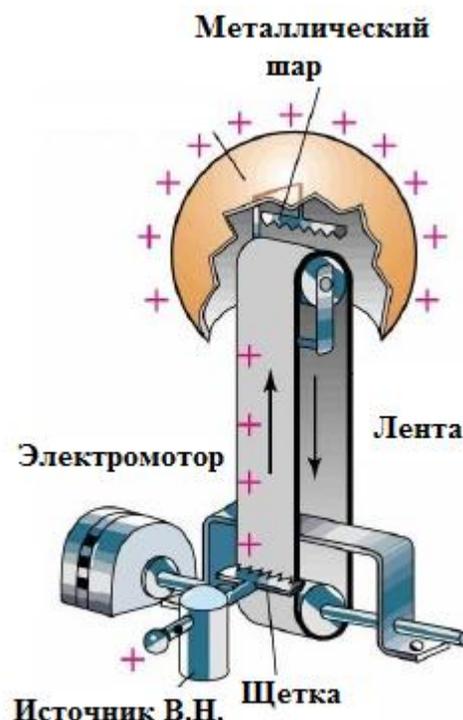


Рис. 1.

Опыт 1. Включим генератор Ван де Графа. Если человек с длинными чистыми волосами дотронется до шара генератора Ван де Графа, то его волосы поднимутся и разойдутся в стороны (рис. 2).

Проблема. Почему?

Ответ. Когда человек с длинными чистыми волосами дотронется до шара генератора Ван де Графа, то он и его волосы от шара зарядятся положительно. Поскольку все волосы заряжены одноименно, то аналогично листочкам султана, они будут отталкиваться друг от друга и разойдутся в разные стороны.



Рис. 2.

Опыт 2. Плазменная лампа



Рис. 3.

Плазменная лампа представляет миниатюрный генератор Ван де Графа, который находится внутри корпуса лампы и шарообразной стеклянной колбы в которой находится разреженный (неон). При включении лампы в ней возникает электрический разряд (рис. 3).

Проблема. Что произойдет, если коснуться поверхности лампы рукой?

Ответ. Положительные заряды в газовых искрах притянутся к руке, так как человек связан с землей и заряжен отрицательно

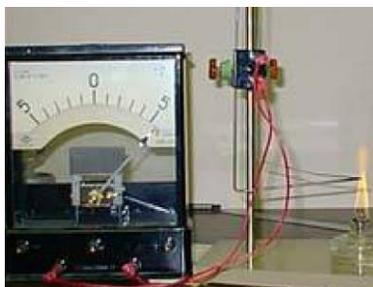
В природных условиях коронный разряд может возникать на верхушках деревьев, мачтах – так называемые огни святого Эльма.

Опыт 1. Источники электрического тока. Источники тока из овощей и фруктов.

Чтобы получить электрический ток в проводнике, надо создать в нем электрическое поле. Под действием этого поля заряженные частицы, которые могут свободно перемещаться в этом проводнике, придут в движение в направлении действия на них электрических сил. Возникнет электрический ток. Электрическое поле в проводниках может создаваться и длительное время поддерживаться **источниками электрического тока** (рис. 1 – 7).



Электрофорная машина
Рис. 1.



Термоэлемент
Рис. 2.



Солнечная батарея
Рис. 3.



Гальванический элемент
Рис. 4.



Аккумулятор
Рис. 5.



Аккумулятор АА
Рис. 6.



Садовый светильник
Рис. 7.

Продемонстрировать действие разных источников тока.

Опыт 1. Собрать установку согласно рис. 3. Амперметр будет показывать небольшой электрический ток. Направим на солнечную батарею свет от источника света. Показания амперметра увеличатся.

Проблема. Почему?

Ответ. Солнечная батарея состоит из большого количества р-п переходов. При освещении светом солнечной батареи кванты света сообщают свободным электронам дополнительную энергию, которые благодаря этой полученной дополнительной энергии переходят через р-п переходы и создают напряжение на батарее.

Опыт 2. Источник тока из овощей или фруктов. Соберем электрическую цепь, состоящую из лимонов, цинковых, медных электродов и индикатора тока (рис. 8).

Проблема. Почему лимоны становятся источниками электрического тока?

Ответ. В лимонах содержится лимонный сок. В лимон вставлены цинковый и медный электроды. Благодаря этому каждый лимон становится гальваническим элементом. Поэтому в цепи возникает электрический ток.

Очень точные значения ЭДС фруктовых и овощных источников тока можно измерить датчиком вольтметра цифровой лаборатории PASCO.

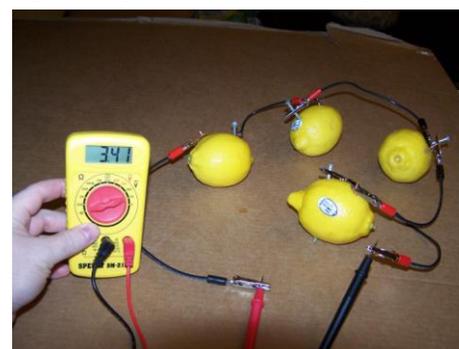


Рис. 8.

Опыт 2. Закон Ома.

1. Если к источнику тока подключить лампочку, то лампочка загорится, т.е. по лампочке потечет электрический ток. Установим зависимость силы тока в цепи от напряжения источника тока и сопротивления проводника.

Опыт 1. Соберем электрическую цепь согласно рис. 1. Замкнем ключ. Запомним показания амперметра и вольтметра. Увеличим напряжение на резисторе R в 2 раза. Сила тока увеличится в 2 раза. Увеличим напряжение на сопротивлении R в 3 раза. Сила тока увеличится в 3 раза. Проведем еще несколько подобных опытов.

Вывод:

Сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника.

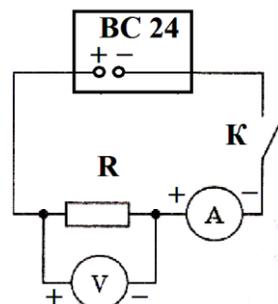


Рис. 1.

Опыт 2. Соберем электрическую цепь согласно рис. 2. Замкнем ключ. Запомним показания амперметра и вольтметра. Увеличим сопротивление реостата R в 2 раза. Сила тока уменьшится в 2 раза. Увеличим сопротивление реостата R в 3 раза. Сила тока уменьшится в 3 раза. Проведем еще несколько подобных опытов.

Вывод:

Сила тока в проводнике обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

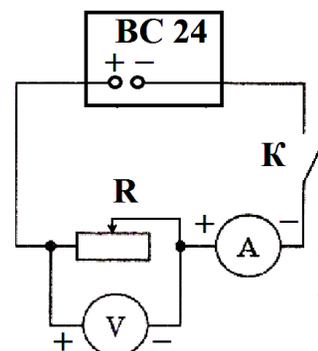


Рис. 2.

Из этих опытов выводим закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}$$

Сила тока прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника

I – сила тока в проводнике
 U – напряжение на концах проводника
 R – сопротивление проводника

Опыт 3. Электрическая цепь.

1. Электрическая цепь - совокупность устройств или элементов, предназначенных для протекания электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий «сила тока» и «напряжение». Изображение электрической цепи с помощью условных знаков называют электрической схемой.

Классификация электрических цепей

Электрические цепи подразделяют на неразветвленные и разветвленные.

- **Неразветвленная электрическая цепь.** На рисунке 1 представлена схема простейшей неразветвленной цепи. Она состоит из источника тока **Б**, ключа **Кл**, резистора **R** и соединительных проводов. Во всех её элементах течёт один и тот же ток.

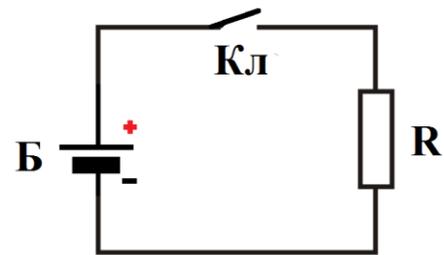


Рис. 1.

- **Простейшая разветвленная цепь** изображена на рисунке 2. В ней имеются три ветви и два узла. В каждой ветви течёт свой ток. В свою очередь узел есть точка цепи, в которой сходятся не менее трёх ветвей. Если в месте пересечения двух линий на электрической схеме поставлена **точка** (рис. 2), то в этом месте есть электрическое соединение двух линий, в противном случае соединения нет.

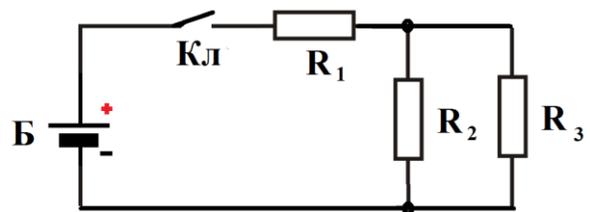


Рис. 2.

На рисунке 3 изображены некоторые элементы электрической цепи:

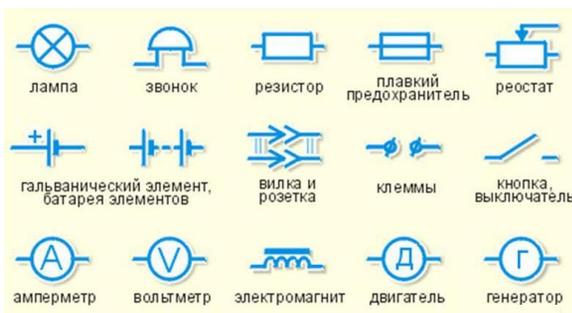


Рис. 3.

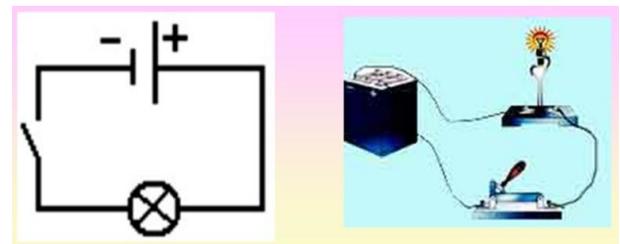


Рис. 4.

Опыт 1. Соберем электрическую цепь по схеме (рис. 4).

Проблема. Что произойдет в электрической цепи, если замкнут ключ?

Ответ. Лампочка загорится, так как электрическая цепь замкнется и по цепи потечет электрический ток.

Опыт 2. Соберем электрическую цепь по схеме (рис. 5).

Проблема. Что произойдет в электрической цепи, если в первом случае замкнуть и разомкнуть ключ **Кл₁**, во втором - затем замкнуть и разомкнуть ключ **Кл₂**, а в третьем случае замкнуть оба ключа вместе.

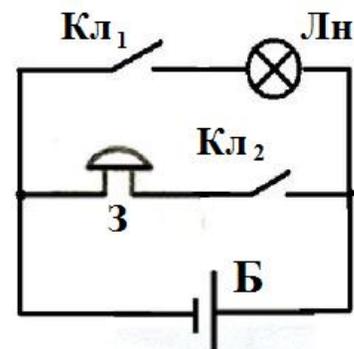


Рис. 5.

Ответ. В первом случае загорится и погаснет лампа **Лн**, во втором случае зазвонит и перестанет звенеть звонок **З**. В третьем случае загорится лампа и зазвонит звонок, так как во всех трех случаях по цепи потечет электрический ток.

Опыт 4. Как изменятся показания приборов при передвижении движка потенциометра

Опыт 1. Соберем схему согласно рис. 1. Источник тока – плоская батарея на 4,5 В или 3 батареи типа АА (BC–24 не подойдет). Вольтметр и амперметр – демонстрационные.

Проблема. Как изменятся показания вольтметра и амперметра, если движок реостата сдвинуть влево?

Ответ. Сила тока увеличивается, так как уменьшается сопротивление цепи. Показания вольтметра уменьшаются, так как увеличивается падение напряжения внутри источника тока. $U = E - Ir$, где r – внутреннее сопротивление источника тока.

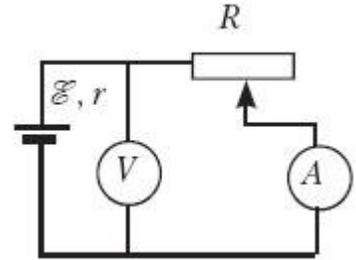


Рис. 1.

Опыт 2. Соберем схему согласно рис. 2. Источник тока – плоская батарея на 4,5 В или три батареи типа АА (BC–24 не подойдет). Вольтметр и амперметр – демонстрационные.

Проблема. Как изменятся показания вольтметра и амперметра, если движок реостата сдвинуть вправо?

Ответ. Сила тока увеличивается, так как уменьшается общее сопротивление резисторов R_1 и R_2 , поэтому показания амперметра увеличиваются, вольтметра уменьшаются, так как увеличивается падение напряжения внутри источника тока. $U = E - Ir$, где r – внутреннее сопротивление источника тока.

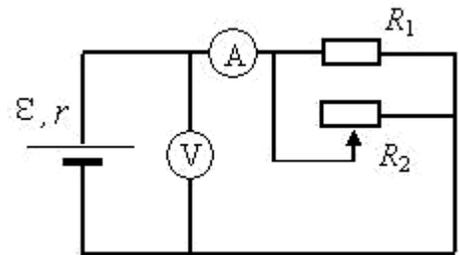


Рис. 2.

Опыт 3. Соберем схему согласно рис. 3. Источник тока – плоская батарея на 4,5 В или три батареи типа АА (BC–24 не подойдет). Вольтметр и амперметр – демонстрационные.

Проблема. Как изменятся показания вольтметра и амперметра, если движок реостата сдвинуть вправо?

Ответ. Сила тока уменьшается, так как увеличивается общее сопротивление резисторов R_1 и R_2 , поэтому показания амперметра уменьшаются, вольтметра V_1 уменьшаются, так как падение напряжения на резисторе равно IR_1 , вольтметра V увеличиваются, так как уменьшается падение напряжения внутри источника тока $U = E - Ir$, где r – внутреннее сопротивление источника тока.

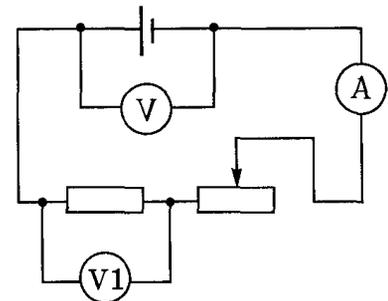


Рис. 3.

Очень точные значения напряжения и силы тока в электрических цепях можно измерить датчиками вольтметра и силы тока цифровой лаборатории PASCO.

Опыт. 5. Зависимость сопротивления фоторезистора от освещенности.

Терморезистор – это полупроводниковый прибор, который проводит электрический ток в обоих направлениях. Носителями электрического тока в терморезисторах являются свободные электроны и дырки, которые появляются при нарушении ковалентных связей в терморезисторе.

Электрический ток в полупроводниках представляет направленное движение электронов и дырок.

Рассмотрим устройство терморезистора и обозначения его на схемах (рис. 1). Красная спиральная полоска – это слой открытого полупроводника, на который попадает свет от источника света.

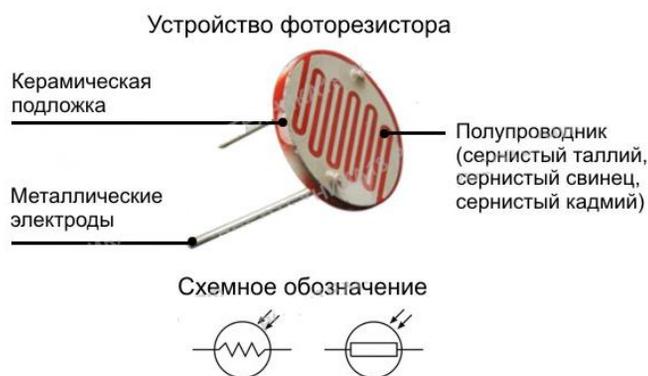


Рис. 1.

Опыт 1. Проводимость фоторезистора. Соберем схему согласно рис. 2. Замкнем ключ. Миллиамперметр покажет силу тока, протекающую через фоторезистор.

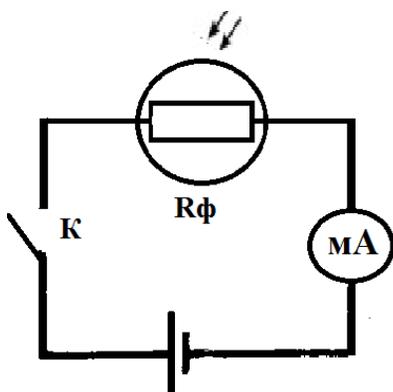


Рис. 2.

Проблема. Почему?

Ответ. Электрический ток в любой среде может течь, если в ней есть свободные носители тока. Свободными носителями электрического тока в фоторезисторах являются свободные электроны и дырки, которые появляются при разрушении ковалентных связей, когда фоторезистор освещен внешним источником света.

Опыт 2. Как зависит сопротивление фоторезистора от освещенности?

Соберем схему согласно рис. 3. Замкнем ключ. Миллиамперметр покажет силу тока, протекающую через фоторезистор.

Осветим фоторезистор внешним источником света (лампой). Показания миллиамперметра увеличатся.

Проблема. Почему?

Ответ. При освещении фоторезистора внешним источником света под действием квантов света в фоторезисторе будет разрушаться большее количество ковалентных связей, вследствие чего появится дополнительное количество свободных электронов и дырок. Следовательно, сила тока через фоторезистор увеличится, что приведет к уменьшению сопротивления фоторезистора.

Вывод.

Сопротивление фоторезистора при освещении уменьшается.

Изменение сопротивления фоторезистора можно проверить с помощью мультиметра или омметра.

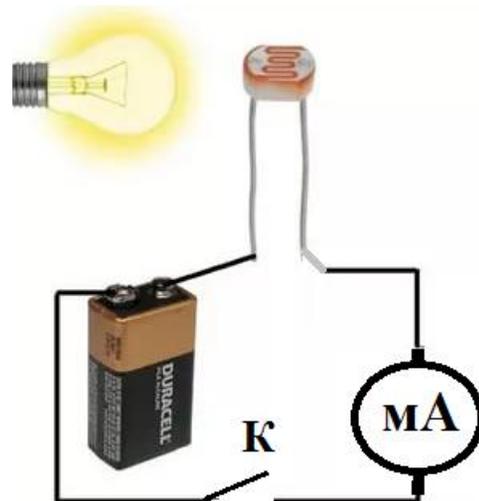


Рис. 3.

С помощью датчика тока цифровой лаборатории PASCO можно получить графики зависимости силы тока в фоторезисторе от освещенности, а в тензорезисторе от температуры.

Опыт 6. Зависимость сопротивления тензорезистора от величины деформации.

Тензорезистор – резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации, так как при деформации изменяются его длина и сечение $R = \rho L/S$ (рис. 1). С помощью тензорезисторов можно измерять деформации механических тел. Тензорезистор является основной частью тензодатчиков, применяющихся для косвенного измерения силы, давления, веса, механических напряжений, крутящих моментов и т. п.

Схема простейшего тензорезистора изображена на рис. 2. Он состоит из доски, в которую вставлены металлические контакты 1.

Между контактами навита тонкая проволока 2 с большим удельным сопротивлением (например, от электрической плитки). Эта проволока приклеивается к доске клеем. Тензорезистор подключается к исследуемой схеме с помощью проводов 3.

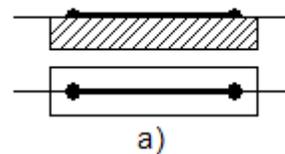


Рис. 1.

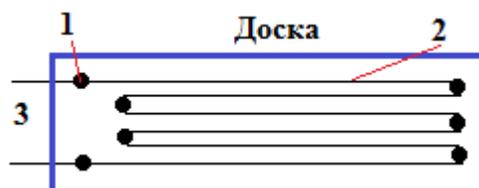


Рис. 2.

Опыт. 1. Соберем схему согласно рис. 3. Она состоит из самодельного тензорезистора, усилителя постоянного тока, омметра (демонстрационного вольтметра со шкалой сопротивления R) и блока питания.

Расположим тензорезистор на подставках горизонтально и будем действовать на него с силой F (рис.4). При деформации доски будет деформироваться и проволока тензорезистора, а следовательно, изменяться его сопротивление, что будет зарегистрировано омметром.

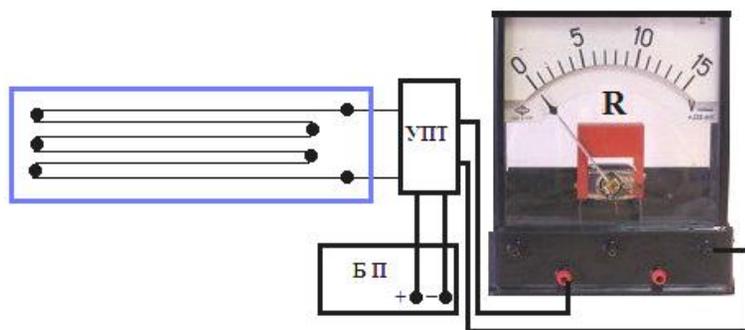


Рис. 3.

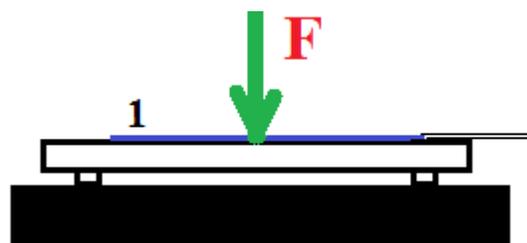


Рис. 4.

Опыт. 2.

Соберем схему согласно рис. 5. Она состоит самодельного тензорезистора, усилителя постоянного тока, демонстрационного вольтметра со шкалой давления и блока питания. Расположим тензорезистор на подставке горизонтально и поместим на его середину массивный груз (рис.6). Тензорезистор немного прогнется, а вольтметр покажет величину веса тела, помещенного на тензорезистор.

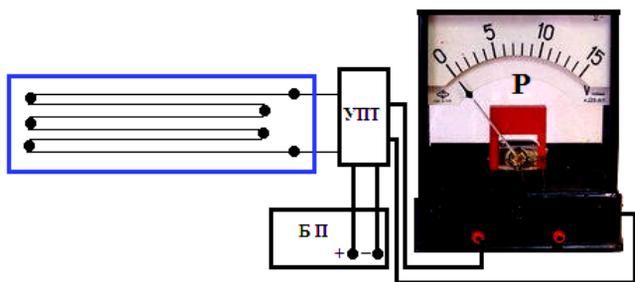


Рис. 5.

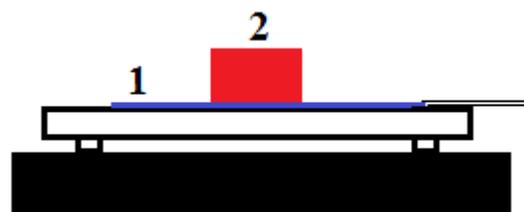
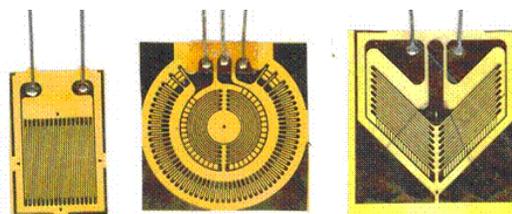
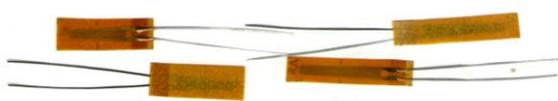


Рис. 6.

Промышленные тензорезисторы :



Опыт 7. Проводимость полупроводникового диода.

1. Полупроводниковый диод это полупроводниковый прибор, обладающий односторонней проводимостью. Он состоит из двух полупроводников: **n**- типа и **p**- типа, которые образуют **p-n** переход.

Принцип действия полупроводникового диода основывается на явлениях, связанных с изменением электрического поля **p-n** перехода внешним электрическим полем.

Опыт. Односторонняя проводимость полупроводникового диода. Он состоит из двух полупроводников: **n**- типа (много электронов) и **p**- типа (много дырок). Соберем схему (рис. 4).

Проблема. Почему на верхнем рисунке 4 лампа горит, а на нижнем нет?

Ответ. Рассмотрим рис. 5 – 7. На них изображены процессы в **p-n** переходе при подключении к нему источника электрического тока.

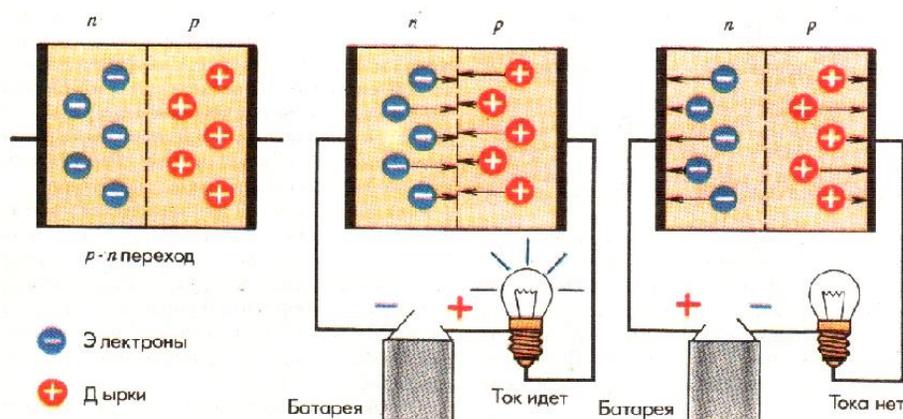


Рис. 5.

Рис. 6.

Рис. 7.

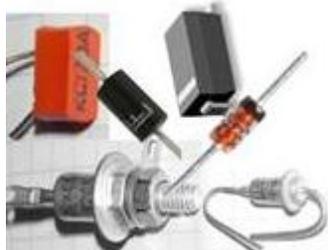
На рис. 5 изображен **p-n** переход, не подключенный к источнику тока. Он состоит из двух полупроводников разного типа проводимости: **n**- электронной и **p** - дырочной. Между ними образуется **p-n** переход, электрическое поле которого не дает переходить через него электронам и дыркам.

На рис. 6 к **p-n** переходу подключен источник электрического тока (минус источника тока к полупроводнику **n**- типа, а плюс источника тока через лампу накаливания к полупроводнику **p**- типа). Поле источника тока сильнее поля **p-n** перехода, поэтому результирующее поле направлено от полупроводника типа **p** к полупроводнику типа **n**, и по цепи потечет электрический ток.

На рис. 7 к **p-n** переходу подключен источник электрического тока (плюс источника тока к полупроводнику **n**- типа, а минус источника тока через лампу накаливания к полупроводнику **p**- типа). Электрическое поле источника тока усиливает поле **p-n** перехода, и по цепи электрический ток не потечет.

Вывод: Полупроводниковый диод обладает односторонней проводимостью.

Промышленные полупроводниковые диоды:



Опыт 8. Односторонняя проводимость вакуумного диода.

В 1883 году американский изобретатель Томас Эдисон решил ввести в изобретенную им лампу накаливания металлический электрод. Таким образом он обнаружил электрический ток в вакууме. Но сила тока в вакууме была настолько мала, что он передал это изобретение своему ученику Д.А. Флемингу. Флеминг на базе этого устройства изобрел первый электровакуумный диод (рис.1).



Рис. 1.

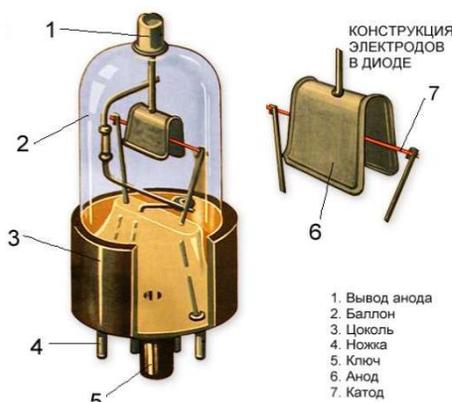


Рис. 2.

Вакуумный диод состоит (рис.2) из баллона 2, из которого выкачан воздух, нити накала (катода) 7, анода 6 с выводом 1. К нити накала 7, которая одновременно является катодом, подключается источник тока накала на 6,3 В. К катоду подключается минус анодного источника питания, а к аноду – плюс источника питания (рис. 3).

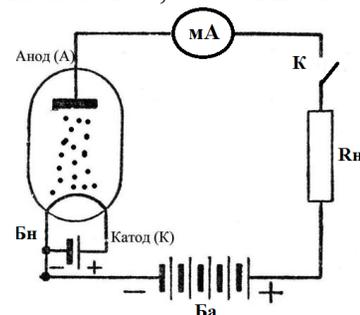


Рис. 3.

Опыт 1. Соберем электрическую цепь (рис. 3). Она состоит из вакуумного диода, миллиамперметра $мА$, ключа $К$, резистора нагрузки R_n , источника тока накала $Бн$ и источника анодного тока $Ба$ (+ $Ба$ подключим к аноду, а минус $Ба$ – к катоду). После прогрева нити накала замкнем ключ $К$. Стрелка миллиамперметра отклонится, значит, в цепи потечет электрический ток.

Проблема. Почему в цепи течет электрический ток?

Ответ. При пропускании электрического тока через цепь накала нить накала (катод) нагревается, вследствие чего она начинает постоянно испускать электроны. Эти электроны образуют вокруг катода электронное облако. При подключении к аноду и катоду источника анодного питания электроны из электронного облачка двигаются от катода к аноду, т.е. возникает электрический ток. **Вывод:** в вакууме может течь электрический ток, который представляет движение электронов от катода к аноду (так как при нагревании катода из него вылетают электроны – происходит термоэлектронная эмиссия).

Опыт 2. Соберем электрическую цепь (рис. 4). Она состоит из вакуумного диода, миллиамперметра $мА$, ключа $К$, резистора R_n , источника тока накала $Бн$ и источника анодного тока $Ба$. Изменим полярность подключения $Ба$ (+ $Ба$ подключим к катоду, а минус $Ба$ – к аноду) и замкнем ключ $К$. Стрелка миллиамперметра не отклонится, значит в цепи не потечет электрический ток.

Проблема. Почему в цепи не течет электрический ток?

Ответ. При пропускании электрического тока в цепи накала нить накала (катод) нагревалась, вследствие чего она начинала постоянно испускать электроны. Эти электроны образовывали вокруг катода электронное облако. При подключении к аноду и к катоду источника анодного питания электроны не могли двигаться от катода к аноду, так как катод имел положительный потенциал, а анод имел отрицательный потенциал, поэтому электрического ток не будет.

Вывод: Вакуумный диод обладает односторонней проводимостью. Это свойство вакуумного диода применяется при выпрямлении переменного тока и детектировании высокочастотных модулированных сигналов.

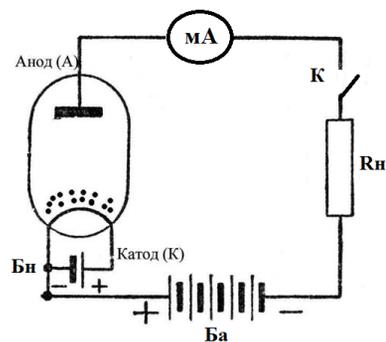


Рис. 4.

Опыт 9. Электроннолучевая трубка.

Электронно-лучевая трубка – прибор, преобразующий электрические сигналы в световые (рис. 1). Широко применялась в осциллографах и телевизорах до 1990-х годов.

В баллоне электроннолучевой трубки создан глубокий вакуум. Для того, чтобы создать электронный луч, применяется устройство, именуемое **электронной пушкой**, состоящей из нити накала, катода **1** и управляющего электрода **2**. Катод, нагреваемый нитью накала, испускает электроны. Изменяя отрицательный потенциал на управляющем электроде, изменяем интенсивность электронного луча и, соответственно, яркость изображения на экране.

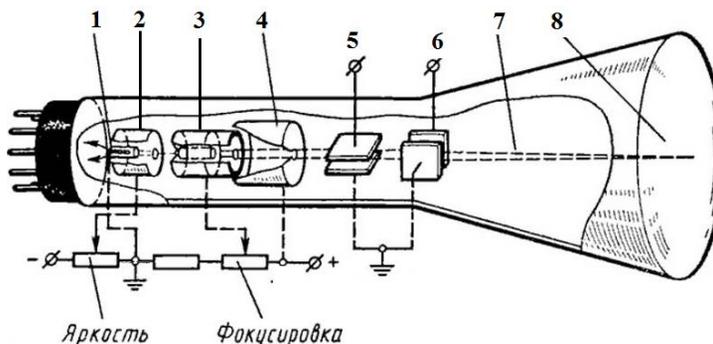


Рис. 1.

Покинув пушку, электроны предварительно ускоряются первым анодом **3**, а затем вторым анодом **4**. При изменении разности потенциалов между вторым и первым анодами производится фокусировка электронного луча. Далее луч проходит через отклоняющую систему **5, 6**, которая может менять направление луча по вертикали и по горизонтали. Затем электронный луч **7** попадает на экран, покрытый люминофором **8**. От бомбардировки электронами люминофор светится, а быстро перемещающееся пятно создаёт на экране изображение.

Опыт 9.1. Рассмотрим электронно-лучевую трубку с блоком питания. Включим блок питания. Нить накала разогреется и на экране возникнет зеленое пятно. Изменяя напряжение на горизонтально и вертикально отклоняющих пластинах, можно передвигать луч по горизонтали или по вертикали (рис. 2).

Проблема. Почему?

Ответ. Электронный луч двигается по горизонтали и по вертикали под действием кулоновских сил, действующих на электроны со стороны электрических полей, создаваемых отклоняющими пластинами.

Опыт 9.2. К электронно-лучевой трубке подносим постоянный магнит, завернутый в бумагу (чтобы не было видно полюсов). Электронный луч отклоняется. Определите полюс магнита.

Проблема. Почему электронный луч отклоняется магнитом? Как определить полюс магнита?

Ответ. Электронный луч представляет направленное движение электронов, т.е. электрический ток. А в магнитном поле, в котором движется электрический ток, на электрический ток действует сила Ампера. Полюс магнита определяется по правилу левой руки для определения направления силы Ампера (Лоренца), действующей на движущиеся электроны.

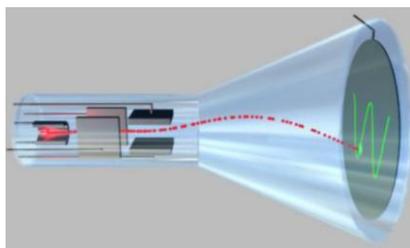


Рис. 2. Электронно-лучевая трубка для осциллографа.

Опыт 10. Осциллограф.

Осциллограф (лат. *oscillo* – качаюсь + греч. $\gamma\rho\alpha\phi\omega$ – пишу) – прибор, предназначенный для исследования (наблюдения, записи, измерения) амплитудных и временных параметров электрического сигнала, подаваемого на его вход.

Осциллограф (рис. 1) состоит из электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), экран ЭЛТ виден на передней панели. Вверху корпуса видны тумблеры включения луча и сети.

Ниже ЭЛТ расположены регуляторы яркости и фокусировки луча. Затем расположены ручки перемещения луча по оси X и по оси Y (рис. 2, 3).



Рис. 1.

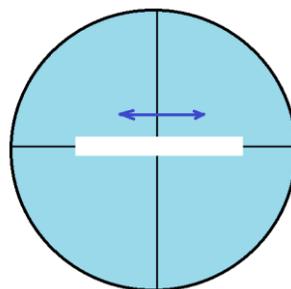


Рис. 2.

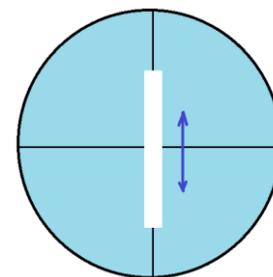


Рис. 3.

Если выключить развертку луча, то при вращении ручек перемещения луча по оси Y и по оси X электронный луч будет перемещаться вправо – влево (рис. 2), вверх – вниз (рис. 3). Внизу находятся ручки усиления по вертикали и по горизонтали. В центре расположены ручки управления синхронизацией, частотой плавно и диапазоном частот развертки. С помощью них получается устойчивое изображение на экране.

Опыт 10.1. На вход Y и вход «Земля» подается синусоидальный сигнал от звукового генератора. На экране осциллографа получается хаотичное изображение.

Переключателем «Диапазон частот» и ручкой «Частота плавно» получаем на экране движущуюся синусоиду. Остановим ее, вращая ручку «Амплитуда синхронизации».

Если размер по вертикали мал или велик, вращаем ручку «Усиление по оси Y».

Опыт 10.2. На вход Y и вход «Земля» подается синусоидальный сигнал от звукового генератора другой частоты. На экране осциллографа получается хаотичное изображение.

Переключателем «Диапазон частот» и ручкой «Частота плавно» получаем на экране движущуюся синусоиду. Остановим ее, вращая ручку «Амплитуда синхронизации».

Если размер по вертикали мал или велик, вращаем ручку «Усиление по оси Y».

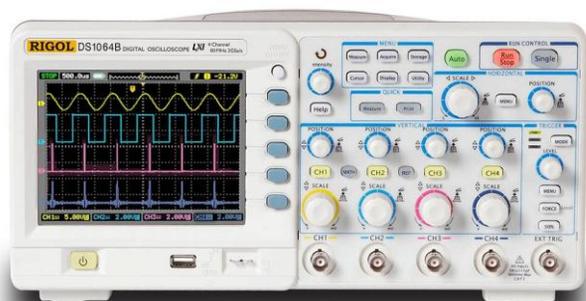
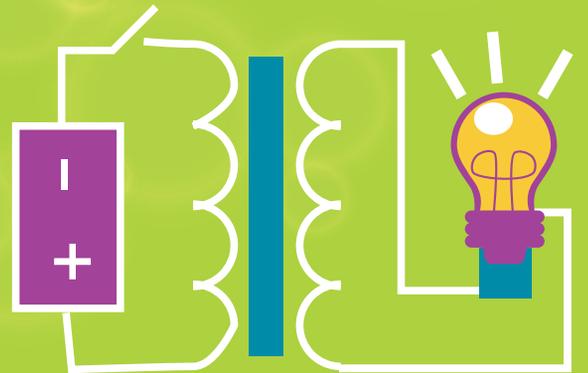
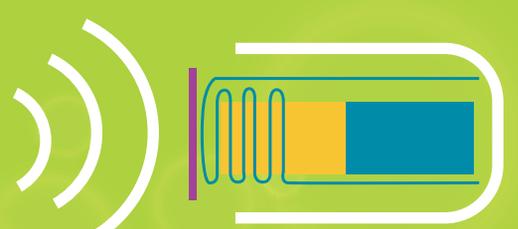
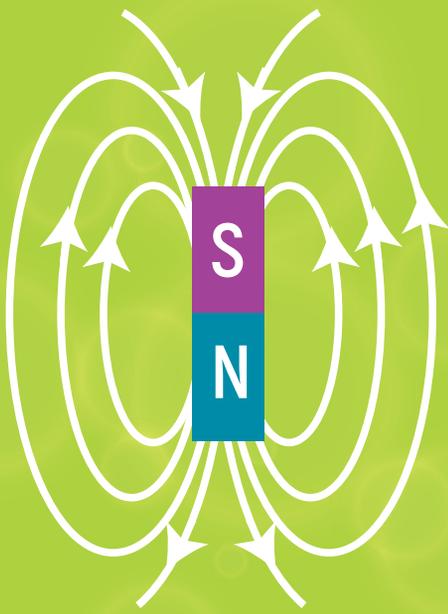
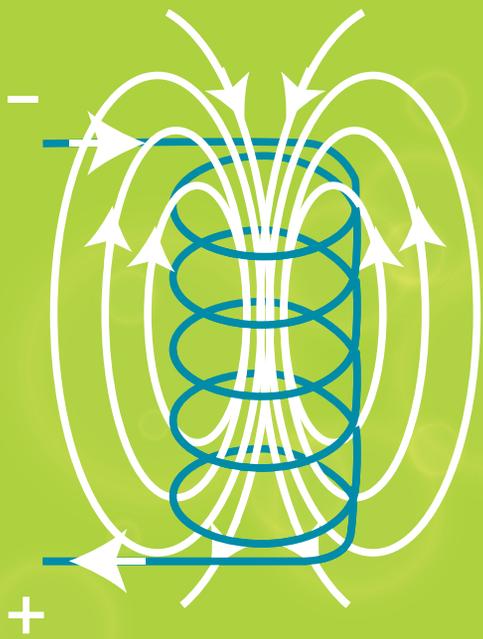
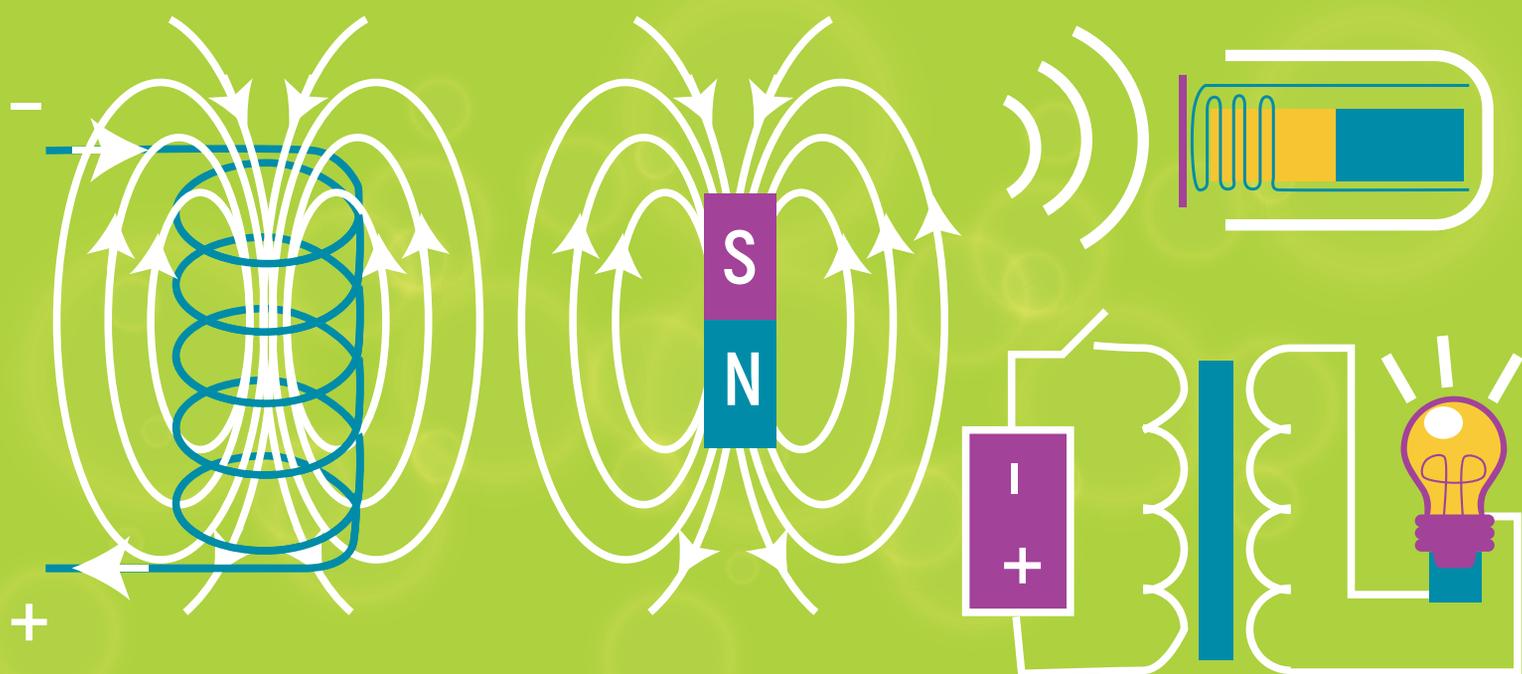


Рис. 4.

В настоящее время на смену осциллографам с электронно-лучевой трубкой пришли осциллографы с цифровыми панелями, имеющие несколько входов и запоминающее устройство (рис. 4).



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



Демонстрация 1. Взаимодействие постоянных магнитов.

1. Магнитные свойства некоторых природных минералов были известны еще в древности. Так, найдены письменные свидетельства более чем 2000-летней давности о том, что в древнем Китае использовались естественные постоянные магниты в качестве компасов. О притяжении и отталкивании магнитов и намагничивании ими железных опилок есть упоминания в трудах древнегреческих и римских ученых (например, поэма «О природе вещей» Лукреция Кара).

Искусственные постоянные магниты изготавливаются из специальных сплавов, включающих в себя **железо, никель, кобальт** и другие. Для намагничивания этих металлов их специально держат в сильных магнитных полях, после этого они сами становятся источниками постоянного магнитного поля и могут долгое время сохранять в себе магнитные свойства. Все магниты имеют два полюса – северный и южный. Существуют полосовые магниты (рис. 1), подковообразные (рис. 2), круглые (рис. 3) и неодимовые (рис. 4).

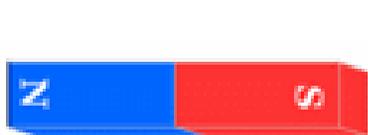


Рис. 1.



Рис. 2.



Рис. 3.



Рис. 4.

2. **Опыт.** У магнита имеется два полюса – северный и южный.

Проблема. Почему они так называются?

Ответ. Если взять полосовой магнит и подвесить его за середину, то один конец магнита повернется к северному полюсу Земли (южный магнитный полюс Земли - северный полюс магнита), а другой к южному (северный магнитный полюс Земли - южный полюс магнита).

3. **Опыт.** Взаимодействие магнитных полюсов.

Проблема. Как взаимодействуют магнитные полюса?

Ответ. Разноименные полюса притягиваются, одноименные отталкиваются (рис. 5, 6, 7).

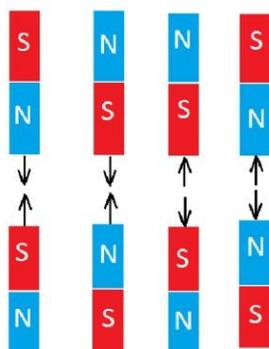


Рис. 5.

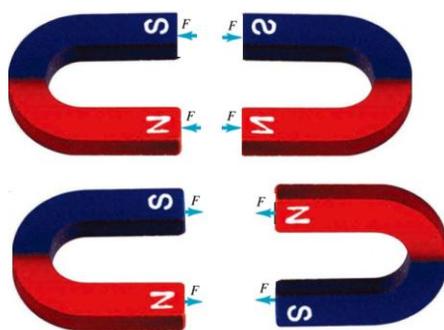


Рис. 6.

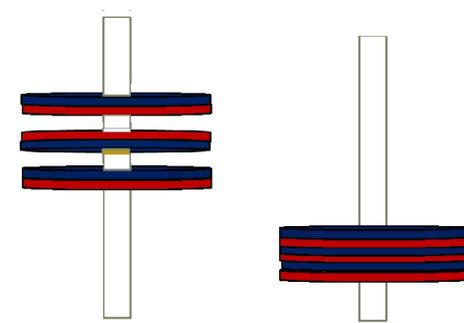


Рис. 7.

4. **Неодимовые магниты** – сильные постоянные магниты, сделанные из сплавов редкоземельных элементов. Наиболее часто используемыми редкоземельными металлами, применяемыми в магнитах, являются неодим и самарий, но чаще всего используются сплавы $Nd_2Fe_{14}B$ и $SmCo_5$ (рис. 7, 8).

Неодимовые магниты во много раз сильнее магнитов, сделанных из намагниченного железа.



Рис. 8.



Демонстрация 2. Магнитное поле постоянных магнитов и магнитных стрелок.

Для исследования магнитных полей используются магнитные стрелки, которые представляют собой обычные легкие магниты, имеющие ось вращения с небольшим трением. Они взаимодействуют с магнитами так же, как и обычные магниты – разноименные полюса притягиваются, одноименные – отталкиваются (рис. 1).



Рис. 1.

Проблема. Как взаимодействуют магниты и магнитные стрелки?

Ответ. Если около полосового магнита разместить небольшие магнитные стрелки, то они расположатся около магнита определенным образом (рис. 2). Соединим их линиями и зададим им направление от северного полюса магнита к южному. Такие линии называются силовыми линиями (линиями напряженности магнитного поля).

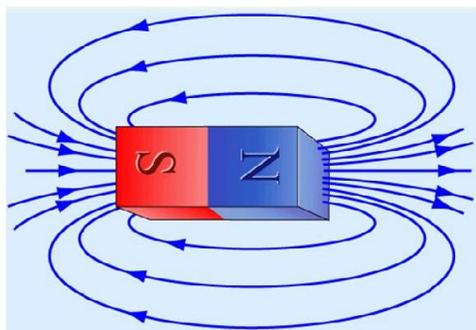


Рис. 3.

На рисунке 3 показано расположение силовых линий полосового магнита: они выходят из северного полюса и входят в южный магнитный полюс. Силовые линии магнитного поля всегда замкнуты сами на себя.

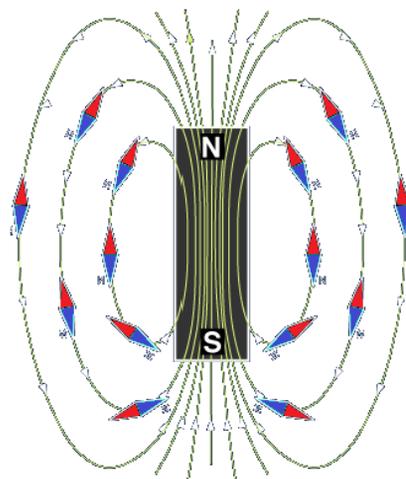


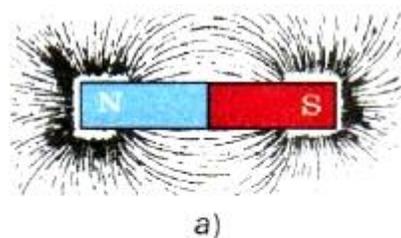
Рис. 2.

Взаимодействие магнитов происходит следующим образом. Магнитное поле одного магнита действует на магнитное вещество, из которого сделан второй магнит, и наоборот.

Опыт 1. Положим на стол полосовой магнит. Накроем его плотным листом бумаги и насыпем сверху железных опилок.

Проблема. Почему железные опилки располагаются в определенном порядке (рис 4 а)?

Ответ. Железные опилки, намагничиваясь в магнитном поле магнита, начинают вести себя как маленькие магнитные стрелки и, падая на бумагу в воздухе, ориентируются магнитным полем магнита и располагаются вдоль силовых линий магнитного поля.



Опыт 2. Положим на стол подковообразный магнит. Накроем его плотным листом бумаги и насыпем сверху железных опилок.

Проблема. Почему железные опилки располагаются в определенном порядке (рис 4 б)?

Ответ. Железные опилки, намагничиваясь в магнитном поле магнита, начинают вести себя как маленькие магнитные стрелки и, падая на бумагу в воздухе, ориентируются магнитным полем магнита и располагаются вдоль силовых линий магнитного поля.

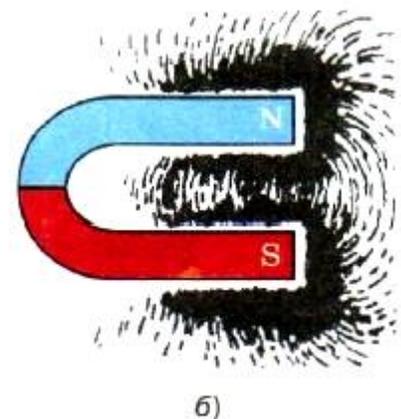


Рис. 4.

Демонстрация 3. Ферромагнетики, парамагнетики, диамагнетики.

Все вещества, существующие в природе, обладают магнитными свойствами. Некоторые вещества обладают магнитными свойствами в большей степени, а некоторые в меньшей.

1. К сильномагнитным веществам относятся ферромагнетики. Ферромагнетики – вещества, сильно притягивающиеся к магниту. К ним принадлежат железо, сталь, чугун, никель, кобальт, редкоземельный элемент гадолиний и некоторые сплавы. У этих веществ относительная магнитная проницаемость μ (величина, характеризующая магнитные свойства магнетика) имеет величину от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч. Например, для кобальта $\mu = 150$, никеля $\mu = 300$, железа $\mu =$ до 500, пермаллоя (сплав стали с никелем) $\mu =$ до 100 000. Из них делают постоянные магниты и сердечники трансформаторов, электромоторов и т.д.

2. К слабомагнитным веществам относятся парамагнетики и диамагнетики.

• Парамагнетики

Парамагнитные вещества слабо притягиваются к магниту. К ним принадлежат алюминий, магний, олово, платина, марганец, кислород и другие. У этих веществ относительная магнитная проницаемость немного больше единицы. Например, у воздуха $\mu = 1,0000031$.

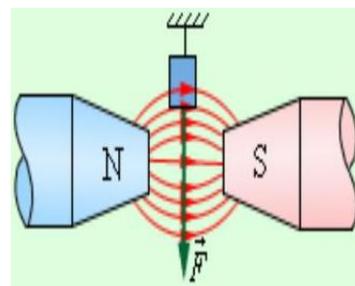


Рис. 1.

Опыт 1. В магнитное поле, образованное двумя сильными магнитами, слабо втягивается небольшой кусочек вещества (рис. 1).

Проблема. Почему?

Ответ. Кусочек вещества слабо втягивается в магнитное поле потому, что он является парамагнетиком. Парамагнетик слабо намагничивается в магнитном поле, так что направление его линий магнитной индукции совпадает по направлению с линиями магнитной индукции внешнего магнитного поля.

• Диамагнетики.

Диамагнитные вещества слабо выталкиваются из магнитного поля. К ним принадлежат цинк, ртуть, свинец, сера, медь, хлор, серебро, вода и другие. У этих веществ относительная магнитная проницаемость немного меньше единицы. Например, у меди $\mu = 0,999995$.

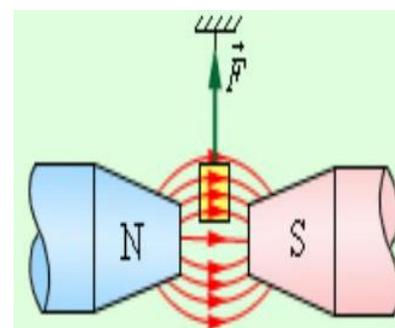


Рис. 2.

Опыт 2. Из магнитного поля, образованного двумя сильными магнитами, слабо выталкивается небольшой кусочек вещества (рис. 2).

Проблема. Почему?

Ответ. Кусочек вещества слабо выталкивается из магнитного поля, потому что он является диамагнетиком. Диамагнетик слабо выталкивается из магнитного поля потому, что направление его линий магнитной индукции противоположно направлению линий магнитной индукции внешнего магнитного поля.

Опыт 3. Пламя свечи выталкивается из магнитного поля (рис. 3).

Проблема. Почему?

Ответ. Пламя слабо намагничивается против поля, поэтому является диамагнетиком.

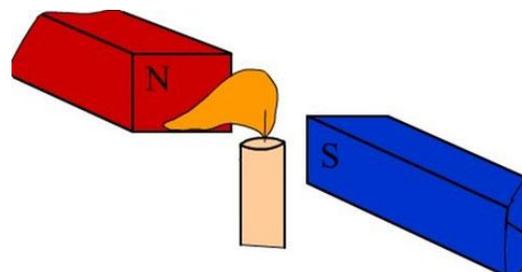


Рис. 3.

Демонстрация 4. Магнитное поле проводников с током.

Опыт Эрстеда – классический опыт, проведённый в 1820 году Эрстедом и являющийся первым экспериментальным доказательством того, что электрический ток создает магнитное поле. Кристиан Эрстед помещал над магнитной стрелкой прямолинейный медный проводник, направленный параллельно магнитной стрелке (рис. 1). При пропускании через проводник электрического тока магнитная стрелка поворачивалась почти перпендикулярно проводнику. При изменении направления тока стрелка разворачивалась на 180° .

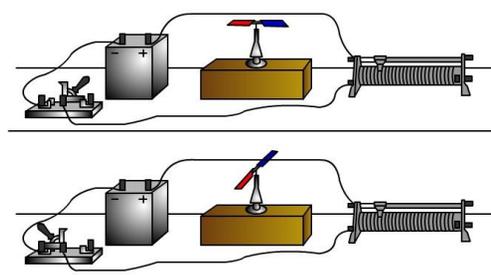


Рис. 1.

Демонстрация 4.1. Соберем электрическую цепь согласно рисунку 2. Замкнем ключ. Амперметр покажет наличие тока в цепи, магнитная стрелка повернется.

Проблема. Почему?

Ответ. При замыкании ключа в электрической цепи потечет электрический ток. В проводнике над магнитной стрелкой электрический ток создаст магнитное поле, которое будет действовать на магнитную стрелку с некоторой силой, и стрелка повернется.



Рис. 2

Демонстрация 4.2. Магнитное поле прямолинейного проводника с током.

Возьмем лист картона, пропустим через него проводник, насыпем на него железные опилки и пропустим по нему электрический ток (рис. 3). Опилки расположатся вдоль силовых линий магнитного поля. Из рисунка видно, что это будут окружности. Направление силовых линий определим по правилу буравчика.

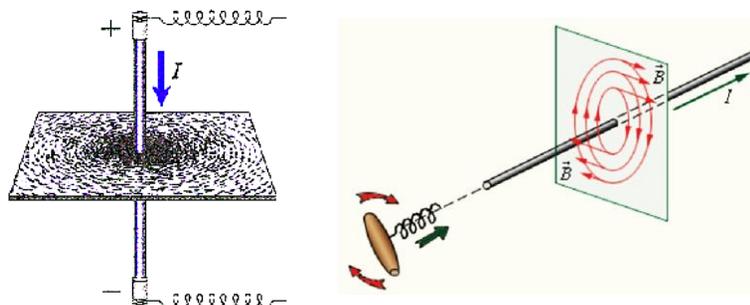


Рис. 3.

Демонстрация 4.3. Магнитное поле кругового проводника с током. Возьмем лист картона, пропустим через него круговой проводник, насыпем на него железные опилки и пропустим по нему электрический ток (рис. 4). Опилки расположатся вдоль силовых линий магнитного поля. Из рисунка видно, что это будут окружности. Направление силовых линий определим по правилу буравчика.

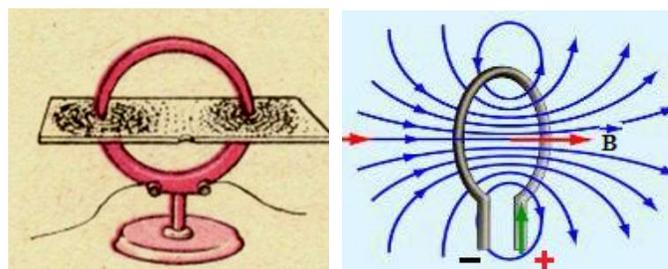


Рис. 4.

Демонстрация 4.4. Магнитное поле круговой катушки с током. Возьмем лист картона, пропустим через него витки катушки с током, насыпем на него железные опилки и пропустим по нему электрический ток (рис. 5). Опилки расположатся вдоль силовых линий магнитного поля. Из рисунка видно, что это будут замкнутые линии, **выходящие из северного полюса катушки и входящие в южный.**

Направление силовых линий определим по правилу буравчика.

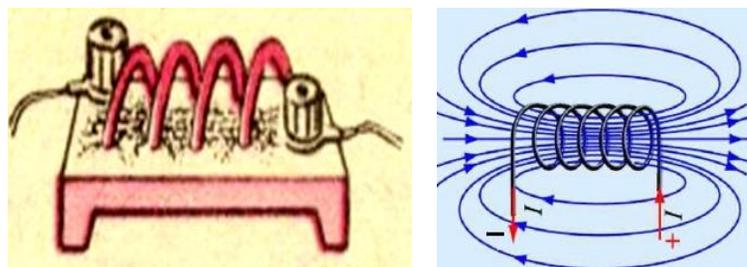


Рис. 5.

Демонстрация 5. Демонстрационный электромагнит.

В 1820 году Ганс Христиан Эрстед установил, что если по проводнику пустить электрический ток, то около проводника электрический ток создаст магнитное поле.

Возникшее магнитное поле будет очень слабым. Для усиления магнитного поля возьмем две катушки, намотаем на них большое количество витков проволоки в одну сторону, соединим последовательно и вставим внутрь катушек ферромагнитный сердечник. Полученный прибор вместе с ферромагнитным сердечником (якорем) и будет называться электромагнитом (рис. 1).



Рис. 1.

Демонстрация 5.1. Присоединим к электромагниту источник электрического тока. Поднесем к нему снизу ферромагнитную

пластину – якорь. К якорю подвесим тяжелую гирию. Гирия будет висеть на электромагните (рис. 2).

Проблема. Почему гирия будет висеть на магните?

Ответ. При пропускании электрического тока через обмотки электромагнита он создаст около них магнитное поле. Это магнитное поле усилится ферромагнитным сердечником. Усиленное магнитное поле намагнитит якорь, он притянется к сердечнику электромагнита и будет удерживать значительный груз.

Демонстрация 5.2. Соединим катушки электромагнита по-другому – навстречу друг другу?

Проблема. Электромагнит работать не будет. Почему?

Ответ. Магнитное поле первой катушки компенсирует магнитное поле второй катушки, и электромагнит не будет притягивать якорь.

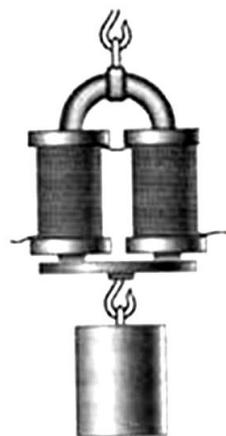
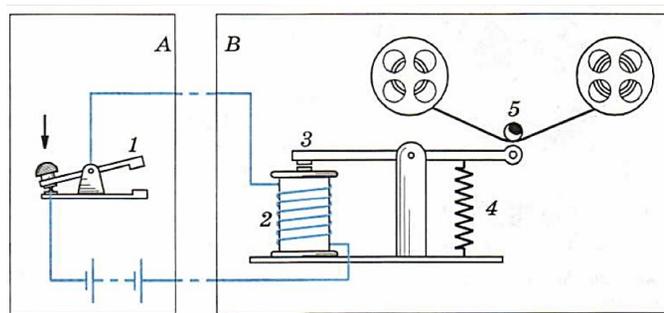


Рис. 2.

Применения электромагнитов.



Электромагнит –
подъемный кран



Телеграфный аппарат.



Электровзвонок.

Демонстрация 6. Электромагнитные реле. Герконы.

1. Электромагнитное реле – электромеханическое устройство, замыкающее и/или размыкающее механические электрические контакты при подаче в обмотку реле электрического тока.

Электромагнитное реле (рис. 1) состоит из катушки 1 с ферромагнитным сердечником, подвижного якоря 2 из ферромагнетика с толкателем, который толкает контакт 3. **На левом рисунке (рис. 1а)** по катушке электромагнитного реле ток не течет. Ферромагнитный якорь не притянут к сердечнику катушки реле. Подвижный контакт 3 соединен с левым контактом и замыкает левую цепь.

На правом рисунке (рис. 1б) по катушке электромагнитного реле ток течет. Ферромагнитный якорь притянут к сердечнику катушки реле. Толкатель якоря реле толкает контакт 3, соединяет его с правым неподвижным контактом и замыкает правую цепь.

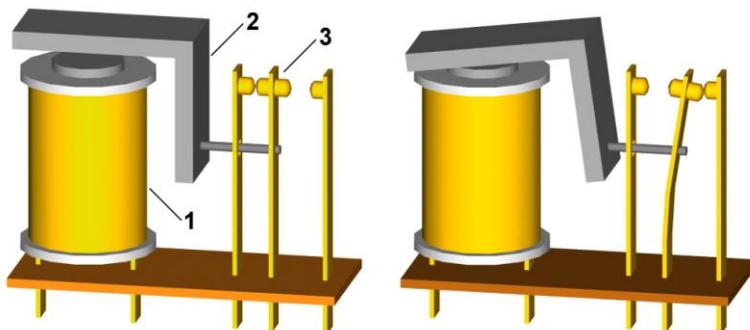


Рис. 1а.

Рис. 1б.

Демонстрация 6.1. Соберем электрическую цепь согласно схеме (рис. 2).

При нажатии на кнопку включается электромотор.

Проблема. Почему?

Ответ. При нажатии на кнопку **Кн** батарея **Б** включает электромагнитное реле (первичная цепь). Якорь 2 электромагнитного реле замыкает контакты 3 и включается электромотор 5 (в данном случае от цепи переменного тока 6 – вторичная цепь).

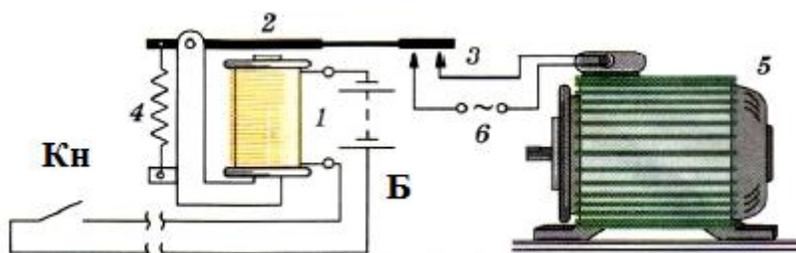


Рис. 2.

На рис. 3 представлены разные типы реле.

2. Герконы. Герконовые реле.

Геркон – герметизированный контакт – электромеханическое переключающее устройство, изменяющее состояние подключённой электрической цепи при воздействии магнитного поля от постоянного магнита или внешнего электромагнита (рис. 4).

Конструктивно геркон состоит из герметичной стеклянной колбы, в которой имеются упругий ферромагнитный и медный контакты. Они совмещают функции токопровода, магнитопровода и пружины.



Рис. 3.

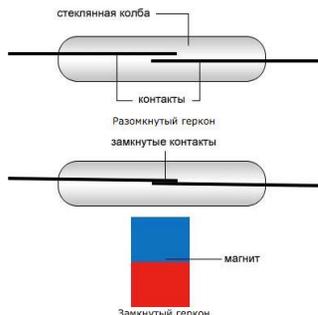


Рис. 4.

При увеличении внешнего магнитного поля свыше порогового, упругий ферромагнитный контакт геркона соединяется с медным контактом и замыкает электрическую цепь. При снятии внешнего поля за счет упругости ферромагнитного контакта происходит размыкание цепи.

Демонстрация 6.2. Соберем электрическую цепь, состоящую из геркона, лампы накаливания и батареи согласно схеме (рис. 5). Лампа не горит.

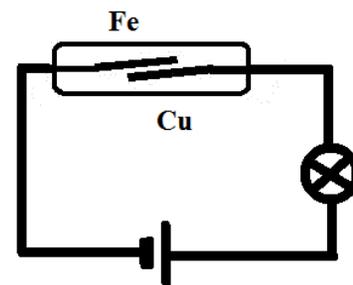


Рис. 5.

Поднесем к геркону неодимовый магнит.

Лампа загорается.

Проблема. Почему лампа загорается?

Ответ. Когда к геркону подносят магнит, ферромагнитный контакт геркона соединяется с медным контактом. Электрическая цепь замыкается и по цепи течет ток. Лампа загорается.

Демонстрация 7. Шуруподвигатель.

1. Простейший электродвигатель. Он состоит из неодимового магнита, батарейки типа АА (лучше алкалиновой) на 1.5 В, кусочка многожильного провода и шурупа.

Устройство электродвигателя (рис. 1). Прикрепляем шуруп к неодимовому магниту шляпкой, а острым концом к батарейке, например, к плюсу. Длину шурупа надо подобрать под силу магнита так, чтобы на батарейке шуруп с магнитом еле держались – это уменьшит силу трения и позволит раскрутить электродвигатель до больших оборотов.

Демонстрация 7.1. К верхнему концу батарейки пальцем прижимаем провод, а второй рукой, стараясь держать батарейку ровно, подносим провод к боковой стороне магнита. Магнит с шурупом начнут вращаться.

Проблема. Почему магнит с шурупом начнут вращаться?

Ответ. Магнит с шурупом начнут вращаться под действием силы Ампера. Дело в том, что магнит создает магнитное поле, а так как неодимовый магнит проводит электрический ток, то в нем радиально течет электрический ток от плюса через шуруп к минусу батареи через провод. Вот на этот ток и действует сила Ампера, заставляя магнит вращаться.

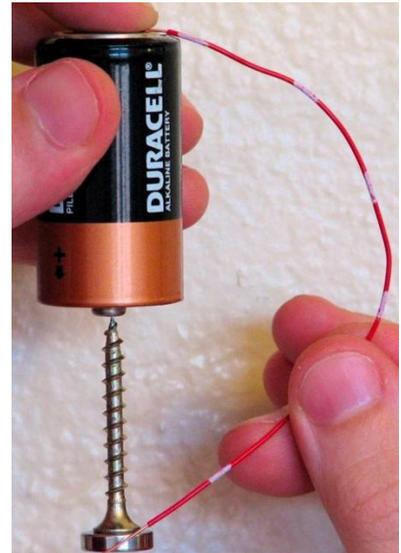
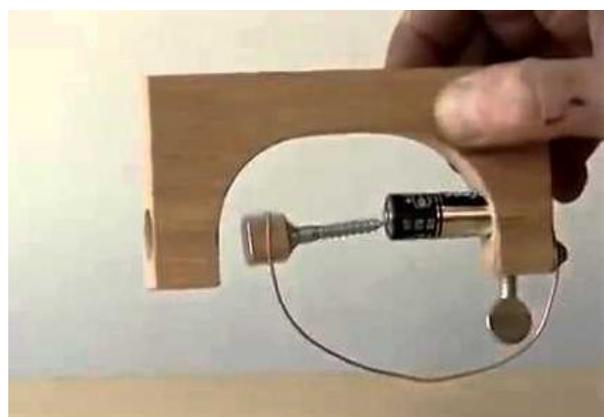
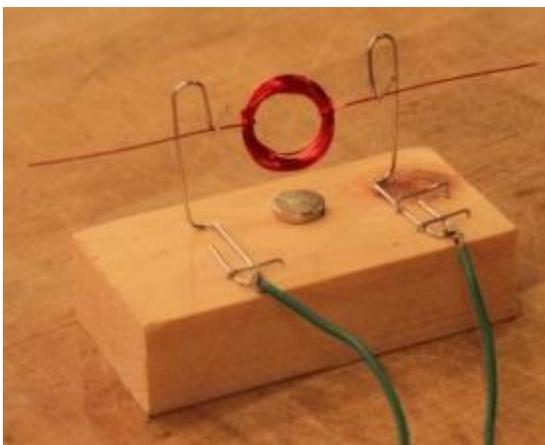
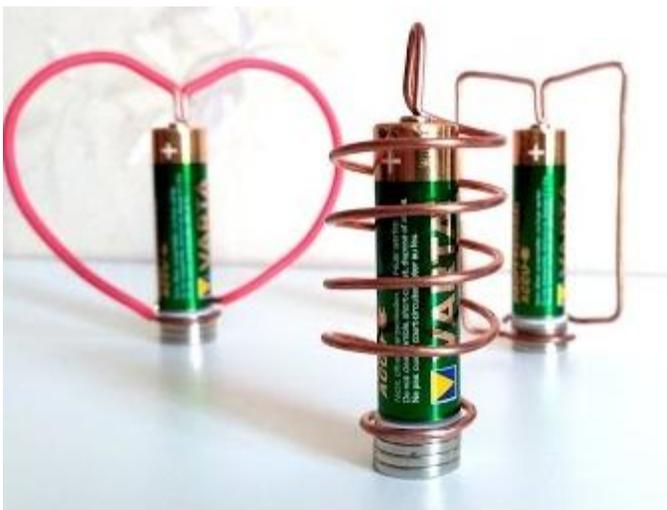


Рис. 1.

2. Примеры электродвигателей на неодимовых магнитах.



Демонстрация 8. Магнитный сепаратор.

1. Магнитной сепарацией называется процесс разделения смесей минералов с помощью магнитных сил на магнитную и немагнитную фракции в воздушной или водной среде. Процесс магнитной сепарации заключается в том, что предварительно подготовленная руда подается в магнитное поле. Магнитные частицы, состоящие из минералов с высокой магнитной проницаемостью ($\mu > 10000$), намагничиваются и притягиваются к полюсам магнита, а частицы из минералов с малой магнитной проницаемостью ($\mu < 10$) практически не подвергаются воздействию магнита и выводятся из зоны магнитного поля. Притянутые магнитные частицы специальными устройствами снимаются с полюсов магнита и разгружаются в отдельный приемник (рис. 1).

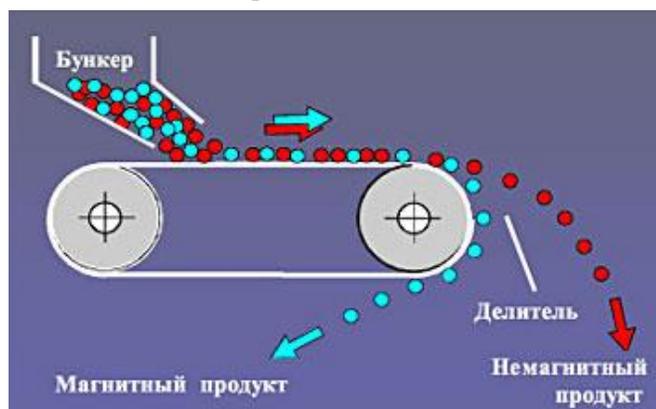


Рис. 1.

Притяжение материала магнитом может произойти только в том случае, когда магнитная сила будет больше суммы всех

сил (сил тяжести, трения, сопротивления водной и воздушной среды, центробежной и др.), стремящихся вынести минеральную частицу из зоны магнитного поля. Магнитные силы, действующие на немагнитные частицы, должны быть меньше суммы всех сил, препятствующих притяжению.

С детства известно каждому, что урожаем хлебных злаков является зерно.

Получение муки – трудоемкий и длительный процесс. И прежде, чем мука попадет в магазины и хлебопечные фабрики, зерно проходит через множество переработок. При уборке урожая в зерно нередко попадают мелкие металлические частицы – стружка, сколы, минералы, окалины, части гвоздя и т.д. Из-за крайне малого размера в обычном зерноочистительном сепараторе такие частицы не способны полностью выделиться. Именно поэтому зерно необходимо подвергнуть обработке магнитным сепаратором. Магнитный сепаратор для зерна представляет собой устройство с металлическим корпусом (рис. 2). В верхней его части имеется специальный приемный люк (1), куда осуществляется подача зерна с ферромагнитными примесями. Зерно попадает на барабан (2), внутри которого размещен магнит (5). При движении барабана зерно подается в выходной отсек (3), а ферромагнитные частицы отклоняются и переносятся в отдельный контейнер (4).

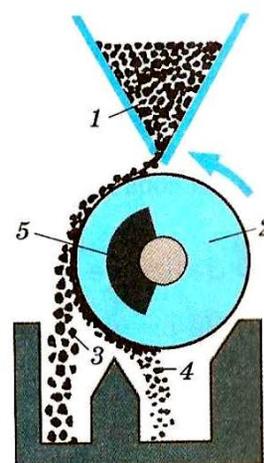


Рис. 2.

Опыт. Возьмем пластину из органического стекла, положим под нее сильный круглый магнит и насыплем на нее смесь карборунда и латунных опилок. Затем насыплем в нее железные опилки и перемешаем их (рис. 3).

Проблема. Как отделить железные опилки из смеси?

Ответ. Накрываем полученную смесь бумажной тарелкой (рис. 4), поднимаем пластину из оргстекла со смесью вверх. На тарелку ставим круглый магнит (рис. 5). Железные опилки через тарелку притянутся к магниту. Перевернем магнит с тарелкой, и железные опилки окажутся в тарелке (рис. 6), а смесь из карборунда и латунных опилок окажется внизу.



Рис. 3.



Рис. 4.



Рис. 5.



Рис. 6.

Опыт 1. Намагничивание спичек.

Возьмем обычные спички. Разложим на столе и поднесем к ним неодимовый магнит. Спички не притянутся к магниту (рис. 1).

Зажжем несколько спичек. И, когда обгорят головки, погасим их. К обгоревшим головкам поднесем неодимовый магнит.

Головки спичек притянутся (рис. 2).

Проблема. Почему обгорелые головки спичек притянутся к неодимовому магниту?



Рис. 1.

Ответ.

Спички притягиваются потому, что содержат в своём составе так называемый железный сурик Fe_2O_3 (который и придаёт спичечной головке характерный тёмно-рыжий цвет).

Железный сурик Fe_2O_3 , содержащийся в головке, при сгорании образует другой оксид железа – магнетит Fe_2O_4 . Именно магнетит и притягивается к магниту, а еще и тянет за собой остаток деревянной соломки.



Рис. 2.

Опыт 2. Магнитный искатель.

Что такое поисковый магнит и для чего он нужен?

Магнетизм давно изучен человеком, это полезное качество магнитов нашло широкое применение в различных сферах деятельности. Однако лишь за счет стремительных темпов развития технического прогресса магниты в последнее время стали доступны широким массам. Так, инновационные разработки породили новую форму сплава – очень сильный неодимовый магнит, который практически полностью заменил привычный сравнительно слабый ферромагнитный материал. Новый вид магнитов распространен и успешно используется в повседневной жизни, в электротехнической сфере, в медицине.

Неодимовый магнит удобно использовать как поисковый магнит. Он представляет собой предмет чаще всего круглой формы со стальным корпусом, внутри которого спрятан неодимовый сердечник. Сила, с которой неодимовый магнит действует на железные предметы, различна (рис. 1).



Рис. 1.

С помощью такого устройства можно искать металлические предметы не только на земле, будь то грунт, глина, песок или трава, но и в водоемах любой глубины от небольших речек до глубоководных озер.

Опыт 2.1.

Положим на стол тонкий лист (25x25 см²) железа, на которой краской написано слово «Клад». Накроем его плотным листом непрозрачной бумаги или картона (дети не должны видеть эти приготовления) (рис. 2).

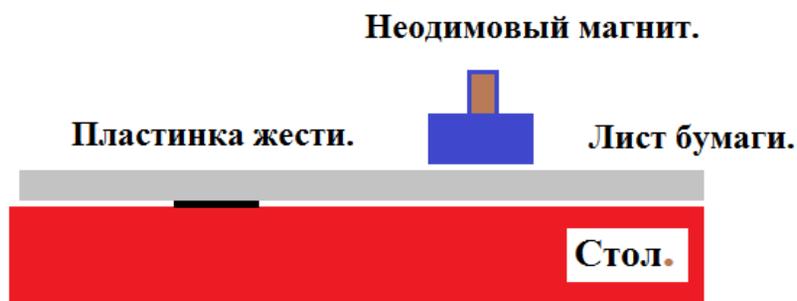


Рис. 2.

Будем перемещать неодимовый магнит на некоторой высоте (3-5 мм) над листом бумаги. В определенный момент бумажный лист притянется к магниту.

Проблема. Почему бумажный лист притянется к магниту?

Ответ. Под листом бумаги в определенном месте находится пластинка железа. Когда магнит оказывается над пластинкой, то она примагничивается к магниту и тянет за собой лист бумаги. Отцепляем лист жести от установки и видим надпись «Клад».

Опыт 3. Полюса магнита

1. Постоянные магниты. Что такое постоянный магнит? Постоянным магнитом называется тело, способное долгое время сохранять намагничивание. В результате многократных исследований, проведенных многочисленных опытов, мы можем сказать, что только несколько веществ на Земле могут быть постоянными магнитами Fe, Ni, Co и сплавы редкоземельных металлов (рис. 1).

Постоянные магниты использовались очень давно, и в первую очередь это приборы ориентирования в пространстве – первый компас был изобретен в Китае для того, чтобы ориентироваться в пустыне. Они могут быть разными: есть полосовые магниты (рис. 2) и дугообразные (подковообразные) (рис.3).



Железо Никель Кобальт

Рис.1.

2. Почему магнит – есть магнит. Французский ученый Ампер в начале 19 века предположил, что в любом веществе есть

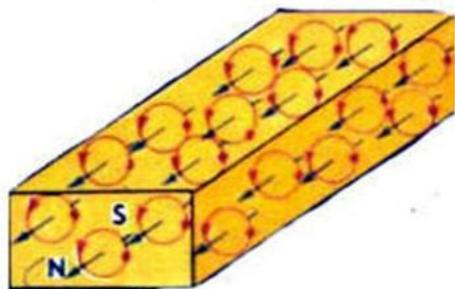


Рис.4.

круговые молекулярные токи, которые создают магнитные поля. В намагниченных ферромагнетиках эти токи расположены параллельно друг другу (рис.4).

Их магнитные поля складываются и получаются магнит, у которого силовые

линии выходят из северного полюса, а входят в южный полюс. Направление силовых линий магнитного поля определяют по правилу буравчика. **Важно помнить – силовые линии магнитного поля всегда замкнуты** (рис.5).



Рис.2.

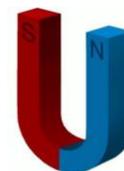


Рис.3.

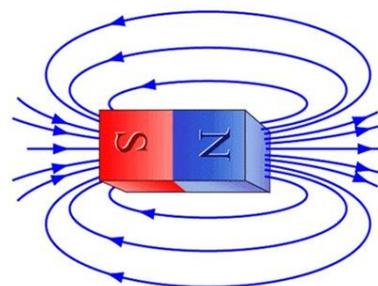


Рис.5.

3. Опыт. Разрежем магнит посередине. (Соединим последовательно два магнита и середину завернем в бумагу, а потом разведем).

Проблема. Что получится ?

- Два магнита – северный и южный.
- Два обычных магнита.

Ответ. Вследствие замкнутости силовых линий магнитного поля получатся два магнита с двумя полюсами, так как силовые линии магнитного поля всегда замкнуты (рис.6).

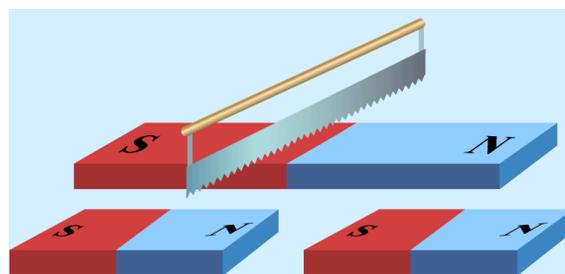


Рис.6.

4. Опыт. Взаимодействие полюсов магнита .

Разноименные полюса притягиваются, одноименные полюса отталкиваются (рис.7).

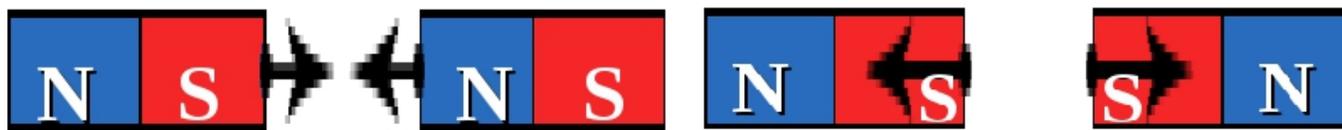


Рис.7.

5. Проблема. Может ли быть магнит с одним полюсом (рис.8)?

Ответ. Нет, так как магнитные линии магнита должны быть замкнуты сами на себя.

6. Проблема. Может ли быть магнит с тремя полюсами ?

Ответ. Да (сделать и показать полюса магнита с помощью компаса).

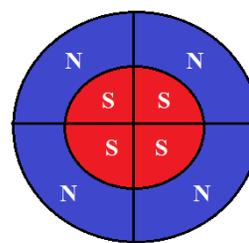


Рис. 8.

Опыт 4. Магнитная левитация. Кольцевые магниты. Парящая Земля.

1. Левитация (от лат. *levitas* «легкость, легковесность») — преодоление гравитации без дополнительных приспособлений, при котором субъект или объект парит в пространстве (*левитирует*), не касаясь поверхности твёрдой или жидкой опоры. Для левитации необходимо наличие силы, компенсирующей силу тяжести. Источниками таких сил могут быть струи газа, сильные звуковые колебания, лазерные лучи и др. Также была обнаружена и экспериментально доказана диамагнитная левитация.

Магнитная левитация — метод подъёма объекта с помощью магнитного поля, основанная на отталкивании одноименных полюсов магнита. На рисунке 1 изображена левитация кольцевых магнитов, которые отталкиваются одноименными полюсами и преодолевают силу тяжести.

Магнитная левитация используется в поездах на магнитной подушке, магнитных подшипниках и демонстрациях увлекательных экспериментов.



Рис. 1.

2. Опыт 4.1. Магнитную левитацию осуществить довольно просто. Соберем установку, изображенную на рис.1. Для этого на вертикальный пластмассовый цилиндр поместим кольцевые магниты – один вверх северным полюсом, другой над ним вверх южным полюсом и т.д. Магниты будут висеть в пространстве.

Проблема. Почему?

Ответ. Дело в том, что магниты обращены друг к другу одноименными полюсами, а одноименные полюса отталкиваются.

3. Примеры магнитной левитации.

Магнитная левитация лягушки. За это будущий лауреат Нобелевской премии Александр Гейм получил Шнобелевскую премию.



Сверхпроводник при сверхнизкой температуре в магнитном поле.



Опыт 4.2. Магнитная левитация.

Проблема. Почему эта фигура парит в воздухе?

Ответ. Потому что одноименные магнитные полюса в фигуре и подставке отталкиваются.

Парящая Земля.

Опыт 5. Магнитное поле Земли.

1. Магнитное поле Земли или **геомагнитное поле** – магнитное поле, генерируемое внутриземными электрическими токами. Появилось магнитное поле Земли примерно 4,2 млрд. лет назад.

Земля это магнитный диполь (диполь – это два полюса).

Согласно модели земного поля, южный полюс земного магнита имеет координаты $80,37^\circ$ с. ш. и $72,62^\circ$ з. д., а северный магнитный полюс земного магнита – $80,37^\circ$ ю. ш., $107,38^\circ$ в. д., наклон оси диполя относительно оси вращения Земли – $9,63^\circ$ (рис. 1).

Опыт. Возьмем модель глобуса из папье-маше, внутрь которого вставлен полосовой магнит (рис. 2).

Если компас поднести к северному географическому полюсу Земли, то к нему притянется северный полюс стрелки компаса, так как вблизи северного географического

полюса Земли находится южный магнитный полюс Земли, а если поднести компас к южному географическому полюсу Земли, то к нему притянется южный полюс стрелки компаса, так как вблизи южного географического полюса Земли находится северный магнитный полюс Земли.

Проблема. Почему?

Ответ. Согласно модели земного поля, северный геомагнитный полюс находится вблизи южного географического полюса, а южный – вблизи северного географического полюса.

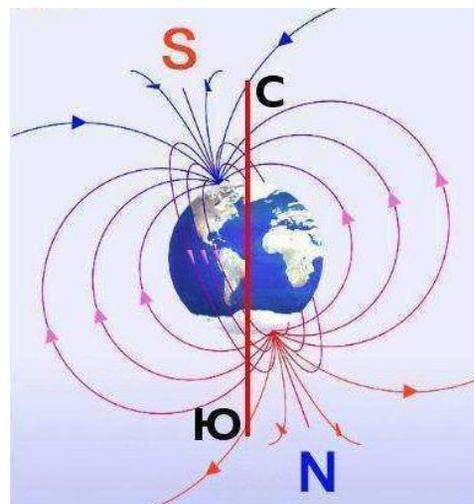


Рис. 1.

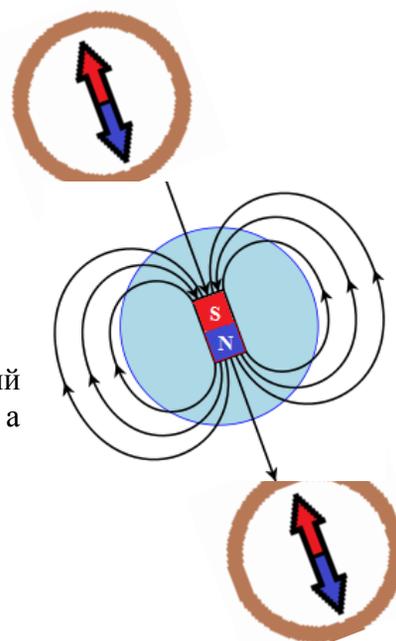


Рис. 2.

Причина возникновения магнитного поля Земли – круговые токи, текущие внутри Земли. Благодаря сложным процессам, происходящим внутри Земли, они с течением времени постепенно поворачиваются и, следовательно, положение магнитных полюсов Земли немного смещается (см. рис.3). Со временем возможна переполюсовка земных полюсов. Подумайте – к чему это может привести?

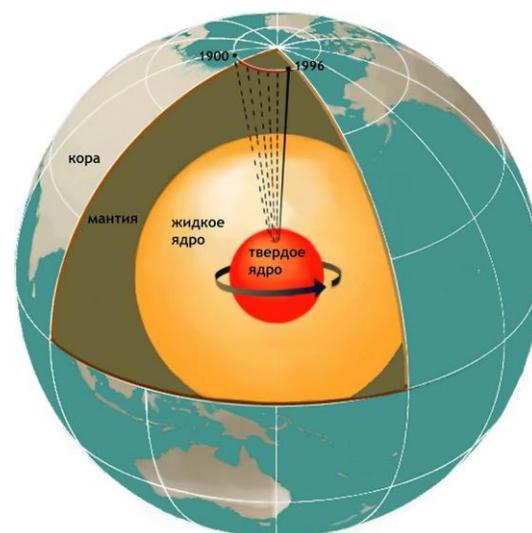


Рис. 3.

Опыт 6. Компас и железная полоса.

1. Что такое компас? Компас – это угломерный прибор, который служит для измерения направлений (магнитных азимутов) на местности. Компасы бывают разной конструкции, но наибольшее распространение в нашей стране имеет компас, сконструированный в прошлом веке русским военным топографом капитаном Петром Адриановым. Этот компас так и называется – компас Адрианова. Раньше эти компасы целиком изготовлялись из металла (из латуни), а теперь делаются из пластмассы.

Компас Адрианова (рис. 1) состоит из пяти частей:

1. корпус компаса;
2. визирное кольцо;
3. магнитная стрелка;
4. лимб (циферблат);
5. зажим.



Круглый черный пластмассовый корпус служит для того, чтобы соединять и закреплять все остальные части. Снизу в самом центре корпуса в него вставлена короткая стальная **игла**, на которую насаживается стрелка. Сбоку имеется прорезь – через нее проходит пружинка замка стрелки. По верхнему краю идет паз с латунными пружинками, с помощью которых к корпусу крепится и на нем вращается визирное кольцо. Чтобы стрелка легко вращалась на игле, в центре ее в специальной латунной оправе («чашечке») имеется крошечный камень-хрусталик для снижения тормозящего действия вращающихся деталей.

Стрелка компаса представляет очень легкий магнит, который поворачивается под действием магнитного поля Земли. Синий конец стрелки (северный полюс магнитной стрелки) всегда показывает на Северный географический полюс Земли, так как вблизи него **находится южный магнитный полюс Земли**.

С помощью компаса люди ориентируются на местности.

Опыт. Что произойдет со стрелкой компаса, если к компасу поднести медную или стальную пластинку?

Если поднести к компасу медную пластинку, то практически ничего не произойдет, Если к компасу поднести стальную пластинку, то показания компаса будут неверными.

Проблема. Почему?

Ответ. Если поднести к компасу медную пластинку, то практически ничего не произойдет, т.е. положение стрелки не изменится потому, что она не намагнитится (диамагнетик).

Если к компасу поднести стальную пластинку, то стальная пластинка под действием магнитного поля стрелки намагнитится и немного притянет к себе стрелку, следовательно, северный конец стрелки компаса уже не будет показывать на север.

Ярким примером, подтверждающим это явление, является эпизод из книги Жюль Верна «Пятнадцатилетний капитан», когда Негоро подложил под компас железный брусок и корабль поплыл по другому направлению.



Однажды ночью вахту нес Там. Море было спокойно, и старый негр задремал. Тем временем на палубу прокрался Негоро. Он подложил под запасной компас железный брусок. Железо притянуло стрелку, и она отклонилась в сторону на 45 градусов.

Жюль Верн. «Пятнадцатилетний капитан»

Опыт 7. Опыт с магнитами – намагниченным и не намагниченным.

1. Имеются два полосовых магнита. Один намагниченный, а другой не намагниченный. Как, не имея никаких других предметов, определить, какой магнит намагничен, а какой нет (рис. 1)?

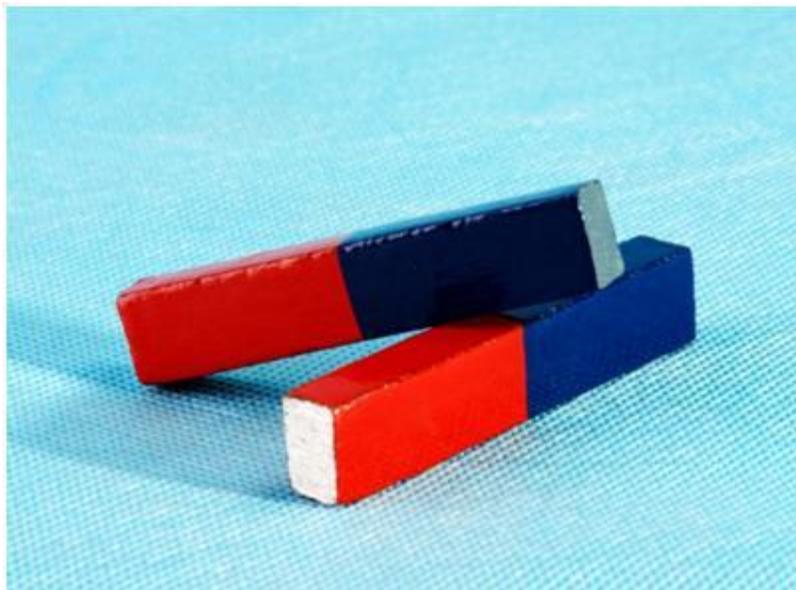


Рис. 1.

Ответ:

1. Намагниченный магнит своим концом будет притягивать не намагниченный магнит в любом месте, а не намагниченный своим концом в середине намагниченного магнита не притянется

Опыт 8. Точка Кюри.

1. ТОЧКА КЮРИ – температура, вблизи которой происходит качественное изменение физических свойств некоторых кристаллических тел. При этой температуре происходит переход ферромагнетика в парамагнетик, потому что при нагревании вещества тепловое движение атомов разупорядочивает ориентацию магнитных полей атомов и намагниченность ферромагнетика исчезает – ферромагнетик превращается в парамагнетик. Температура, при которой ферромагнетик превращается в парамагнетик, называется точкой Кюри. Она названа по имени П. Кюри, который в 1895 году впервые изучил такой переход из ферромагнитного состояния в парамагнитное.

2. Опыт. Соберем установку, аналогичную изображенной на рис. 1.

Ферромагнетик в виде шарика, закрепленного на алюминиевом рычаге, притягивается к магниту.

Поднесем к ферромагнетику пламя зажигалки и будем его нагревать. Ферромагнетик перестанет притягиваться магнитом и упадет с рычагом вниз.

Проблема. Почему?

Ответ. При нагревании ферромагнетика он превращается в парамагнетик, который практически не притягивается к магниту.

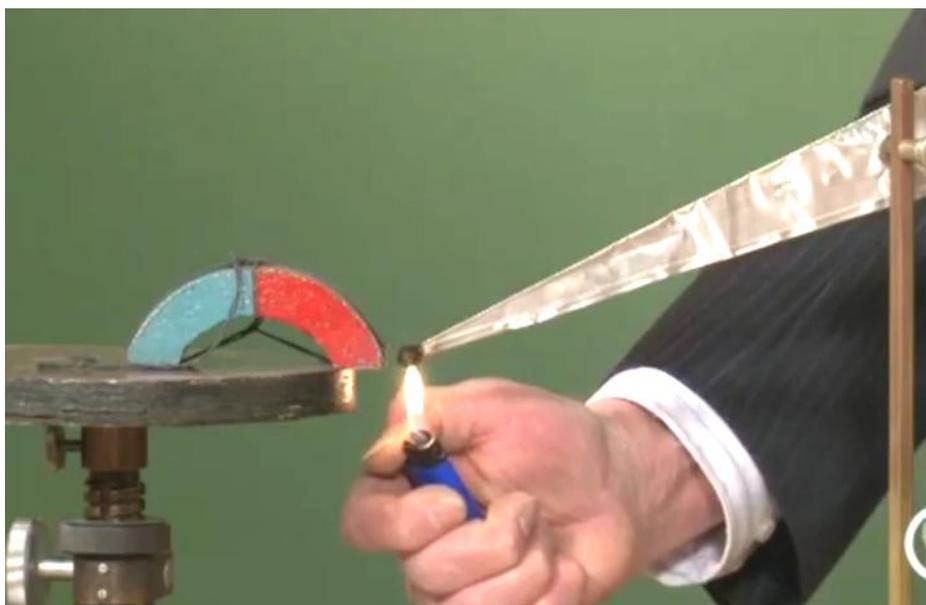
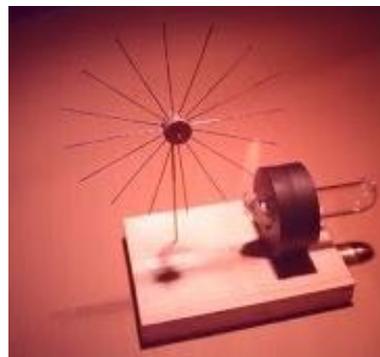
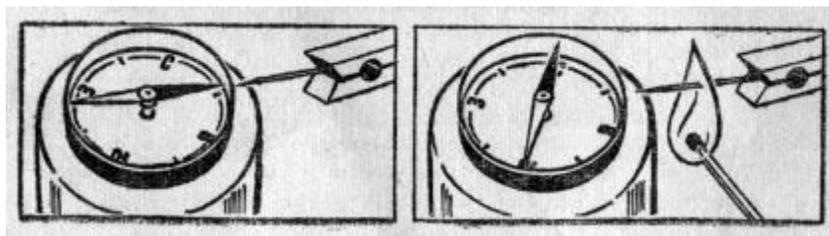


Рис. 1.

Примеры экспериментов с демонстрацией точки Кюри.



Опыт 9. Опыт Эрстеда

1. Опыт Эрстеда – классический опыт, проведённый в 1820 году Эрстедом, который являлся первым экспериментальным доказательством появления магнитного поля около любого проводника, по которому протекает электрический ток.

Кристиан Эрстед помещал над магнитной стрелкой медный прямолинейный металлический проводник, направленный параллельно стрелке (рис. 1). При пропускании через проводник электрического тока стрелка поворачивалась почти перпендикулярно проводнику. При изменении направления тока стрелка разворачивалась на 180° . Таким образом, впервые было экспериментально доказано появление магнитного поля около проводника, по которому протекал электрический ток.



Рис. 1.

2. Опыт 9.1. Соберем электрическую цепь согласно рисунку 2. Замкнем ключ. Амперметр покажет наличие тока в цепи, магнитная стрелка повернется.

Проблема. Почему?

Ответ. При замыкании ключа по электрической цепи потечет электрический ток. В проводнике над магнитной стрелкой электрический ток создаст магнитное поле, которое будет действовать на магнитную стрелку с некоторой силой, и стрелка повернется.



Рис. 2.

3. Опыт 9.2. Исследование зависимости величины магнитного поля от силы тока.

Соберем электрическую цепь согласно рисунку 3. Замкнем ключ. Амперметр покажет наличие тока в цепи, магнитная стрелка повернется. При уменьшении сопротивления реостата стрелка будет поворачиваться на больший угол.

Проблема. Почему?

Ответ. При замыкании ключа по электрической цепи потечет электрический ток. Около проводника электрический ток создаст магнитное поле, которое будет действовать на магнитную с некоторой силой, стрелку и стрелка повернется.

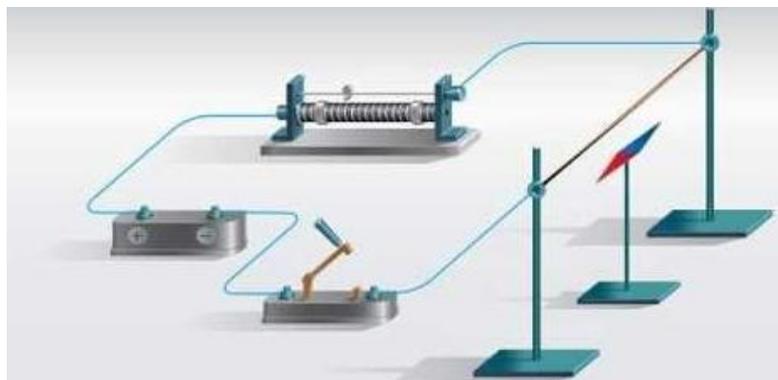
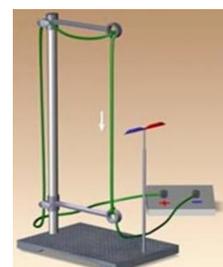
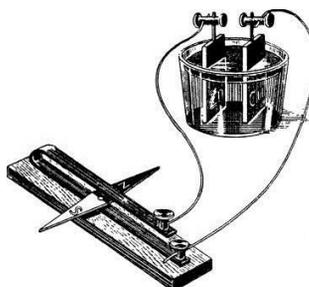


Рис. 3.

При уменьшении сопротивления реостата сила тока в проводнике будет увеличиваться, следовательно, будет увеличиваться величина магнитного поля, и оно будет с большей силой действовать на стрелку.

Различные варианты опыта Эрстеда.



Опыт 10. Сила Ампера.

1. Сила Ампера – это сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, находящийся в магнитном поле. Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки (рис.1).

Величина силы Ампера прямо зависит от магнитной индукции магнитного поля, силы тока в проводнике, длины проводника в магнитном поле и $\sin \alpha$ между направлением вектора магнитной индукции и направлением тока в проводнике (рис. 2).

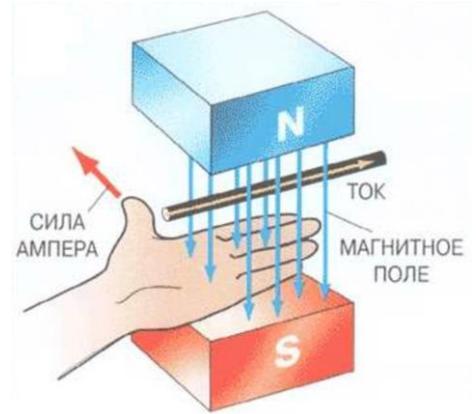


Рис. 1.



Рис. 2.

2. Установка для демонстрации силы Ампера.

Установка (рис.3) состоит из подковообразного магнита, внутри которого находится исследуемый проводник. Концы проводника идут по изогнутому штативу к источнику тока (в белой коробке). На верхней панели коробки имеется переключатель, который позволяет изменить направление тока в проводнике.

Опыт 10.1. Замкнем электрическую цепь.

Проблема. Почему при прохождении тока через проводник, находящийся в магнитном поле, он отклоняется?

Ответ. Проводник с током в магнитном поле отклоняется потому, что на него действует сила Ампера, направление которой определяется по правилу левой руки.



Рис. 3.

Опыт 10.2. Что произойдет, если изменить направление тока в проводнике?

Проблема. Почему?

Ответ. По правилу левой руки направление силы Ампера меняется на противоположное при изменении направления силы тока.

3. Применение силы Ампера.

Сила Ампера применяется в электромоторах, измерительных приборах, счетчиках электроэнергии, громкоговорителях и т.д.



Опыт 11. Взаимодействие параллельных и антипараллельных токов.

Опыт. Если взять два параллельных проводника и пустить по ним электрический ток, то эти проводники притянутся или оттолкнутся. Возьмем два гибких проводника, укрепим их вертикально, а затем присоединим нижними концами к полюсам источника тока (рис. 1.1). Притяжения или отталкивания проводников при этом не обнаружится, так как верхние контакты разомкнуты.

Если теперь другие концы проводников замкнуть проволокой так, чтобы в проводниках возникли токи противоположного направления, то проводники начнут отталкиваться друг от друга (рис. 1.2). В случае же токов одного направления проводники притягиваются (рис. 1.3).

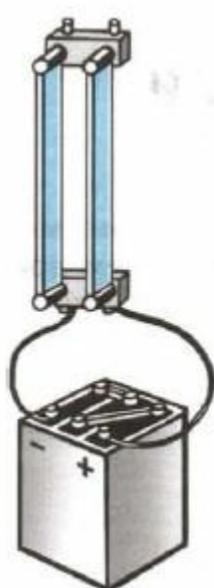


Рис. 1.1

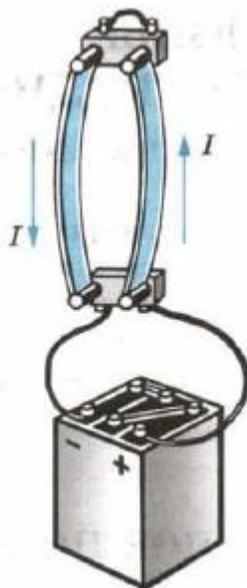


Рис. 1.2



Рис. 1.3

Проблема. Почему в одном случае проводники отталкиваются, а в другом притягиваются?

Ответ. Объясняется это так. В 1820 году Г.Х. Эрстед выяснил, что если по проводнику пустить электрический ток, то около него возникнет магнитное поле. Позднее французский ученый А.М. Ампер выяснил, что если в магнитное поле поместить проводник с током, то на него со стороны магнитного поля будет действовать сила, направление которой можно определить по правилу левой руки.

- Рассмотрим взаимодействие проводников, по которым ток течет в противоположных направлениях. Ток I_1 создает магнитное поле, силовые линии которого по правилу буравчика направлены против часовой стрелки (рис. 2.1). В магнитном поле этого тока находится второй проводник с током I_2 , текущим в противоположном направлении.

В соответствии с правилом определения силы Ампера она будет действовать на второй проводник с силой F_{12} , и он будет отталкиваться от первого проводника. Аналогично первый проводник будет отталкиваться от второго проводника.

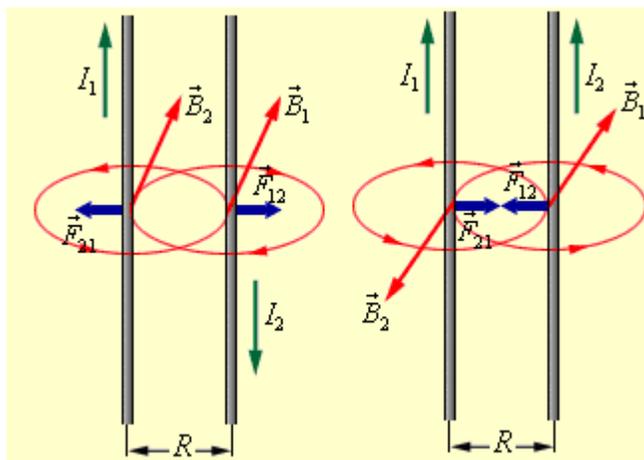


Рис. 2.1.

Рис. 2.2.

- Рассмотрим взаимодействие проводников, по которым ток течет в одном направлении. Ток I_1 создает магнитное поле, силовые линии которого по правилу буравчика направлены против часовой стрелки (рис. 2.2). В магнитном поле этого тока находится второй проводник с током I_2 , текущим в этом же направлении.

В соответствии с правилом определения силы Ампера она будет действовать на второй проводник с силой F_{12} и он будет притягиваться к первому проводнику. Аналогично первый проводник будет притягиваться ко второму проводнику.

Опыт 12. Взаимодействие круговых токов.

1. Существует много электрических приборов, в которых используются круговые токи, текущие в одном или разных направлениях, например, катушки с током, надетые на один и тот же сердечник. В этих проводниках и катушках токи, текущие в них, взаимодействуют друг с другом. Поэтому это явление надо учитывать в практике.

На рис.1 показаны две катушки с током, в которых токи текут в одном направлении. Если в проводниках токи текут в одном направлении, то они притягиваются так, как показано на рисунке 1.

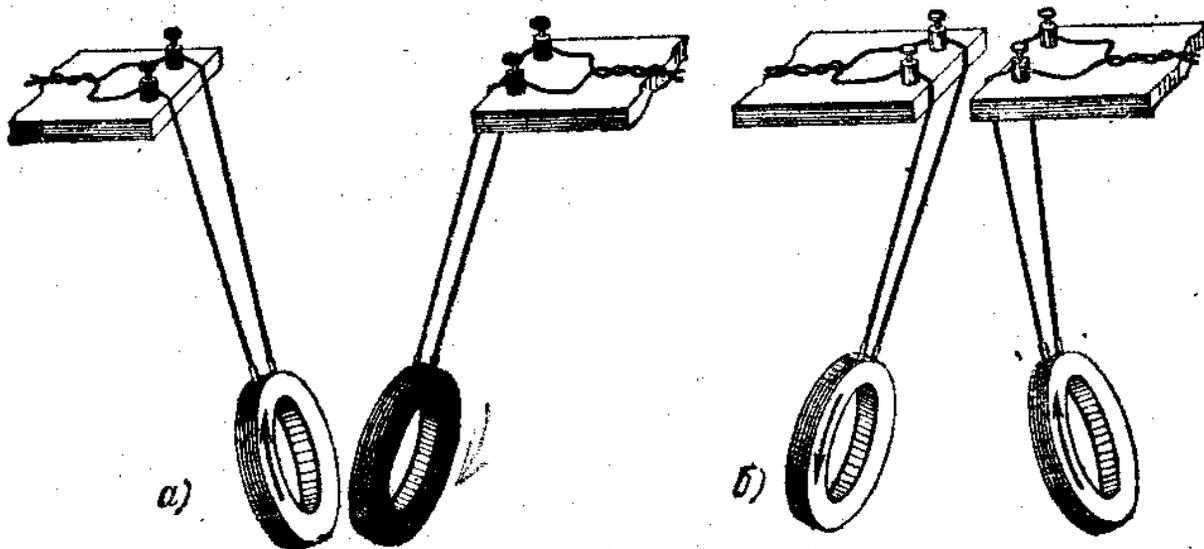


Рис. 1.

Рис. 2.

На рис.2 показаны две катушки с током, в которых токи текут в разных направлениях. Если в проводниках токи текут в разных направлениях, то они отталкиваются так, как показано на рисунке 2.

2. **Опыт.** На стержень штатива наденем катушки и пропустим по ним электрический ток согласно полярностям, указанным на схеме (рис. 3).

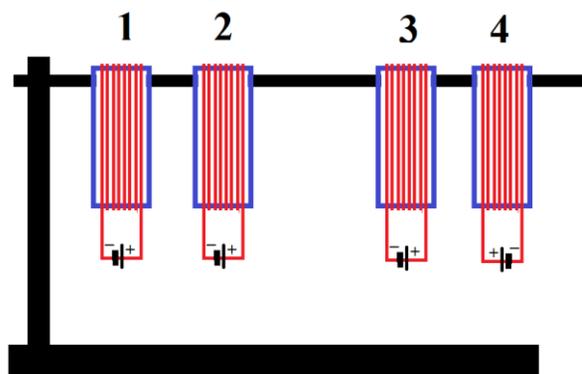


Рис. 3.

Проблема. Как будут взаимодействовать катушки 1 и 2, 3 и 4? Почему?

Ответ. Катушки 1 и 2 будут притягиваться, как притягиваются параллельные токи, а катушки 3 и 4 будут отталкиваться, как отталкиваются антипараллельные токи.

3. Взаимодействие параллельных токов интересно продемонстрировать на спирали Роже (рис. 4). На рисунке сотрудник МФТИ демонстрирует спираль Роже.

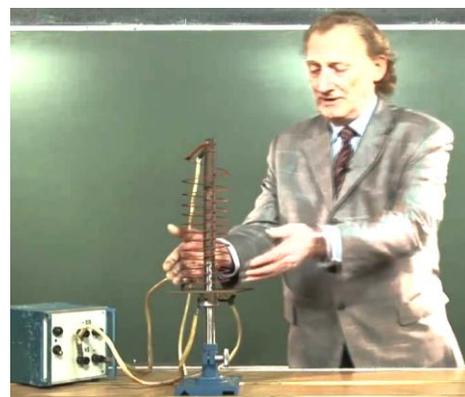


Рис. 4.

Опыт 13. Лестница Якоба (Иакова).

1. Лестница Иакова – устройство для демонстрации некоторых свойств электрической дуги.

Установка, с помощью которой можно продемонстрировать «Лестницу Иакова», состоит из двух электродов, к которым подсоединен источник высокого напряжения (рис. 1). В начальный момент времени между двумя наиболее близкими точками на электродах возникает электрическая дуга. После возникновения дуги она поднимается вверх.

Движение искры вдоль проводников разрядника можно объяснить действием магнитного поля подводящих проводов на ток искры по правилу Ампера.

Движению искры вверх силе Ампера помогает сила Архимеда. Так как искра выделяет тепло, то под действие силы Архимеда ионизированный газ начинает подниматься вверх. Туда же смещается и зона разряда. Когда мощности источника тока уже не достаточно для поддержания такой длинной дуги, она рвется и гаснет

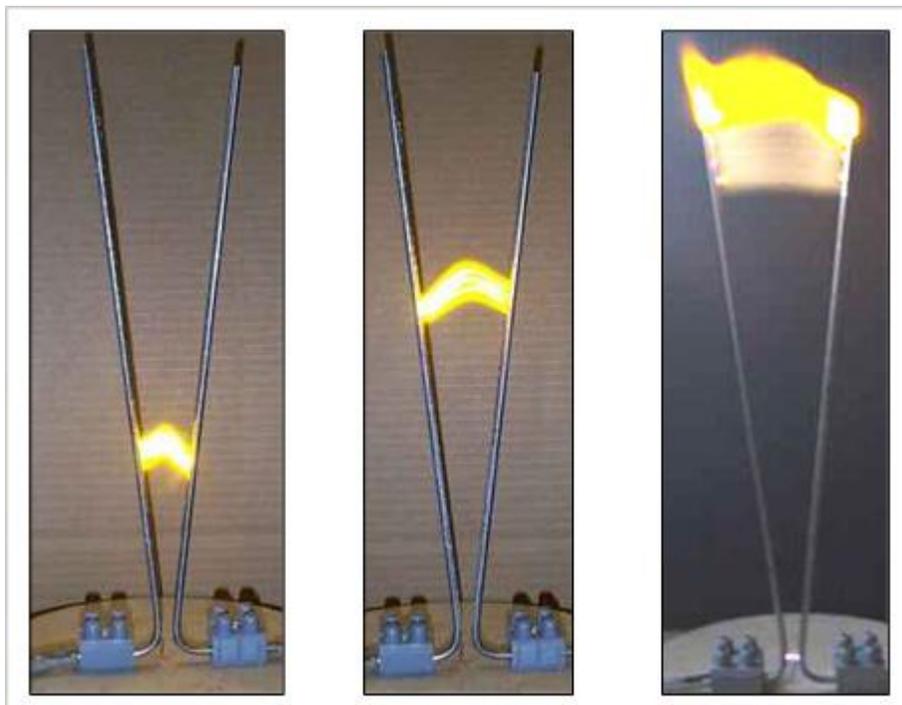


Рис. 1.

Потом процесс повторяется.

Опыт. Соберем схему, состоящую из высоковольтного источника питания «Разряд», блока питания постоянного тока на 12 В (рис. 2).

К выходным контактам прибора «Разряд» подключим два толстых медных расходящихся провода. Включим блок питания и прибор «Разряд» на 25 кВ.

Проблема. Между проводами периодически зажигается, поднимается и гаснет электрическая дуга. Почему?

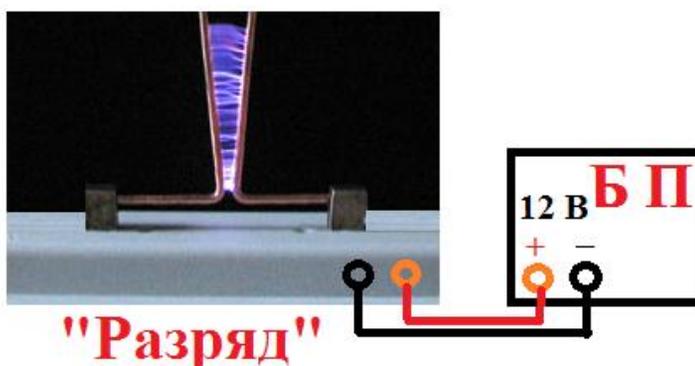


Рис. 2.

Ответ. Движение искры вдоль проводников разрядника можно объяснить действием магнитного поля подводящих проводов на ток искры по правилу левой руки.

Опыт 14. Демонстрационный электродвигатель.

1. **Электродвигатель** – это прибор, который преобразует электроэнергию в энергию механического движения.

Электродвигатель (рис. 1) состоит из постоянного магнита (он изображен зеленым цветом), рамки с током (желтый цвет), коллектора, к которому присоединены щетки, через которые от батареи питания в рамку подается электрический ток.

Коллектор предназначен для периодической смены полярности электрического тока, подаваемого в рамку.

Неподвижная часть электродвигателя называется статором, а подвижная – ротором.

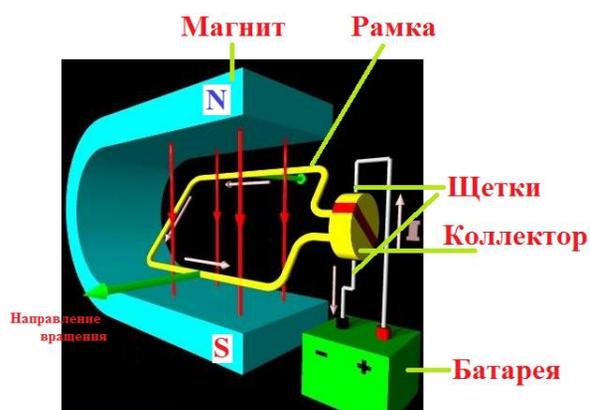


Рис. 1.

Опыт. Соберем электрическую цепь согласно рисунку 2. **Я** – якорь двигателя с щетками, **ОД** – обмотка двигателя, создающая магнитное поле, **К** – ключ, **Б** – батарея. При замыкании ключа **К** вал электромотора начинает вращаться.

Проблема. Почему?

Ответ. Ротор двигателя, на котором находится обмотка, по которой потечет ток, начнет вращаться.

Это происходит потому, что, поскольку рамка с током находится в магнитном поле, создаваемом магнитным полем обмоток двигателя, на проводники рамки действует сила Ампера, которая заставляет вращаться рамку. Коллектор периодически переключает направление тока в рамке.

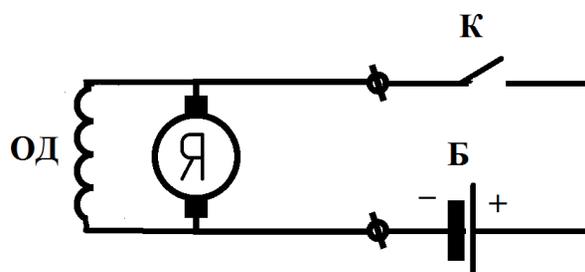
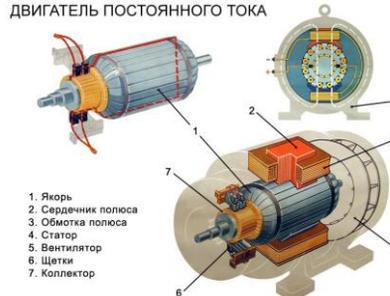


Рис. 2.

Различные типы электродвигателей



ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА



Опыт 15. Электромагнитный микрофон и телефон.

1. Микрофон служит для преобразования звуковых колебаний речи в электрический сигнал звуковой частоты. Микрофоны могут быть угольными, конденсаторными, электродинамическими, электромагнитными, пьезоэлектрическими. Микрофоны используются во многих устройствах, таких как телефоны и магнитофоны, в звуко- и видеозаписи, на радио и телевидении, для радиосвязи, а также для ультразвукового контроля.

Угольный микрофон (рис. 1) состоит из круглого корпуса, в котором находится угольный порошок, стальной мембраны и центрального контакта. Когда до мембраны доходит звуковая волна, она колеблет мембрану. Угольный порошок в микрофоне под действием звуковой продольной волны то сжимается, то расширяется. При этом его сопротивление ($R = \rho L/S$) изменяется, следовательно, изменяется сила тока, текущая в цепи. Падение напряжения на нагрузке тоже изменяется. Это падение напряжения (Сигнал), соответствующее звуковым колебаниям, подается на вход усилителя низкой частоты.

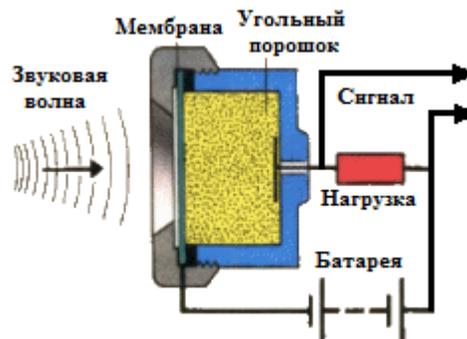


Рис. 1.

Опыт 15.1. Соберем схему, соответствующую рисунку 1, и сигнальные провода подключим к усилителю низкой частоты. Если говорить в микрофон, то в громкоговорителе услышим звук.

Проблема. Почему?

Ответ. Когда до мембраны доходит звуковая волна, она колеблет мембрану. Угольный порошок в микрофоне то сжимается, то расширяется. При этом его сопротивление ($R = \rho L/S$) изменяется, следовательно, изменяется сила тока, текущая в цепи. Падение напряжения на нагрузке тоже изменяется. Это падение напряжения (Сигнал), соответствующее звуковым колебаниям, подается на вход усилителя низкой частоты, а потом на громкоговоритель, и мы слышим усиленный звук.

Электромагнитный телефон (рис. 2) состоит из круглого корпуса, в котором находится постоянный магнит с катушками. Перед катушками находится стальная мембрана.

Опыт 2. Подключим телефон к звуковому генератору. Когда по катушкам пойдет переменный электрический ток от генератора, то мембрана начнет колебаться и излучать звуковые волны.

Проблема. Зачем в электромагнитном телефоне применяется постоянный магнит?

Ответ. Телефон содержит электромагнит, состоящий из обмотки, сердечника и железной пластинки. Под влиянием тока, приходящего из линии, в телефоне вырабатывается магнитное поле, которое приводит в действие металлическую пластину. Движение этой пластины порождает звук.

Но порождаемое магнитное поле зависит от полярности проходящего тока. На любое увеличение тока электромагнит отвечает увеличением действующей на пластину силы, независимо от полярности, и синусоидальный сигнал порождает однополярный поток, который вызывает искажение речи. Поэтому вводится постоянное подмагничивание.

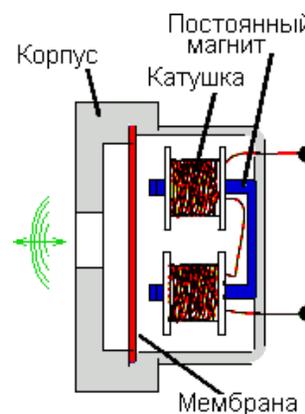


Рис. 2.

Микрофон и телефон объединяются в один корпус, который называется микротелефонной трубкой (рис. 3). В настоящее время телефоны с такими трубками практически не используются. На смену им пришли мобильные телефоны, у которых микрофон и телефон могут работать и на другом принципе.

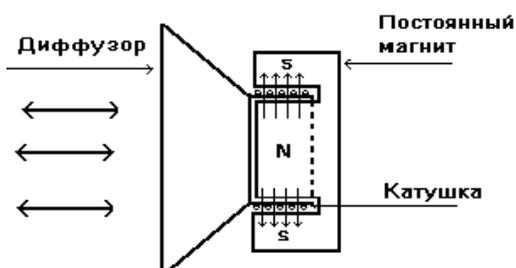


Рис. 3.

Опыт 16. Громкоговоритель.

Громкоговоритель – устройство для преобразования электрических сигналов в акустические (звук) и излучения их в окружающее пространство (обычно – в воздушную среду). Состоит из одной или нескольких излучающих головок, которые собственно и являются источниками звука, а также акустического оформления, необходимого для более эффективного излучения звука в заданной полосе частот.

Громкоговоритель состоит из круглого постоянного магнита с кольцевой канавкой, в которую вставлена звуковая катушка. К катушке приклеен бумажный диффузор (рис. 1).



Опыт. Возьмем громкоговоритель и подключим его к звуковому генератору. Громкоговоритель будет излучать звуковые волны. **Рис. 1.**

Проблема. Почему?

Ответ. Катушка громкоговорителя, по которой пропускают ток звуковой частоты, находится в магнитном поле постоянного магнита. Следовательно, на нее будет действовать со стороны магнитного поля магнита сила Ампера (рис.1). Под действием силы Ампера, катушка начнет совершать колебания, а так как диффузор приклеен к катушке то диффузор будет излучать звуковые волны.

Устройство промышленного громкоговорителя (рис. 2).

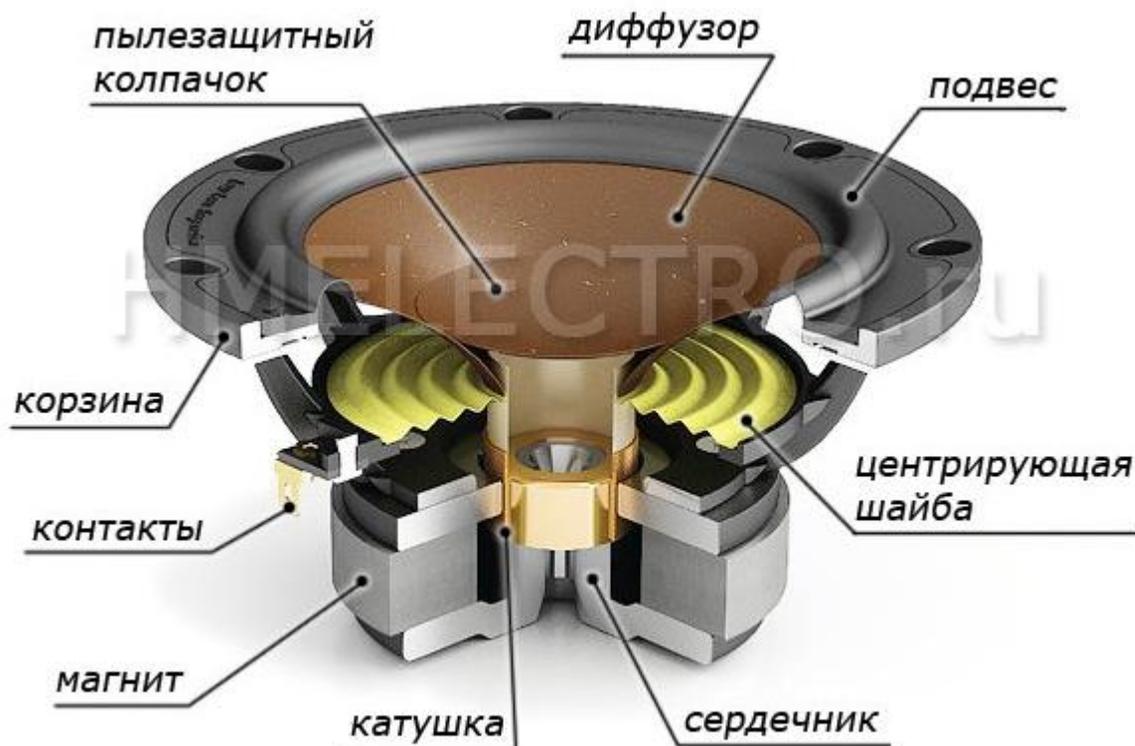


Рис. 2.

На практике для равномерного воспроизведения всех частот звукового диапазона по амплитуде применяют целые системы громкоговорителей – низкочастотный, среднечастотный и высокочастотный, образующие высококачественные акустические системы для верного воспроизведения звука.

Опыт 17. Сила Лоренца.

1. Сила Лоренца – это сила, действующая на движущийся точечный электрический заряд во внешнем магнитном поле. Эта сила названа в честь нидерландского физика Х.А. Лоренца, который в конце XIX в. выяснил, что сила, действующая со стороны магнитного поля на движущуюся заряженную частицу, всегда перпендикулярна направлению движения частицы и силовым линиям магнитного поля, в котором эта частица движется. Направление силы Лоренца можно определить с помощью правила левой руки.

2. Определение направления силы Лоренца (рис. 1).

Расположим левую руку так, чтобы направление элементарного электрического тока, создаваемого движущейся заряженной частицей, совпадало с направлением вытянутых пальцев левой руки. В нашем случае направление элементарного тока, создаваемого зарядом, совпадает с направлением движения заряда, так как $q > 0$. Силовые линии магнитного поля (линии магнитной индукции) входят в ладонь, большой вытянутый палец показывает направление силы Лоренца.

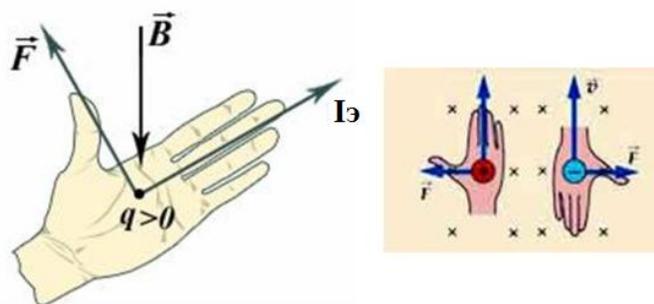


Рис. 1.

3. Определение величины силы Лоренца.

Х.А. Лоренц исследовал величину силы, действующей со стороны магнитного поля на движущийся заряд в этом поле. В результате пришел к выводу, приведенному на рис. 2.



Рис. 2.

4. Опыт. Возьмем осциллограф и постоянный полосовой магнит. Включим осциллограф и получим в центре экрана осциллографа зеленую светящуюся точку (это можно сделать ручками «Ось Y», «Ось X», «Усиление по оси Y» и «Усиление по оси X»).

Проблема. Что произойдет, если слева, справа, сверху или снизу к электроннолучевой трубке осциллографа поднести полосовой магнит каким либо полюсом?

Ответ. Со стороны магнитного поля магнита на электроны, движущиеся в вакууме от катода к аноду, будет действовать сила Лоренца, которая отклонит электроны вправо, влево, вверх или вниз в зависимости от силы Лоренца, направление которой определяется по правилу левой руки.

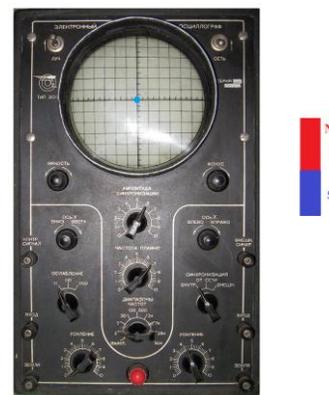
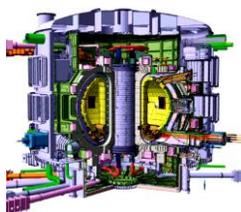


Рис. 3.

5. Сила Лоренца применяется в кинескопах, ускорителях, токамаках, адронном коллайдере, создает на планетах, имеющих магнитное поле, полярные сияния и т.д.



Кинескоп



Токамак ИТЕР



Полярное сияние

Опыт 18. Кинескоп.

1. Кинескоп - электронно-лучевой прибор, преобразующий электрические сигналы в световые. Кроме термина «кинескоп» применяется аббревиатура *ЭЛТ* (электронно-лучевая трубка). В ЭЛТ происходит электростатическое отклонение электронного луча.

Устройство чёрно-белого кинескопа. В баллоне **9** создан глубокий вакуум. Для того, чтобы создать электронный луч **2**, применяется устройство, именуемое **электронной пушкой**. Катод **8**, нагреваемый нитью накала **5**, испускает электроны. Изменением напряжения между управляющим электродом (модулятором) **12** и катодом можно изменять интенсивность электронного луча и, соответственно, яркость изображения на экране. Для фокусировки луча применяется катушка **3**. Из электронной пушки электроны ускоряются анодом **14**. Напряжение на аноде находится в пределах от 7 до 30 киловольт. Далее луч проходит через отклоняющую систему **1**, которая может менять направление луча. В телевизионных ЭЛТ применяется магнитная отклоняющая система, так как она при меньших напряжениях обеспечивает большие углы отклонения. Электронный луч попадает на экран **10**, покрытый люминофором **4**. От бомбардировки электронами люминофор светится, и быстро перемещающееся пятно переменной яркости создаёт на экране изображение. Кинескоп подключается через выводы **13** и высоковольтное гнездо **7**. При работе черно белого кинескопа электронный луч выписывает на экране 625 строк и 25 кадров в 1 секунду.

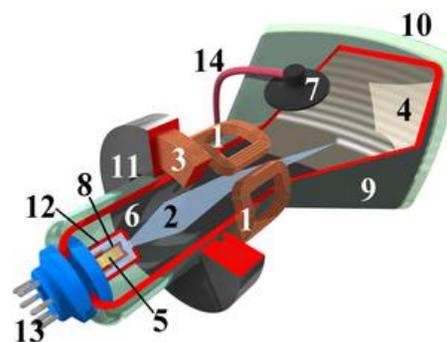


Рис. 1.

В чёрно-белых телевизорах состав люминофора подбирают таким, чтобы он светился нейтрально-серым цветом. В видеотерминалах, радарх и т. д. люминофор часто делают жёлтым или зелёным для меньшего утомления глаз.

Устройство цветного кинескопа. Внешне цветной кинескоп немного отличается от черно-белого кинескопа (рис. 2). Корпус **1** практически такой же. У него есть такая же магнитная система отклонения лучей, состоящая из двух перпендикулярно расположенных катушек **2** и система фокусировки лучей **3**. Внутри цветного кинескопа имеются три электронных пушки (рис. 3, слева), из которых выходят три электронные луча. Один модулирован сигналом красного цвета, другой – зеленого и третий – синего. Перед ячейками люминофора расположена стальная пластина с большим количеством отверстий. Она называется маской. За маской расположено сложное люминофорное покрытие, каждый пиксель которого состоит из RGB триад (рис. 3, справа). Электронные лучи, идущие из электронных пушек, попадают в отверстия в маске под разными углами. Пройдя отверстия в маске, электронные лучи попадают на «свои» ячейки RGB люминофора. Электронные лучи, двигаясь по горизонтали, выписывают строки, а по вертикали – кадры. В системе SEKAM по горизонтали выписываются 625 строк и 25 кадров в 1 сек.

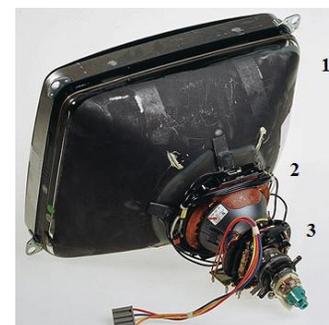
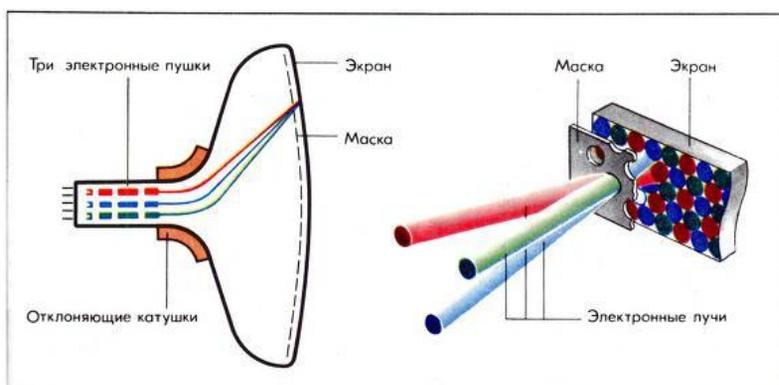


Рис. 2

Дальнейшее развитие получило телевидение высокой четкости (ТВЧ) – система телевидения с разрешающей способностью по вертикали и горизонтали, увеличенной примерно вдвое по сравнению со стандартной, с разрешением 1125 строк.



В настоящее время черно-белые и цветные кинескопы практически не выпускаются. Их заменили цифровые плазменные и жидкокристаллические панели. Современное цифровое телевидение высокой четкости обеспечивает соотношение сторон экрана **16:9** с разрешением **1920×1080** пикселей.

Рис. 3.

Опыт 19. Прибор для демонстрации действия магнитного поля на электроны.

Демонстрацию силы Лоренца удобно проводить с помощью специального прибора (рис. 1). Он состоит из **колбы**, заполненной разреженным инертным газом – неоном или аргоном. Внутри колбы находится **катод**, который при нагревании испускает электроны. Электроны, вылетевшие из **катода**, ускоряются положительным **анодом**.

Так как колба находится внутри двух **катушек**, создающих магнитное поле, то магнитное поле катушек действует на движущиеся электроны с силой Лоренца и электроны движутся по круговой траектории.

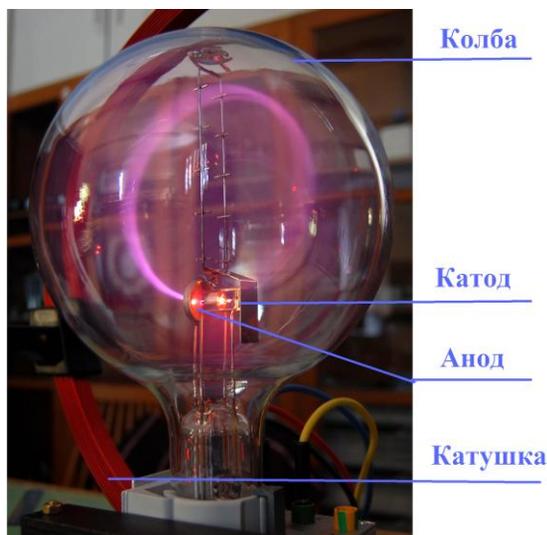


Рис. 1.

Опыт. Демонстрация силы Лоренца.

В приборе для демонстрации силы Лоренца (рис. 2) включим питание.

Когда раскалится нить накала, из катода будут вылетать электроны (это будет видно по светящейся неоновой (аргоновой) полоске благодаря возбуждению атомов неона (аргона) летящими электронами). Создадим магнитное поле катушек, включив в них ток. Электроны начнут двигаться по окружности под действием силы Лоренца со стороны магнитного поля катушек.

Проблема. Почему электроны движутся по окружности.

Ответ. Так как сила Лоренца направлена перпендикулярно скорости, то она будет сообщать электронам нормальное ускорение, поэтому электроны будут двигаться по окружности.



Рис. 2.

Проблема. Почему с изменением силы тока в катушках радиус кривизны траектории электронов будет изменяться?

Ответ. При изменении силы тока в катушках радиус кривизны траектории будет изменяться, так как будет изменяться сила Лоренца, которая будет изменять величину нормального ускорения, а, следовательно, и радиус кривизны траектории согласно формуле силы Лоренца.

Проблема. Почему с изменением ускоряющего напряжения между анодом и катодом радиус кривизны траектории электронов будет изменяться?

Ответ. При изменении ускоряющего напряжения между анодом и катодом радиус кривизны траектории будет изменяться, так как будет изменяться сила Лоренца, которая будет изменять величину нормального ускорения, а, следовательно, и радиус кривизны траектории согласно формуле силы Лоренца.

Опыт 20. Опыт Фарадея.

1. Если в замкнутую на гальванометр катушку, вдвигать или выдвигать постоянный магнит, то в моменты его вдвигания или выдвигания наблюдается отклонение стрелки гальванометра (возникает индукционный ток), направления отклонений стрелки при вдвигании и выдвигании магнита противоположны (рис. 1а,б). Отклонение стрелки гальванометра тем больше, чем больше скорость движения магнита относительно катушки. При изменении полюсов магнита направление отклонения стрелки изменится. Для получения индукционного тока магнит можно оставлять неподвижным, тогда нужно передвигать катушку относительно магнита.

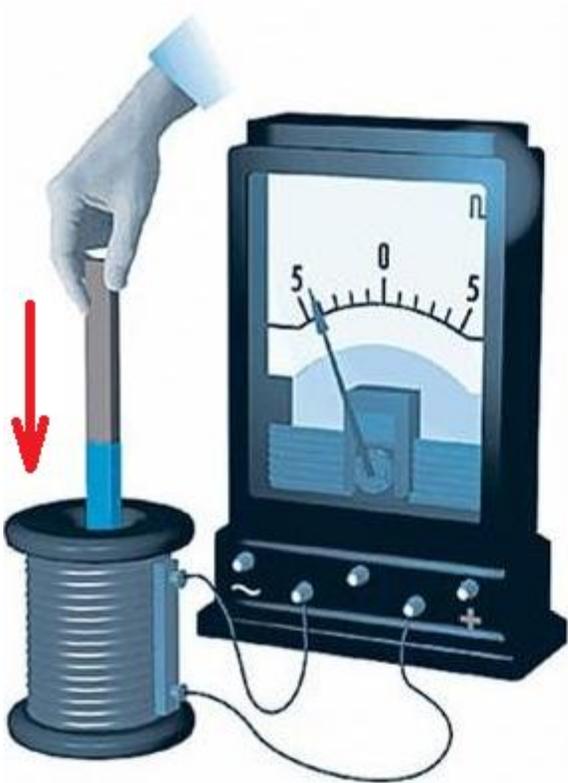


Рис. 1а.



Рис. 1б.

Опыт. Соберем установку согласно рис. 1.

Проблема. Почему при перемещении магнита вверх или вниз стрелка гальванометра отклоняется то в одну, то в другую сторону?

Ответ. Когда мы вставляем магнит в катушку, магнит создает вихревое электрическое поле. Это вихревое электрическое поле, действуя на электроны, находящиеся в проводе катушки, заставляет их двигаться по окружности. Они движутся по виткам катушки и входят в гальванометр, и стрелка гальванометра отклоняется (рис. 1а).

Когда мы вынимаем магнит из катушки, магнит создает вихревое электрическое поле противоположного направления. Это вихревое электрическое поле, действуя на электроны, находящиеся в проводе катушки, заставляет их двигаться по окружности в другую сторону. Они движутся по виткам катушки в другую сторону, входят в гальванометр, и поэтому стрелка гальванометра отклоняется в другую сторону (рис. 1б).

2. Явление электромагнитной индукции применяется в генераторах электрического тока, радиопередатчиках, радиоприемниках, микрофонах, магнитофонах, звукозаписывающих устройствах, компьютерах и т.д.

Опыт 21. Направление индукционного тока. Прибор Лермантова.

Правило Ленца: индукционный ток имеет такое направление, чтобы создаваемое им магнитное поле своим направлением противодействовало причине, его вызывающей, т.е. изменению магнитного поля (рис. 1).

Когда мы подносим магнит северным полюсом к замкнутому металлическому кольцу, в нем изменяется магнитное поле \mathbf{B} , создаваемое внешним магнитом.

Это магнитное поле создает в кольце электрический ток такого направления \mathbf{I} , что он своим магнитным полем \mathbf{B}_i будет противодействовать увеличению магнитного поля, вызвавшего этот ток.

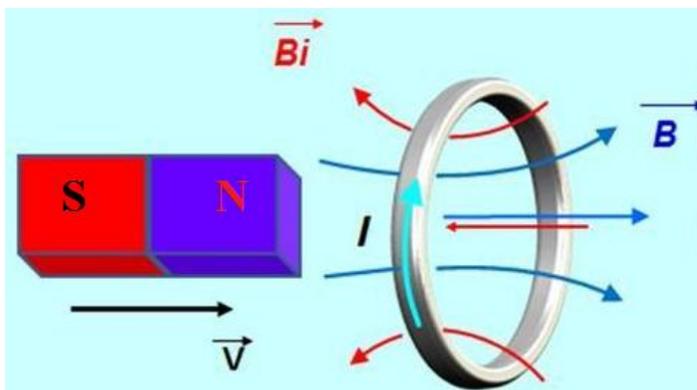


Рис. 1.

Опыт. Определим направление индукционного тока при помощи прибора Лермантова. Прибор имеет два **алюминиевых** кольца, соединенных алюминиевой перекладиной. Одно из этих колец имеет разрез (кольцо не замкнутое), второе кольцо сплошное. Перекладина установлена на острие иглы, которая закреплена на подставке для уменьшения трения). Приближаем магнит к кольцу, имеющему разрез, – с системой ничего не происходит. При приближении магнита к замкнутому концу система начинает поворачиваться (кольцо отталкивается от магнита) (рис. 2). Если же надеть кольцо на магнит и затем вытягивать магнит из него, то кольцо будет двигаться за магнитом.



Рис. 2.

Проблема. Почему кольцо без разреза реагирует на магнит (отталкивается или притягивается), а кольцо с разрезом не реагирует на магнит?

Ответ.

- При приближении магнита к сплошному кольцу мы увеличиваем магнитное поле, которое пронизывает площадь кольца.

Согласно теории явления электромагнитной индукции, в кольце должен возникнуть индукционный электрический ток такого направления, что он своим магнитным полем будет противодействовать увеличению внешнего магнитного поля. В результате, если мы подносим магнит северным полюсом, то кольцо становится магнитом, у которого северный полюс будет находиться вблизи северного полюса внешнего магнита, а одноименные полюса отталкиваются. Поэтому кольцо будет отталкиваться от магнита.

- При удалении магнита от сплошного кольца, мы уменьшаем магнитное поле, которое пронизывает площадь кольца. Согласно теории явления электромагнитной индукции, в кольце должен возникнуть индукционный электрический ток такого направления, что он своим магнитным полем будет противодействовать уменьшению внешнего магнитного поля. В результате, если мы удаляем внешний магнит северным полюсом, то кольцо становится магнитом, у которого южный полюс будет находиться вблизи северного полюса внешнего магнита, а разноименные полюса притягиваются. Поэтому кольцо будет притягиваться к магниту.

- Так как система не реагировала на приближение магнита к кольцу с разрезом, то можно сделать вывод, что индукционный ток в незамкнутом контуре не возникает.

Опыт 22. Соскакивающее кольцо.

1. Явление электромагнитной индукции наглядно проявляет себя в опыте с соскакивающим кольцом.

2. **Опыт 23.1.** Соберем установку согласно рисунку 1. Она состоит из дроссельной катушки с ферромагнитным сердечником от трансформатора. Катушку подключаем с помощью ключа **К** а батарее **Б**. Можно использовать выпрямитель ВС 24.

На сердечник сверху одевается алюминиевое или медное кольцо.

При замыкании ключа кольцо резко подпрыгивает вверх.

Проблема. Почему?

Ответ. При замыкании ключа по катушке начинает течь электрический ток. Вследствие инерционности (явление самоиндукции при замыкании) магнитное поле катушки, усиленное сердечником **В**, увеличивается. Так как в этом увеличивающемся магнитном поле находится алюминиевое кольцо, в нем вследствие явления электромагнитной индукции возникает индукционный электрический ток, который создает магнитное поле **В_{инд}**, направленное против внешнего магнитного поля. В итоге – катушка и кольцо создают противоположные поля и, следовательно, являются магнитами с одноименными полюсами. А магниты с одноименными полюсами отталкиваются, следовательно, кольцо взлетает.

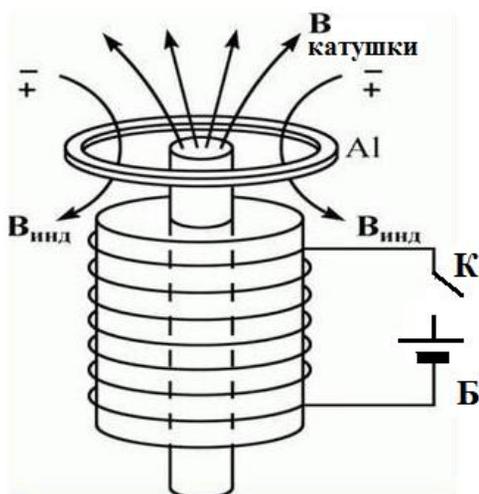


Рис. 1.

3. **Опыт 23.2.** Подключим эту установку к источнику переменного тока (ВС 24). Алюминиевое кольцо будет висеть в воздухе, чуть подпрыгивая (рис. 2), и со временем довольно сильно нагреется.

Проблема. Почему?

Ответ. Катушка подключена к источнику переменного тока с частотой 50 Гц. Следовательно, при одном полупериоде кольцо будет подниматься вверх, а при втором – вниз, так как индукционный ток в кольце изменит свое направление. А так как частота переменного тока 50 Гц, то кольцо за время одного периода не сможет улететь вверх и упасть вниз, поэтому оно будет вибрировать с частотой 50 Гц.

Нагреваться кольцо будет индукционным током, текущим по кольцу.

4. Нагревание металлов индукционным током в переменном магнитном поле до определенной температуры или температуры плавления широко используется на практике (рис. 3).

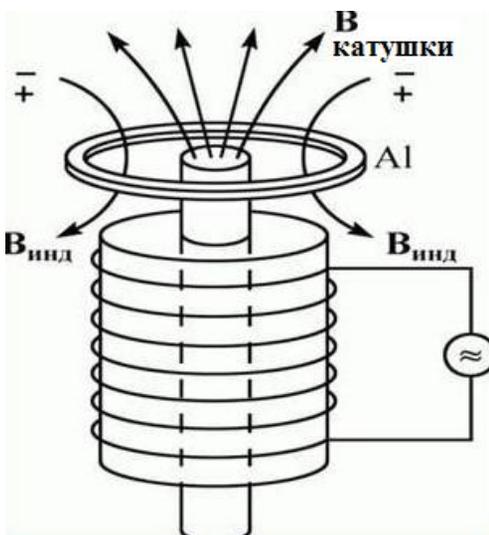


Рис. 2.

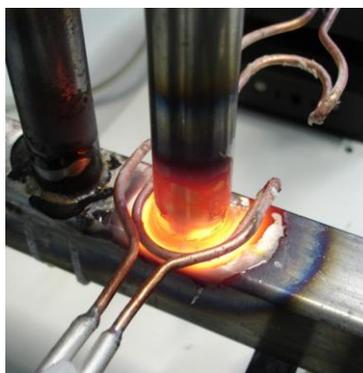
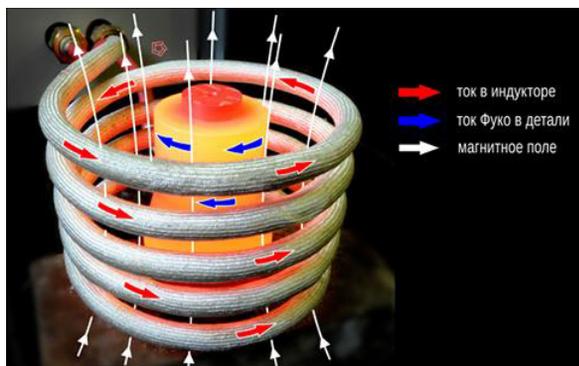


Рис. 3.

Опыт 23. Неодимовый магнит в трубе.

1. Электромагнитная индукция – явление возникновения электрического тока в замкнутом проводнике при изменении магнитного потока, проходящего через него. Электромагнитная индукция была открыта Майклом Фарадеем 29 августа 1831 года. Он обнаружил, что при движении замкнутого проводника в магнитном поле в нем возникает электрический ток, который назвали индукционным током.

2. Если по оси замкнутого проволочного кольца будет падать магнит (рис.1), то в кольце будет возникать индукционный электрический ток. Это явление и положено в основу эксперимента «**Неодимовый магнит в трубе**».

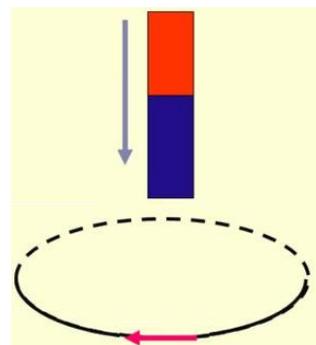


Рис. 1.

3. Опыт. Укрепим на штативе медную трубу диаметром 5 см. Внизу под трубой поставим сосуд с песком (рис. 2).



В нашем распоряжении имеются два небольших цилиндрических тела – один зеленый, другой красный (рис. 3), которые могут свободно пролетать в трубу, так как их диаметр меньше диаметра трубы.



Рис. 3.

- Поднимем зеленый цилиндр на уровень верхней части трубы и опустим его **внутри** трубы. Цилиндр будет свободно падать с ускорением g около 1 сек.
- Поднимем красный цилиндр на уровень верхней части трубы и опустим его **впереди** трубы. Цилиндр будет свободно падать с ускорением g около 1 сек.
- Поднимем красный цилиндр на уровень верхней части трубы и опустим его **внутри** трубы. Цилиндр будет падать внутри трубы около 10 с, при этом его ускорение окажется намного меньше g .

Рис. 2.

Проблема. Почему красный цилиндр будет падать внутри трубы около 10 с?

Ответ.

Внутри зеленого цилиндра находится немагнитный металл, поэтому он внутри трубы падает свободно.

Внутри красного цилиндра находится неодимовый магнит. Когда он летит внутри медной трубы, его магнитное поле, вследствие явления электромагнитной индукции, вызывает в трубе вихревой индукционный ток, который своим магнитным полем тормозит движение магнита.

Опыт 24. Торможение алюминиевой пластины в магнитном поле.

1. Если при движении металлической пластины из пара- или диамагнетика (меди или алюминия) в магнитном поле она пересекает линии магнитной индукции, то в системе отсчета, связанной с пластиной, возникает вихревое электрическое поле, которое создает в ней круговые электрические токи Фуко (рис. 1). Выясним, как вихревой электрический ток влияет на движение пара- или диамагнетика.

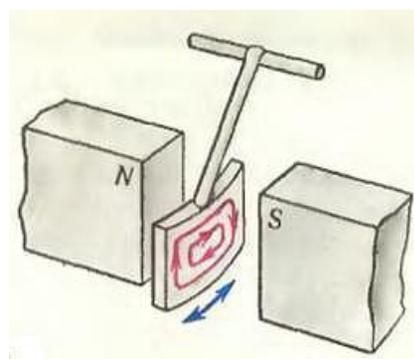


Рис. 1.

2. **Опыт 25.1.** Соберем установку (рис. 2), состоящую из штатива с физическим маятником, на конце которого находится металлическая пластина. Эта металлическая пластина колеблется между полюсами электромагнита, который имеет прорезь в сердечнике. В первом случае электрический ток в катушку электромагнита не включим.

Отклоним маятник на некоторый угол от положения равновесия и отпустим его. Маятник будет совершать практически незатухающие колебания.

Определим период колебаний маятника и остановим его.

3. **Опыт 25.2.** Подключим электромагнит к источнику переменного тока с частотой 50 Гц (BC-24). Отклоним маятник на некоторый угол от положения равновесия и отпустим его. Маятник будет совершать затухающие колебания и быстро остановится.

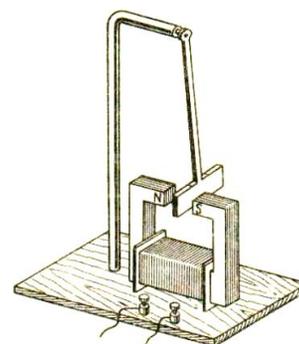


Рис. 2.

Проблема. Почему маятник будет совершать затухающие колебания и быстро остановится?

Ответ. Если металлическая пластина из пара- или диамагнетика (меди или алюминия) движется в переменном магнитном поле, то, так как переменное магнитное поле создает вихревое электрическое поле, в пластине возникают токи Фуко, которые создают переменное магнитное поле. Силовые линии этого поля будут направлены в сторону, противоположную магнитному полю электромагнита, в результате этого пластина тормозится.

4. **Опыт 25.3.** Сделаем в пластине параллельные прорезы, подвесим ее к штативу и заставим ее колебаться (рис. 3). Период колебания пластины будет мало отличаться от периода колебаний в опыте 25.1.

Проблема. Почему период колебания пластины будет мало отличаться от периода колебаний в опыте 25.1?

Ответ. Так как пластина разрезана, то в ней практически не будут возникать вихревые электрические токи Фуко (так как они перерезаны), которые бы превращали пластину в электромагнит. Поэтому она практически не будет тормозиться.

5. Токи Фуко, возникающие в металлических проводниках, находящихся в переменном магнитном поле, могут вызвать сильное нагревание этих проводников, поэтому во всех электрических машинах переменного тока – в трансформаторах, электродвигателях, динамо-машинах и т.д. сердечники собираются из отдельных ферромагнитных пластин или наматываются из ферромагнитной ленты.

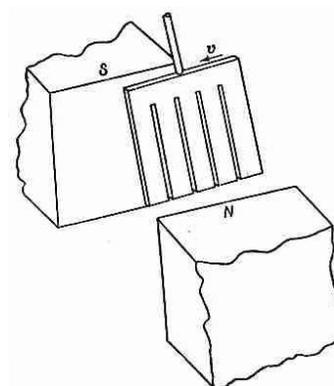
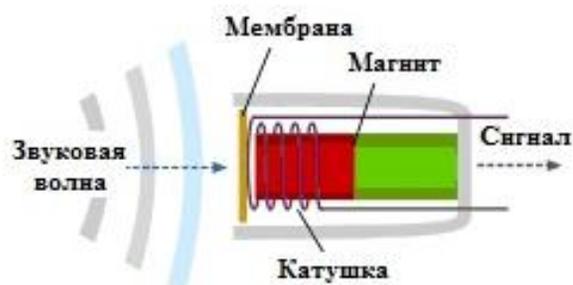


Рис. 3.

Рекомендация: целесообразно продемонстрировать сердечники трансформаторов, электродвигателей и т.д., которые собраны из отдельных пластин или ферромагнитной ленты (пластины должны быть электрически изолированы друг от друга оксидными пленками или бумажными прокладками).

Опыт 25. Применение электромагнитной индукции.

1. Электродинамический микрофон. Микрофон (рис. 1) – электродинамический прибор, преобразующий акустические звуковые колебания воздушной среды в электрические сигналы. Он состоит из подвижной катушки, связанной с мембраной, и постоянного магнита.



Опыт 25.1. Звуковые волны, доходя до мембраны с катушкой, заставляют их колебаться со звуковой частотой. На концах катушки появляется ЭДС звуковой частоты, поступающая на усилитель НЧ.

Проблема. Почему на концах катушки появляется ЭДС звуковой частоты?

Рис. 1.

Ответ. ЭДС на концах катушки появляется вследствие явления электромагнитной индукции.

2. Генератор электрического тока.

Если между полюсами постоянного магнита вращать проволочную рамку, то на концах рамки появится электрическое напряжение, которое можно использовать для практических целей (рис. 2). На этом принципе основаны промышленные генераторы электрического тока (рис. 3).

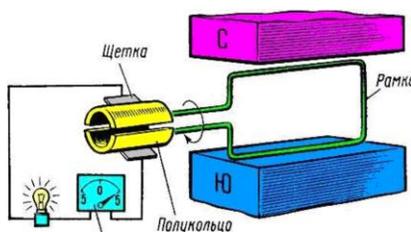


Рис. 2.



Рис. 3.

Опыт 25.2. Возьмем учебный генератор электрического тока (рис. 4).

Будем вращать ручку генератора. Ротор генератора начинает вращаться, и лампочка загорается.

Проблема. Почему лампочка загорается?

Ответ. При вращении ротора генератора катушка ротора будет пересекать линии магнитной индукции магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами статора, следовательно, вследствие явления электромагнитной индукции, на ее концах появится ЭДС индукции, и лампочка загорится.

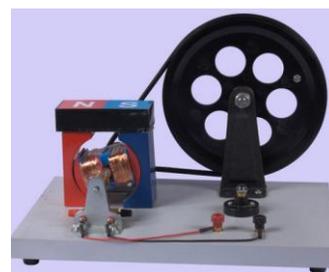


Рис. 4.

3. Электрические плиты, основанные на явлении электромагнитной индукции.

Нагревание продуктов в индукционной плите происходит при помощи явления электромагнитной индукции. Внутри плиты находится катушка, которая подсоединена к генератору высокой частоты (рис. 5). Электрический ток высокой частоты, протекая по катушке, создает высокочастотное магнитное поле. Это высокочастотное магнитное поле беспрепятственно проходит сквозь стеклокерамическую поверхность и создает вихревое электрическое поле (рис. 6).

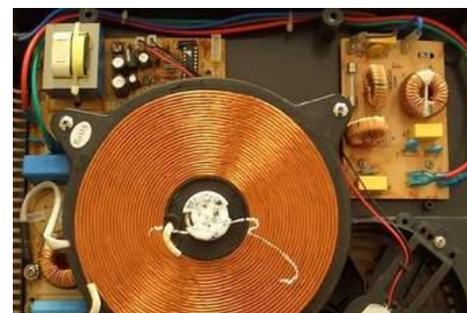


Рис. 5.

Если на плиту поставить металлическую кастрюлю или сковородку, то это вихревое поле создаст в них токи Фуко, а они на основании закона Ленца-Джоуля разогреют дно посуды, а вместе с ним – и пищу. При этом через стеклокерамику не происходит никакой теплопередачи. Если по завершении приготовления пищи поверхность и остается слегка теплой, то только потому, что она нагрелась от дна кастрюли, а не наоборот.

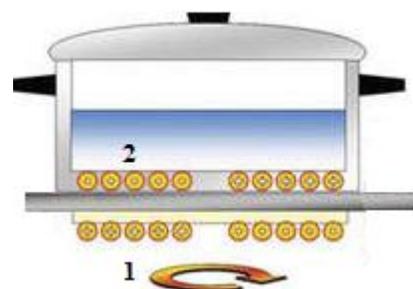
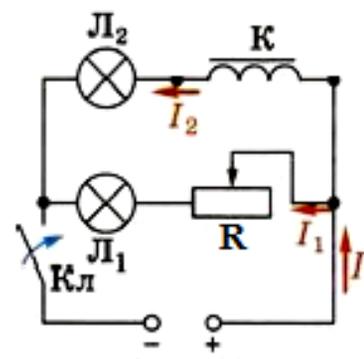


Рис. 6.

Опыт 26. Самоиндукция при замыкании.

1. Самоиндукция – образование ЭДС индукции на концах проводника при изменении в нем силы тока. Самоиндукция была открыта в 1832 году американским ученым Дж. Генри. Независимо от него в 1835 году это явление открыл М. Фарадей.

Наблюдать явление самоиндукции при замыкании можно с помощью предложенной схемы. На рисунке 1 показана схема соединения 2-х одинаковых ламп. Одна из них подключена к источнику тока через реостат R , а другая – через катушку K с ферромагнитным сердечником.



Вс - 24

Рис. 1.

2. **Опыт.** Соберем электрическую схему согласно рис.2, состоящую из L_1 и L_2 – ламп накаливания на 3,5 В, реостата $R = 20$ Ом, катушки – первичной обмотки от универсального трансформатора с ферромагнитным сердечником, ключа K и источника тока ВС-24. Реостат введем полностью.

Замкнем электрическую цепь ключом K и установим напряжение 4 В на ВС-24. Лампы L_1 и L_2 будут гореть неодинаково.

Передвигая движок реостата, добьемся одинакового накала ламп накаливания. Разомкнем электрическую цепь ключом $Кл$. Вновь замкнем электрическую цепь ключом $Кл$. Лампа L_1 вспыхивает мгновенно, а вторая L_2 – с существенным опозданием.

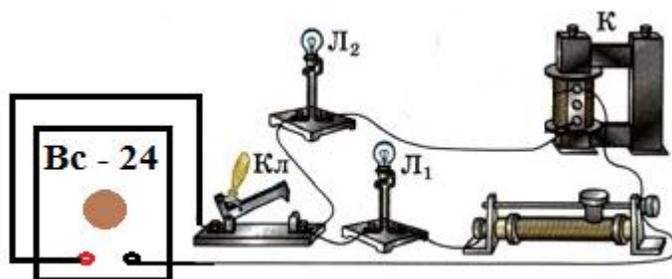


Рис. 2.

Проблема. Почему?

Ответ. При замыкании электрической цепи ключом $Кл$ электрический ток потечет через лампы L_1 и L_2 . При прохождении тока через лампу L_1 и через реостат R никаких явлений, кроме ограничения тока реостатом R , не происходит.

При прохождении тока через лампу L_2 ток встречает на своем пути катушку K , на концах которой возникает ЭДС самоиндукции. Эта ЭДС самоиндукции, уменьшающаяся со временем, ограничивает время установления тока в этой части цепи. Поэтому лампа L_2 вспыхивает позднее.

Явление постепенного нарастания электрического тока в цепи с индуктивностью называется явлением самоиндукции при замыкании.

Это явление учитывается при включении индуктивных нагрузок – трансформаторов, предприятий и цехов с большими индуктивными нагрузками.

Опыт 27. Самоиндукция при размыкании.

1. Возникновение ЭДС самоиндукция при размыкании электрического тока в цепях с катушками индуктивностями называется самоиндукцией при размыкании. Самоиндукция при размыкании была открыта в 1832 году американским ученым Дж. Генри. Независимо от него в 1835 году это явление открыл М. Фарадей.

Наблюдать явление самоиндукции при размыкании можно с помощью предложенной схемы. На рисунке 1 показана схема для изучения явления самоиндукции при размыкании. Она состоит из катушки индуктивности L с ферромагнитным сердечником, неоновой лампы $НЛ$ с напряжением зажигания 120 В, источника тока $Б$ (ВС 24) и ключа $Кл$.

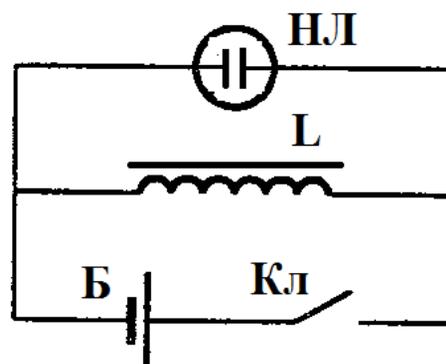


Рис. 1.

2. **Опыт.** Соберем электрическую схему согласно рис.2, состоящую из катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником, неоновой лампы с напряжением зажигания 80 – 100 В, источника тока ВС-24 и ключа $Кл$.

Предварительно напряжение на ВС-24 установим равным 12 В. Замкнем ключ $Кл$ (рис. 2).

Неоновая лампа гореть не будет, так как напряжение источника тока 12 В, а напряжение зажигания неоновой лампы 120 В.

Разомкнем цепь ключом $Кл$.

При размыкании ключа $Кл$ неоновая лампа $НЛ$ ярко вспыхивает (рис. 3).

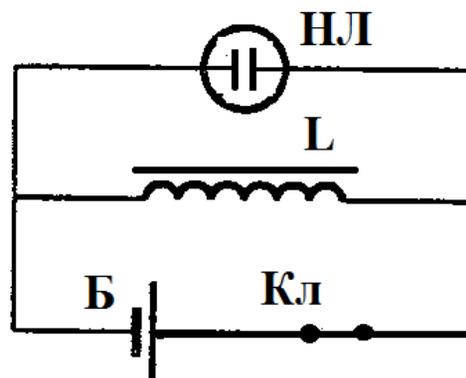


Рис. 2.

Проблема. Почему?

Ответ. При размыкании ключа $Кл$ ток в катушке прекращается, магнитное поле катушки начинает быстро уменьшаться, и на концах катушки создается ЭДС индукции при размыкании.

Величина этой ЭДС в зависимости от индуктивности катушки может достигать 150 – 200 В, что более чем достаточно для зажигания и горения неоновой лампочки, поэтому лампа вспыхивает.

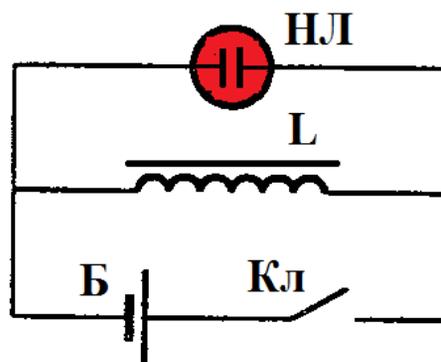


Рис. 3.

3. **Явление возникновения ЭДС индукции на концах катушки при резком уменьшении магнитного поля катушки называется явлением самоиндукции при размыкании.**

Явление самоиндукции при размыкании надо учитывать при отключении мощных индуктивных потребителей электрического тока – трансформаторов и группы станков с электродвигателями, так как при размыкании таких цепей возникает настолько большая ЭДС индукции при размыкании, что все индуктивные нагрузки – трансформаторы, электродвигатели – могут перегореть.

Опыт 28. Трансформатор.

1. Трансформатор – статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на каком-либо магнитопроводе, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одного или нескольких напряжений переменного тока в другие напряжения без изменения частоты.

Схематичное изображение будущего трансформатора впервые появилось в 1831 году в работах М. Фарадея и Д. Генри. В 1848 году французский механик Г. Румкорф изобрёл индукционную катушку особой конструкции. Она явилась прообразом трансформатора.

30 ноября 1876 года – дата получения патента Павлом Николаевичем Яблочковым – считается датой рождения первого трансформатора переменного тока. Это был трансформатор с разомкнутым сердечником, представлявшим собой стержень, на который наматывались обмотки.

В 1885 г. венгерские инженеры фирмы «Ганц и К°» Отто Блати, Карой Циперновский и Микша Дери изобрели трансформатор с замкнутым магнитопроводом, который сыграл важную роль в дальнейшем развитии конструкций трансформаторов.

2. Трансформатор (рис. 1) состоит из замкнутого сердечника (магнитопровода), на который надеты две катушки – первичная, которая подключается к источнику переменного тока, и вторичная, с которой снимается вторичное напряжение. Если подключить первичную обмотку трансформатора к источнику переменного тока, то вокруг нее переменный ток создаст

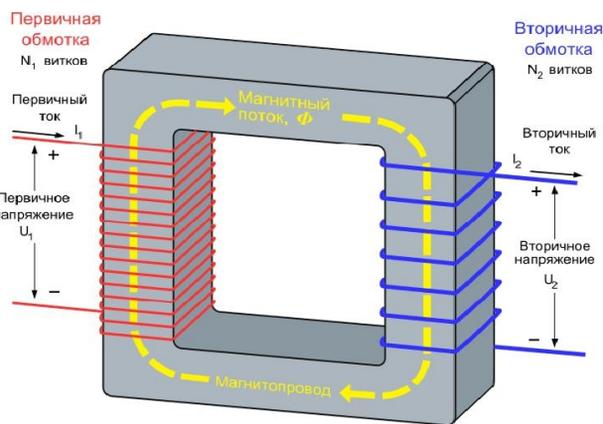


Рис. 1.

переменное магнитное поле, которое усилится ферромагнитным сердечником и, пройдя по магнитопроводу (так как линии напряженности переменного тока являются замкнутыми), будет создавать внутри вторичной катушки переменное магнитное поле. Это переменное магнитное поле создаст на концах вторичной обмотки вихревое электрическое поле. Это вихревое электрическое поле создаст на концах вторичной обмотки

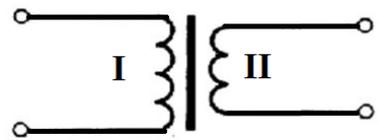


Рис. 2.

вторичное напряжение, которым можно пользоваться для практических работ. Трансформаторы на электрических схемах обозначают так, как показано на рис.2.

3. Трансформаторы могут быть понижающими, если на вторичной обмотке напряжение будет меньше, чем на первичной ($U_2 < U_1$), или повышающими, если напряжение на вторичной обмотке будет больше, чем на первичной ($U_2 > U_1$).

4. Опыт. Соберем электрическую цепь согласно рис. 3, состоящую из понижающего трансформатора с магнитопроводом М, ключа Кл, лампы накаливания Лн на 3,5 В. На первичную обмотку подается напряжение 220 В. Замкнем ключ Кл. Лампа Лн загорится.

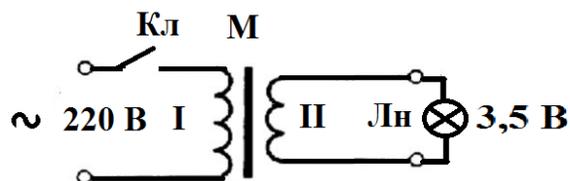


Рис. 3.

Проблема. Почему лампа горит и не перегорает?

Ответ. Если подключить первичную обмотку трансформатора к источнику переменного тока, то вокруг нее переменный ток создаст переменное магнитное поле, которое усилится ферромагнитным сердечником и, пройдя по магнитопроводу (так как линии напряженности переменного тока являются замкнутыми), будет создавать внутри вторичной катушки переменное магнитное поле. Это переменное магнитное поле создаст вихревое электрическое поле. Это вихревое электрическое поле создаст на концах вторичной обмотки пониженное напряжение, так как число витков во вторичной обмотке меньше, чем в первичной (трансформатор понижающий), от которого загорится электрическая лампочка Лн.

5. Трансформаторы применяются на электростанциях, в производстве, в радиоприемниках, телевизорах, блоках питания и т.д.

Опыт 29. Энергия магнитного поля.

1. Магнитное поле может создаваться электрическим током заряженных частиц. Проводник, по которому протекает электрический ток, всегда окружен магнитным полем, причем магнитное поле появляется и исчезает вместе с появлением и исчезновением тока. **Магнитное поле, подобно электрическому, обладает энергией.**

Энергия магнитного поля равна работе, которая затрачивается током на создание этого поля. Энергией магнитного поля обладают и постоянные магниты, так как в них существуют круговые токи.

Энергия магнитного поля катушки с током зависит от индуктивности катушки и силы электрического тока (рис. 1), протекающего по катушке.



Рис. 1.

2. **Опыт.** Притяжение магнитов. Возьмем два подковообразных магнита и будем сближать их разноименными полюсами (рис.2). Начиная с некоторого расстояния между магнитами, они начнут сближаться сами без посторонней силы.

Проблема. Почему, начиная с некоторого расстояния между магнитами, они начнут сближаться сами без посторонней силы.

Ответ. Потому что магнитные поля магнитов обладают энергией и за счет нее совершается механическая работа по сближению магнитов.

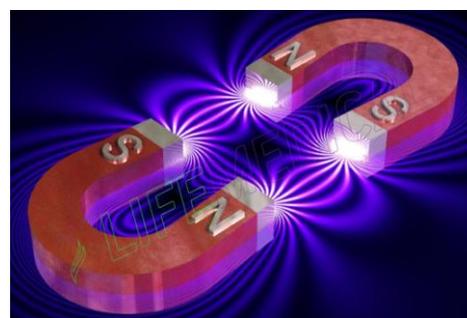
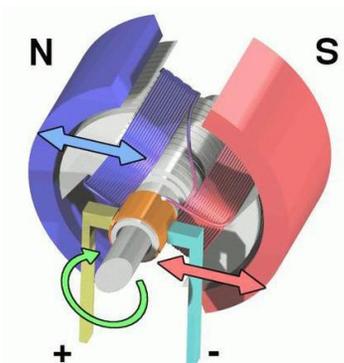
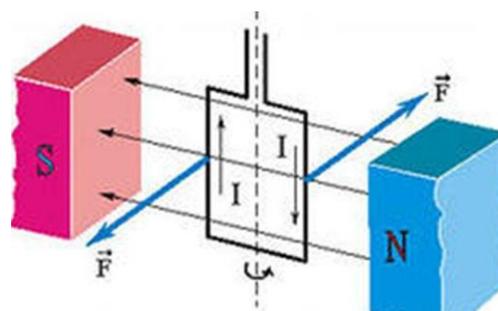
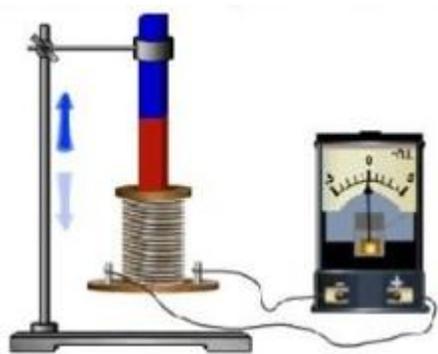
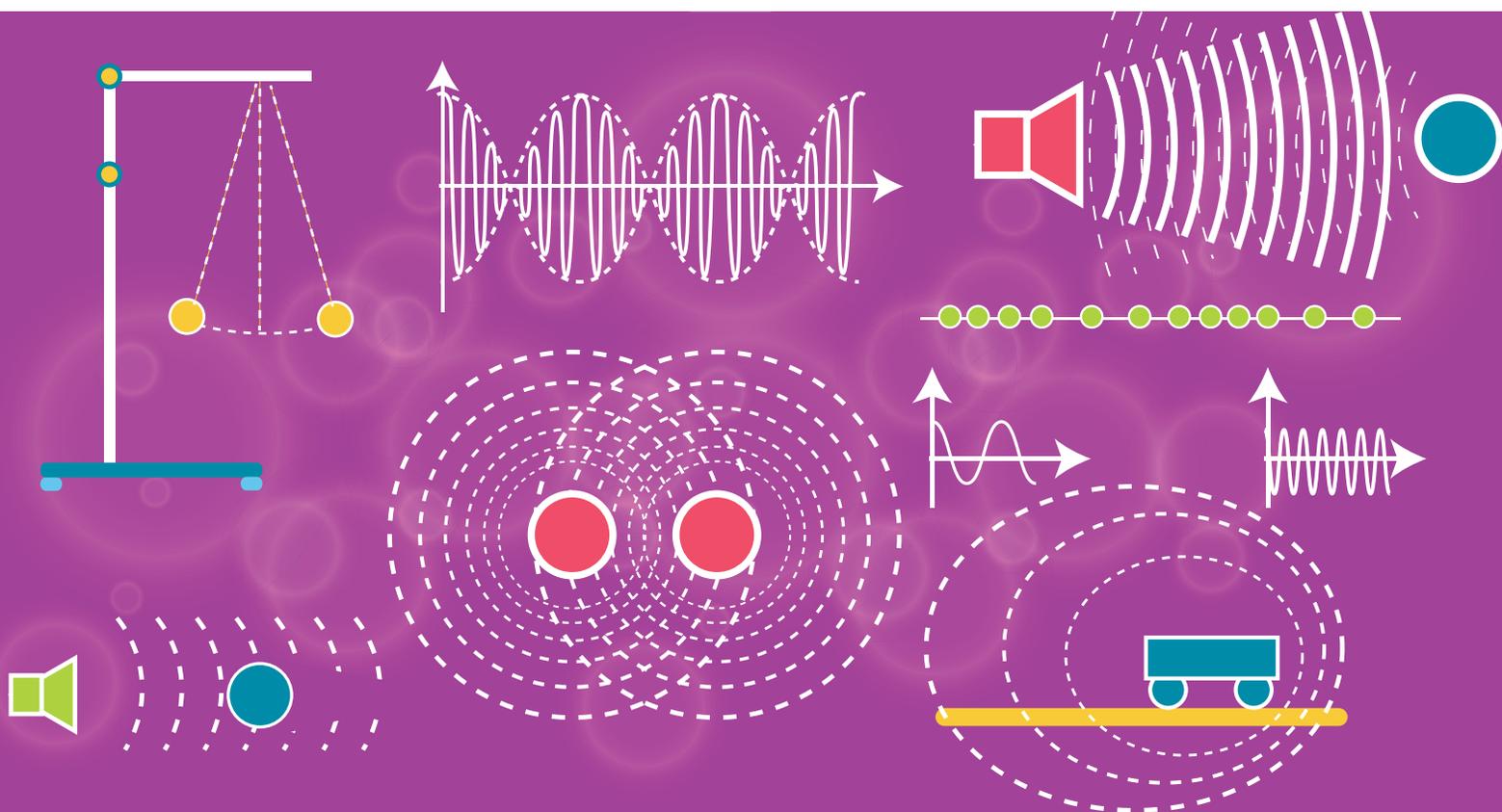


Рис. 2.

3. **Примеры наличия энергии магнитного поля у постоянного магнита, катушки с током и магнитного поля внутри планет:**



МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ



Демонстрация 1. Демонстрация механических колебаний.

1. Колебания – это повторяющийся во времени процесс изменения состояний системы около положения равновесия. Например, при колебаниях маятника повторяются отклонения его в ту или другую сторону от вертикального положения. При колебаниях пружинного маятника повторяются его отклонения около положения равновесия.

Колебания почти всегда связаны с непрерывным превращением энергии из одной формы в другую форму, например из потенциальной энергии в кинетическую.

2. Демонстрация 1.1.

На горизонтальной ножке штатива подвешен груз на нити. Если шарик отклонить от положения равновесия, то он начнет совершать колебания около положения равновесия (рис. 1).

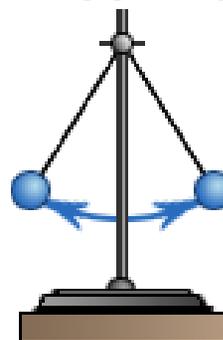


Рис. 1.

3. Демонстрация 1.2.

На горизонтальной ножке штатива подвешен груз на пружине. Если шарик отклонить от положения равновесия (вниз или вверх), то он начнет совершать вертикальные колебания около положения равновесия (рис. 2).

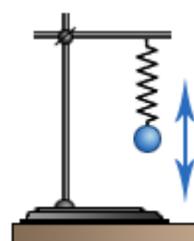


Рис. 2.

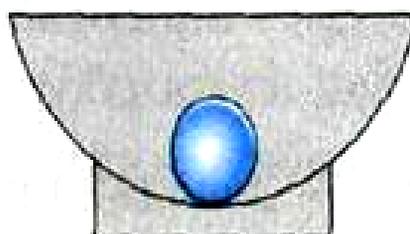
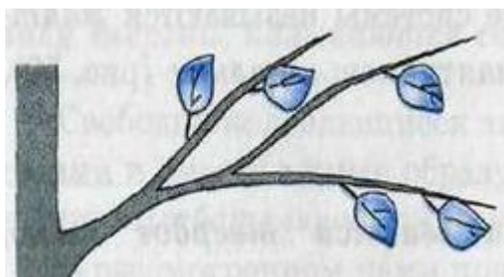
4. Демонстрация 1.3.

На деревянном ящике установлен камертон. Если ударить резиновым молоточком по одной ножке камертона, то ножки начнут колебаться в противоположных направлениях (в противофазах) (рис.3).



Рис. 3.

5. Примеры колебательных систем.



Демонстрация 2. Автосифон водяной.

1. Наряду со свободными колебаниями существуют автоколебания. Простейшей механической автоколебательной системой является водяной автосифон (рис. 1а,в,с). Он состоит из сосуда, в который вставлена дугообразная трубка. Левая часть трубки с открытым концом выходит из дна сосуда, второй конец трубки немного не доходит до дна сосуда. Через вертикальную трубу в сосуд подается вода, например из системы водоснабжения.



Рис. 1а.

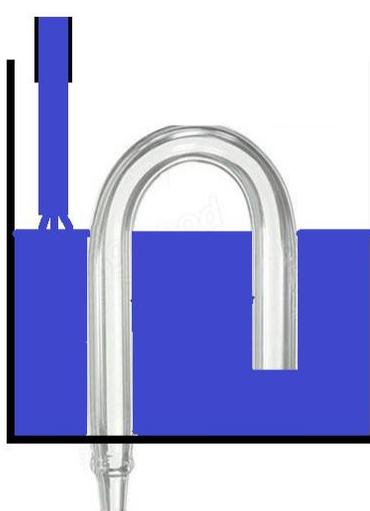


Рис. 1в.



Рис. 1с.

2. Автосифон работает автоматически.

- На рисунке 1а показано, как вода из системы водоснабжения поступает в сосуд с трубкой. Вода из трубки не выливается.

Проблема. Почему?

Ответ. Давление воды в сосуде от верхнего уровня воды до правого конца трубки меньше атмосферного, поэтому вода не выливается.

- На рисунке 1в показано, как вода из системы водоснабжения поступает в сосуд с трубкой. Вода из трубки не выливается.

Проблема. Почему?

Ответ. Давление воды в сосуде от верхнего уровня воды до правого конца трубки меньше атмосферного, поэтому вода не выливается.

- На рисунке 1с показано, как вода из системы водоснабжения поступает в сосуд с трубкой. Вода из трубки выливается.

Проблема. Почему?

Ответ. Давление воды в сосуде от верхнего уровня до правого конца равно давлению воды от верхнего уровня воды до нижнего конца трубки плюс атмосферное давление, что заставляет воду выливаться из трубки. Вода будет продолжать выливаться, так как в трубке возникнет разрежение. Вода будет выливаться до тех пор, пока давление в правом конце трубки не станет равным атмосферному. Затем процесс будет повторяться.

Демонстрация 3. Демонстрация механических волн.

1. Механическая или упругая волна – это процесс распространения колебаний в упругой среде. Например, вокруг колеблющейся струны или диффузора динамика начинает колебаться воздух – струна или динамик стали источниками звуковой волны. Для возникновения механической волны необходимо выполнение двух условий – наличие источника волны (им может быть любое колеблющееся тело) и упругой среды (газа, жидкости, твердого вещества). Выясним причину возникновения волны. Почему частицы среды, окружающие любое колеблющееся тело, тоже приходят в колебательное движение? Очевидно, причиной распространения волны в упругой среде является наличие взаимодействия между молекулами. Частота колебания всех частиц в волне одинакова и совпадает с частотой колебаний источника волны.

По характеру колебаний частиц в волне волны делят на поперечные, продольные и поверхностные. В **поперечной волне** (рис. 1) частицы совершают колебания перпендикулярно направлению распространения волны.

Распространение поперечной волны связано с возникновением в среде деформации сдвига. Этот вид деформации может существовать только в твердых веществах, поэтому поперечные волны могут распространяться исключительно в твердых телах.

Примером поперечной волны является сейсмическая волна.

В **продольной волне** (рис. 2) колебание частиц происходит вдоль направления распространения волны. Распространение продольной волны связано с возникновением в среде деформации растяжения – сжатия.

В растянутых участках среды наблюдается уменьшение плотности вещества – разрежение. В сжатых участках среды, наоборот, происходит увеличение плотности вещества – так называемое сгущение. По этой причине продольная волна представляет собой перемещение в пространстве областей сгущения и разрежения.

Деформация растяжения – сжатия может возникать в любой упругой среде, поэтому продольные волны могут распространяться в газах, жидкостях и твердых телах. Примером продольной волны является звук.

2. Демонстрация 3.1. Образование поперечных волн.

Возьмем волновую машину и продемонстрируем поперечную волну (рис. 3). Она представляет движущиеся гребни и впадины. Обратите внимание на то, что частицы вещества, образующие волну, не перемещаются вдоль волны, вдоль волны происходит перемещение энергии.

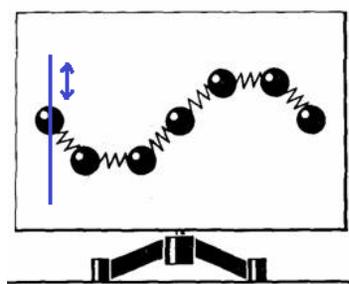


Рис. 3.



Поперечная волна

3. Демонстрация 3.2. Образование продольных волн.

Возьмем волновую машину и продемонстрируем продольную волну (рис. 4). Она представляет движущиеся разрежения и сгущения. Обратите внимание на то, что частицы вещества, образующие волну, не перемещаются вдоль волны, а колеблются около положения равновесия. Вдоль поперечной волны, так же как и в продольной волне, происходит только перемещение энергии.

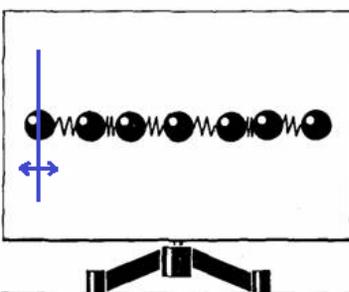
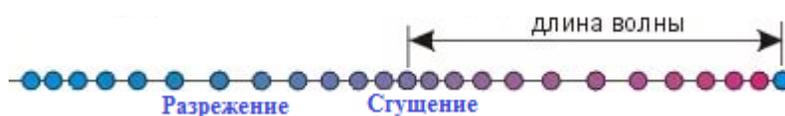


Рис. 4.



Продольная волна

Демонстрация 4. Демонстрация звуковых волн. Источники звука. Получение осциллограмм источников звука.

1. Источниками звуковых волн являются все твердые, жидкие и газообразные тела, которые колеблются с частотой 20 Гц – 20 000 Гц. При колебании этих тел они передают энергию колебательного движения окружающим телам (твердым, жидким и газообразным), в которых начинает распространяться звуковая волна.

2. Примеры источников звука:



Рекомендация: продемонстрировать звучание некоторых источников звука.

3. Звуковой генератор. Это электронный прибор, который может генерировать (создавать) электромагнитные колебания с частотой 20 Гц – 20 000 Гц. Если к выходу генератора подключить громкоговоритель, то он будет излучать звуковые волны с частотой, вырабатываемой генератором (рис. 1).



Рис. 1.

4. Звуковые колебания на экране осциллографа.

Осциллограмму звуковых колебаний можно наблюдать на экране осциллографа (рис. 2).

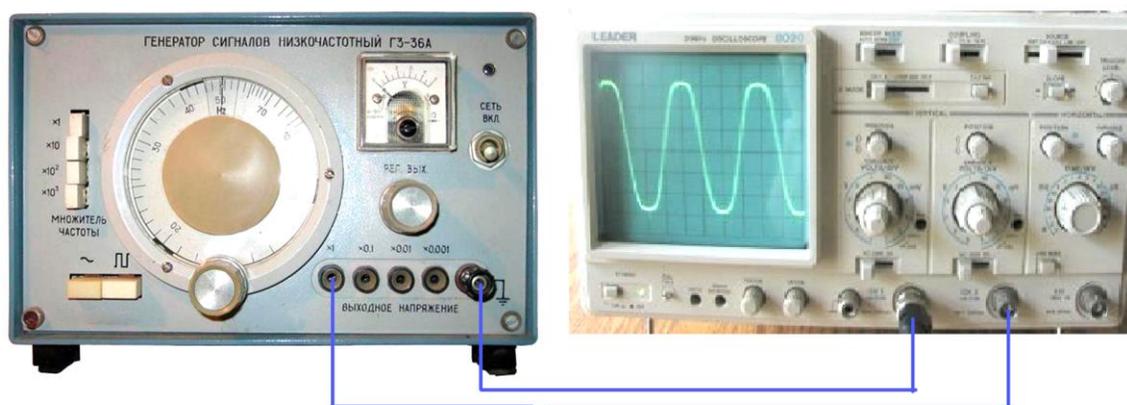


Рис. 2.

Опыт 1. Гармонические колебания математического маятника.

Математический маятник представляет собой механическую систему, состоящую из материальной точки на конце длинной невесомой нерастяжимой нити, находящуюся в однородном поле сил тяготения (рис. 1).

Опыт. Колебания математического маятника. Математический маятник состоит из штатива со стержнем, на который подвешивается шар на длинной тонкой нерастяжимой нити. Обычно маятник неподвижен и груз находится в положении равновесия **0**. Если шарик отклонить от положения равновесия, то он начнет совершать колебательные движения под действием силы тяжести, периодически перемещаясь из положения **1** в положение **2**.

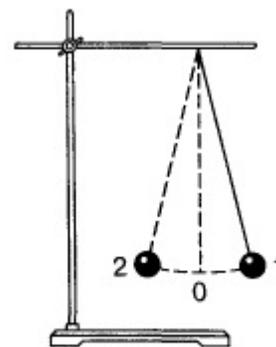


Рис. 1.

Ответ. Рассмотрим установку, представляющую математический маятник с полым конусом вместо шара (рис. 2). Внизу находится лист картона, на который будет высыпаться песок из полого конуса.

- Пусть лист картона находится в состоянии покоя. Насыпем в конус математического маятника песок и закроем нижнее отверстие, чтобы песок не высыпался. Отведем маятник вправо и откроем отверстие. Маятник начнет колебаться, а песок высыпаться. Так как лист картона находится в покое, то песок, высыпаясь из конуса, будет вычерчивать прямую линию. По этой прямой линии невозможно выяснить характер движения математического маятника.

- Пусть лист картона находится в состоянии покоя. Насыпем песок в конус математического маятника и закроем нижнее отверстие, чтобы песок не высыпался. Отведем маятник вправо и откроем отверстие. Маятник начнет колебаться, а песок высыпаться. Приведем лист картона в равномерное движение так, как это показано на рисунке.

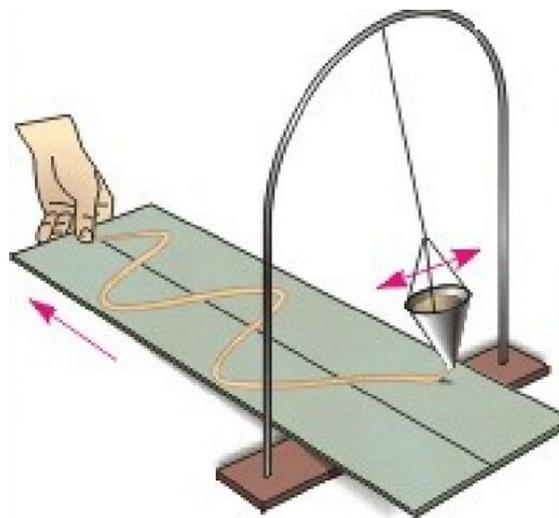


Рис. 2.

- Рисунок будет иллюстрировать характер колебания маятника. Этот рисунок называется графиком колебания математического маятника. Такой график называется **синусоидой**.

- Если какое либо тело колеблется по синусоидальному закону, то такое колебание называется гармоническим.

Вывод: Колебания математического маятника являются гармоническими, так как они совершаются по синусоидальному закону.

График колебаний математического маятника можно наблюдать в компьютерной лаборатории PASCO.

Опыт 2. Законы колебаний математического маятника. Закон сохранения энергии для математического маятника.

1. Основной характеристикой математического маятника является **период колебаний**, поэтому в данном исследовании выясним, как зависит период колебаний математического маятника от амплитуды колебаний, от массы маятника, от длины нити математического маятника и ускорения свободного падения. Соберем установку (рис. 1).

2. **Опыт 2.1.** Выясним зависимость периода колебаний математического маятника от амплитуды колебаний.

Проблема. Как это сделать?

Ответ. Отклоним маятник от положения равновесия на небольшую высоту и отпустим. Маятник будет совершать гармонические колебания. Определим период колебаний T_1 . Проведем несколько таких опытов, каждый раз увеличивая амплитуду колебаний и определяя T_2 , T_3 и т.д. Окажется что $T_1 = T_2 = T_3$

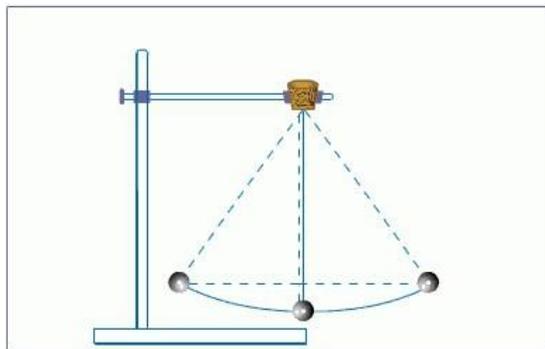


Рис. 1.

Вывод: Период колебания математического маятника не зависит от амплитуды колебаний.

3. **Опыт 2.2.** Выясним зависимость периода колебаний математического маятника от массы маятника.

Проблема. Как это сделать?

Ответ. Отклоним маятник от положения равновесия на небольшую высоту и отпустим. Маятник будет совершать гармонические колебания. Определим период колебаний T_1 . Прикрепим к шару маятника несколько раз кусочек пластилина и определим T_2 , T_3 и т.д.

Запомните! Амплитуду колебаний маятника надо всегда делать одинаковой!

После проведения опытов окажется, что $T_1 = T_2 = T_3$.

Вывод: Период колебания математического маятника не зависит от массы маятника.

4. **Опыт 2.3.** Выясним зависимость периода колебаний математического маятника от длины нити математического маятника.

Проблема. Как это сделать?

Ответ. Отклоним маятник от положения равновесия на небольшую высоту и отпустим. Маятник будет совершать гармонические колебания. Определим период колебаний T_1 . Уменьшим длину нити в несколько раз, определяя при этом период колебаний нити: T_2 , T_3 и т.д. Период колебаний в каждом случае будет разным. Если построить график зависимости периода колебаний от длины в программе *Aggraher* и применить регрессивный анализ, то получим формулу (рис. 2), которую впервые получил Кристиан Гюйгенс и поэтому она называется законом Гюйгенса. Из этой формулы видно, что период колебаний математического маятника не зависит от амплитуды колебаний маятника и массы маятника, а зависит только от длины маятника и от ускорения свободного падения.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Рис. 2.

5. К сожалению, мы не сможем экспериментально исследовать зависимость периода колебаний математического маятника от ускорения свободного падения, но она полностью соответствует формуле К. Гюйгенса.

6. **Закон сохранения энергии для математического маятника.**

Во время колебаний математического маятника происходят непрерывные превращения энергии (рис. 3): потенциальная энергия переходит в кинетическую и наоборот. Если бы не было трения в подвесе и сопротивления воздуха, то не было бы потерь энергии, и маятник колебался бы вечно.

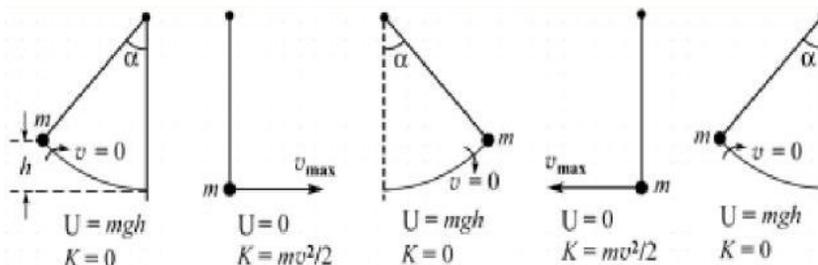


Рис. 3.

Опыт 3. Гармонические колебания пружинного маятника.

1. **Пружинный маятник** представляет собой механическую систему, состоящую из пружины и груза, соединенного с этой пружиной. Пружинный маятник может быть расположен вертикально, горизонтально или под углом к горизонту.

2. Прибор пружинный маятник состоит из штатива со стержнем, на который подвешивается пружина с грузом.

Обычно маятник неподвижен и груз находится в положении равновесия. Если груз отклонить (например, вниз) от положения равновесия, то он начнет совершать вертикальные колебания под действием силы тяжести и силы упругости пружины.

Проблема. Какое движение совершает пружинный маятник во время колебательного движения?

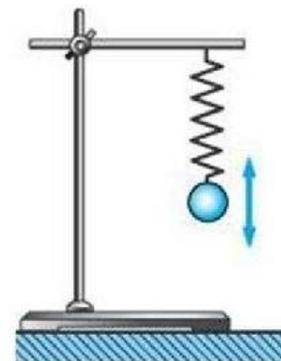


Рис. 1.

Ответ. Рассмотрим установку, представляющую пружинный маятник с полым конусом вместо тела (рис. 2). Внизу находится лист картона, на который будет высыпаться песок из конуса маятника.

- Пусть лист картона находится в состоянии покоя. Насыплем в конус пружинного маятника песок и закроем нижнее отверстие, чтобы песок не высыпался. Отведем маятник вправо и откроем отверстие. Маятник начнет колебаться, а песок высыпаться. Так как лист картона находится в покое, то песок, высыпаясь из конуса, будет вычерчивать прямую линию. По этой прямой линии невозможно выяснить характер движения пружинного маятника.

- Пусть лист картона находится в состоянии покоя. Насыплем в конус пружинного маятника песок и закроем нижнее отверстие, чтобы песок не высыпался. Отведем маятник вправо и откроем отверстие. Маятник начнет колебаться, а песок высыпаться. Приведем лист картона в равномерное движение так, как это показано на рисунке.

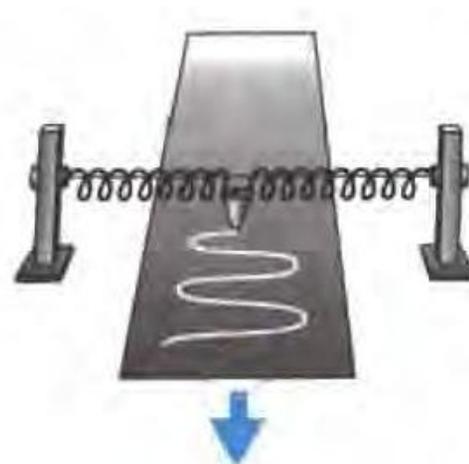


Рис. 2.

- Рисунок будет иллюстрировать характер колебания маятника. Этот рисунок называется графиком колебания математического маятника. Такой график называется **синусоидой**.

- Если какое либо тело колеблется по синусоидальному закону, то такое колебание называется гармоническим.

Вывод: Колебания пружинного маятника являются гармоническими, так как они совершаются по синусоидальному закону.

График колебаний пружинного маятника можно изучать в компьютерной лаборатории PASCО.

Опыт 4. Законы колебания пружинного маятника.

1. Основной характеристикой пружинного маятника является **период колебаний**, поэтому в данном исследовании выясним, как зависит период колебаний пружинного маятника от амплитуды колебаний, от массы груза пружинного маятника, от жесткости пружины. Соберем установку на рис.1.

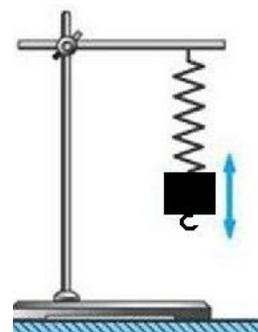


Рис. 1.

2. **Опыт 4.1.** Выясним зависимость периода колебаний пружинного маятника от амплитуды колебаний.

Проблема. Как это сделать?

Ответ. Отклоним маятник от положения равновесия на небольшую высоту и отпустим. Маятник будет совершать гармонические колебания. Определим период колебаний T_1 . Проведем несколько таких опытов, каждый раз увеличивая амплитуду колебаний и определяя T_2, T_3 и т.д. Окажется что $T_1 = T_2 = T_3$

Вывод: Период колебания пружинного маятника не зависит от амплитуды колебаний.

3. **Опыт 4.2.** Выясним зависимость периода колебаний математического маятника от массы груза маятника.

Проблема. Как это сделать?

Ответ. Отклоним маятник от положения равновесия на небольшую высоту и отпустим. Маятник будет совершать гармонические колебания. Определим период колебаний T_1 . Прикрепим к грузу маятника дополнительные грузы и определим T_2, T_3 и т.д.

После проведения опытов и построения графика окажется, что $T \sim \sqrt{m}$

Вывод: Период колебания пружинного маятника зависит от массы маятника, $T \sim \sqrt{m}$.

4. **Опыт 4.3.** Выясним зависимость периода колебаний математического маятника от жесткости пружины.

Проблема. Как это сделать?

Ответ. Отклоним маятник от положения равновесия на небольшую высоту и отпустим. Маятник будет совершать гармонические колебания. Определим период колебаний T_1 . Заменяем пружину маятника на пружины с другой жесткостью, определяя при этом период колебаний нити T_2, T_3 и т.д. Период колебаний в каждом случае будет разным.

После проведения опытов и построения графика окажется, что $T \sim \sqrt{1/k}$

Вывод: Период колебания пружинного маятника зависит от жесткости пружины маятника, $T \sim \sqrt{1/k}$.

Объединяя результаты опытов 2 и 3, получаем формулу периода пружинного маятника (рис. 2).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Рис. 2.

5. Закон сохранения энергии для математического маятника.

Во время колебаний пружинного маятника происходят непрерывные превращения энергии (рис. 3) – потенциальная энергия переходит в кинетическую и наоборот. Если бы не было трения в подвесе и сопротивления воздуха, то не было бы потерь энергии, и маятник колебался бы вечно.

Законы колебания пружинного маятника можно изучать в компьютерной лаборатории PASCO.

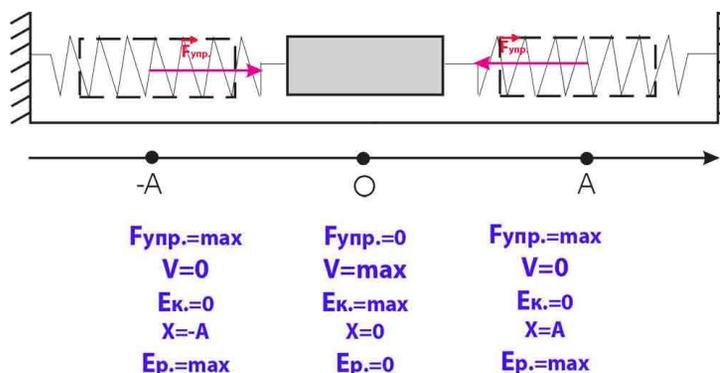


Рис. 3.

Опыт 5. Резонанс маятников.

1. Резонанс – явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, которое наступает при приближении частоты внешнего воздействия к частоте собственных колебаний системы. Увеличение амплитуды – это лишь следствие резонанса, а причина – совпадение внешней (возбуждающей) частоты с внутренней (собственной) частотой колебательной системы. При помощи явления резонанса можно выделить и/или усилить даже весьма слабые периодические колебания. Наиболее известная большинству людей механическая резонансная система – это обычные качели. Если вы будете подталкивать качели в соответствии с их резонансной частотой, размах движения будет увеличиваться, в противном случае движения будут затухать. Явление резонанса впервые было описано Галилео Галилеем в 1602 г. в работах, посвященных исследованию маятников и музыкальных струн.

2. Установка для наблюдения резонанса математических маятников (рис. 1).

Если раскачать математический маятник **1**, то его колебания будут распространяться через верхнюю перекладину ко второму маятнику. Так как период колебаний маятника **2** будет равен периоду колебаний маятника **1** (у них одинаковые длины, а следовательно, и периоды колебаний), то маятник **2** будет постепенно раскачиваться с увеличивающейся амплитудой. Такое явление называется механическим резонансом. Вследствие закона сохранения энергии маятник **1** будет останавливаться. Затем колебания маятника **2** через перекладину будут передаваться маятнику **1** и т.д.

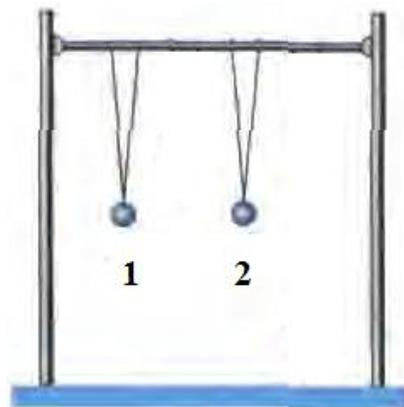


Рис. 1.

3. Опыт. Исследование зависимости амплитуды колебаний от длины математических маятников. Резонанс маятников.

На установке (рис. 2) находятся 6 математических маятников. Приведем в колебательное движение маятник **1**. Другие маятники, получая энергию через верхнюю перекладину, тоже начнут колебаться.

Проблема. У какого маятника амплитуда во время колебаний будет максимальной, а у какого минимальной?

Ответ. Максимальная амплитуда колебаний будет у маятника **6**, так как длина его подвеса такая же, как маятника **1**, следовательно, он будет находиться в резонансе с маятником **1**,

а минимальная амплитуда колебаний будет у маятника **2**, так как у него длина подвеса будет намного больше, чем у маятника **1**.

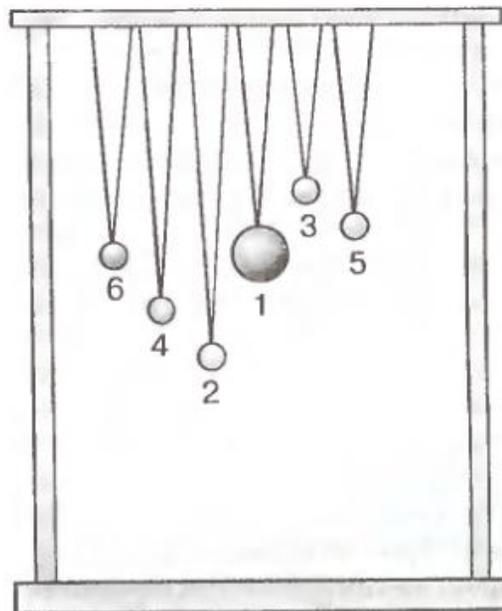


Рис. 2.

Резонанс механических и электромагнитных колебаний нашел очень широкое применение в технике.

Опыт 6. Сложение колебаний. Фигуры Лиссажу.

1. Сложение гармонических колебаний, направленных вдоль одной прямой. Материальная точка может одновременно участвовать в нескольких колебаниях. В этом случае, чтобы найти уравнение и траекторию результирующего движения, следует сложить колебания. Наиболее просто выполняется сложение гармонических колебаний, направленных по одной прямой. Пусть материальная точка одновременно участвует в двух колебаниях, происходящих вдоль одной линии. Аналитически такие колебания выражаются следующими уравнениями:

$$x_1 = A_1 \cos(\omega_{01}t), \quad x_2 = A_2 \cos(\omega_{02}t).$$

Допустим, что частоты складываемых колебаний одинаковы ($\omega_{01} = \omega_{02} = \omega_0$), тогда результирующее смещение точки

$$x = x_1 + x_2 = A_1 \cos(\omega_{01}t) + A_2 \cos(\omega_{02}t).$$

Если частоты складываемых колебаний не одинаковы, то сложное колебание уже не будет гармоническим.

Интересен случай, когда частоты слагаемых колебаний мало отличаются друг от друга: $\omega_{01} \approx \omega_{02}$.

Результирующее колебание при этом подобно гармоническому, но с медленно изменяющейся амплитудой. Такие колебания называются биениями (рис. 1).

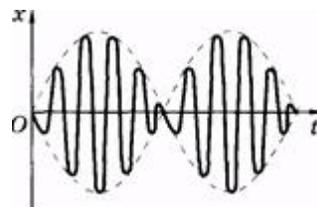


Рис. 1.

2. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний.

Если математический маятник совершает одновременно колебания во взаимно перпендикулярных направлениях, то он имеет две степени свободы. Например, груз массой m совершает колебания на нити по оси X с амплитудой A и одновременно совершает колебания по оси Y с амплитудой B .

$$\left. \begin{aligned} x &= A \cos \omega_1 t \\ y &= B \cos \omega_2 t \end{aligned} \right\}$$

B .

В результате возникает сложное результирующее колебание.

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1$$

Изменяя параметры A и B получаем различные фигуры, которые впервые получил физик Жюль Лиссажу.

Фигуры Лиссажу – замкнутые траектории, очерчиваемые точкой, совершающей одновременно

два гармонических колебания в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Вид фигур зависит (рис. 2) от соотношения между периодами, фазами и амплитудами обоих колебаний. В простейшем случае фигуры представляют собой одинарные, двойные и т.д. эллипсы.

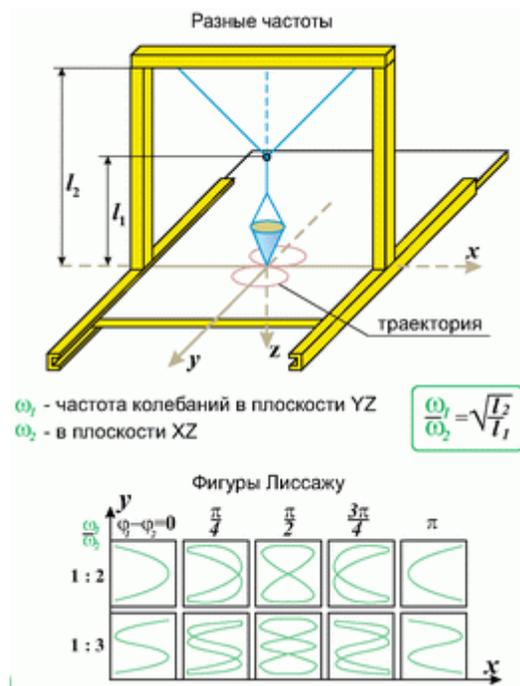


Рис. 2.

3. Опыт.

Фигуры Лиссажу легко получить с помощью математического маятника на двойном подвесе (рис. 2). Вместо шарика в данном математическом маятнике используется воронка с небольшим отверстием в дне. В воронку насыпается песок, и ее приводят одновременно в два взаимно перпендикулярных движения.

В зависимости от частоты и фазы колебаний по оси X и Y получаются различные фигуры Лиссажу, изображенные в таблице на рис. 2.

Фигуры Лиссажу часто применяют для определения частоты колебаний различных маятников.

Опыт 7. Автоколебания.

1. Автоколебания – незатухающие колебания в динамической системе с нелинейной обратной связью, поддерживающиеся за счёт энергии постоянного, периодического внешнего воздействия. Автоколебания отличаются от вынужденных колебаний тем, что последние вызваны периодическим внешним воздействием и происходят с частотой этого воздействия, в то время как возникновение автоколебаний и их частота определяются внутренними свойствами самой автоколебательной системы.

Термин автоколебания в русскоязычную терминологию введён А. А. Андроновым в 1928 году.

2. На рис. 1 изображена блок-схема автоколебательной системы. Она состоит из колебательной системы (в данном случае маятника), источника энергии, ключа и положительной обратной связи. Во время колебаний в колебательной системе теряется энергия на трение, сопротивление воздуха и т.д. Для пополнения энергии в колебательной системе используется источник энергии. Энергия в колебательную систему от источника энергии подается через ключ. Чтобы это произошло, колебательная система в определенный момент времени с помощью элемента обратной связи подает сигнал на ключ. Ключ открывается, и часть энергии от источника энергии через него подается на колебательную систему.

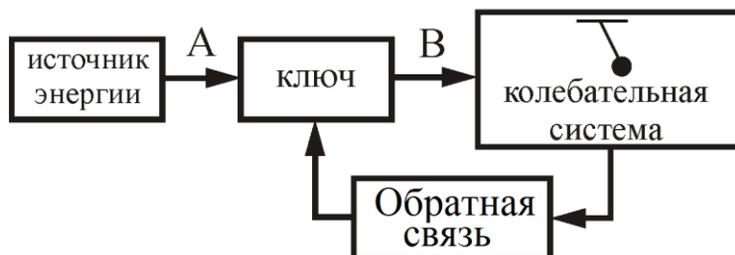


Рис. 1.

3. Опыт. Рассмотрим автоколебательную систему в маятниковых часах (ходиках, рис. 2).

Она состоит из маятника с чечевицей на конце. Передвигая чечевицу вдоль стержня, на котором она находится, можно изменять в небольших пределах период колебаний маятника.

На верхнем конце маятника находится анкерный механизм с двумя палеттами (зубцами). К корпусу автоколебательной системы приделано ходовое колесо с кривыми зубьями. На оси этого колеса находится шестерня с зубьями, на которые надевается цепь.

К одному концу цепи подвешена гиря, которая является источником энергии, потому что в поднятом состоянии она обладает потенциальной энергией.

Если качнуть маятник вправо, то правая палетта (см. рис. 2) освобождает зуб анкерного колеса, а левая палетта нажимает на ближайший зуб анкерного колеса, при этом гиря опускается и часть энергии передается маятнику.

Анкерный механизм изобретён около 1660 года Робертом Гуком.

Проблема. Почему маятник с анкерным механизмом совершает незатухающие колебания?

Ответ. Незатухающие колебания происходят потому, что потери энергии маятника компенсируются уменьшением потенциальной энергии гири.

На практике существует много разных анкерных механизмов, предназначенных для работы в самых различных механических часах.

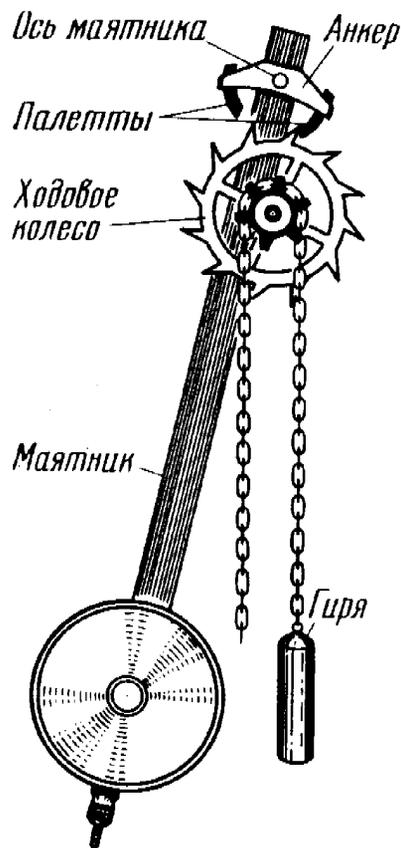


Рис. 2.

Опыт 8. Маятник Фуко.

1. В середине XIX века Жан Фуко изобрёл устройство, которое наглядно демонстрирует вращение Земли. Вначале учёный провёл эксперимент в узком кругу. Позже об этом опыте узнал Луи Бонапарт. В 1851 году будущий французский император Наполеон III предложил Фуко повторить эксперимент публично под куполом Пантеона в Париже. Во время эксперимента Фуко взял груз весом 28 кг и повесил его к вершине купола на проволоке длиной 67 м. На конце груза учёный закрепил металлическое острие. Маятник совершал колебания над круглым ограждением, по краю которого был насыпан песок. При каждом качании маятника острый стержень, закреплённый снизу груза, сбрасывал песок приблизительно в трёх миллиметрах от предыдущего места. Примерно через два с половиной часа стало видно, что плоскость качания маятника поворачивается по часовой стрелке относительно пола. За час плоскость колебаний повернулась более чем на 11° , а примерно за 32 часа совершила полный оборот и вернулась в прежнее положение. Фуко таким образом доказал, что если бы поверхность Земли не вращалась, маятник Фуко не показывал бы изменения плоскости колебаний.

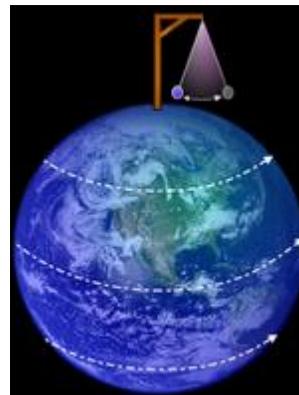


Рис. 1.

Маятник Фуко является математическим маятником, плоскость колебаний которого медленно поворачивается относительно земной поверхности в сторону, противоположную направлению вращения Земли относительно земного наблюдателя. Если маятник Фуко находится на Северном полюсе, то ось вращения Земли лежит в плоскости колебаний маятника (рис. 1).

На Северном или Южном полюсе Земли (ось вращения Земли лежит в плоскости колебаний маятника) плоскость колебаний маятника Фуко совершает поворот на 360° за звёздные сутки (на 15° за звёздный час). На экваторе (ось вращения Земли перпендикулярна плоскости колебаний маятника) плоскость колебаний маятника Фуко неподвижна, а в произвольной точке с географической широтой φ скорость вращения плоскости колебаний идеального маятника Фуко относительно поверхности Земли составляет $15^\circ \sin \varphi$ (в градусах на звёздный час) (рис. 2).

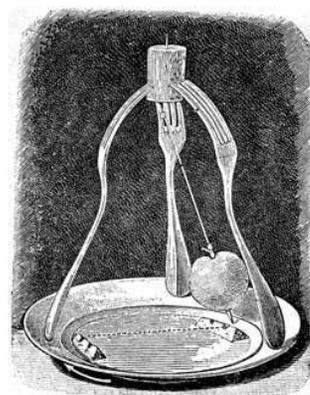


Рис. 2.

Так, в Исаакиевском соборе в Ленинграде с 1931 по 1986 год демонстрировался маятник Фуко на подвесе длиной 93 м.

Опыт. Маятник Фуко на центробежной машине. Закрепим на диске центробежной машине проволочную дугу и к верхней части дуги подвесим математический маятник. Насыплем на диск песок (рис. 3). Затем мы запускаем систему – оттянем груз в сторону и отпустим. Маятник начинает колебаться. Если поворачивать диск центробежной машины, то обнаружится, что маятник не поворачивается вместе с ней, а продолжает колебаться в постоянной плоскости! Песок в данном случае используется для наглядности – при повороте диска кончик иглы вычерчивает новую траекторию.

Теперь достаточно представить, что диск очень большой – диаметром с Землю. И он вращается, как по легенде говаривал Галилей, самостоятельно, подобно тому, как мы вращаем диск машины рукой. А маятник Фуко, спускаясь с купола Московского планетария или парижского Пантеона, выписывает затейливую фигуру, постоянно изменяя плоскость колебаний относительно Земли. Точнее, это Земля изменяет свою позицию относительно маятника. Если вращать диск равномерно, кончик нашего маятника опишет на песке фигуру, аналогичную фигуре, описываемой настоящим маятником Фуко.



Рис. 3.

Колебания маятника Фуко подтверждают закон сохранения момента импульса.

Опыт 9. Образование поперечных механических волн на шнуре.

1. Поперечные волны – это волны, в которых колебания частиц происходят перпендикулярно направлению распространения волны (рис. 1). Когда мы говорим, что волна «бежит вдоль по шнуру», это означает, что каждая точка шнура совершает такое же колебание, какое мы заставили совершать левый конец шнура, но колебание каждой точки тем больше запаздывает (отстает по фазе), чем эта точка дальше от конца шнура.

Опыт. Возьмем шнур длиной 2-3 м. Закрепим один конец на стене и, натянув его, заставим другой конец шнура совершать гармонические колебания. По шнуру будет распространяться поперечная волна.

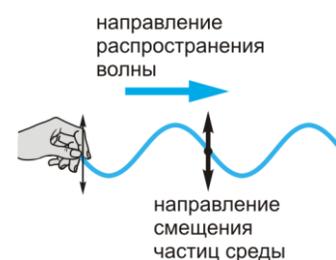


Рис. 1.

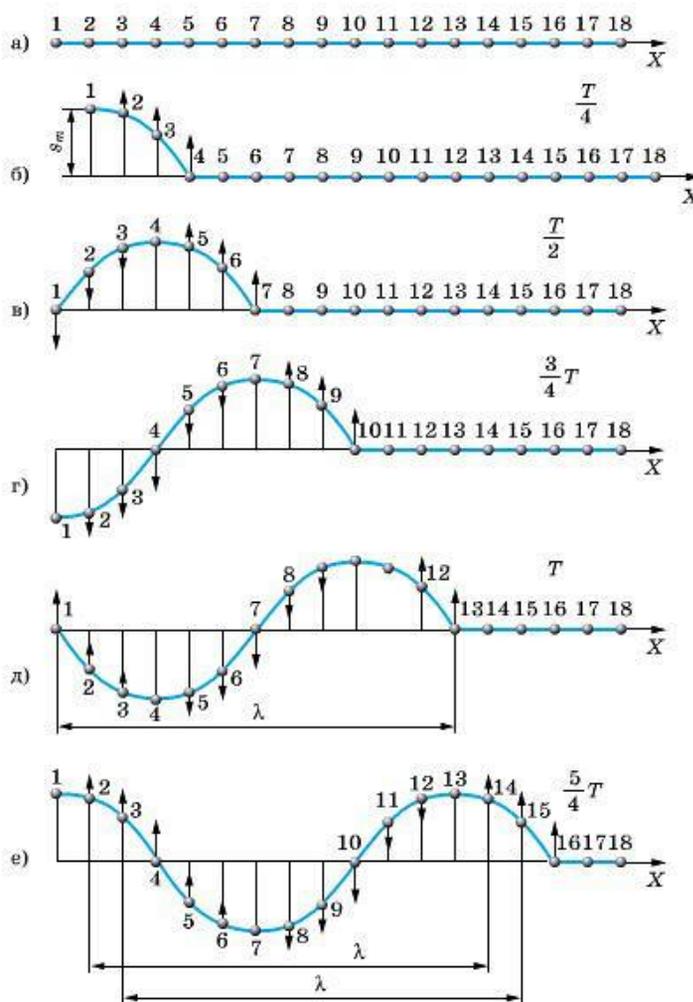
2. Рис.2 поясняет процесс передачи колебаний от точки к точке. Здесь изображены последовательно различные стадии этого процесса, начиная с «положения равновесия», через каждые четверть периода.

Каждый из ряда занумерованных кружков совершает гармоническое колебание около своего «положения равновесия» с одинаковой амплитудой и частотой.

Колебание каждого следующего кружка отстает от колебания предшествующего на часть периода.

Когда колебания доходят до кружка 13, происходит образование волны, равной длине волны. Затем процесс повторяется сначала.

Главное – обратите внимание на то, что все частицы волны совершают **только вертикальные колебания**, по горизонтали они не смещаются, **Вдоль волны происходит только перенос энергии.**



3. Характеристики волны (рис. 3)

Длина волны – наименьшее расстояние между точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах.

Амплитуда – наибольшее отклонение частиц волны от положения равновесия.

Период – время, за которое волна проходит расстояние, равное длине волны.

Гребень волны – положительная амплитуда.

Впадина – отрицательная амплитуда.

Образование и исследование свойств поперечной волны можно провести с помощью волновой машины.

Рис. 2.

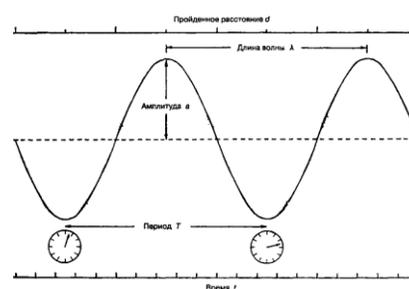


Рис.3.

Опыт 10. Образование продольных механических волн на пружине.

1. Механические волны бывают разных видов. Если в волне частицы среды испытывают смещение в направлении, перпендикулярном направлению распространения, то волна называется поперечной. Если смещение частиц среды происходит в направлении распространения волны, то волна называется продольной. Волны в упругом стержне или звуковые волны в газе являются примерами таких волн (рис. 1).

Как в поперечных, так и в продольных волнах переноса вещества в направлении распространения волны не происходит.

В процессе распространения частицы среды лишь совершают колебания около положений равновесия. Однако волны переносят энергию колебаний от одной точки среды к другой.

Продольные механические волны могут распространяться в любых средах – твердых, жидких и газообразных.

2. Образование продольных волн.

Пусть левая точка среды совершает гармоническое колебание по горизонтали. Благодаря упругим связям между молекулами среды это колебательное движение передается рядом находящимся молекулам, и в среде возникает продольная волна (рис. 2). При распространении волны в среде возникают сгущения и разрежения, которые распространяются вдоль волны.

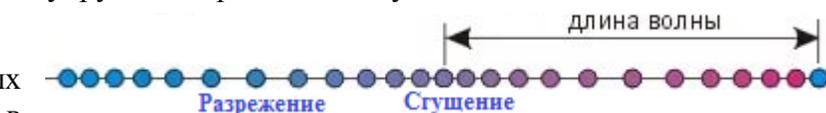


Рис. 1.

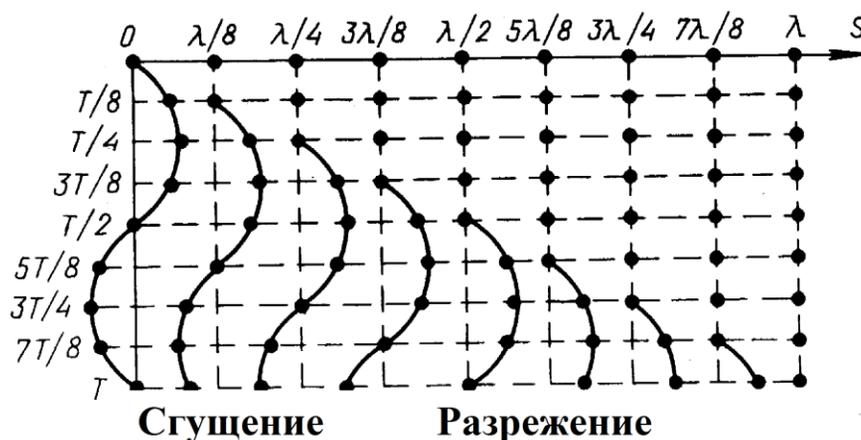


Рис. 2.

3. Характеристики волны (рис. 3).

Длина волны – наименьшее расстояние между точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах.

Амплитуда – наибольшее отклонение частиц волны от положения равновесия.

Период – время, за которое волна проходит расстояние, равное длине волны.

Сгущение – положительная амплитуда.

Разрежение – отрицательная амплитуда.

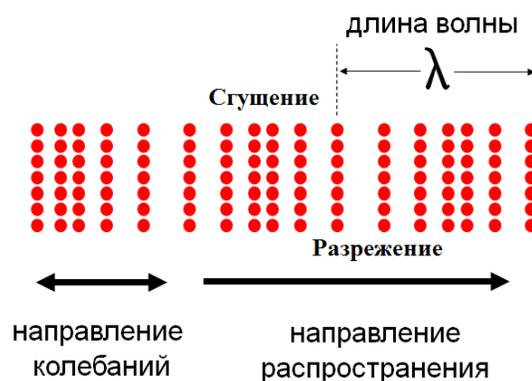


Рис. 3.

3. Опыт. Возьмем пружину (можно детскую пластмассовую пружину). Подвесим ее на нескольких нитях (или наденем на горизонтальный стержень, укрепленный на двух штативах), чтобы она находилась в горизонтальном положении.

Надавим рукой на левый конец пружины (рис. 4а). Возникнет сгущение.

- Отпустим руку. Левый конец пружины вернется назад, а по пружине будет распространяться возмущение (рис. 4б).
- Будем совершать рукой гармонические колебания. По пружине побежит поперечная волна (рис. 4в).

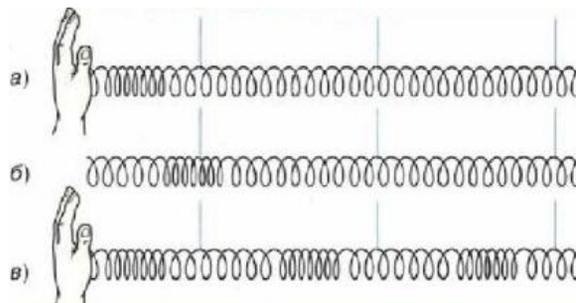


Рис. 4.

Опыт 11. Стоячие волны.

1. Стоячая волна – периодическое изменение амплитуды колебаний вдоль направления распространения, вызванное сложением падающей и отраженной волн (рис. 1, стоячая волна в разные моменты времени).

Стоячая волна – колебательный (волновой) процесс, с устойчивым расположением чередующихся максимумов (**пучностей**) и минимумов (**узлов**) амплитуды.

Например, стоячая волна возникает при отражении волны от преград и неоднородностей, в результате взаимодействия наложения падающей и отражённой волн.

Примерами стоячих волн могут служить колебания струн или воздуха в музыкальных инструментах.

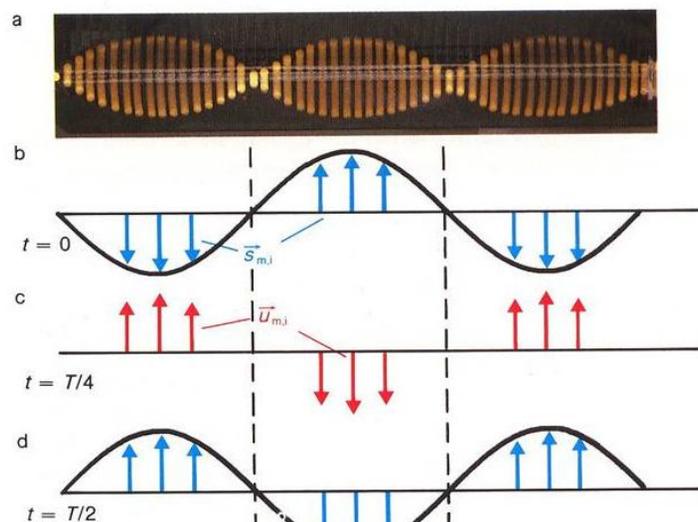


Рис. 1.

2. Образование стоячей волны (рис 2).

На графике 1 (рис. 2) показаны две волны с одинаковыми длинами волн. Синяя волна движется вправо, зеленая волна влево, красная волна является суммирующей волной.

Из графика видно, что при этом образуются гребни и впадины. Но этот график справедлив только для этого момента.

На графике 2 (рис. 2) показаны две волны через четверть периода. Из графика видно, что амплитуда впадин и гребней стала меньше.

На графике 3 (рис. 2) показаны две волны через половину периода. Из графика видно, что амплитуда впадин и гребней стала равной 0.

На графике 4 (рис. 2) показаны две волны через три четверти периода. Из графика видно, что амплитуда впадин и гребней стала большей, но гребни и впадины поменялись местами.

На графике 5 (рис. 2) показаны две волны через период колебаний. Из графика видно, что амплитуда впадин и гребней стала максимальной.

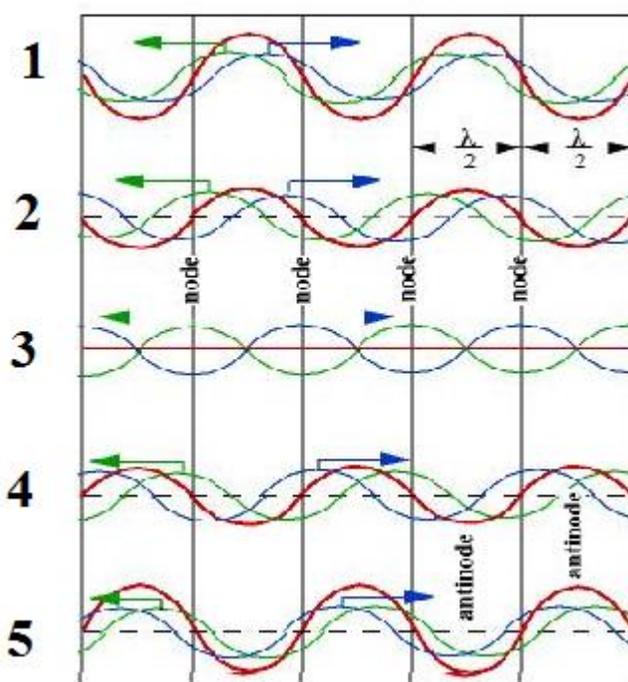


Рис. 2.

Обратите внимание на то, что такие явления происходят только в пучностях, а в узлах смещение точек волны в любой момент времени равно 0.

3. Опыты. Получение стоячих волн на шнуре и пружине (рис.3, 4).

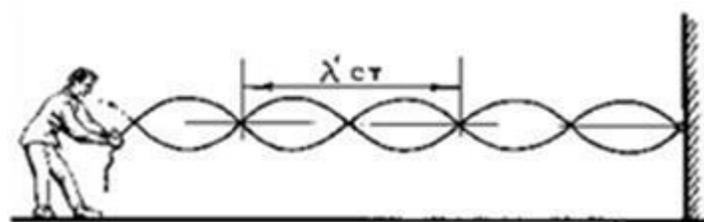


Рис. 3.

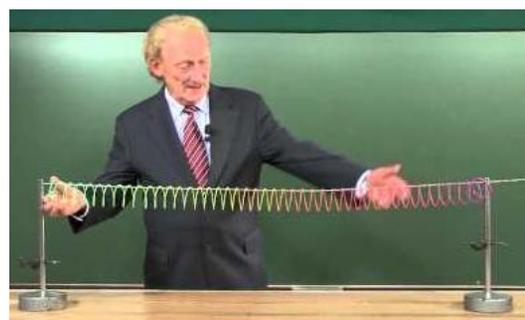


Рис. 4.

Опыт 12. Механический колебательный вибратор.

1. Механические колебательные вибраторы чаще всего используются для погружения трубчатых свай на определенную глубину. Примером погружение свай таким методом является создание свайных опор при строительстве моста в Крыму.

Основными элементами конструкции данной машины являются электрический силовой вибратор с двумя либо четырьмя валами, на которые насаживаются металлические дебалансы – эксцентрики. На скорость погружения свай в грунт влияют масса вибрирующих частей сваи и вибратора, эксцентриситет дебаланса, плотность грунта и частота колебаний вибропогружателя. Благодаря вибрации для погружения свай в грунт требуются усилия иногда в десятки раз меньшие, чем при механической забивке.

2. Опыт. Рассмотрим устройство модели механического вибратора для забивки трубчатых свай. Оно состоит из электродвигателя мощностью 150 – 200 Вт (рис. 1). На ось двигателя насажен дебаланс (эксцентрик) массой 150 – 200 г.

Двигатель прикрепляется к пластмассовой или металлической трубе, которая немного вдавлена в песок, находящийся в специальном ящике.

При включении электродвигателя вал двигателя начинает вращаться и благодаря наличию эксцентрика начнет совершать механические вертикальные колебания.

При вращении двигателя с эксцентриком он под действием силы тяжести опускается на небольшую высоту вниз и толкает трубу, которая при этом опускается глубже в песок и т. д. до тех пор, пока труба не погрузится на нужную глубину.

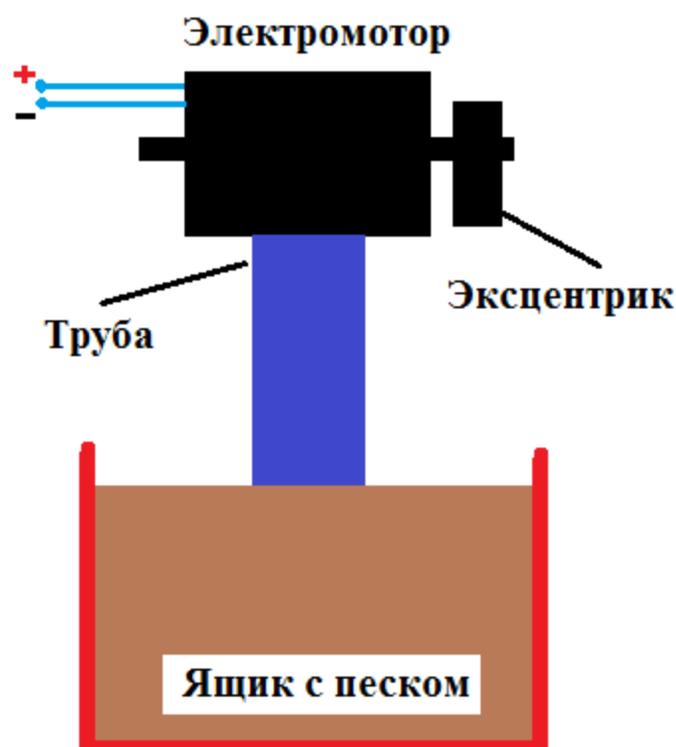
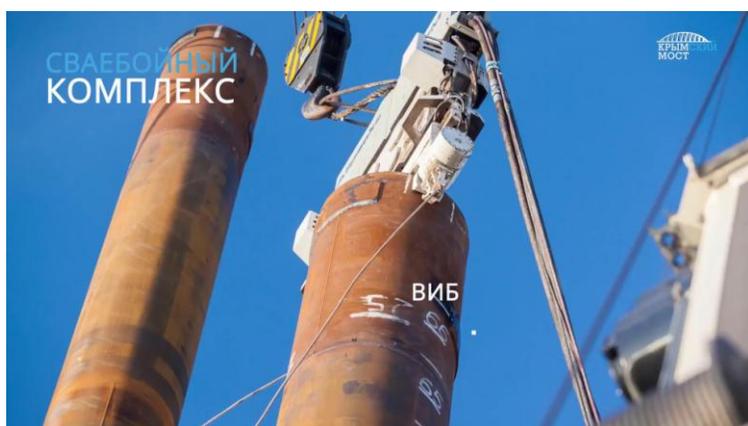


Рис. 1.



3. Забивка свай вибровибратором на Керченском мосту (рис. 2).

Рис. 2.

Опыт 13. Виброход.

1. На явлении вибрации основано действие бесколесного транспортного средства – виброхода. Модель виброхода состоит из двух щеток для одежды 2 с капроновыми щетинками. Щетки надо пропарить в горячей воде и придавить на несколько часов тяжелым грузом, чтобы щетинки легли в одну сторону. Щетки прикрепляются к легкой дощечке 1, на которую ставят два маленьких электромотора 3 с эксцентриками из обычного ластика (рис. 1).

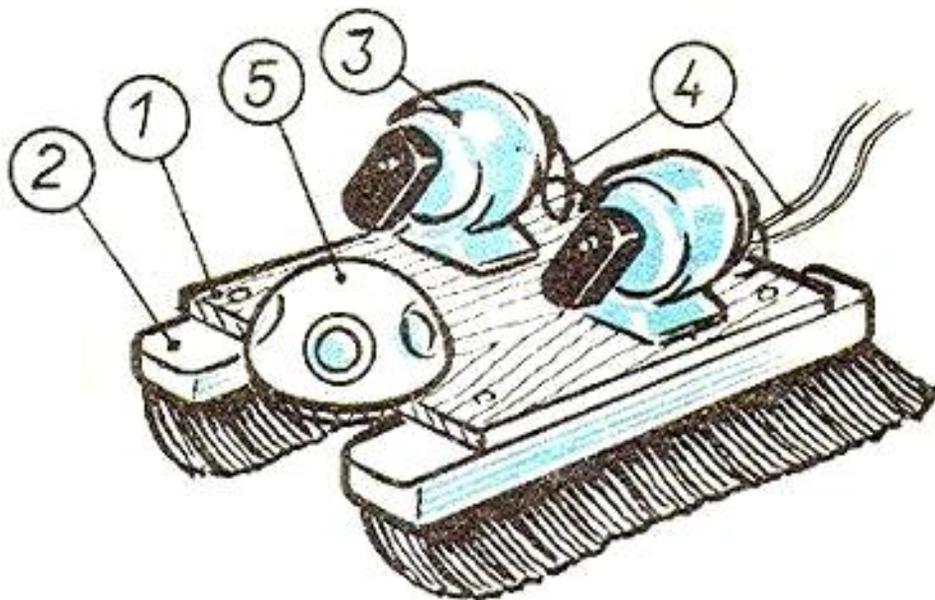


Рис. 1.

Спереди приклейте половину теннисного шарика 5 – это кабина космонавтов.

Теперь сделайте пульт управления, который состоит из батарейки и двух кнопок для управления виброходом.

2. На рисунке 2 показана блок-схема виброхода.

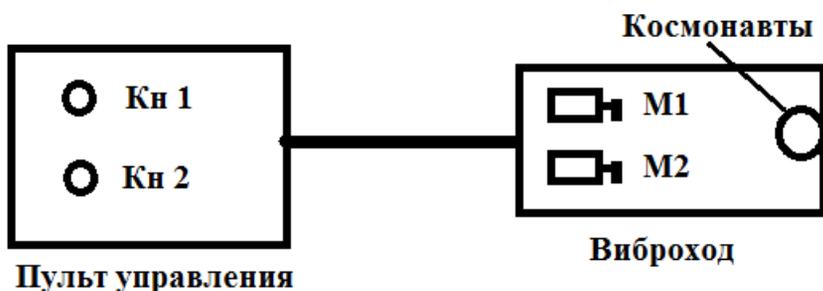


Рис. 2.

3. Электрическая схема виброхода (рис.3).

Если вы нажмете на правую кнопку – заработает правый мотор, модель повернет влево, если на левую – заработает левый мотор, и модель повернет вправо. Если вы одновременно нажмете на обе кнопки одновременно, модель пойдет прямо.

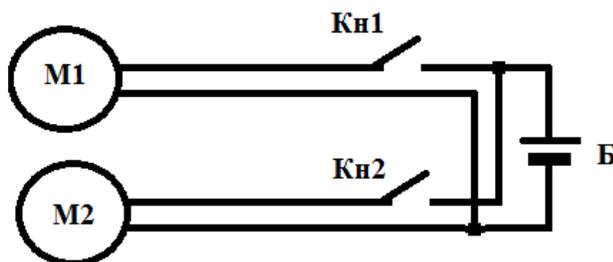


Рис. 3.

Проблема. Почему происходит движение виброхода ?

Ответ. В результате вращения моторов с эксцентриками возникают колебания щеток. Когда они прижимаются к полу, то ворсинки нажимают на пол и отталкиваются от него. В результате чего виброход передвигается вперед при работе двух моторов, направо или налево при работе левого или правого моторов.

Опыт 14. Обрыв нити с грузом.

1. К штативу подвешен математический маятник. Отклоним его от положения равновесия на некоторый угол и отпустим. Маятник начнет качаться.

- Поставим на пути нити маятника палку немного выше середины нити (рис. 1). Маятник будет продолжать колебательное движение.
- Поставим на пути нити маятника палку примерно на середине нити (рис. 2). Маятник будет продолжать колебательное движение.
- Поставим на пути нити маятника палку немного ниже середины нити (рис. 3). Нить маятника оборвется.



Рис. 1.



Рис. 2.



Рис.3.

Проблема. Почему в третьем случае нить оборвалась?

Ответ.

В первом и во втором случаях сила натяжения, действующая на нить, была меньше силы упругости нити, поэтому нить не оборвалась, а в третьем случае нить оборвалась потому, что сила натяжения стала больше силы упругости нити.

Опыт 15. Волны на воде. Отражение волн.

1. Механические волны бывают поперечными и продольными. Рассмотрим волны на поверхности воды. Оказывается, что это особые волны – они не являются поперечными, движение частиц жидкости здесь более сложное.

2. **Круговые волны.** Если взять карандаш, коснуться им воды и совершать гармонические колебания, то от карандаша будут распространяться круговые волны. На рис. 1. темными кружками показано положение частиц поверхности жидкости в некоторый момент, а светлыми кружками – положение этих частиц некоторое время спустя. Линия, соединяющая темные участки волны, даст нам профиль волны. В изображенном на рисунке случае большой амплитуды профиль волны представляет круговые впадины и гребни.

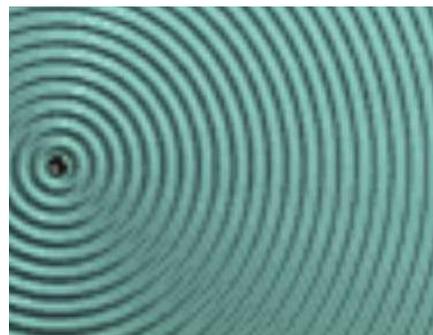


Рис. 1.

3. **Плоские волны.** Если взять тонкую плоскую пластину, опустить ее в ванну с водой и прозрачным дном для проекции на экран и начать совершать этой пластиной гармонические колебания, то от этой пластины будут распространяться плоские волны (рис. 2). Они будут представлять распространяющиеся параллельные гребни и впадины.



Рис. 2.

4. Отражение волн.

Как получить и наблюдать отражение плоских волн?

Опыт. Возьмем неглубокую ванну (рис. 3), дном которой служит прозрачное стекло. Под стеклом на некотором расстоянии нужно поместить яркую лампочку, позволяющую спроецировать ванну на экран. На экране в увеличенном виде можно наблюдать все явления, происходящие на поверхности воды. В ванну опустим плоский вибратор 1 и преграду 2. Включим вибратор, он будет излучать плоские волны.

Проблема. Доходя до преграды, плоские волны отражаются так, что угол отражения волн равен углу падения $\beta = \alpha$. Почему?

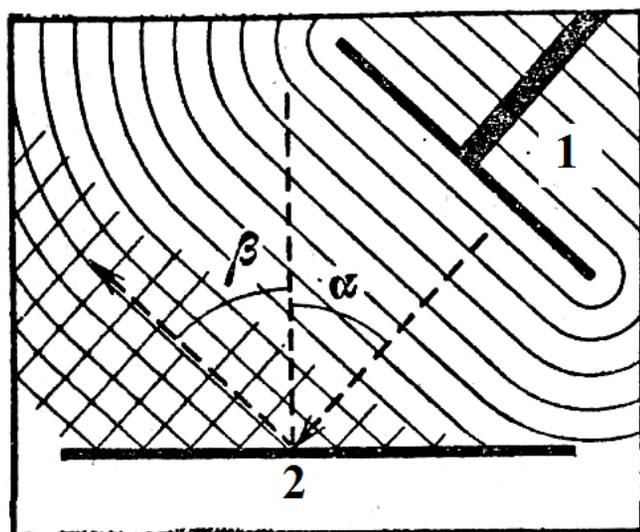


Рис. 3.

Ответ. При отражении от упругой плоской поверхности всегда угол отражения равен углу падения $\beta = \alpha$. Это объясняется по принципу Гюйгенса.

При наблюдении отражения поперечных волн от плоской пластины можно убедиться в том, что угол отражения равен углу падения.

Получить механические волны на воде и проверить закон отражения механических волн можно с помощью набора «Волновая ванна».

Опыт 16. Интерференция волн на воде.

1. Интерференция волн (наложение волн) – взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды двух или нескольких волн при их наложении друг на друга. Интерференция сопровождается чередованием максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) интенсивности в пространстве. Интерферировать могут все волны, однако устойчивая интерференционная картина будет наблюдаться только в том случае, если волны имеют **одинаковую частоту, одинаковую длину волны и постоянную разность фаз**, т.е. волны будут **когерентными**.

При интерференции энергия волн перераспределяется в пространстве. Это не противоречит закону сохранения энергии потому, что в среднем, для большой области пространства, энергия результирующей волны равна сумме энергий интерферирующих волн.

2. Если мы бросим в воду два камня, образовав тем самым две круговые волны, то можно будет заметить, что каждая волна проходит сквозь другую и ведет себя в дальнейшем так, как будто другой волны совсем не существовало (рис. 1).



Рис. 1.

Теперь посмотрим более внимательно, что происходит в местах, где волны накладываются одна на другую. Наблюдая волны на поверхности воды от двух брошенных в воду камней, можно заметить, что некоторые участки поверхности не возмущены, в других же местах возмущение усилилось. Если две волны встречаются в одном месте своими гребнями, то в этом месте возмущение поверхности воды усиливается – возникает **интерференционный максимум**. Если же, напротив, гребень одной волны встречается с впадиной другой, то поверхность воды не будет возмущена – возникает **интерференционный минимум** (рис. 2). Результирующее смещение любой частицы среды представляет собой алгебраическую сумму смещений, которые происходили бы при распространении одной из волн в отсутствие другой.

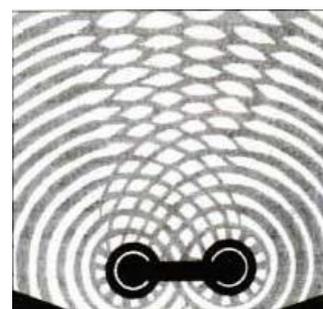


Рис. 2.

Условие максимумов. Амплитуда колебаний частиц среды в данной точке максимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна четному числу полуволен:

$$\Delta d = \pm 2k\lambda, \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots$$

Условие минимумов. Амплитуда колебаний частиц среды в данной точке минимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна нечетному числу полуволен:

$$\Delta d = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

3. Опыт. Возьмем волновую ванну с водой. Поместим в нее вибратор с двумя вертикальными штырьками, направленными вниз. Стержень вибратора (слева) прикрепим к электромагниту, который будет питаться от звукового генератора (рис. 3).



Рис.3.

Установим частоту генератора 20 Гц и подадим питание на электромагнит, к которому подсоединен вибратор.

Проблема. Что произойдет в волновой ванне?

Ответ. На поверхности воды в волновой ванне возникнет интерференционная картина, состоящая из интерференционных максимумов и минимумов, так как вибраторы, колеблясь в воде, будут излучать когерентные волны, а когерентные волны, складываясь, образуют максимумы и минимумы в зависимости от разности хода волн (рис. 4).

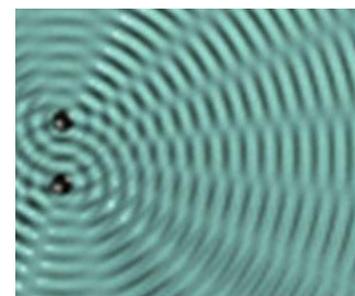


Рис. 4.

Исследовать явление интерференции механических волн можно с помощью набора «Волновая ванна».

Опыт 17. Дифракция волн на воде.

1. Дифракция состоит в огибании волнами встреченных препятствий или в захождении волн в область геометрической тени. В основе явления дифракции лежит принцип Гюйгенса, согласно которому каждая точка фронта волны является источником вторичных элементарных волн.

Волны могут огибать края препятствий. Если размер препятствия сравним с длиной волны, то, огибая препятствие, волна смыкается за препятствием (рис.1., малые камни). Создадим волну, бросив камень в воду. Эта волна обогнет малые камни и будет распространяться за ними так, как будто их не было. Однако если размеры препятствия будут больше длины волны (рис. 1, большой камень), то огибания не произойдет и за камнем образуется «тень», волна за него не проникнет (дифракции не будет).



Рис. 1.

Интересное явление дифракции волн наблюдается на воде (рис. 2), если недалеко от берега расположены горизонтальные препятствия, между которыми есть промежутки, сравнимые с длиной волны, то точки воды в этих промежутках станут источниками вторичных волн, и от этих промежутков будут распространяться круговые волны.



Рис. 2.

Опыт. Возьмем волновую ванну с водой. Поместим в нее вибратор в виде плоской пластины для образования плоской волны. Стержень вибратора (слева) прикрепим к электромагниту, который будет питаться от звукового генератора. На некотором расстоянии от вибратора поставим пластину с отверстием, сравнимым с длиной волны (рис. 3).

Установим частоту генератора 20 Гц и подадим питание на электромагнит, к которому подсоединен вибратор.



Рис. 3.

Проблема. Что произойдет в волновой ванне?

Ответ. На поверхности воды в волновой ванне возникнет плоская волна. Когда плоская волна дойдет до преграды, каждая точка воды в отверстии, согласно принципу Гюйгенса, станет источником вторичных волн, и от этого промежутка будет распространяться круговая волна. Таким образом, происходит явление дифракции, и волна заходит в область тени.

Исследовать явление дифракции механических волн можно с помощью набора «Волновая ванна».

Опыт 18. Опыты с источниками звука.

1. Звуковыми (или акустическими) волнами называются распространяющиеся в среде продольные механические волны, обладающие частотами в пределах 20 – 20000 Гц. Волны указанных частот, воздействуя на слуховой аппарат человека, вызывают ощущение звука. Волны с частотой меньше 20 Гц называются инфразвуковыми, а волны с частотой больше 20 кГц – ультразвуковыми и органами слуха человека не воспринимаются.

Звуковые волны в газах и жидкостях могут быть только продольными, так как эти среды обладают упругостью лишь по отношению к деформациям сжатия (растяжения). В твердых телах звуковые волны могут быть как продольными, так и поперечными, так как твердые тела обладают упругостью по отношению к деформациям сжатия (растяжения) и сдвига.

2. **Источники звука** – различные колеблющиеся тела, например, туго натянутая струна или тонкая стальная пластинка, зажатая с одной стороны, которые излучают механические волны с частотой 20 – 20000 Гц. Достаточно оттянуть и отпустить струну музыкального инструмента или стальную пластину, зажатую одним концом в тисках, как они будут издавать звук. Колебания струны или металлической пластинки передаются окружающему воздуху. Когда пластинка отклонится, например, в правую сторону, она уплотняет (сжимает) слои воздуха, прилегающие к ней справа; при этом слой воздуха, прилегающий к пластине с левой стороны, разрежится. При отклонении пластины в левую сторону она сжимает слои воздуха слева и разрежает слои воздуха, прилегающие к ней с правой стороны, и т.д. Сжатие и разрежение прилегающих к пластине слоев воздуха будет передаваться соседним слоям. Этот процесс будет периодически повторяться, постепенно ослабевая, до полного прекращения колебаний (рис. 1).

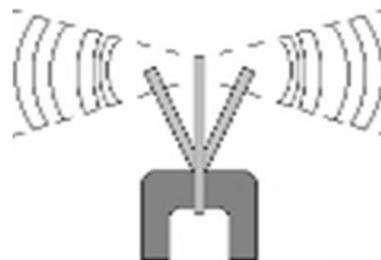
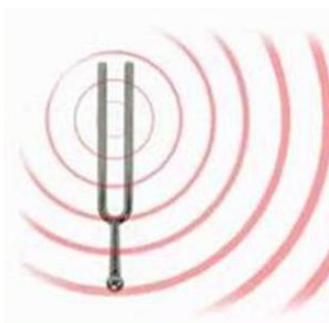


Рис.1. Примеры источников звука.



Голосовые связки



Камертон



Громкоговоритель



Головные телефоны



Фонограф



Динамик

Опыт. Продемонстрировать некоторые источники звука.

Проблема. Почему данные источники звука излучают звуковые волны?

Ответ. Потому что в каждом источнике звука есть колебательные устройства, которые излучают механические продольные волны в звуковом диапазоне с частотой в диапазоне 20 – 20000 Гц, слышимые человеком.

Опыт 19. Звуковые волны. Определение диапазона слышимости.

1. Звук — это воспринимаемые человеческими органами слуха механические волны, которые вызывают звуковые ощущения.

Источниками звука могут быть любые тела, которые совершают колебания со звуковой частотой в диапазоне 20 до 20000 Гц (рис. 1).



Рис.1 Диапазон слышимости человеческого уха.

2. Параметры звука:

- Частота звука – число колебаний звуковых волн в 1 сек (рис. 2). Измеряется в Гц (Герцах).

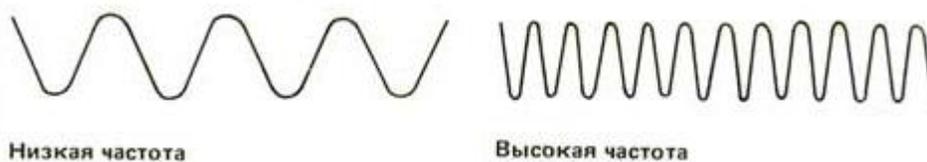


Рис. 2.

- Амплитуда колебаний в звуковой волне (рис. 3). Она характеризует громкость звука. Измеряется в дБ (децибелах).

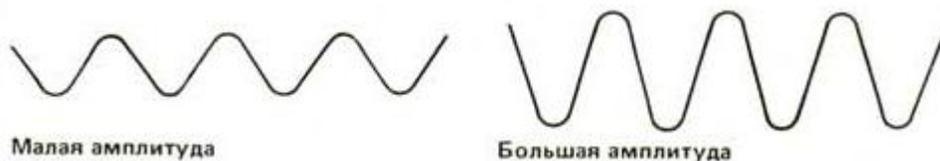


Рис. 3.

3. Опыт. Определение диапазона слышимости звука.

Соберем установку, состоящую из звукового генератора и громкоговорителя (рис. 4)

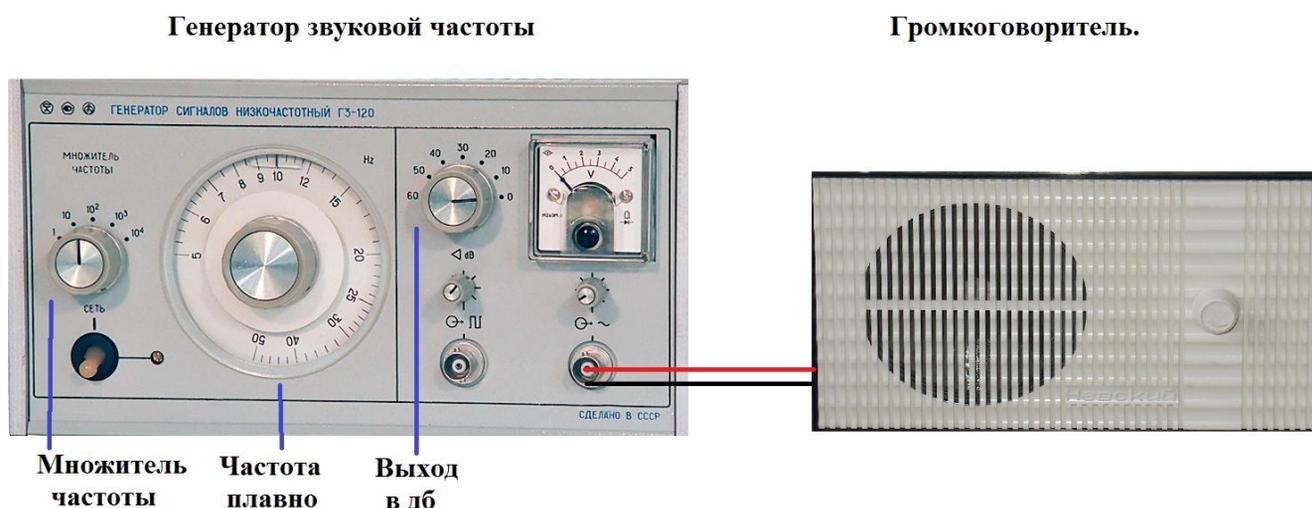


Рис. 4.

- Установим частоту генератора на частоту 20 Гц. Для этого множитель частоты установим на 1, а рукояткой «Частота плавно» установим на 20 Гц. Выход установим на 20 дБ, а уровень громкости громкоговорителя выведем на максимум.
- Манипулируя ручками «Частота плавно» и «Множитель частоты», увеличим постепенно частоту колебаний звукового генератора до 20 кГц. При этом каждый слушатель определит свой диапазон слышимости звука по частоте.

Проблема. Почему человек не слышит механические продольные волны с частотой 15 Гц, 25 кГц?

Ответ. Потому что в первом случае будет инфразвук, а во втором ультразвук, а они не слышны человеком.

Опыт 20. Звукопроводность различных материалов.

1. Звукопроводность – это свойства, связанные с взаимодействием материала и звука. Звук, или звуковые волны, – это механические колебания, распространяющиеся в твердых, жидких и газообразных средах. Звукопроводность характеризуется взаимодействием звука и материала. Она зависит от массы материала и его строения. Материал тем меньше проводит звук, чем больше его масса; если масса материала велика, то энергии звуковых волн не хватает, чтобы пройти сквозь него, так как для этого надо заставить материал колебаться. Плохо проводят звук пористые и волокнистые материалы, так как звуковая энергия поглощается и рассеивается развитой поверхностью материала, переходя при этом в тепловую энергию.

Звукопроводность определяется скоростью звука в веществе, поэтому о звукопроводности можно судить по данной таблице.

Скорость звука в различных веществах .



Вещество	Скорость звука, м/с
Воздух (при 0°C)	331
Гелий	1005
Водород	1300
Вода	1440
Морская вода	1560
Железо и сталь	5000
Стекло	4500
Алюминий	5100
Тяжелая древесина	4000

Таблица 1.

Опыт. Определение скорости звука для оценки звукопроводности воздуха.

Установка для определения скорости звука в воздухе (трубка Кундта) состоит из стеклянной трубы диаметром 50 мм и длиной 50 – 70 см. Трубу располагают горизонтально и насыпают в нее пробковую пыль или лycopодий. Слева на трубу прикрепляют мембрану, которую заставляют колебаться с помощью громкоговорителя, на который подается сигнал от звукового генератора. Справа вставляют подвижный поршень (рис. 1).

Сначала включаем звуковой генератор и регулируем поршень так, чтобы звук, идущий из трубки, стал громче, то есть возник резонанс. В этот момент волны в трубке являются стоячими, а амплитуда колебаний воздуха в узлах равна нулю.

Проблема. Почему порошок располагается в трубке кучками?

Ответ. Колебания воздуха возбуждают внутри трубки стоячую звуковую волну. Порошок, оказавшийся в движущемся воздухе, располагается аккуратными кучками вдоль трубки в пучностях. Расстояние между кучками составляет половину длины волны звука: $\lambda/2$. Найдя длину волны и зная частоту ν , найдем скорость звука c в воздухе:

$$c = \lambda \nu.$$

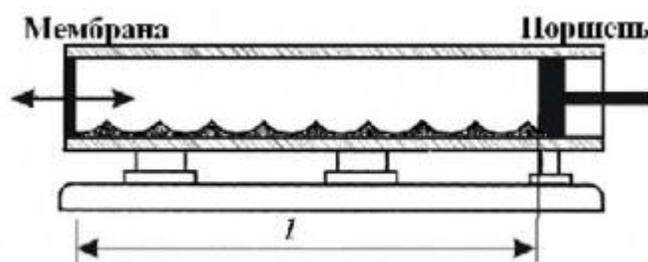


Рис. 1.

По скорости звука в воздухе оценим звукопроводность воздуха. Если она будет примерно равна 330 м/с, то звукопроводность воздуха хорошая.

Опыт 21. Вербочный телефон.

1. Телефон (теле – далеко, фон – звук) – это любой механизм, который способен передавать звук на большое расстояние. Самые первые телефоны были механическими приборами, которые базировались на передаче звука с использованием воздуха или других физических средств, в отличие от электрических приборов, которые базируются на электромагнитных сигналах.

Вербочный телефон был известен несколько веков назад. Он связывал две диафрагмы бечёвкой, которая передает звук с одного конца до другого вибрациями бечёвки.

2. Звук представляет собой механические продольные волны, частота колебаний частиц в которых равна 20 Гц – 20 кГц. Частицы среды при распространении в ней звуковых волн приходят в движение, начинают колебаться относительно положения равновесия. При этом в момент смещения частицы образуются области повышенного и пониженного давления. Частица как бы начинает давить на соседние частицы, поэтому распространение звука имеет волнообразный характер – частицы среды давят на соседние частицы, те в свою очередь на других.

Всего вышесказанного вполне достаточно, чтобы приступить к изготовлению вербочного телефона.

Опыт. Вербочный телефон. Для создания телефона понадобятся:

- Источники и приемники звука. Для этого используем пластиковые или бумажные стаканчики – 2 штуки. Желательно взять стаканчики побольше, тогда можно будет надеяться на вполне качественную передачу звука.
- Упругая среда. В качестве нее у нас будет выступать веревка или леска длиной 3 – 5 метров. При этом веревка или леска должны быть практически не растягивающиеся.
- Спички или скрепки для фиксации веревки.
- Схема вербочного телефона (рис. 1).



Рис. 1. Устройство вербочного телефона.

Два человека, держа стаканчики в руках, натягивают веревку. Если в левый стаканчик говорить, то из правого стаканчика будет слышен звук (рис. 2).

Проблема. Почему?

Ответ. Когда человек говорит в левый стаканчик, звуковые волны заставляют колебаться дно стаканчика. Эти колебания передаются по упругой веревке, и они доходят до дна правого стаканчика. Дно правого стаканчика, колеблясь, передает эти колебания воздуху, и из правого стаканчика выходит звуковая волна.



Рис. 2.

Исследовать распространение звуковых волн можно с помощью «Датчика звука» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 22. Снятие осциллограммы камертона механическим осциллографом.

1. Камертон – инструмент для воспроизведения эталонной высоты звука. Применяется в исполнительской практике для настройки музыкальных инструментов и хоров, в физических экспериментах (рис. 1). Для усиления звука камертона используется деревянный ящик, настроенный в резонанс с камертоном.



Рис. 1.

2. Опыт. Для выяснения того, что из себя представляет звуковая волна, излучаемая камертоном, рассмотрим установку для снятия осциллограммы камертона (рис. 2).

Установка состоит из камертона **1**, закрепленного на штативе. На одном из стержней камертона закреплено маленькое зеркало **2**. Из источника света выходит тонкий световой луч и линзой фокусируется на зеркале, находящемся на ножке камертона. Отражившись от зеркала, он попадает на вращающееся многогранное зеркало **3** и, отражаясь от него, рисует на экране график колебаний ножки камертона.

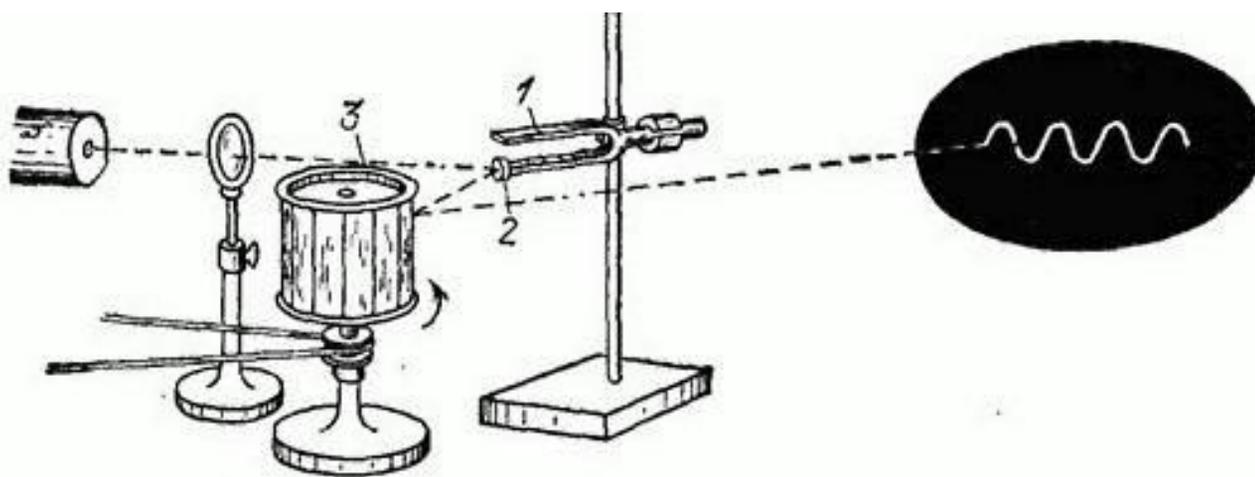


Рис. 2.

Проблема. Какая фигура появится на экране?

Ответ. На экране появится синусоида. Это доказывает то, что колебания ножки камертона происходит по синусоидальному закону. Если бы зеркало не вращалось, то на экране была бы вертикальная светящаяся полоска. Вращающееся зеркало является элементом развертки луча по горизонтали. В результате на экране возникает график колебания ножки осциллографа.

В настоящее время вместо механических осциллографов применяются электронные осциллографы.

Исследовать осциллограмму звуковых волн камертона можно с помощью «Датчика звука» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 23. Резонанс камертонов.

1. Акустический резонанс. Резонансные явления можно наблюдать на механических колебаниях любой частоты, в частности, и на звуковых колебаниях. Примером звукового или акустического резонанса служит следующий опыт.

Опыт 1. Поставим рядом два одинаковых камертона, обратив отверстия ящиков, на которых они укреплены, навстречу друг к другу (рис. 1).

Проблема. Если стукнуть резиновым молоточком по левому камертону, то правый камертон тоже будет звучать. Почему?

Ответ. Рассмотрим левый камертон. Он установлен на ящик, в котором находится воздух. Если стукнуть резиновым молоточком по левому камертону, то он начнет колебаться. Эти колебания передаются по ножке камертона воздуху, находящемуся внутри ящика, на котором стоит камертон. Воздух внутри ящика начинает колебаться. Чтобы амплитуда колебаний воздуха была максимальной, необходимо, чтобы частота его колебаний равнялась частоте колебаний камертона. С этой целью длину ящика делают равно четверти длины звуковой волны камертона.

Звуковые колебания воздуха выходят из отверстия в ящике и доходят до ящика, на котором установлен второй камертон. Так как длина ящика для второго камертона также равна четверти длины волны, излучаемой левым камертоном, то в правом ящике возникают резонансные колебания воздуха с большой амплитудой. Эти колебания передаются правому камертону и, так как его собственная частота колебаний равна частоте колебаний левого камертона, он начинает колебаться со сравнительно большой амплитудой.

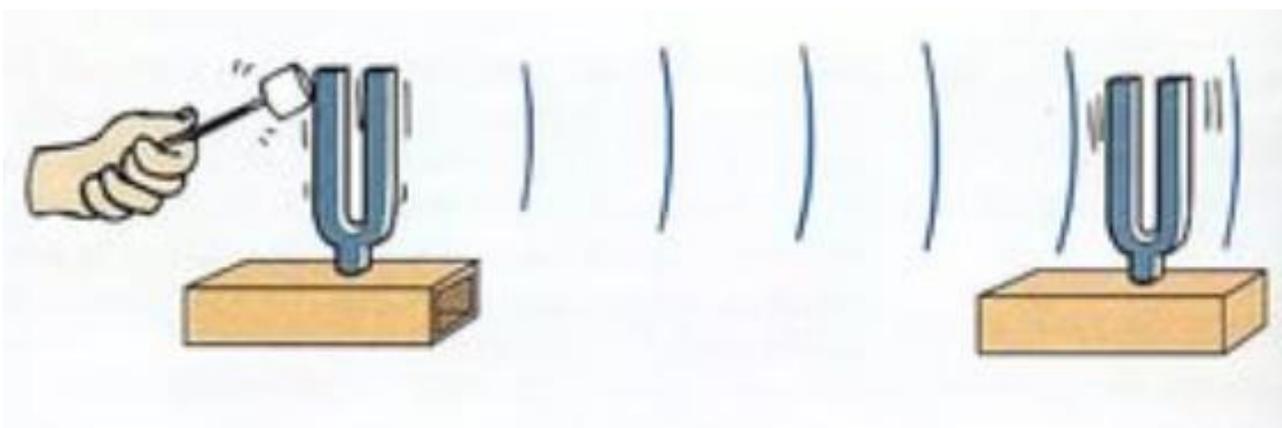


Рис. 1.

Ударим резиновым молоточком по левому камертону, а затем приглушим его пальцами. Мы услышим, как звучит правый камертон – благодаря акустическому резонансу.

Если возьмем два разных камертона, т. е. с различной высотой тона, то второй камертон звучать не будет. Теперь каждый из камертонов уже не будет откликаться на звук другого камертона, так как не будет резонанса.

Опыт 2. Если мы ударим резиновым молоточком по левому камертону, а затем приглушим его пальцами, мы услышим, как звучит правый камертон.

Проблема. Почему?

Ответ. Второй камертон будет звучать благодаря явлению акустического резонанса. Если стукнуть резиновым молоточком по левому камертону, то он начнет колебаться. Эти колебания передаются воздуху, находящемуся внутри ящика, на котором стоит камертон. Воздух внутри ящика начинает колебаться. Звуковые колебания воздуха выходят из отверстия в ящике и доходят до ящика, на котором установлен второй камертон. Эти колебания передаются правому камертону и, так как его собственная частота колебаний равна частоте колебаний левого камертона, он начинает колебаться со сравнительно большой амплитудой.

Опыт 3. Если на одну ножку правого камертона наклеить кусок пластилина, то при возбуждении левого камертона правый камертон звучать не будет.

Проблема. Почему?

Ответ. Частота колебаний правого камертона будет отличаться от частоты левого камертона, поэтому явления резонанса не будет.

Опыт 24. Биения.

1. Биения – явление, возникающее при наложении двух периодических колебаний, например, гармонических, близких по частоте (**1** и **2**), выражающееся в периодическом уменьшении и увеличении амплитуды суммарного сигнала. **Частота изменения амплитуды суммарного сигнала равна разности частот исходных сигналов** (рис. 1).

Биения возникают потому, что один из двух сигналов линейно во времени отстаёт от другого по фазе, и в те моменты, когда колебания происходят синфазно, суммарный сигнал оказывается максимален, а в те моменты, когда два сигнала оказываются в противофазе, они взаимно гасят друг друга. Эти моменты периодически сменяют друг друга по мере того, как нарастает отставание.

Биения звука можно слышать при настройке музыкальных инструментов, например, струнных, по камертону. Если частота струны незначительно отличается от частоты камертона, то слышно, что звук пульсирует – это и

есть биения. Струну для настройки в унисон с камертоном нужно подтягивать или ослаблять так, чтобы частота биений уменьшалась. При совпадении высоты звука с эталонным биения полностью исчезают.

В современных аккордеонах и баянах, в которых нажатие на кнопку или клавишу вызывает извлечение ноты одной высоты с помощью трёх металлических язычков, колеблющихся под напором воздуха, два других язычка при изготовлении инструмента специально немного расстраивают по частоте относительно язычка, настроенного в унисон к ноте, чтобы получить характерное звучание инструмента, называемое разливом, образующееся в результате эффекта биений.

Опыт. Возьмем два камертона **A** и **B** (рис. 2). Чтобы частоты камертонов отличались друг от друга, приклеим к ножкам камертона **B** маленькие кусочки пластилина.

Ударим по ножкам камертонов резиновым молоточком.

В зоне пересечения звуковых волн от камертонов будут слышны низкочастотные колебания с частотой биений.

Проблема. Почему?

Ответ. В зоне пересечения звуковых волн от камертонов будут слышны низкочастотные колебания с частотой биений, потому что в этой зоне накладываются звуковые волны от двух камертонов с близкими, но разными частотами, в результате чего возникает

разность частот колебаний, которые называются биениями. Если эти биения находятся в звуковом диапазоне, то мы их услышим (это будут низкочастотные колебания).

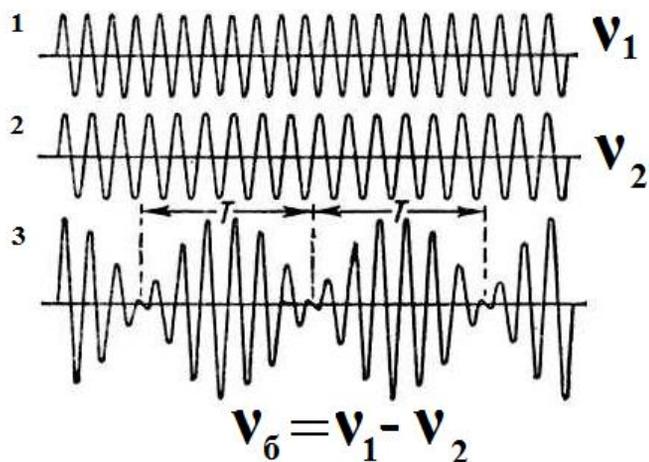


Рис. 1.

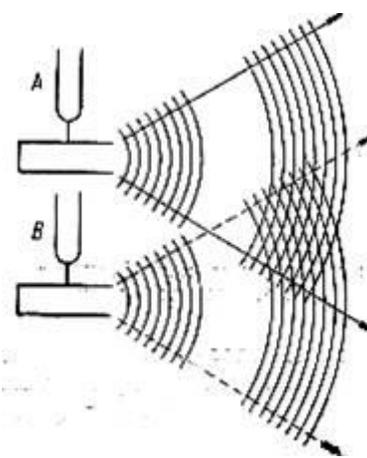


Рис. 2.

Исследовать осциллограмму биений можно с помощью «Датчика звука» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 25. Бинауральный эффект.

1. **Бинауральный эффект** – эффект, возникающий при восприятии звука двумя ушами. Он позволяет определить направление на источник звука, что делает звуковое восприятие объёмным.

Эффект состоит в том, что если человек обращён лицом к источнику звука, то звуковая волна доходит до обеих его ушей одновременно и поэтому в одной фазе. Когда человек поворачивает голову, скажем, влево от направления на источник звука, то его правого уха звуковая волна достигает раньше, чем левого, и фазы звуковых колебаний в ушах оказываются сдвинутыми друг относительно друга (рис. 1). По этому сдвигу фаз мозг и определяет горизонтальное направление на источник звука. А интенсивность звука, которая, как известно, обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника, при расстоянии до него порядка нескольких метров и более в ушах различается несильно, так как расстояние между ними измеряется сантиметрами.

Опыт. Возьмем громкоговоритель и поместим его сначала в точку S_1 , а потом в точку S_2 . Человек будет слышать звук и в первом, и во втором случае.

Проблема. Как человек узнает, где находится громкоговоритель?

Ответ. Человек точно определяет, где находится громкоговоритель, потому, что он слушает двумя ушами. До каждого уха звук проходит разные расстояния – в первом случае H_{11} и H_{21} , а во втором – H_{12} и H_{22} . Так как расстояния от источника звука до ушей разные, то по разным интенсивностям звука, принятого ушами, он определяет направление на источник звука.

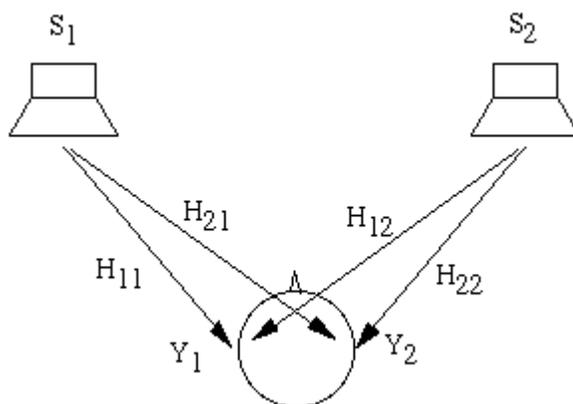


Рис. 1.

Во время Великой Отечественной войны бинауральный эффект использовался для определения местонахождения вражеских самолетов. Для этого изготавливали специальные звукоуловители, состоящие из очень больших звукоулавливающих труб (рис. 2). Это явление называлось звукопеленгацией – определением направления на источник звука. Для этого специально тренированные бойцы - «слухачи» улавливали с помощью больших рупоров – звукоулавливателей интересовавшие их звуки (звуки летящих самолетов, звуки орудийных залпов) и определяли направление на источники этих звуков.



Рис. 2.

Опыт 26. Отражение звуковых волн. Эхолот.

1. ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА – явление, возникающее при падении звуковой волны на границу раздела двух упругих сред и состоящее в образовании волн, распространяющихся от границы раздела в ту же среду, из которой пришла падающая волна. Падающая волна вызывает движение границы раздела сред, в результате которого и возникают отражённые волны.



Рис. 1

Когда звуковая волна **1**, излучаемая источником звука, достигает упругой поверхности, в которой она распространяется (например, падает на стену помещения или на поверхность воды), часть звуковой энергии отражается (отраженный луч **2**), при этом угол отражения β равен углу падения волны α (рис. 2).

Эта закономерность называется **законом отражения звука**.



Рис. 2.

2. Опыт. Соберем установку (рис. 3), состоящую из звукового генератора **а** и громкоговорителя **б**. Включим генератор. Установим частоту 1 кГц и напряжение на выходе генератора 5 В. Направим звуковую волну от генератора на плоский металлический лист в под углом α . Она отразится под углом β и будет падать на микрофон **г**, который подключен к входу усилителя низкой частоты **д**. С выхода усилителя усиленный отраженный сигнал подается на амперметр.

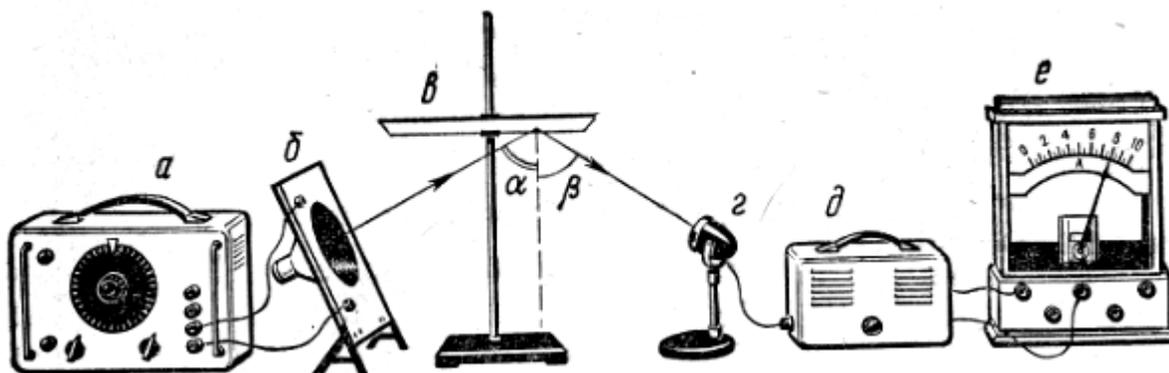
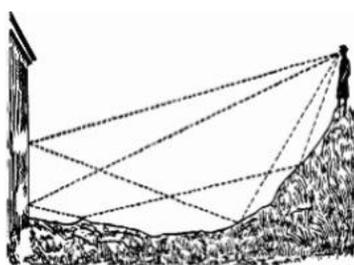
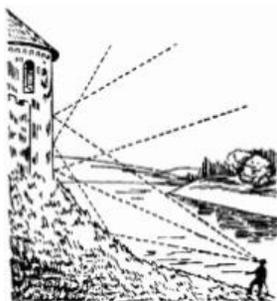


Рис. 3.

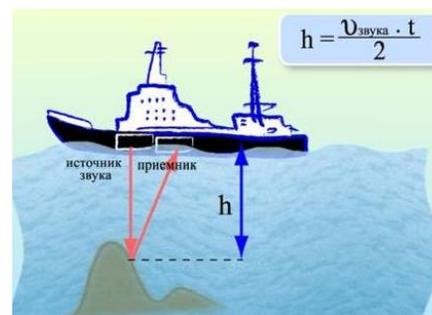
Проблема. При каком соотношении углов отражения и падения стрелка амперметра будет отклоняться?

Ответ. Из принципа Гюйгенса следует, что $\beta = \alpha$, т.е. угол отражения равен углу падения.

3. Эхо - пример отражения звука или ультразвука (эхолот).



Множественное отражение звука



Эхолот

Исследовать отражение звука можно с помощью «Датчика звука» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 27. Преломление звуковых волн.

1. Преломление волн – изменение направления распространения волны при переходе волны из одной среды в другую. При падении звуковой волны на границу раздела двух сред, акустические свойства которых различны, преломленная волна (рис. 1) изменяет свое направление. Это явление хорошо доказывается принципом Гюйгенса – Френеля. Причиной преломления звуковой волны является то, что скорости звуковых волн в средах, имеющих различную плотность, неодинаковы.

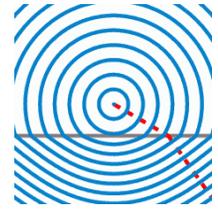
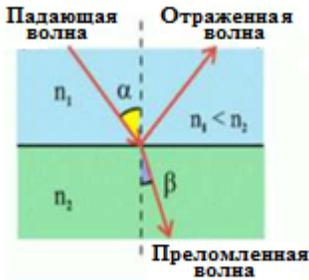


Рис. 1.



Если скорость звука во второй среде больше чем в первой (например, звук из воздуха входит в металл), то угол преломления β меньше угла падения α . При этом часть звуковой энергии волны отражается, а остальная, преломляясь, проникает во вторую среду (рис. 2).

Рис. 2.

Если скорость звука во второй среде меньше, чем в первой (например, звук из бетона входит в воздух), то угол преломления β больше угла падения α . При этом часть звуковой энергии волны отражается, а остальная, преломляясь, проникает во вторую среду (рис. 3).



Рис. 3.

2. Законы преломления волн.

I. Первый закон: падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения к границе раздела сред, лежат в одной плоскости.

II. Второй закон: при любых углах падения отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данных двух сред величина постоянная, называемая относительным показателем преломления второй среды относительно первой n_{21} . Относительный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость волны в первой среде больше (или меньше) скорости волны во второй среде.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

* При преломлении частота колебаний звуковых волн не меняется.

Интересное явление возникает тогда, когда звуковая волна идет из среды, в которой скорость звука меньше, в среду, где скорость звука больше (рис. 4). При увеличении угла падения увеличивается и угол преломления. Наконец, при определенном угле падения θ преломленная волна идет по границе двух сред, а при большем угле падения $\alpha_1 > \theta$ преломленная волна отсутствует. Это называется полным внутренним отражением.

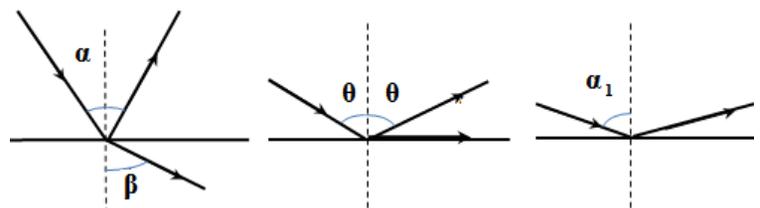


Рис.4.

Опыт. Возьмем металлический рупор. Если в него говорить, то громкость звука значительно усилится (рис. 5).

Проблема. Почему?

Ответ. Когда мы говорим в рупор, то звуковые волны, которые распространялись бы в пунктирном конусе, поступают в металлический рупор. Так как рупор сделан из металла, в котором скорость звука больше, чем в воздухе, то при падении звуковых волн на стенки рупора они испытывают полное внутреннее отражение от металла и идут в раструб рупора, многократно усиливая звук.

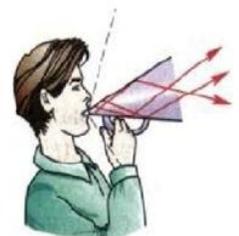


Рис. 5.



Рис.6. Преломление звука в воздухе.

Полное внутреннее отражение звука проявляется в природе и технике.

На правом берегу не слышно (верхний рисунок).
На правом берегу слышно (нижний рисунок).
Причина – разная скорость звука в воде и воздухе.
Вопрос: где скорость звуковых волн больше, а где меньше (рис. 6)?



Рис.7. Рупорный громкоговоритель.

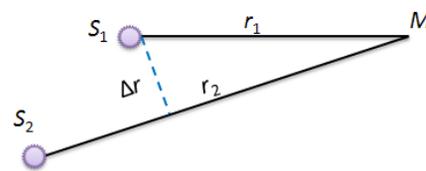
Опыт 28. Интерференция звуковых волн.

1. Интерференция является характерным признаком волновых процессов любой природы. Она возникает при наложении так называемых **когерентных волн**. **Когерентные волны** – это волны одинаковой частоты и с постоянной разностью фаз.

Рассмотрим суть интерференции звуковых волн. Пусть в некоторых когерентных источниках колебания происходят в одинаковых фазах. Волны от этих источников до исследуемой точки M распространяются в однородной среде.

От источника S_1 приходит в точку M волна: $A_{01} = A_1 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi r_1}{\lambda}\right)$

От источника S_2 приходит в точку M волна: $A_{02} = A_2 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi r_2}{\lambda}\right)$



Здесь r_1 и r_2 – расстояния от источников до исследуемой точки M (рис. 1).

Рис. 1.

Амплитуда результирующего колебания зависит от геометрической разности хода.

В тех точках среды, для которых разность хода волн равна четному числу полувольт, будет интерференционный максимум (громкость звука будет большая), а в точках, где разность хода волн равна нечетному числу полувольт, будет интерференционный минимум (звук не будет слышен).

2. Опыт. Для наблюдения интерференции звуковых волн соберем установку, состоящую из звукового генератора, двух одинаковых громкоговорителей, подключенных к выходу генератора (1 кГц, 5 В). С другой стороны поставим микрофон, подключенный к усилителю низкой частоты. С выхода усилителя низкой частоты сигнал подается на амперметр (рис. 2).

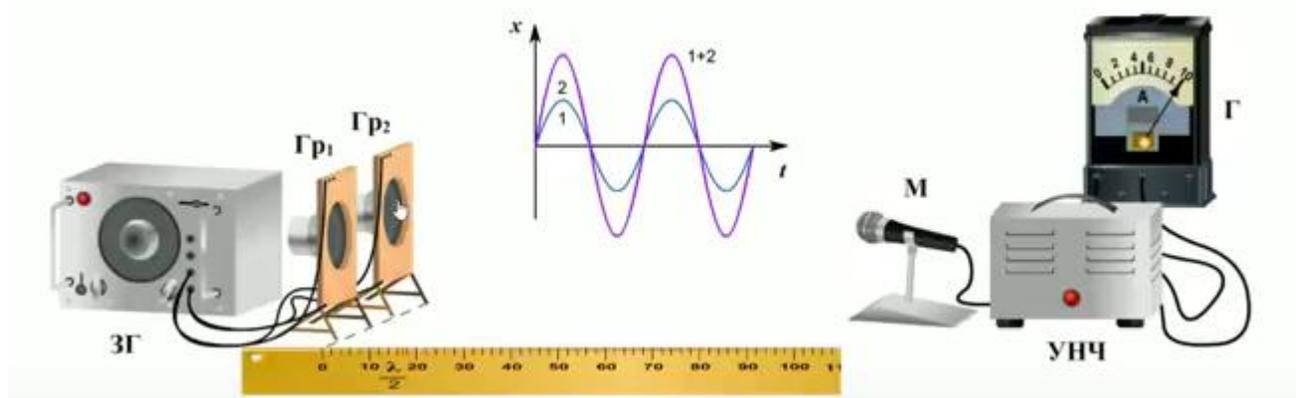


Рис. 2.

Передвигая микрофон параллельно громкоговорителям, наблюдаем усиление или ослабление сигнала, принятого микрофоном, по показаниям амперметра.

Другой вид наблюдения интерференции – приближение к микрофону одного из громкоговорителей.

Проблема. Почему, передвигая микрофон параллельно громкоговорителям или приближая к микрофону один из громкоговорителей, наблюдаем усиление или ослабление сигнала, принятого микрофоном, по показаниям амперметра?

Ответ. Усиление или ослабление сигнала, принятого микрофоном, происходит вследствие интерференции звуковых волн, излучаемых громкоговорителями. Если необходимо измерить положение максимумов и минимумов, то можно воспользоваться линейкой и сделать расчеты по вышеприведенным формулам.

Примечание. Вместо амперметра можно поставить громкоговоритель.

Исследовать интерференцию звуковых волн можно с помощью «Датчика звука» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 29. Дифракция звуковых волн.

1. **Дифракция** звука проявляется в проникновении звука за любое массивное препятствие, размеры которого больше длины волн падающего звукового поля (рис. 1), в отсутствие звуковой тени за препятствием, размеры которого малы по сравнению с длиной акустической волны. Благодаря дифракции звука звуковые волны могут проникать через небольшие отверстия или щели в различных экранах.

Для объяснения явления дифракции звука используют принцип Гюйгенса – Френеля, согласно которому каждая точка фронта звуковой волны рассматривается как новый источник «вторичного» сферического возмущения. Поэтому в любой последующий момент времени волновой фронт можно представить в виде огибающей фронтов слабых вторичных интерферирующих между собой волн

от этих источников. Пользуясь этим принципом, О. Френель в 1815-18 годах смог с большой точностью рассчитать распределение поля в дифракционных картинах.

2. **Опыт.** Соберем установку, изображенную на рис. 2. Она состоит из звукового генератора **а** и громкоговорителя **б**. На пути звуковых волн, излучаемых громкоговорителем, поставим две алюминиевые пластины **в** и **г** на некотором расстоянии друг от друга, которые образуют щель. На некотором расстоянии от щели поставим микрофон **д**, подключенный к усилителю низкой частоты **е**. Выход усилителя подключен к амперметру **ж**.



Рис. 1.

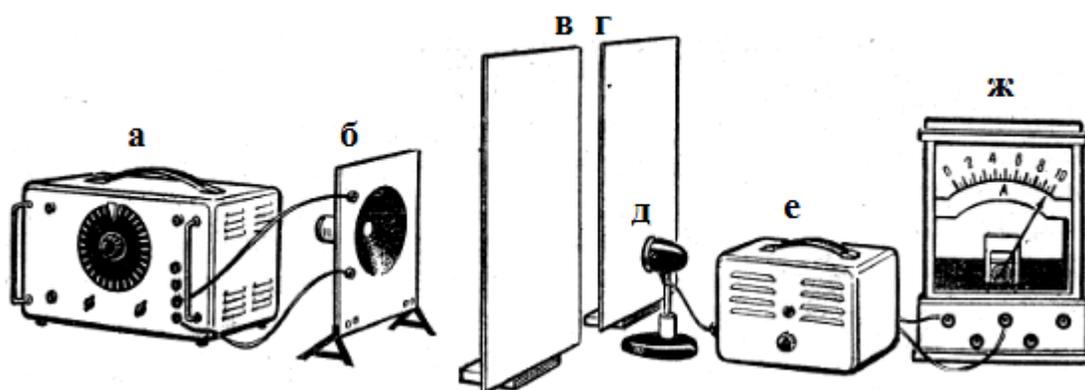


Рис. 2.

Перемещая микрофон вокруг щели, обнаруживаем загибание волн за ее края.

Проблема. Почему при перемещении микрофона вокруг щели обнаруживается загибание волн за ее края?

Ответ. Вследствие дифракции волн согласно принципу Гюйгенса – Френеля.

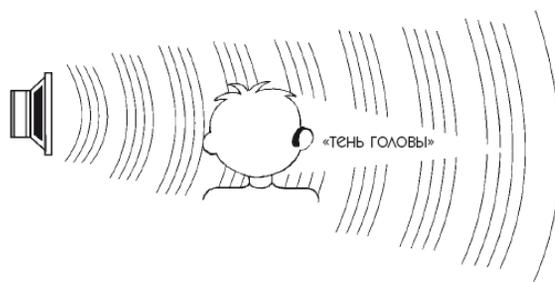


Рис. 3.

Дифракция звука за головой мальчика. Можно подобрать такую частоту, что левое ухо будет слышать звук от громкоговорителя, а правое нет из-за возникновения звуковой тени (рис. 3).

Исследовать дифракцию звуковых волн можно с помощью «Датчика звука» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 30. Фигуры Хладни.

1. Фигуры Хладни – фигуры, образуемые скоплением мелких частиц (например, песка) вблизи пучностей или узловых линий на поверхности упругой колеблющейся пластинки. Названы в честь немецкого физика Эрнста Хладни, обнаружившего их. Относительно крупные частицы собираются в узловых линиях, где амплитуда колебаний нулевая или относительно мала (это явление наблюдал Э. Хладни). Если частицы относительно малы, то они собираются не в узлах, а в пучностях (это явление было замечено Саваром). Каждому собственному колебанию (в стоячей волне) пластинки соответствует своё расположение узловых линий.

В случае прямоугольной (рис. 1) пластинки они направлены параллельно сторонам или диагоналям.

Фигуры Хладни используются в дефектоскопии для исследования дефектов или микроскопических трещин в изделии.

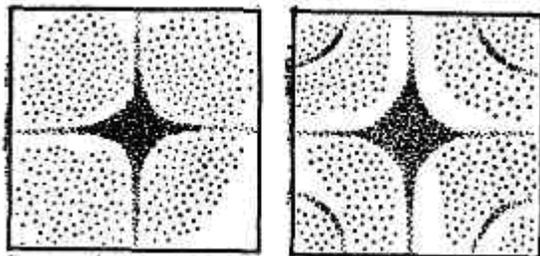


Рис. 1.

Получение фигур Хладни

Такие фигуры образуются на горизонтальных тонких пластинках (стеклянных, металлических и др.), зажатых или прикрепленных посередине (или в другом месте) и посыпанных мелким сухим песком, когда смычком приводят их в поперечные колебания. При этом песок сбрасывается с тех мест, которые находятся в более сильном колебании (так называемый пучности), и располагается в местах, где колебаний нет или они незначительны (именно, по узловым линиям). Полученные таким образом фигуры могут быть очень разнообразны.

Опыт. Соберем установку, изображенную на рис. 2. Она состоит из подставки, на которой закреплена по центру металлическая пластина. На пластину насыпают мелкий речной песок. Для получения фигур Хладни используется скрипичный смычок.

Вид их зависит как от формы пластинки, так и от места ее закрепления, а также и от тех мест, в которых проводят смычком и прикасаются пальцем (для задержания колебания и образования узла).

Кроме того, влияние оказывает степень нажатия смычка и скорость его движения. На квадратных пластинках наиболее простые фигуры получаются в виде креста, расположенного или параллельно сторонам, или по диагоналям.



Рис. 2.

Проблема. Почему на металлической пластине, закрепленной на стойке, при движении смычка по пластине возникают фигуры Хладни?

Ответ. При движении смычка по пластине в пластине возникают стоячие звуковые волны. В результате относительно крупные частицы собираются в узловых линиях, где амплитуда колебаний нулевая или относительно мала. Если частицы относительно малы, то они собираются не в узлах, а в пучностях.

Исследовать фигуры Хладни можно с помощью генератора звуковых колебаний.

Опыт 31. Эффект Доплера.

1. Эффект Доплера – изменение частоты и, соответственно, длины волны излучения, воспринимаемое наблюдателем (приёмником) вследствие движения источника излучения и/или движения наблюдателя (приёмника). Эффект назван в честь австрийского физика Кристиана Доплера.

Эффект Доплера легко наблюдать на практике, когда мимо наблюдателя проезжает машина с включённой сиреной. Предположим, сирена выдаёт какой-то определённый тон, и он не меняется. Когда машина не движется относительно наблюдателя, тогда он слышит именно тот тон, который издаёт сирена. Но если машина будет приближаться к наблюдателю, то частота звуковых волн увеличится, и наблюдатель услышит более высокий тон, чем на самом деле издаёт сирена. В тот момент, когда машина будет проезжать мимо наблюдателя, он услышит тот самый тон, который на самом деле издаёт сирена. А когда машина проедет дальше и будет уже отдаляться, а не приближаться, то наблюдатель услышит более низкий тон, вследствие меньшей частоты звуковых волн.

Эффект Доплера объясняется просто. Допустим, источник волн перемещается вправо (рис. 1), тогда справа частота волн становится **выше**, а длина волны становится **меньше**.

Если источник волн перемещается влево, тогда частота волн становится **ниже**, а длина волны становится **больше**. Другими словами, если источник волн догоняет испускаемые им волны, то длина волны уменьшается, а частота увеличивается. Если источник волн удаляется, длина волны увеличивается, а частота уменьшается.

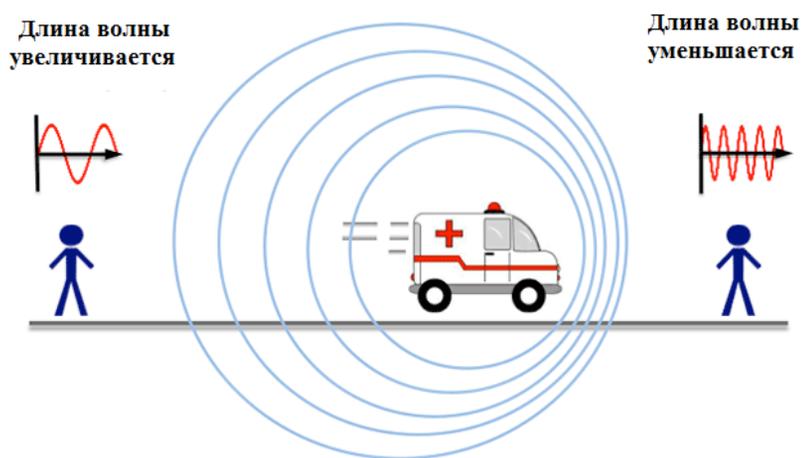


Рис. 1.

2. Опыт. Прибор для демонстрации эффекта Доплера состоит из головного телефона, к которому присоединены длинные (около 1 метра) прочные провода. Эти провода подключаются к звуковому генератору (рис. 2).

Включим генератор звуковой частоты. Настроим его на частоту в 1 кГц. Напряжение на выходе генератора подберем таким, чтобы головной телефон издавал громкий звук.

Если головной телефон заставить двигаться по окружности в плоскости перпендикулярной слушателям,

то он будет то приближаться к слушателям, то удаляться от них. Тональность звука будет также периодически меняться — повышаться или понижаться в зависимости от положения головного телефона в пространстве.

Проблема. Почему при вращении головного телефона частота звука будет изменяться?

Ответ. Частота звука, воспринимаемая слушателем, при движении источника излучения вследствие эффекта Доплера повышается при приближении к слушателям головного телефона и уменьшается при его удалении.

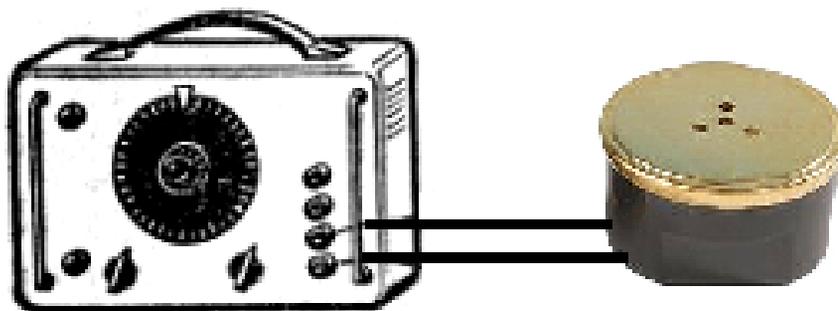


Рис. 2.

Исследовать Эффект Доплера можно с помощью генератора звуковых колебаний.

Опыт 32. Лазерное шоу.

1. Звуковое лазерное шоу можно провести с помощью громкоговорителя с наклеенными на диффузор зеркалами, направив на них лучи света от лазерных указок. Громкоговоритель подключается к электропроигрывателю, на котором находится грампластинка.

2. Соберем установку, состоящую из электропроигрывателя **1**, динамика **2** с приклеенными зеркалами **3,4,5**. (рис. 1).

Направим отраженные лучи лазерных указок на вертикальный экран.

Включим проигрыватель и лазерные указки, свет от которых будет падать на зеркала, приклеенные к динамику. Поставим на проигрыватель грампластинку и будем наслаждаться цветомузыкальным шоу, так как зеркала, наклеенные на громкоговоритель, будут колебаться, и лазерные лучи будут выписывать на экране разные фигуры.

Еще больший эффект можно получить, если на зеркала направить лазерные лучи разных цветов.

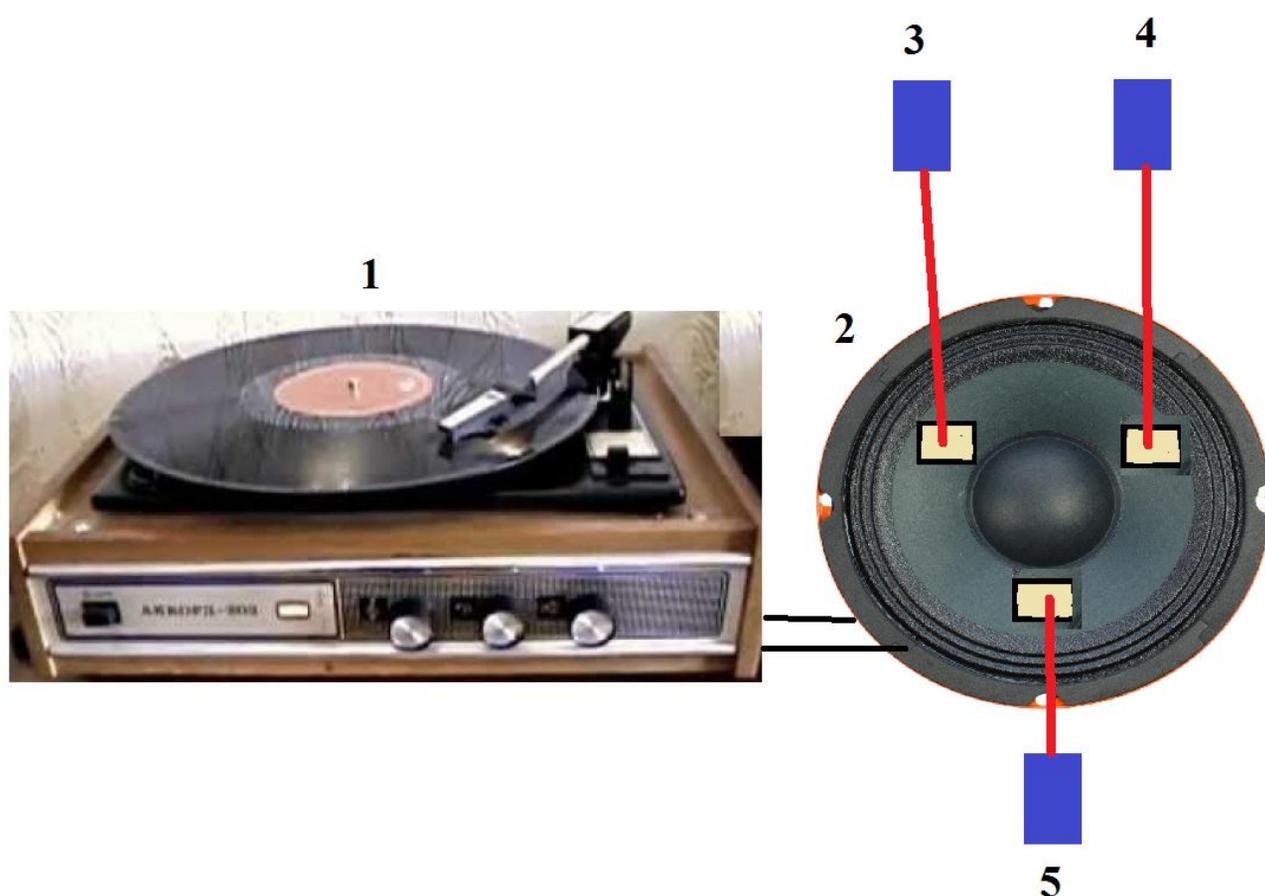


Рис. 1.

Опыт 33. Ультразвуковые волны.

1. Ультразвук – звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, т.е. выше 20 000 герц. Частота ультразвуковых колебаний, применяемых в промышленности и биологии, лежит в диапазоне от нескольких десятков кГц до единиц МГц. Высокочастотные колебания обычно создают с помощью пьезокерамических преобразователей, например, из титанита бария. В тех случаях, когда основное значение имеет мощность ультразвуковых колебаний, обычно используются механические источники ультразвука.

В природе ультразвуки встречаются как в качестве компонентов многих естественных шумов (в шуме ветра, водопада, дождя, в шуме гальки, перекатываемой морским прибоем, в звуках, сопровождающих грозовые разряды, и т. д.), так и среди звуков животного мира. Некоторые животные пользуются ультразвуковыми волнами для обнаружения препятствий, ориентировки в пространстве и общения (киты, дельфины, летучие мыши, грызуны, долгопяты).

Первый ультразвуковой свисток сделал в 1883 году англичанин Фрэнсис Гальтон.

Ультразвук здесь создаётся подобно звуку высокого тона на острие ножа, когда на него попадает поток воздуха. Роль такого острия в свистке Гальтона играет «губа» в маленькой цилиндрической резонансной полости. Газ, пропускаемый под высоким давлением через полый цилиндр, ударяется об эту «губу»; возникают колебания, частота которых (около 170 кГц)



определяется размерами сопла и губы. Мощность свистка Гальтона невелика. В основном его применяют для подачи команд при дрессировке собак и кошек.

Опыт. Для демонстрации ультразвуковых волн создадим установку из ультразвукового демонстрационного генератора и ультразвукового линзового излучателя с кюветой для получения ультразвукового фонтана (рис. 1). Высоту фонтана можно изменять с помощью подстроечных винтов ультразвукового линзового излучателя, предварительно подстроив генератор с помощью конденсатора С₂. При правильной настройке всей системы можно получить водяной фонтан высотой 30-40 см.



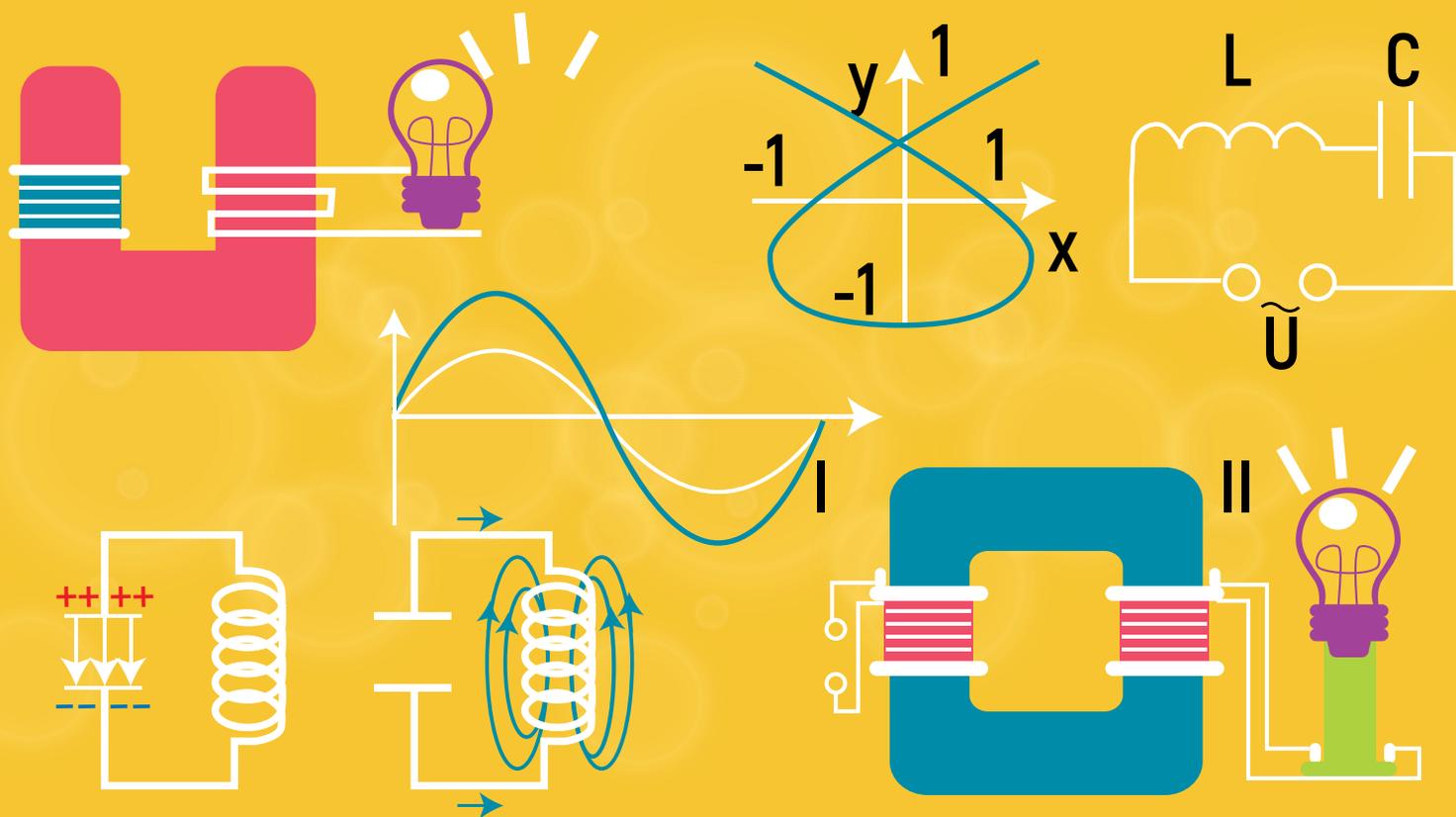
Рис.1.

Подсоединим излучатель к выходу генератора. Включим питание генератора с помощью тумблера «Выкл» и после прогрева радиоламп, вращая ручку «Подстройка частоты», получим водяной фонтан, изображенный на рисунке 1.

Проблема. Почему возникает водяной фонтан под действием ультразвука?

Ответ. Ультразвуковые волны дробят воду на мелкие капли, напоминающие водяную пыль, и сообщают им кинетическую энергию для образования фонтана.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ



Демонстрация 1. Свободные колебания в колебательном контуре.

1. Колебательный контур – электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности и конденсатор.

При последовательном соединении конденсатора и катушки индуктивности колебательный контур называется последовательным, при параллельном – параллельным.

Колебательный контур – простейшая система, в которой могут происходить свободные электромагнитные колебания (рис 1). При соединении конденсатора с катушкой индуктивности в цепи потечёт ток (рис. 2), что вызовет в катушке электродвижущую силу (ЭДС) самоиндукции, направленную на уменьшение тока в цепи. Ток, вызванный этой ЭДС (при отсутствии потерь в индуктивности) в начальный момент будет равен току разряда конденсатора, то есть результирующий ток будет равен нулю. Энергия магнитного поля катушки в этот (начальный) момент равна нулю.

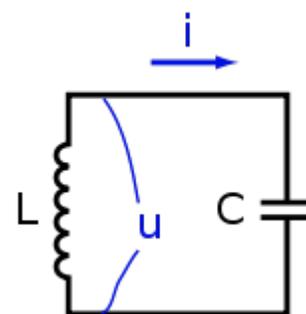


Рис. 1.

Затем результирующий ток в цепи будет возрастать, а энергия из конденсатора будет переходить в катушку до полного разряда конденсатора. В этот момент электрическая энергия конденсатора будет равна 0. Энергия магнитного поля, сосредоточенная в катушке, напротив, будет максимальной.

После этого начнётся перезарядка конденсатора, то есть зарядка конденсатора напряжением другой полярности.

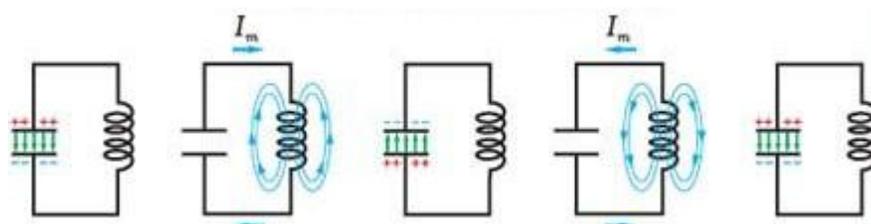


Рис. 2.

Перезарядка будет проходить до тех пор, пока магнитная энергия катушки не перейдёт в энергию электрического поля конденсатора. Конденсатор в этом случае снова будет заряжен до максимального напряжения. Период колебаний колебательного контура определяется так называемой формулой Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

2. Демонстрация. На рисунке 3 изображена установка и схема для демонстрации работы колебательного контура.



Рис. 3.

Установка состоит из источника питания 1, батареи конденсаторов 2, ключа 3, дроссельной катушки 4₁ с сердечником 5, катушки 4₂ и нуль-гальванометра 6. Сначала конденсатор заряжают от источника питания. Ключ 3 соединяется с контактом 3₁. Затем ключ 3 соединяют с контактом 3₂. В колебательном контуре возникают электромагнитные колебания.

Проблема. Почему в колебательном контуре возникают электромагнитные колебания?

Ответ. В колебательном контуре электромагнитные колебания возникают вследствие перезарядки конденсатора через катушку, на концах которой возникает ЭДС самоиндукции и индукции, а источник тока периодически пополняет потери энергии, происходящие в колебательном контуре.

Исследовать осциллограмму колебаний в колебательном контуре можно с помощью «Датчика электрического заряда» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 1. Переменный электрический ток.

1. Переменный ток – электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению.

Периодическим переменным током называется такой электрический ток, который через равные промежутки времени повторяет полный цикл своих изменений, возвращаясь к своей исходной величине. На представленном графике переменного тока (рис. 1), изменяющегося по синусоидальному закону, видно, что через равные промежутки времени график переменного тока имеет один и тот же вид. Время, в течение которого переменный ток совершает полный цикл своих изменений, называется периодом переменного тока T . Величина, обратная периоду переменного тока, называется частотой переменного тока $\nu = 1/T$.

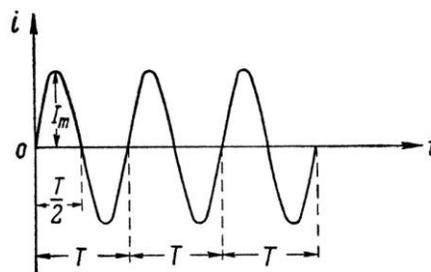


Рис. 1.

Период переменного тока измеряется в с, а частота – в Гц. Частота переменного тока равна 1 Гц, если период тока равен одной секунде (один полный цикл за одну секунду). В большинстве стран в электротехнике применяются частоты 50 Гц или 60 Гц (60 Гц – этот вариант принят в США и Канаде). В авиации и военной технике для снижения массы устройств или с целью повышения частоты вращения электродвигателей переменного тока применяется частота 400 Гц.

2. Получение переменного тока. Для получения переменного тока используются генераторы переменного тока. На рисунке 2 изображена схема устройства генератора переменного тока (а). Постоянные магниты 1 и 2 создают магнитное поле 3. В магнитном поле находится проволочная рамка 4, к концам которой приделаны медные кольца 5 и 6. Кольца касаются графитовые щетки 7 и 8, от которых идут провода к нагрузке 9 (вольтметр). При вращении рамки в магнитном поле она пересекает линии магнитной индукции, вследствие чего на ее концах возникает ЭДС индукции, которая в данной конструкции изменяется по синусоидальному закону (б).

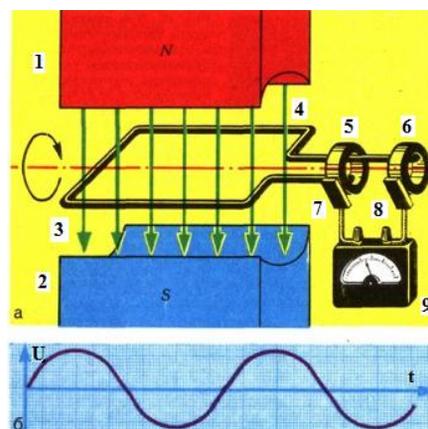


Рис. 2.

3. Опыт. Соберем установку, изображенную на рис. 3. Она состоит из действующей модели генератора переменного тока, лампочки накаливания и осциллографа.

При вращении оси генератора переменного тока лампочка загорается, а на экране осциллографа появляется график переменного тока.



Рис. 3.

Проблема. Почему при вращении оси генератора переменного тока лампочка загорается, а на экране осциллографа появляется график переменного тока.

Ответ. При вращении рамки в магнитном поле она пересекает линии магнитной индукции, вследствие чего на ее концах возникает ЭДС индукции, которая питает электрическую лампу и создает график переменного тока на экране осциллографа.

Опыт 2. Осциллограмма переменного тока.

1. Осциллограмма переменного тока в опыте 1 была крайне неустойчивая и иногда была не похожа на синусоиду. Дело в том, что частота переменного тока, которая вырабатывалась демонстрационным генератором переменного тока, была не стабильной и чрезвычайно малой. Для того, чтобы избавиться от этого недостатка, необходим стабильный генератор переменного тока, который бы имел возможность изменять амплитуду и частоту переменного тока.

Для этой цели подходит звуковой генератор.

Генератор, изображенный на рисунке 1, вырабатывает синусоидальный и прямоугольный переменный ток с частотой 5 – 500 кГц и напряжением 0 – 50 В и имеет следующие ручки управления: «Частота плавно», «Множитель частоты», «Напряжение выхода». Вырабатываемый сигнал снимается с выходных клемм – «Выход синус». Многие генераторы имеют несколько иные параметры.



Рис. 1.

2. Опыт. Соберем установку, состоящую из звукового генератора и осциллографа (рис. 2).



Рис. 2.

1. Включим звуковой генератор и осциллограф.
2. Установим на звуковом генераторе частоту 50 Гц и выходное напряжение 5 В.
3. Гнезда генератора «Выход синус» соединим с входом осциллографа, установив с помощью ручки «Входное напряжение» величину 7 В.
4. На экране осциллографа будут мелькать хаотические линии.
5. Чтобы получить устойчивую синусоиду, произведем регулировку ручками «Частота плавно» и «Синхронизация».
6. Изменяя частоту колебаний генератора, заметим, что число синусоид на экране осциллографа увеличивается.
7. Изменяя выходное напряжение генератора, увидим, что на экране осциллографа изменяется высота осциллограммы.

Таким образом, мы получим осциллограмму переменного тока, вырабатываемую звуковым генератором.

Исследовать осциллограмму колебаний в колебательном контуре можно с помощью «Датчика электрического заряда» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 3. Действия постоянного и переменного тока.

1. В истории произошло событие под названием «Война токов». Эта «война» произошла между двумя гениальными изобретателями – Томасом Эдисоном и Николой Тесла. Первый поддерживал и активно продвигал постоянный электрический ток, а второй переменный. «Война» закончилась победой Николая Тесла в 2007 году, когда Нью-Йорк окончательно перешел на переменный ток.

Различают шесть действий электрического тока.

1. Тепловое действие тока. Двигаясь в проводнике, электрический ток передает ему энергию, из-за чего проводник нагревается. Тепловое действие тока приводит к более быстрому движению частиц проводника. Тогда его внутренняя энергия возрастает и проводник нагревается. Это явление применяется в цепях постоянного и переменного токов. Выделяемое на участке цепи количество теплоты зависит от приложенного к этому участку напряжения, значения протекающего тока и от времени его протекания (Закон Джоуля – Ленца).

Тепловое действие постоянного тока (рис. 1). Возьмем никелиновую проволоку **3** и укрепим на штативах **1** и **2**. На проволоку повесим бумажные полоски и будем нагревать проволоку постоянным электрическим током от батареи **Б**. Проволока будет нагреваться, листочки перегорят и опадут.

Тепловое действие переменного тока – электрочайник (рис. 2).

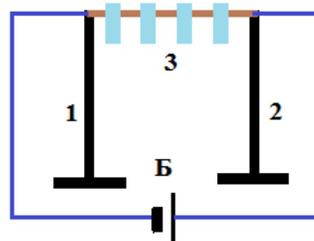


Рис. 1.



Рис. 2.

2. Магнитное действие тока. При протекании постоянного и переменного электрического тока по проводам они создают около проводников магнитное поле.

Магнитное действие постоянного тока (рис. 3).

Если по катушке пропустить электрический ток, то она становится магнитом. Ее магнитные свойства усиливаются сердечником.

Магнитные действия переменного тока (рис. 4).

Запись звука на магнитную ленту **2**. По катушке **1** с ферромагнитным сердечником **4** течет ток звуковой частоты. В зазоре **3** создается магнитное поле, намагничивающую магнитную ленту.



Рис. 3.

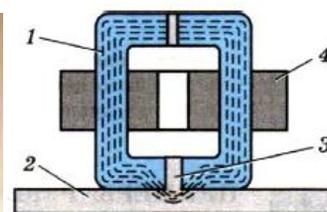


Рис. 4.

3. Механическое действие постоянного и переменного тока в электродвигателях.



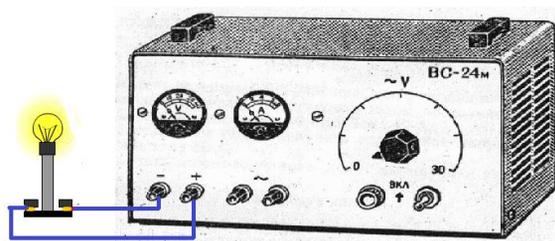
Электродвигатель постоянного тока



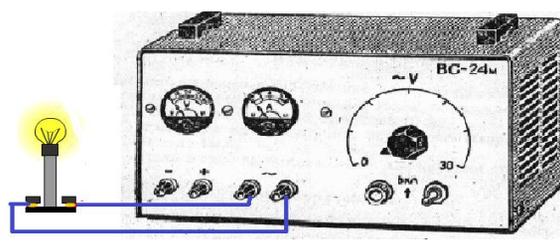
Электродвигатель переменного тока.

4. Световое действие электрического тока.

Опыт.



Лампа подключена к источнику постоянного тока.



Лампа подключена к источнику переменного тока.

В обоих случаях лампа светится, т.е. энергия постоянного и переменного токов переходит в ней в световую.

Опыт 4. Действующее значение переменного тока.

1. Действующее (эффективное) значение переменного тока.

Переменный синусоидальный ток в течение периода имеет различные мгновенные значения. Естественно поставить вопрос, какое же значение тока будет измеряться амперметром, включенным в цепь переменного тока? При расчетах цепей переменного тока, а также при электрических измерениях неудобно пользоваться мгновенными или амплитудными значениями токов и напряжений (рис. 1), а их средние значения за период равны нулю.

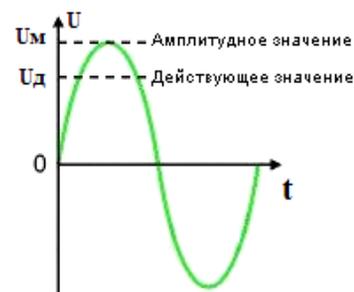


Рис. 1.

Наиболее удобным оказалось введение понятий так называемых действующих значений силы тока и напряжения. В основу этих понятий положено тепловое действие тока, не зависящее от его направления.

Действующее значение переменного тока – это такое значение постоянного тока, при котором за один период переменного тока в проводнике выделяется столько же теплоты, сколько и при переменном токе (рис. 2).

Для оценки действия, производимого переменным током, мы сравним его действие с тепловым эффектом постоянного тока. На рисунке 2 изображены 2 лампы накаливания. Левая лампа подключена к источнику постоянного тока (AC), допустим, с напряжением 220 В. Правая лампа подключена к источнику переменного тока с неизвестным изменяющимся напряжением переменного тока (DC). Будем увеличивать напряжение переменного тока от 0 В. Правая лампа накаливания будет

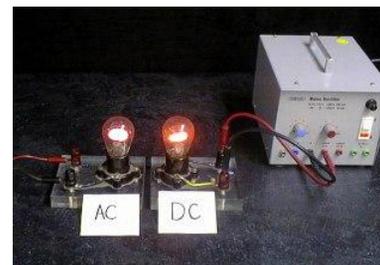


Рис. 2.

постепенно увеличивать яркость горения. Наконец, при каком-то значении переменного напряжения она будет гореть так же ярко, как и левая. При этом будет считаться, что действующее напряжение переменного тока на правой лампе равно напряжению постоянного тока на левой лампе. Как связаны действующие значения напряжения и силы тока с максимальными значениями переменного тока?

Расчеты показывают, что $U_d = U_m / \sqrt{2}$, $I_d = I_m / \sqrt{2}$ (см. рис. 1).

Таким образом, если в электрической сети действующее напряжение 220 В, то амплитудные значения напряжения равны 311,13 В. Значит, если вы дотронетесь до оголенных проводов сети, то вас будет поражать не 220 В, а амплитудные значения ~ 311 В. **Будьте осторожны!**

Так же дело обстоит и с силой тока. Если в шнуре настольной лампы течет ток с действующим значением силы тока 1 А, то амплитудное значение силы тока будет равно $\sim 1,41$ А.

2. Опыт. Сравнить действующие и амплитудные значения напряжения переменного тока.

Соберем установку, состоящую из мультиметра, который показывает действующие значения напряжения переменного тока, измерительного осциллографа и источника переменного тока (рис. 3).

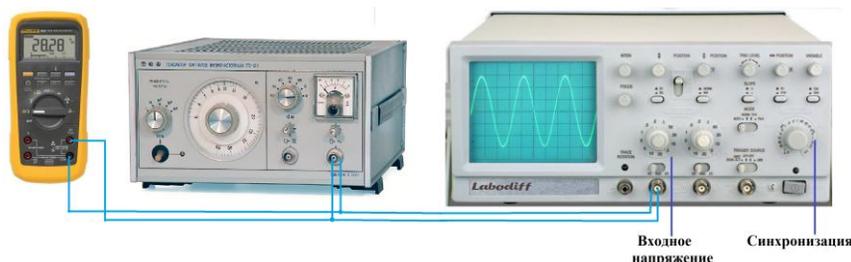


Рис. 3.

1. Включим звуковой генератор, мультиметр и осциллограф.
2. Установим на звуковом генераторе частоту 50 Гц и выходное напряжение 40 В.
3. Мультиметр покажет действующее значение напряжения 28,28 В.
4. На экране осциллографа будут мелькать хаотические линии.
5. Чтобы получить устойчивую синусоиду, произведем регулировку ручками «Частота кадров» и «Синхронизация», и по измерительной шкале осциллографа получим амплитудное значение напряжения 40 В.
6. В эксперименте получается $U_d = U_m / \sqrt{2}$, т.е. $28,28 \text{ В} = 40 \text{ В} / \sqrt{2}$.

Проблема. Почему $U_d < U_m$ в $\sqrt{2}$ раз?

Ответ. См. теорию в пункте 1.

Опыт 5. Измерительные приборы переменного тока.

1. Для измерения напряжения и силы переменного тока используются вольтметры и амперметры переменного тока (рис. 1).

В чем заключается отличие приборов переменного тока для измерения напряжения и силы переменного тока от приборов для измерения напряжения и силы тока постоянного тока?

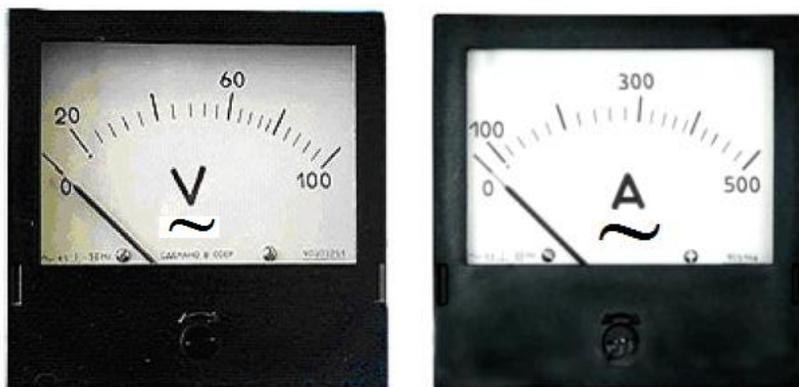


Рис. 1.

2. Вольтметр переменного тока (рис. 2).

Так как гальванометр вольтметра предназначен для измерения напряжения постоянного тока, то чтобы измерять напряжение переменного тока, переменное напряжение надо превратить в постоянный ток, хотя бы по направлению. С этой целью в корпус вольтметра вставляется выпрямитель переменного тока.

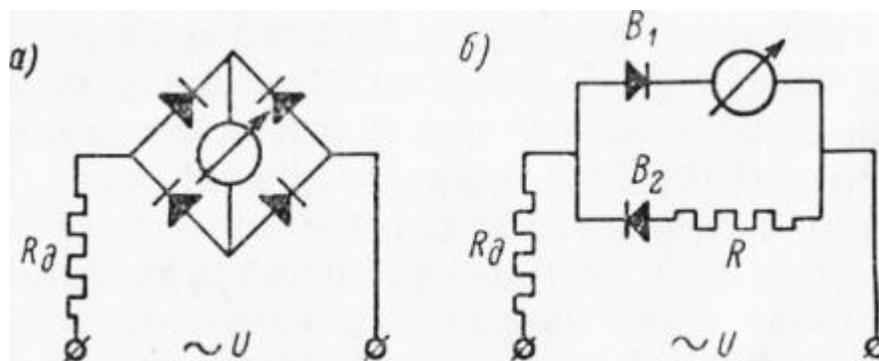


Рис. 2. Схемы вольтметров с выпрямителями переменного тока: слева – с двухполупериодной мостовой схемой выпрямления; справа – с однополупериодной схемой выпрямления. На схемах кружочек со стрелкой – гальванометр постоянного тока.

3. Амперметр переменного тока. В амперметре переменного тока по аналогии с вольтметром переменного тока стоит однополупериодная схема выпрямления или выпрямительный мост.

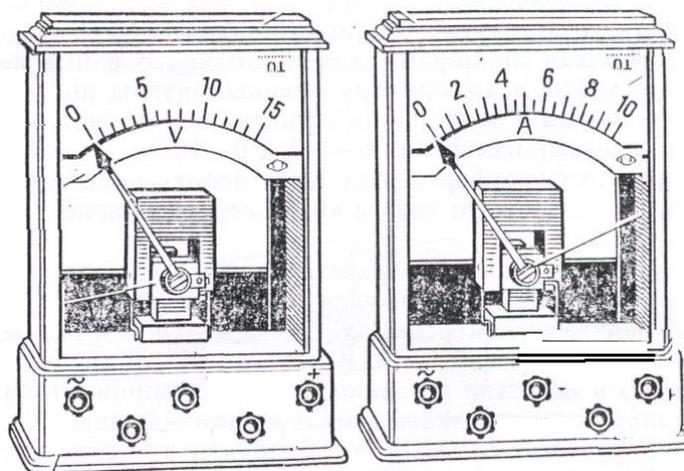


Рис. 3.

На рисунке 3 показаны школьные демонстрационные вольтметр и амперметр, которые измеряют действующие значения напряжения и силы переменного тока.

Опыт 6. Активное сопротивление в цепи переменного тока.

1. Сопротивление, включенное в цепь переменного тока, в котором происходят необратимые преобразования электрической энергии в полезную работу или в тепло, называется **активным сопротивлением**.

К активным сопротивлениям при промышленной частоте (50 гц) относятся, например, электрические лампы накаливания и электронагревательные устройства.

Рассмотрим цепь переменного тока (рис. 1), в которую включено активное сопротивление. В такой цепи под действием переменного напряжения протекает переменный электрический ток. Изменение тока в цепи, согласно закону Ома, зависит только от изменения напряжения, подключенного к ее зажимам. Когда напряжение равно нулю, ток в цепи также равен нулю. По мере увеличения напряжения ток в цепи возрастает и при максимальном значении напряжения ток

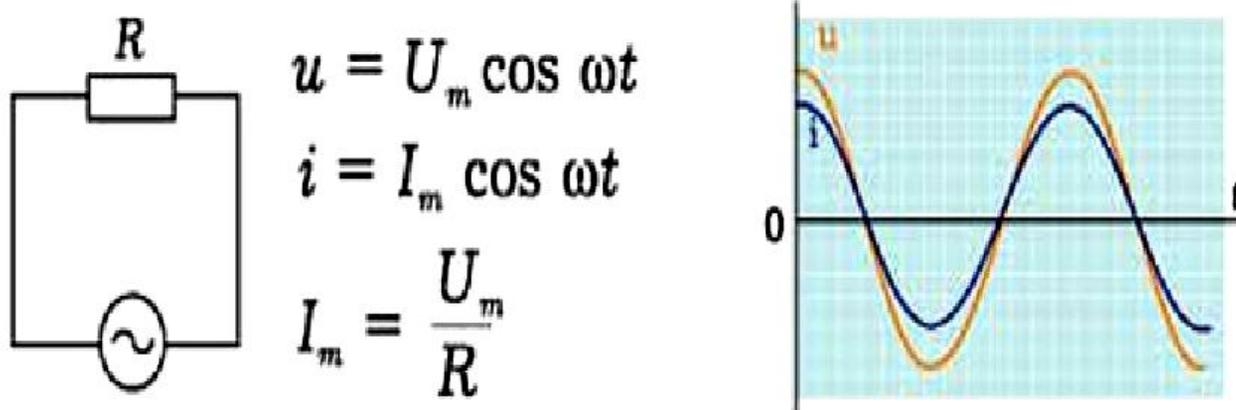


Рис. 1.

становится наибольшим. При уменьшении напряжения ток убывает. Когда напряжение изменяет свое направление, ток также изменяет свое направление и т. д.

Из сказанного следует, что в цепи переменного тока с активным сопротивлением по мере изменения по величине и направлению напряжения одновременно пропорционально меняются величина и направление тока. Это значит, что ток и напряжение совпадают по фазе, т.е. изменяются одновременно.

Активное сопротивление для цепей переменного тока рассчитывается по той же формуле, что и для постоянного тока $R = \rho L/S$ и не зависит от частоты переменного тока.

Активное сопротивление в цепях переменного тока имеет то же назначение, что и цепях постоянного тока.

Опыт. Убедимся в том, что напряжение и ток в активном сопротивлении совпадают по фазе, т.е. изменяются одновременно. Соберем установку, состоящую из источника переменного тока ВС-24, двухканального

осциллографа, активного сопротивления $R_a = 10$ кОм, с которого будем снимать напряжение на этом сопротивлении, небольшого сопротивления 10 Ом, выполняющего роль шунта амперметра, с которого будем снимать информацию об изменении силы тока в сопротивлении R_a .

Сигнал с R_a подадим на вход У

канала 1 осциллографа, а сигнал с $R_{ш}$ подадим на вход У канала 2 осциллографа.

Регулируя на осциллографе регуляторами частоты, синхронизации и входного напряжения на входных каналах, добьемся осциллограммы (рис. 2). На осциллограмме видно, что график напряжение (красный) и силы тока (зеленый) изменяются одновременно.

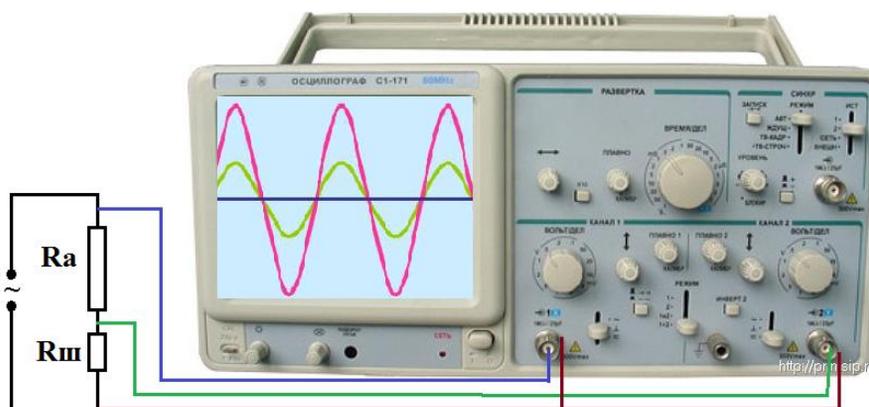


Рис. 2.

Опыт 7. Индуктивное сопротивление в цепи переменного тока.

1. Индуктивное сопротивление. Сопротивление в электрических цепях переменного тока бывает двух видов – активное и реактивное. Активное представлено резисторами, лампами накаливания, нагревательными спиралями и пр. Реактивное сопротивление – это индуктивное и емкостное сопротивление. Если активное сопротивление только потребляет энергию, то реактивное принимает и отдает. Например, индуктивное сопротивление в одну часть периода потребляет энергию из сети, а в другую часть отдает. Конденсатор часть периода накапливает заряд, а затем отдает его в сеть.

Сопротивление катушки индуктивности состоит из омического сопротивления и индуктивного сопротивления. Почему возникает дополнительное индуктивное сопротивление?

Под действием напряжения источника тока в цепи протекает переменный ток, создающий переменный магнитный поток. Этот поток пересекает «собственные» витки катушки и на ее концах возникает электродвижущая сила самоиндукции.

Электродвижущая сила самоиндукции, согласно правилу Ленца, всегда противодействует причине, вызывающей ее. Так как э. д. с. самоиндукции всегда противодействует изменениям переменного тока, вызываемым э. д. с. генератора, то она препятствует прохождению переменного тока. Следовательно, возникает дополнительное сопротивление, которое называется индуктивным сопротивлением. Оно обозначается X_L и измеряется в Омах. Расчеты показывают, что $X_L = \omega L$, где ω – частота переменного тока, а L – индуктивность катушки.

Опыт 7.1. Индуктивное сопротивление катушки. Соберем две цепи. Первая цепь (рис. 1) состоит из катушки индуктивности, лампы и источника постоянного тока ВС-24М. Вторая цепь состоит из катушки индуктивности, лампы и источника переменного тока ВС-24М.

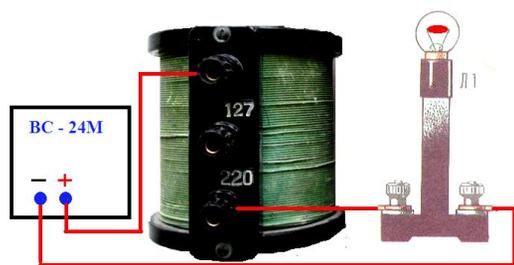


Рис. 1.

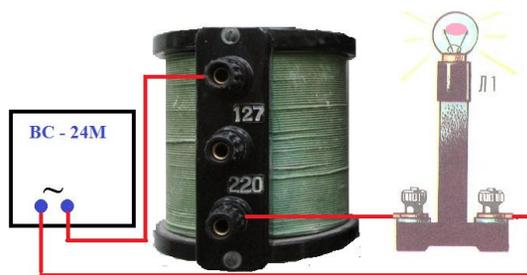


Рис. 2.

Сделаем напряжение постоянного тока и действующее значение переменного тока одинаковым. При включении источников питания лампы загорятся.

Проблема. Почему в цепи переменного тока лампочка горит слабее?

Ответ. Потому что в цепи переменного тока в катушке возникает дополнительное индуктивное сопротивление.

Опыт 7.2. Выясним, как изменяются напряжение и ток в индуктивном сопротивлении.

Соберем установку, состоящую из источника переменного тока, двухканального осциллографа, катушки индуктивности, с которой будем снимать напряжение на этой катушке, небольшого сопротивления 10 Ом, выполняющего роль шунта амперметра, с которого будем снимать информацию об изменении силы тока в катушке индуктивности. Сигнал с катушки индуктивности подадим на вход У канала 1 осциллографа, а сигнал с $R_{ш}$ подадим на вход У канала 2 осциллографа.

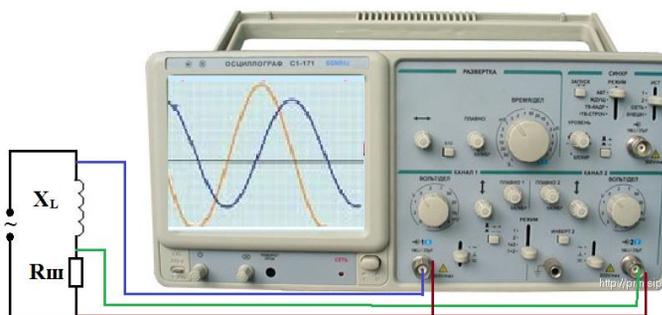


Рис. 3.

Регулируя на осциллографе регуляторы частоты, синхронизации и входного напряжения на входных каналах, добьемся осциллограммы (рис. 3). На осциллограмме видно, что графики напряжения (синий) и силы тока (желтый) изменяются не одновременно. Из графика видно, что ток в индуктивном сопротивлении отстает от напряжения по фазе на $\pi/2$.

Проблема. Почему?

Ответ. При нарастании напряжения на катушке индуктивности появляется ЭДС индукции, направленная против напряжения источника тока, поэтому в этот момент ток равен 0.

Опыт 8 . Емкостное сопротивление в цепи переменного тока.

1. Конденсатор, подключенный к источнику постоянной ЭДС, полностью препятствует прохождению тока. За некоторый промежуток времени конденсатор заряжается, напряжение между его обкладками становится равным ЭДС источника, после чего ток в цепи прекращается. Если же конденсатор включен в цепь переменного тока, то ток в цепи с конденсатором будет течь, так как конденсатор периодически перезаряжается, заряды на его обкладках периодически изменяются как по величине, так и по знаку. В подводящих к конденсатору проводах будет течь ток перезарядки конденсатора. Между обкладками конденсатора никакие заряды не протекают, поэтому электрического тока, строго говоря, нет. Но часто говорят о токе через конденсатор, подразумевая под этим ток перезарядки в цепи, к которой подключен конденсатор. Сила тока в цепи с конденсатором зависит от величины емкости конденсатора и от частоты тока. В связи с ограничением силы тока в цепи с конденсатором ввели емкостное сопротивление $X_c = 1/\omega C$. Кроме этого, в чисто емкостной цепи амплитуда переменного тока опережает амплитуду напряжения на 90° .

Опыт 8.1. Конденсатор в цепи постоянного и переменного токов.

Соберем электрические схемы с конденсатором в цепи постоянного тока (рис. 1) и переменного тока (рис. 2) и включим источники питания.

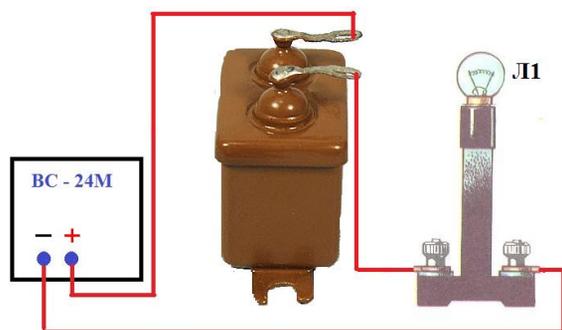


Рис. 1



Рис. 2.

Проблема. Почему в цепи постоянного тока лампочка не горит, а в цепи переменного тока лампочка горит?

Ответ. В цепи постоянного тока конденсатор представляет разрыв цепи, а в цепи переменного тока происходит непрерывная перезарядка конденсатора, поэтому в подводящих проводах, в том числе и лампочке, течет ток перезарядки конденсатора.

Опыт 8.2. Выясним, как изменяются напряжение и ток в емкостном сопротивлении.

Соберем установку, состоящую из источника переменного тока ВС-24, двухканального осциллографа, конденсатора, с которого будем снимать напряжение на этом конденсаторе, небольшого сопротивления 10 Ом, выполняющего роль шунта, амперметра, с которого будем снимать информацию об изменении силы тока в цепи с конденсатором. Сигнал с конденсатора подадим на вход У канала 1 осциллографа, а сигнал с Rш подадим на вход У канала 2 осциллографа.

Регулируя на осциллографе регуляторы частоты, синхронизации и входного напряжения на входных каналах, добьемся осциллограммы (рис. 3). На осциллограмме видно, что графики напряжения (желтый) и силы тока (синий) изменяются не одновременно. Из графика видно, что ток в емкостном сопротивлении опережает напряжение по фазе на $\pi/2$.

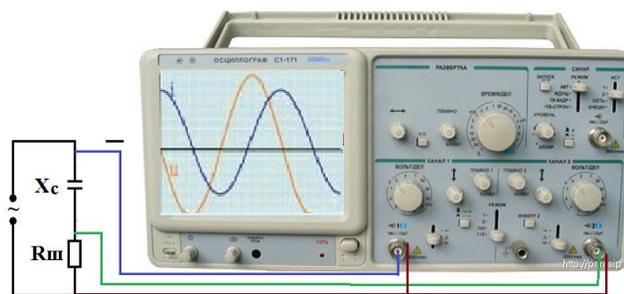


Рис. 3.

Проблема. Почему?

Ответ. Вначале на конденсаторе напряжение равно 0, а сила тока максимальна. По мере зарядки конденсатора сила тока уменьшается до 0, а напряжение увеличивается до максимума, потом при убывании напряжения на источнике тока конденсатор разряжается, сила тока разрядки увеличивается, а напряжение уменьшается.

Опыт 9. Электрический резонанс.

1. Электрическим резонансом называется явление резкого увеличения силы тока или напряжения при совпадении частоты источника переменного тока с частотой собственных свободных колебаний колебательного контура (рис. 1).

При этом напряжение на катушке и конденсаторе намного превышает напряжение источника тока.

В зависимости от потерь энергии переменного тока в катушке и конденсаторе каждый колебательный контур характеризуется величиной, называемой добротностью Q .

На рисунке 2 изображена зависимость максимального напряжения от частоты, называемая резонансной кривой. Из графика видно, что чем больше добротность колебательного контура, тем выше и острее кривая резонанса ($Q_3 > Q_2 > Q_1$).

Во многих устройствах резонанс напряжений является нежелательным явлением, так как он связан с возникновением перенапряжений. Положительное действие резонанса проявляется в радиотехнике, проволочной телефонии, в автоматике и т. п.

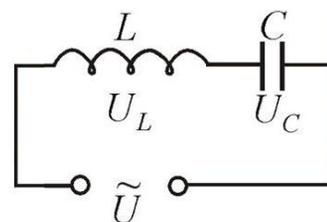


Рис. 1.

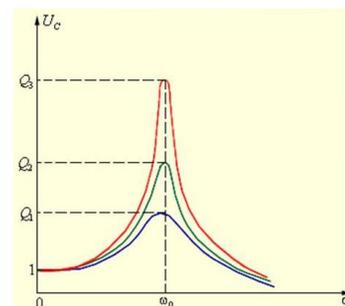


Рис. 2.

Опыт. Соберем установку, изображенную на схеме (рис. 3). Она состоит из последовательно соединенных лабораторного автотрансформатора ЛАТР, батареи конденсаторов C , электрической лампочки на 220 В с патроном, активного сопротивления R и дроссельной катушки L с вставляемым ферромагнитным сердечником.

Включим установку в электрическую сеть. Изменяя емкость батареи конденсаторов или индуктивность катушки сердечником, добиваемся сильного и слабого свечения лампочки (фотография 1).

Проблема. Почему изменяется яркость горения лампочки?

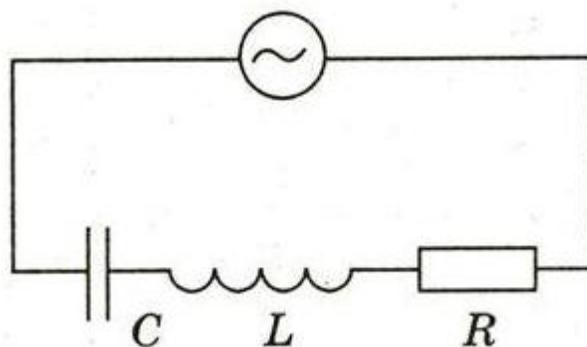


Рис. 3.

Ответ. Изменяя емкость батареи конденсаторов или индуктивность катушки сердечником, добиваемся явления электрического резонанса. При этом частота колебательного контура становится равной частоте переменного тока.

Катушка и конденсатор будут обмениваться энергией, не оказывая никакого сопротивления переменному току.

Все напряжение электрической сети будет падать на лампочку, и она загорится полным накалом (фотография 1).



Фотография 1.

Опыт 10. Сложение электрических колебаний, происходящих в одной плоскости.

1. Материальная точка может участвовать одновременно в нескольких колебательных движениях. Сложить два или несколько колебаний – значит найти закон, которому подчиняется результирующее движение, найти траекторию этого движения материальной точки.

Рассмотрим сложение двух колебаний, происходящих в одной плоскости, если разность фаз колебаний равна 0, т.е. колебания происходят одновременно.

Амплитуды колебаний могут отличаться друг от друга:

$$X_1 = A_1 \sin \omega_1 t; \quad X_2 = A_2 \sin \omega_2 t.$$

Пусть $\omega_1 = \omega_2$.

В этом случае амплитуда результирующего колебания равна сумме амплитуд складываемых колебаний (рис. 1):

$$A = A_1 + A_2$$

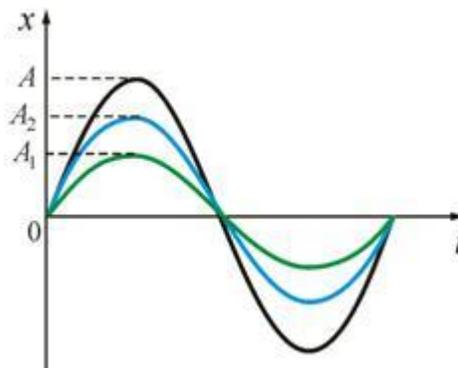


Рис. 1.

Опыт. Соберем установку, состоящую из звукового генератора ЗГ, двух трансформаторов Tr_1 , Tr_2 и осциллографа (рис. 2).

Включим генератор и осциллограф.

- Подадим на вход У осциллографа напряжение с контактов 1 и 2 обмотки Па трансформатора Tr_1 . Измерим по сетке осциллографа амплитуду этого напряжения A_1 .
- Подадим на вход У осциллографа напряжение с контактов 3 и 4 обмотки Пв трансформатора Tr_2 . Измерим по сетке осциллографа амплитуду этого напряжения A_2 .
- Соединим контакты 2 и 3 и подадим на вход У осциллографа напряжение с контактов 1 и 4. Измерим по сетке осциллографа амплитуду этого напряжения A . Она будет равняться $A = A_1 + A_2$.

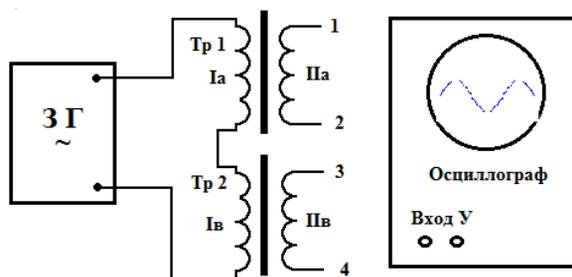


Рис. 2.

Таким образом, мы экспериментально доказали, что амплитуда результирующего электромагнитного колебания при сложении двух электромагнитных колебаний с одинаковыми частотами и разностью фаз, равной нулю, равна сумме амплитуд электромагнитных колебаний.

Опыт 11. Биения.

1. Биения – явление, возникающее при наложении двух периодических колебаний, например, гармонических, близких по частоте, выражающееся в периодическом уменьшении и увеличении амплитуды суммарного сигнала (рис. 1).

Частота изменения амплитуды суммарного сигнала равна разности частот исходных сигналов:

$$\nu = \nu_1 - \nu_2.$$

Биения возникают от того, что один из двух сигналов линейно во времени отстаёт от другого по фазе, и в те моменты, когда колебания происходят синфазно (одновременно), суммарный сигнал оказывается максимален, а в те моменты, когда два сигнала оказываются в противофазе (сигналы противоположны по знаку), они взаимно гасят друг друга. Эти моменты периодически сменяют друг друга.

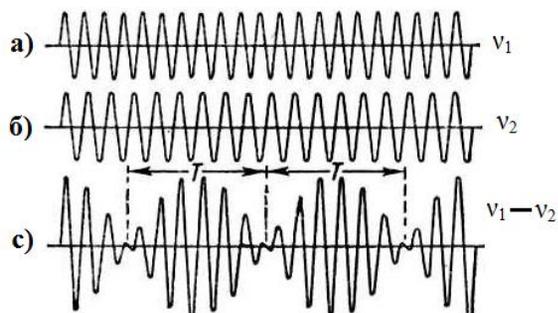


Рис. 1.

Эффект биений используется в электронике для вычитания частот сигналов. Например, в супергетеродинных радиоприёмниках биения между частотами гетеродина и принимаемого сигнала преобразуются в промежуточную частоту, сигнал которой далее усиливается и после детектирования и усиления подается на громкоговоритель, в измерительных приборах, в Терменвоксе – первом в мире электромузыкальном инструменте и в других электромузыкальных инструментах.

Опыт. Соберем установку, состоящую из двух школьных генераторов звуковой частоты и осциллографа (рис. 2). Выходы генераторов параллельно подключены к входу У осциллографа. Включим генераторы и осциллограф. Настроим первый генератор на частоту 500 Гц с выходным напряжением 1 В. Настроим второй генератор на частоту 600 Гц с выходным напряжением 1 В.

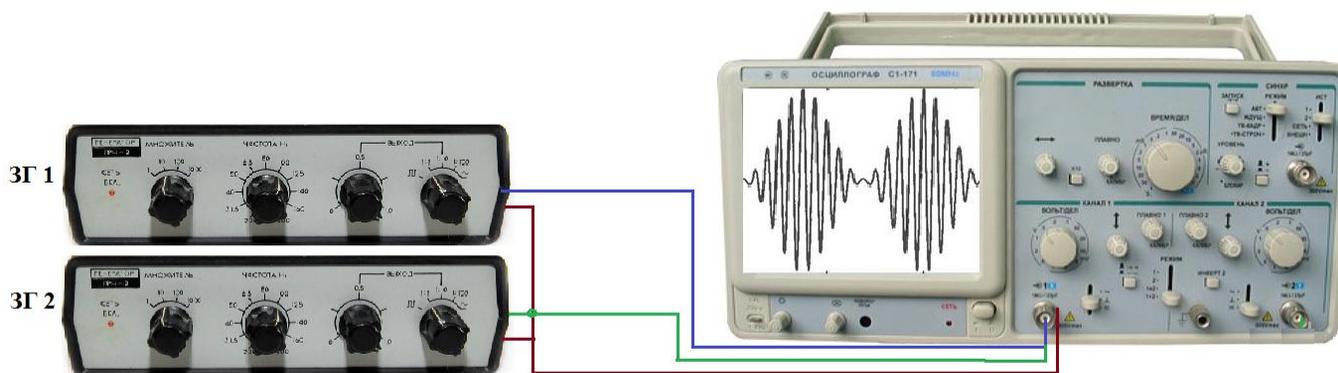


Рис. 2.

Манипулируя ручками «Напряжение на входе», «Частота» и «Синхронизация», добьемся, чтобы на экране осциллографа возникла осциллограмма биений, как на рисунке 2, с частотой $\nu = \nu_1 - \nu_2$. Такие колебания называются биениями. Частоту биений можно изменять, если менять частоту колебаний одного из генераторов.

Проблема. Почему на экране появилась картина биений?

Ответ. На вход У осциллографа подаются два электрических колебания с частотами ν_1 и ν_2 . На входе У они складываются. Результатом сложения этих колебаний является колебание с частотой $\nu = \nu_1 - \nu_2$. Такие колебания называются биениями.

Исследовать график биений можно с помощью «Датчика электрического заряда» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 12. Сложение электромагнитных колебаний в перпендикулярных плоскостях. Фигуры Лиссажу.

1. Сложение электрических колебаний во взаимно перпендикулярных направлениях решается довольно сложно. Поэтому рассмотрим сложение двух гармонических колебаний одинаковой частоты ω , происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях вдоль осей x и y . Пусть колебания по оси x происходят по закону $x = A \cos \omega t$, а по оси y по закону $y = B \cos(\omega t + \alpha)$,

где α – разность фаз колебаний. Расчеты

показывают, что уравнение

траектории колеблющейся точки при $\alpha = 0$ будет $y = (B/A)x$. На графике (рис. 1.1) это будет прямая линия, а при $\alpha = \pi/2$ будет уравнение эллипса $x^2/A^2 + y^2/B^2 = 1$ (рис. 1.2), причем точка и эллипс движутся по часовой стрелке.

Если амплитуды колебаний по осям x и y одинаковы $A = B$, то получается круговая траектория.

Если частоты взаимно перпендикулярных колебаний не одинаковы, то траектория результирующего движения имеет довольно сложный вид. Закрытые траектории, описываемые точкой, совершающей одновременно два взаимно перпендикулярных колебания, возникают тогда, когда **отношение частот** складываемых колебаний есть рациональное число. Называются такие траектории **фигурами Лиссажу** (рис. 2).

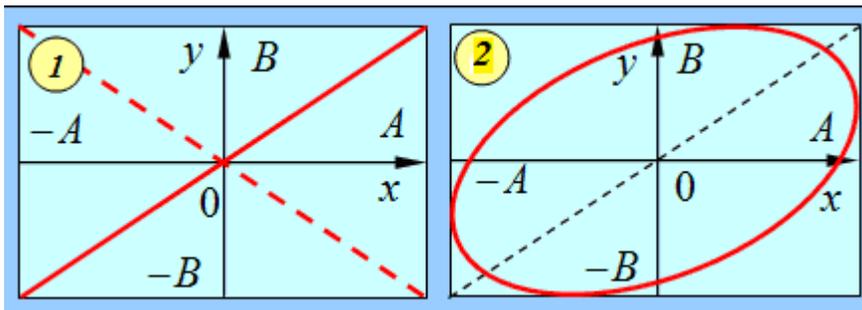


Рис. 1.1.

Рис. 1.2.

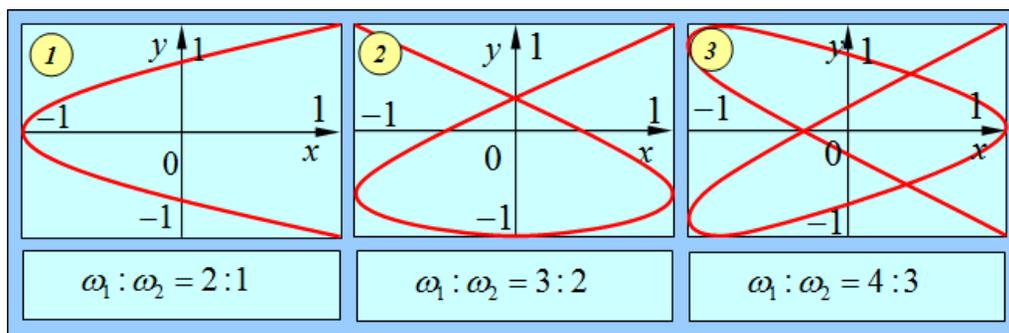


Рис. 2.

Опыт. Для наблюдения фигур Лиссажу соберем установку (рис 3). Она состоит из двух звуковых генераторов ЗГ 1 и ЗГ 2 и осциллографа. С генератора ЗГ 1 подадим сигнал с частотой ω_1 на вход У осциллографа, а с генератора ЗГ 2 – с частотой ω_2 на вход Х осциллографа.

Изменяя частоты генераторов, будем получать на экране осциллографа различные фигуры Лиссажу (рис. 3).

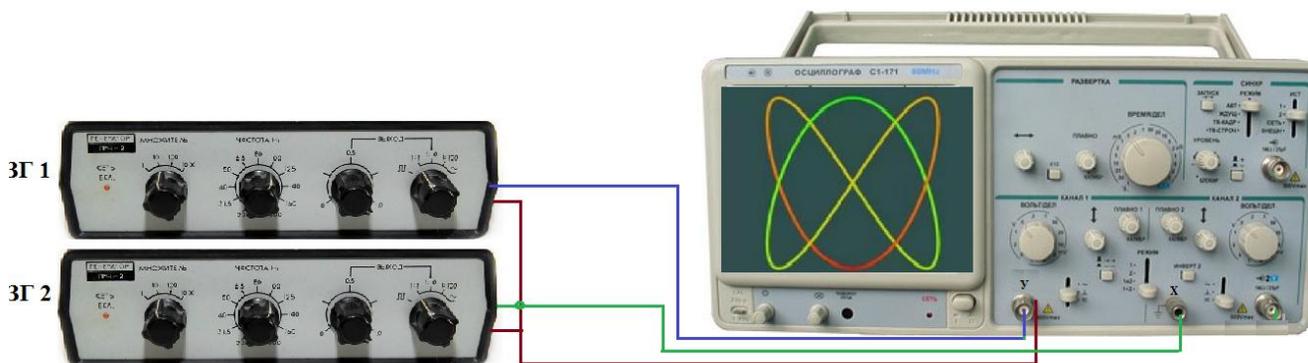


Рис. 3.

Проблема. На рисунке изображена фигура Лиссажу для двух разных частот. Частота ЗГ 1 равна 100 Гц. Чему равна частота генератора ЗГ 2?

Ответ. Частота ЗГ 2 равна 150 Гц, так как по оси У в единицу времени происходят два колебания, а по оси Х – 3 колебания. Это можно проверить линейкой, определив количество точек касания линейки по оси У (2 касания) и по оси Х (3 касания).

Опыт 13. Трансформатор. Принцип действия.

1. Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции.

Простейший трансформатор состоит из стального магнитопровода (рис. 1) и двух расположенных

на нем обмоток I и II. Обмотки выполнены из

изолированного провода и электрически не

связаны (рис. 1). К одной из обмоток подается

электрическая энергия от источника переменного

тока U_1 . Эту обмотку называют первичной. К

другой обмотке, называемой вторичной, с

напряжением U_2 , подключаются потребители.

При подключении трансформатора к источнику

переменного тока (электрической сети) в витках

его первичной обмотки протекает переменный ток

i_1 , образуя переменный магнитный поток Φ . Этот

поток проходит по магнитопроводу

трансформатора и, пронизывая витки вторичной

обмотки, индуцирует в ней переменную $e_2 = U_2$.

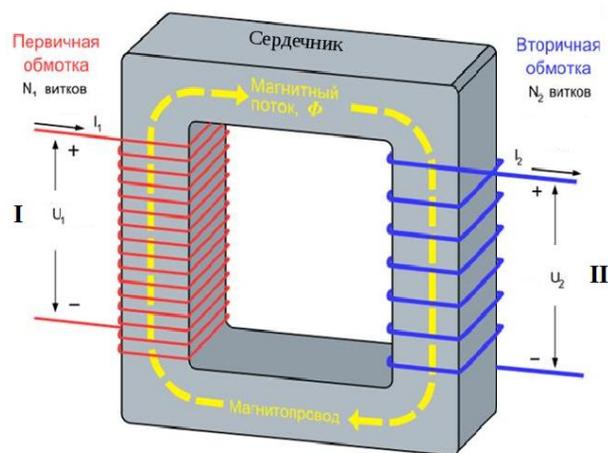


Рис. 1.

Отношение напряжения на первичной обмотке U_1 к напряжению на вторичной обмотке U_2 называется **коэффициентом трансформации**. Это относится и к числу витков в первичной и во вторичной обмотках, т.е. $K = U_1 / U_2 = N_1 / N_2$.

Таким образом, подбирая требуемое соотношение между числами витков первичной и вторичной обмоток, можно увеличивать или уменьшать напряжение на приемнике, подключенном к вторичной обмотке.

Если необходимо на вторичной обмотке получить напряжение большее, чем подается на первичную, то применяют повышающие трансформаторы, у которых число витков во вторичной обмотке больше, чем в первичной.

Отличительной особенностью трансформатора является высокий коэффициент полезного действия: 90% – 95%.

Опыт. Принцип действия трансформатора.

Для демонстрации принципа действия трансформатора соберем установку, состоящую из ферромагнитного сердечника для трансформатора, трансформаторной катушки на 220 В, изолированного провода длиной 1–2 м и низковольтной лампочки.

Изолированный провод наматывают на один сердечник трансформатора, а его концы соединяют с низковольтной электрической лампочкой (рис. 2).

На другой сердечник трансформатора надевают трансформаторную катушку и включают ее в электрическую сеть. Лампочка загорается.

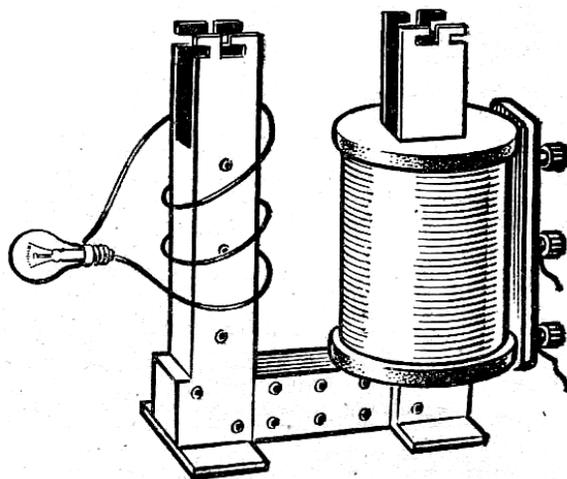


Рис. 2.

Проблема. Почему лампочка загорелась?

Ответ. При включении трансформаторной катушки в электрическую сеть переменный электрический ток создает около нее переменное магнитное поле. Это переменное магнитное поле усиливается ферромагнитным сердечником и создает переменное поле у левого сердечника, на который намотана обмотка, содержащая несколько витков провода, замкнутая на лампочку. Это переменное магнитное поле по закону электромагнитной индукции создает на концах обмотки напряжение, равное ЭДС индукции, и лампочка загорается. В этом и заключается принцип работы трансформатора.

Опыт 14. Повышение и понижение напряжения трансформатором.

1. Трансформаторы используются для понижения и повышения напряжения. Трансформатор, который используется для понижения напряжения, называется понижающим трансформатором.

Трансформатор, который используется для повышения напряжения, называется повышающим трансформатором.

Опыт 14.1. Понижающий трансформатор. Понижающим трансформатором называется трансформатор, у которого число витков в первичной обмотке больше, чем число витков во вторичной обмотке, т.е. $K > 1$. Соберем схему, состоящую из понижающего трансформатора и низковольтной электрической лампочки (рис. 1). Первичную обмотку трансформатора подключим к электрической сети. Лампочка загорится.

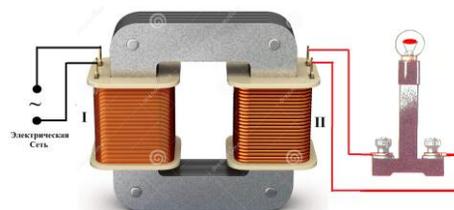


Рис. 1.

Проблема. Почему трансформатор понижает напряжение?

Ответ. При подключении трансформатора к источнику переменного тока в витках его первичной обмотки протекает переменный ток, образуя переменный магнитный поток Φ . Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки вторичной обмотки, индуцирует в каждом витке переменную ЭДС e_1 . Общая ЭДС равна $e_1 N_2$. Число витков во вторичной обмотке небольшое, поэтому напряжение на ней небольшое.

На практике понижающие трансформаторы используются в зарядных устройствах, блоках питания различной радиоаппаратуры.

Опыт 14.2. Повышающий трансформатор.

Повышающим трансформатором называется трансформатор, у которого число витков в первичной обмотке меньше, чем число витков во вторичной обмотке, т.е. $K < 1$ (рис. 2). Первичную обмотку трансформатора подключим к электрической сети. На выводах вторичной обмотки от высокого напряжения проскакивает электрическая искра.



Рис. 2.

Проблема. Почему трансформатор повышает напряжение?

Ответ. При подключении трансформатора к источнику переменного тока в витках его первичной обмотки протекает переменный ток, образуя переменный магнитный поток Φ . Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки вторичной обмотки, индуцирует в каждом витке переменную ЭДС e_1 . Общая ЭДС равна $e_1 N_2$. Число витков во вторичной обмотке очень большое, поэтому напряжение на ней очень большое. На рис. 2 изображен повышающий трансформатор с высоковольтной обмоткой. Если приближать выходные провода друг к другу, то при напряжении 1 кВ между ними могут проскакивать электрические искры.

На практике повышающие трансформаторы часто используются при передаче электроэнергии на большие расстояния.

Опыт 15. Передача электроэнергии на расстояние.

1. Известно, что крупные теплоэлектростанции строят вблизи угольных месторождений или крупных газопроводов, гидроэлектростанции возводят на крупных реках, а атомные электростанции – не ближе 30–50 км от больших городов, где расположены основные потребители электроэнергии. Другими словами, электроэнергия производится вдали от мест её потребления. Следовательно, она должна быть передана к местам её потребления, для чего служат линии электропередачи (ЛЭП) (рис. 1).

При типичной мощности генератора электростанции 500 МВт и напряжении 10 кВ сила тока в проводах составляет 50 тысяч ампер. Такой ток, согласно закону Джоуля-Ленца, при сопротивлении линии электропередачи всего

1 Ом каждую секунду будет выделять столько же теплоты, сколько миллион электрочайников,

включённых одновременно!

По закону Джоуля-Ленца $Q = I^2Rt$. Существуют две возможности для снижения потерь электроэнергии: уменьшить сопротивление линии электропередачи (R) или уменьшить в ней силу тока (I).

• Для уменьшения сопротивления нужно либо уменьшить длину проводов (и энергия не дойдёт до потребителя), либо увеличить их толщину (и тогда они станут тяжёлыми и могут обломить опоры). Как видите, первая возможность невыполнима на практике.

• При изучении трансформатора мы выяснили, что трансформатор повышает напряжение, одновременно понижая силу тока в такое же число раз. Поэтому, прежде чем ток от генератора попадает в линию электропередачи, он трансформируется (преобразовывается) в ток высокого напряжения. Повысив напряжение с 10 кВ до 1000 кВ, то есть в 100 раз, мы в такое же число раз понизим силу тока. Согласно закону Джоуля-Ленца, количество теплоты, бесполезно выделяющейся в проводах, уменьшится в 100×100 раз, то есть сразу в 10 000 раз. На другом конце линии электропередач ставится понижающий трансформатор.

Опыт. Для демонстрации передачи электроэнергии на большие расстояния соберём установку, состоящую из двух одинаковых школьных трансформаторов, лампочки накаливания на 6,3 В, линии электропередач из нихромовой проволоки и РНШ (Регулятор Напряжения Школьный). Трансформатор (а) используем в качестве понижающего трансформатора, а трансформатор (б) в качестве повышающего трансформатора (рис. 2).

На правую обмотку трансформатора (б) подадим напряжение от РНШ (Регулятор Напряжения Школьный) в 6,3 В. Так как этот трансформатор в данной установке будет повышающим, то с левой катушки этого трансформатора снимем 220 В и подадим на линию электропередач (справа). Так как на линии электропередач напряжение большое (220 В), то сила тока в ней будет небольшая и потеря

электроэнергии практически не будет. Поэтому напряжение, снимаемое с линии электропередач, будет практически равно 220 В. Это напряжение подается на правую обмотку трансформатора (а), трансформируется в 6,3 В и подается на лампочку. Лампа горит нормальным накалом.

Проблема. Почему лампа горит нормальным накалом, хотя в линии электропередач есть потери?

Ответ. Да, потери энергии есть, но они незначительные, так как при передаче энергии было повышено напряжение, поэтому сила тока снизилась, и по закону Джоуля-Ленца $Q = I^2Rt$ потери энергии на выделении тепла в подводящих проводах снизились во много раз.

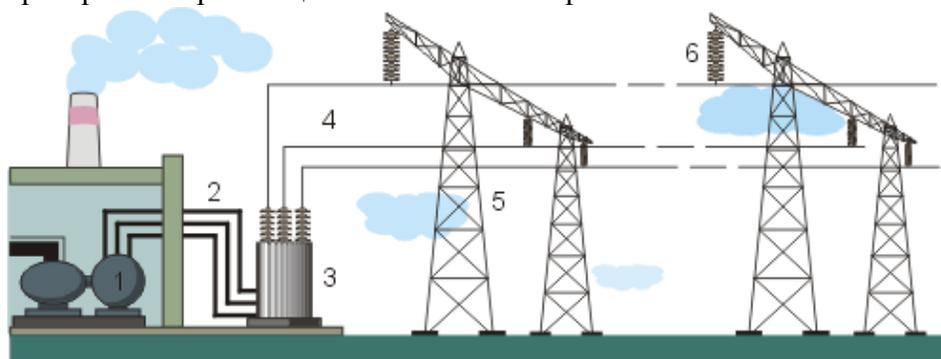


Рис. 1.

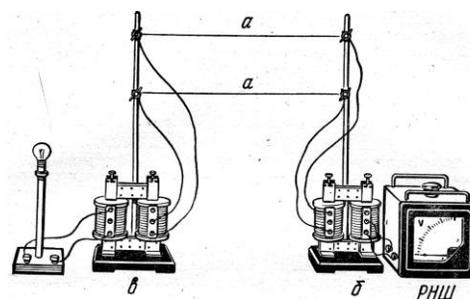


Рис. 2.

Опыт 16. Однофазный электродвигатель.

1. **Однофазный двигатель** – электродвигатель, конструктивно предназначенный для подключения к однофазной сети переменного тока. Однофазным называется такой, который имеет на статоре одну рабочую обмотку, которая подключается к сети однофазного тока. Запуск осуществляется вращающимся магнитным полем, создающимся основной обмоткой и дополнительной (меньшей) пусковой обмоткой, которая подключается через ёмкость/индуктивность к основной сети на время пуска. Преимуществом двигателя является простота конструкции (короткозамкнутый ротор). Недостатки – малый пусковой момент (или вообще его отсутствие) и низкий КПД.

Конструкция электродвигателя. По своему техническому устройству асинхронный двигатель состоит из:

1. статора – статической, неподвижной части, служащей одновременно корпусом, с расположенными на нем различными электротехническими элементами;
2. ротора, вращаемого силами электромагнитного поля статора (рис. 1).

Данные двигатели используются: в приводе стиральных машин, холодильников, центрифуг, заточных и небольших обрабатывающих станков и т.д.

Схема включения однофазного двигателя изображена на рис. 2.

Двигатель имеет на статоре две обмотки – основную (рабочую) и пусковую, которая позволяет получить вращающееся магнитное поле, за счет которого обеспечивается начальный пусковой момент, который определяет направление вращения вала.

Опыт. Проверка работы однофазного двигателя с пусковой обмоткой и конденсатором.

Соберем схему (рис. 3) в соответствии с рисунком 2.

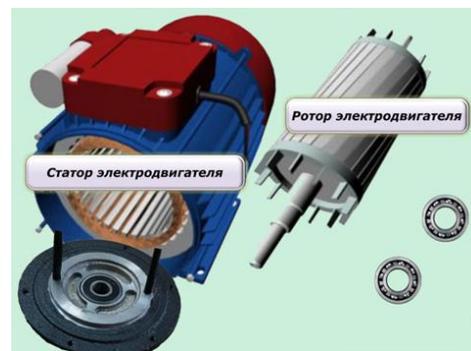


Рис. 1.

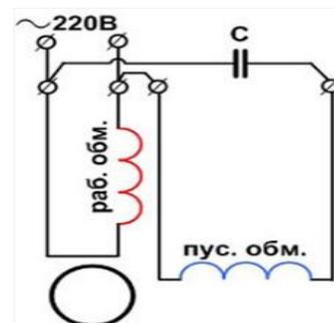


Рис. 2.



Рис. 3.

Она состоит из однофазного двигателя и конденсатор на 10 мкФ.

Подключим схему к электрической сети. Ротор двигателя начинает вращаться.

Проблема. Зачем нужен конденсатор для этого двигателя?

Ответ. Конденсатор нужен для создания в начальный момент вращающегося магнитного поля.

Опыт 17. Генератор незатухающих колебаний.

1. Генератор незатухающих колебаний получил очень широкое распространение в радио-, телевизионной и измерительной технике. На рис. 1 представлена автоколебательная система. В момент подключения источника постоянного тока через коллекторную цепь транзистора проходит ток, заряжающий конденсатор колебательного контура. В контуре возникнут свободные электромагнитные колебания. Так как катушка колебательного контура индуктивно связана с катушкой обратной связи, то ее изменяющееся магнитное поле вызовет в катушке обратной связи переменную ЭДС такой же частоты, как и колебания в контуре. Эта ЭДС, будучи приложена к участку база – эмиттер, вызовет пульсацию тока в цепи коллектора. Так как частота этих пульсаций равна частоте электромагнитных колебаний в контуре, то они подзаряжают конденсатор контура и тем самым поддерживают постоянной амплитуду колебаний в контуре. Таким образом, в автогенераторе происходит преобразование энергии источника постоянного тока в энергию электромагнитных колебаний.

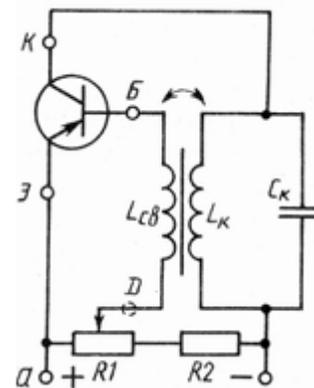


Рис. 1.

Основное условие работы генератора заключается в том, что энергия, поступающая в контур из коллекторной цепи, должна полностью восполнить необратимые преобразования в нем энергии. Это условие обеспечивается обратной связью. Чтобы убедиться в этом учащиеся, надо приподнять и медленно удалить катушку обратной связи от катушки контура. На экране осциллографа видно, как постепенно уменьшается амплитуда колебаний в контуре и, наконец, колебания исчезают.

Опыт. Соберем электрическую схему, состоящую из трансформатора, батареи конденсаторов, транзистора типа р-п-р, батареи на 4,5 В и осциллографа (рис. 2).

Правая обмотка трансформатора (на 220 В) и батарея конденсаторов образуют колебательный контур. Левая обмотка трансформатора (12,6 В) является элементом обратной связи. Транзистор выполняет роль ключа в данной автоколебательной системе.

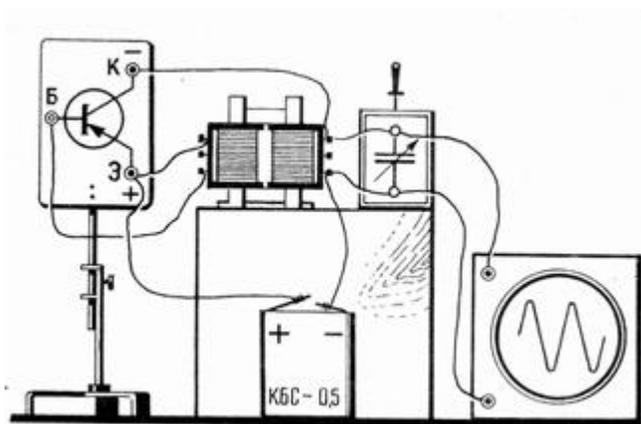


Рис. 2.

Колебания, вырабатываемые генератором, с колебательного контура подаются на вход У осциллографа. Вращая ручки осциллографа «Амплитуда», «Частота» и «Синхронизация», получают на экране устойчивую незатухающую осциллограмму.

Проблема. Почему в генераторе возникают незатухающие колебания?

Ответ. В генераторе возникают незатухающие колебания за счет пополнения энергии колебательного контура энергией от источника тока и обратной связи, роль которой играет катушка обратной связи, подключенная к базе транзистора.

Исследовать осциллограмму колебаний в колебательном контуре генератора незатухающих колебаний можно с помощью «Датчика электрического заряда» цифровой лаборатории PASCO.

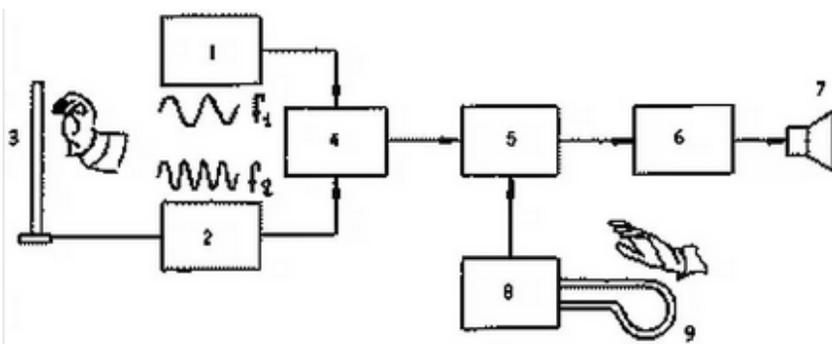
Опыт 18. Терменвокс.

1. Терменвóкс (*theremin* или *thereminvox*) – электромузыкальный инструмент, созданный в 1920 году российским изобретателем Львом Сергеевичем Терменом в Петрограде.

В 1919 году руководитель Физико-технического института в Петрограде Абрам Иоффе пригласил к себе на работу Льва Термена как специалиста по радиотехнике. Новому сотруднику была поставлена задача измерения диэлектрической постоянной газов при различных давлениях и температурах.

Для повышения чувствительности возникла идея объединения двух генераторов, один из которых давал колебания переменной частоты, а другой – колебания определённой неизменной частоты. Сигналы от обоих генераторов подавались на электронную лампу, на аноде которой формировался сигнал с разностной частотой. При этом, если разностная частота попадала в звуковой диапазон, то сигнал можно было воспринимать на слух. Прибор оказался очень чувствительным: реагировал на малейшие изменения ёмкости колебательного контура, вызванные, например, изменением положения руки человека в пространстве. С изменением ёмкости менялась частота звука. То есть, звук возникал при движении руки человека. Так родилась электронная музыка. **Фактически это было устройство, которое вырабатывало биения.**

В марте 1922 года Лев Сергеевич Термен и Абрам Федорович Иоффе приехали в Кремль к В. И. Ленину для показа инструмента. Термен после собственноручного исполнения «Этюда» Скрябина, «Лебедя» Сен-Санса и «Жаворонка» Глинки стал помогать Ленину играть на терменвоксе. Однако вскоре оказалось, что Ленин может играть самостоятельно. Ленин завершил исполнение «Жаворонка» Глинки без помощи изобретателя. Кроме того, была продемонстрирована сигнализация на ёмкостном реле, принцип действия которого был схож с принципом действия терменвокса.



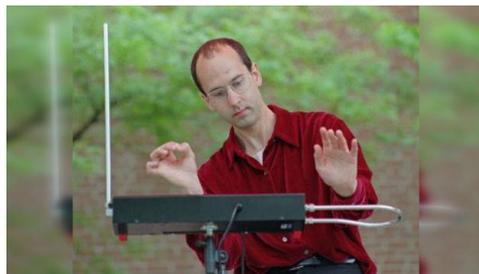
Блок схема терменвокса (рис. 1)

состоит из генератора постоянной частоты 1,

генератора переменной частоты 2, антенны 3, смесителя 4, усилителя 5, генератора 8, антенны 9, оконечного усилителя 6 и громкоговорителя 7.

Генератор 1 вырабатывал постоянную частоту, например 100 кГц. Частота второго генератора изменялась, когда к антенне 3 подносили руку, так как изменялась ёмкость колебательного контура от 100 кГц до 120 кГц. Таким образом, на выходе смесителя 4 появлялась разностная частота биений в звуковом диапазоне 0 – 20 кГц. Если поднести другую руку к антенне 9, то менялась частота генератора 8 и после выпрямления она подавалась на усилитель 5 и изменяла громкость звука. Потом сигнал дополнительно усиливался усилителем 6 и в громкоговорителе был слышен звук.

Опыт. Исследование частоты и громкости звука, генерируемого терменвоксом (рис. 2). Возьмем готовый самодельный терменвокс на транзисторах и будем извлекать из него разные звуки, а потом исполним какую либо мелодию, как, например, Петр Термен – внук Л.С.Термена (рис. 2).



Проблема. Как получается звук на терменвоксе?

Ответ. В терменвоксе имеется два генератора – один постоянной частоты, а другой изменяет свою частоту при приближении к антенне руки. Вследствие этого на выходе смесителя возникают биения со звуковой частотой.

Рис. 2.

Опыт 19. Генератор прямоугольных импульсов.

1. Генератор прямоугольных импульсов вырабатывает прямоугольные импульсы, которые обладают определёнными параметрами. Основными параметрами прямоугольных импульсов являются период импульсов T , длительность импульсов t и скважность импульсов $\gamma = t/T$ (рис. 1).

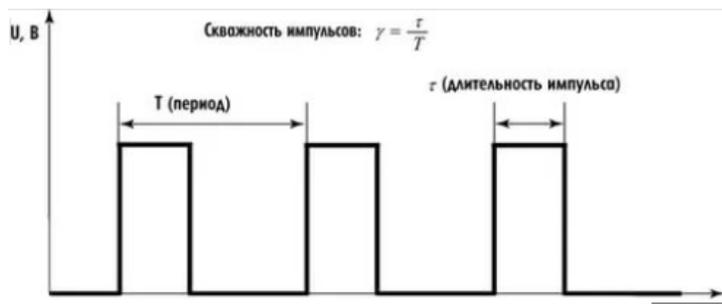


Рис. 1.

На рисунке 2 показаны разные скважности импульсов:

- На рис. 2а изображены прямоугольные импульсы со скважностью, равной $\gamma = 1 : 2$. В данном случае длительность импульсов равна паузе. Такие импульсы называют меандром.
- На рис. 2в изображены прямоугольные импульсы со скважностью, равной $\gamma = 1 : 5$. В данном случае длительность импульсов в 5 раз меньше длительности паузы.
- На рис. 2с изображены прямоугольные импульсы со скважностью, равной $\gamma = 1 : 10$.

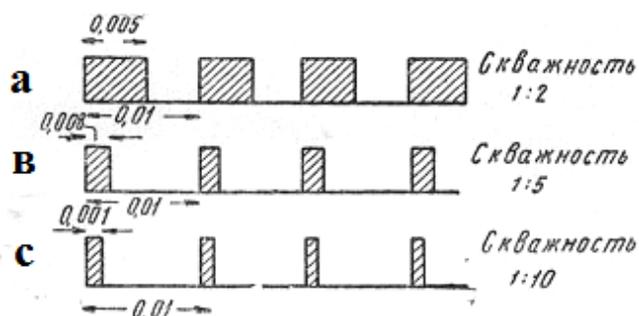


Рис. 2.

В данном случае длительность импульсов в 10 раз меньше длительности паузы.

Опыт. Генератор прямоугольных импульсов с переменными частотой и скважностью.

В опыте используем генератор на микросхеме 555 (рис. 3). 555 – аналоговая интегральная микросхема, универсальный таймер – устройство для формирования (генерации) одиночных и повторяющихся импульсов со стабильными временными характеристиками. Значения R_1 и R_2 подставляются в Омах, C – в фарадах, частота получается в Герцах. Время между началами каждого предыдущего импульса и последующего импульса называется периодом и обозначается буквой t . Оно складывается из длительности самого импульса t_1 и промежутка между импульсами t_2 : $t = t_1 + t_2$.

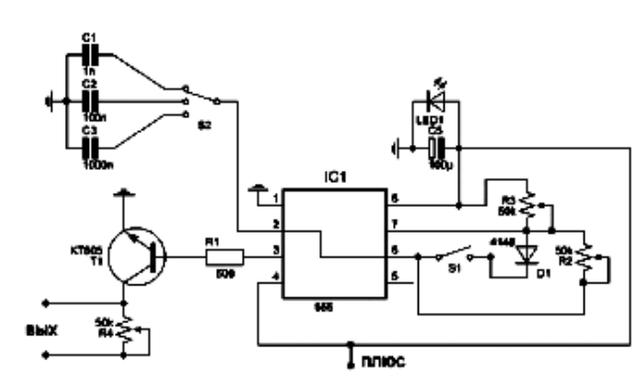
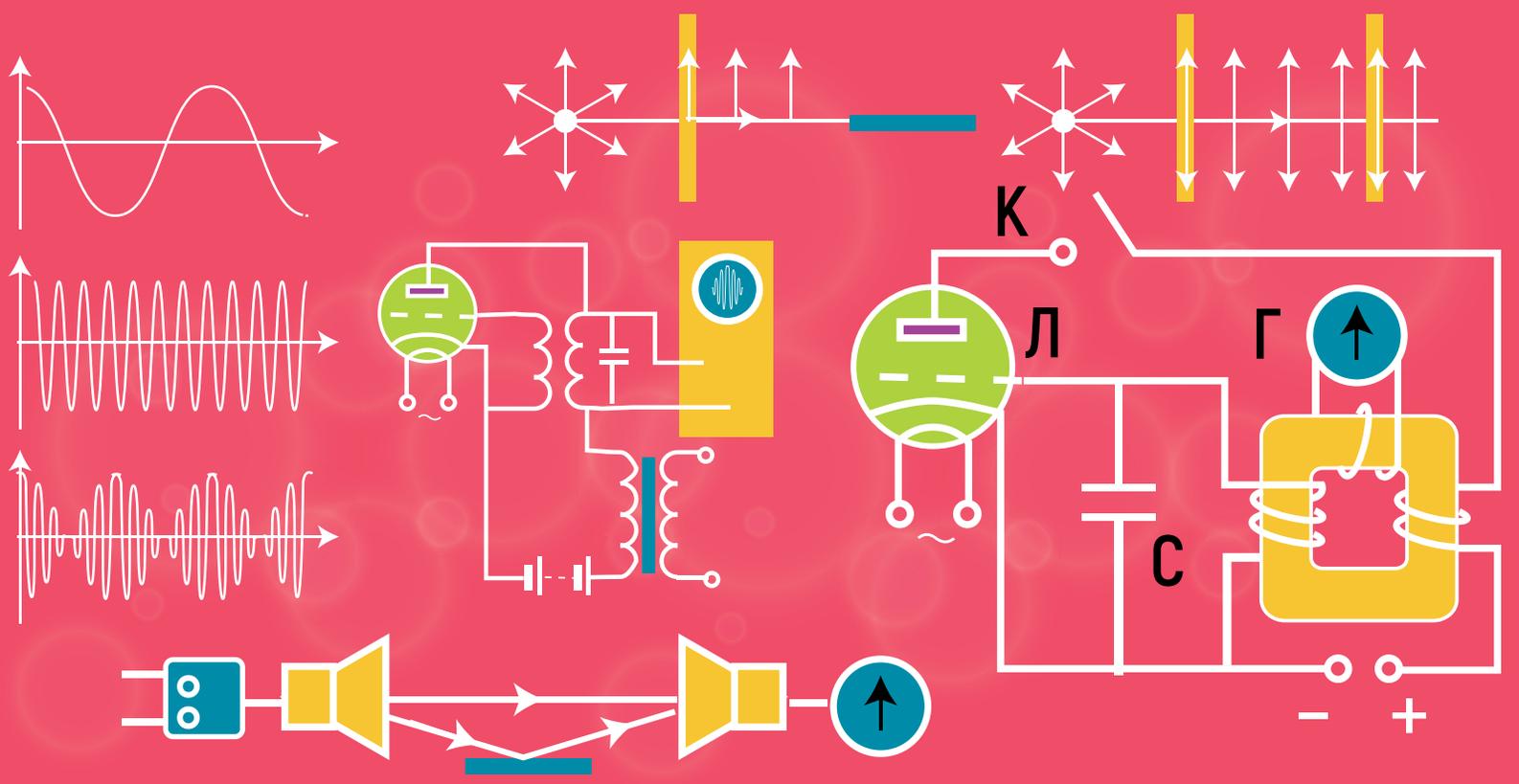


Рис. 3.

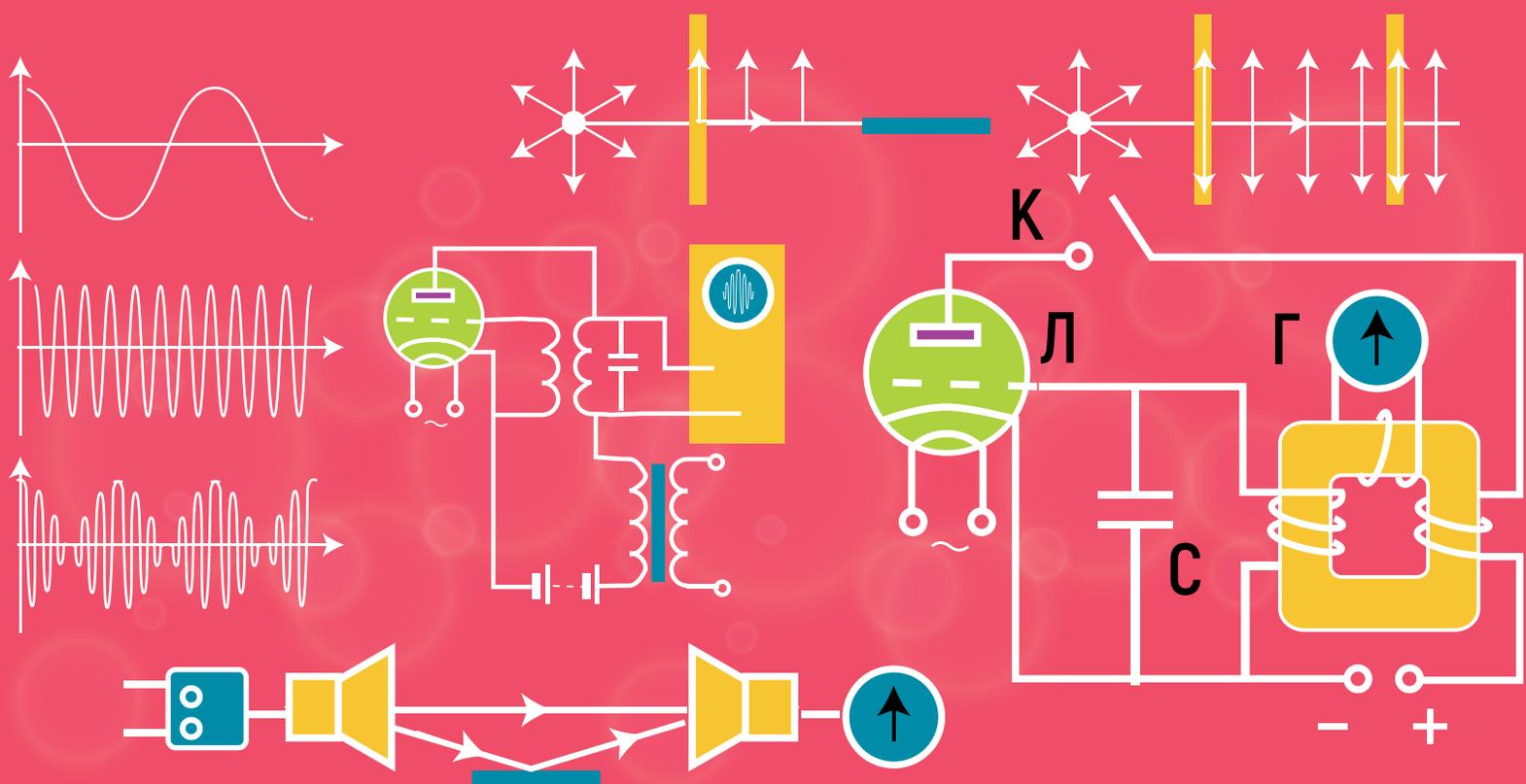
Транзистор КТ805 используется для усиления сигнала (установить на небольшой радиатор). Резистор R_4 служит для регулировки тока выходного сигнала. Сама микросхема служит генератором. Скважность и частоту рабочих импульсов изменяем резисторами R_3 и R_2 . Диод служит для увеличения скважности (можно вообще исключить). Также присутствует шунт и индикатор работы, для него используется светодиод со встроенным ограничителем тока (можно использовать обычный светодиод, ограничив ток резистором в 1 кОм).

Подключить выход генератора к входу Y осциллографа и, вращая ручки «Частота» и «Скважность импульсов», наблюдать прямоугольные импульсы с изменяющейся частотой и скважностью.

Исследовать осциллограмму колебаний прямоугольных импульсов можно с помощью «Датчика электрического заряда» цифровой лаборатории PASCО.



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ



Демонстрация 1. Электромагнитные волны.

1. Электромагнитные волны – распространяющееся в пространстве изменение электромагнитного поля. Если в какой то области пространства изменяется магнитное поле, то оно приводит к появлению вихревого электрического поля. Это вихревое электрическое поле создает в свою очередь переменное магнитное поле и т.д.

Электромагнитные волны подразделяются на (рис. 1):

- низкочастотные электромагнитные волны
- радиоволны
- инфракрасное излучение
- видимый свет
- ультрафиолетовое излучение
- рентгеновское излучение
- гамма излучение.

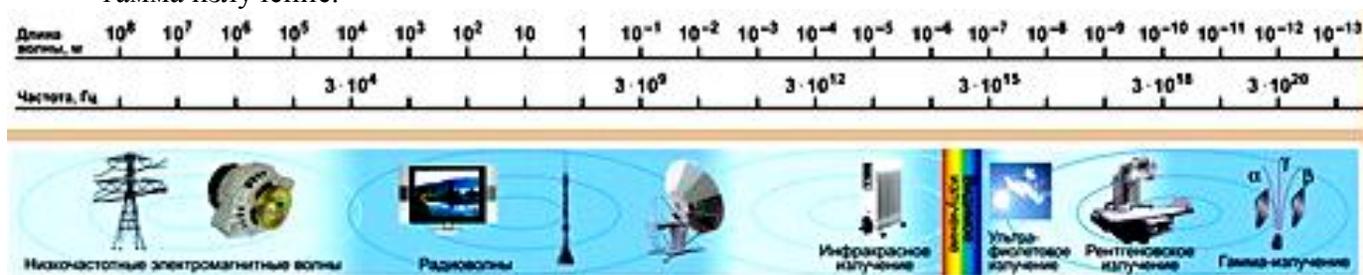


Рис. 1.

Электромагнитное излучение способно распространяться практически во всех диэлектрических средах. В вакууме (пространстве, свободном от вещества и тел, поглощающих или испускающих электромагнитные волны) электромагнитное излучение распространяется без затуханий на сколь угодно большие расстояния, но в ряде случаев достаточно хорошо распространяется и в диэлектриках, несколько изменяя при этом свои параметры – скорость, длину волны и т.д. Основными характеристиками электромагнитного излучения принято считать частоту и длину волны.

Демонстрация. Рассмотрим распространение радиоволн сантиметрового диапазона. Эти волны излучаются специальным генератором сверхвысокой частоты (СВЧ). Соберем установку (рис. 2), состоящую из блока питания ВУП 2 (1), СВЧ передатчика с рупорной антенной (2), приемника с рупорной антенной (3), усилителя низкой частоты (4) и громкоговорителя (5). Гармонические колебания генератора модулируют колебаниями звуковой частоты. Электромагнитные волны излучаются рупорной антенной в направлении оси рупора.

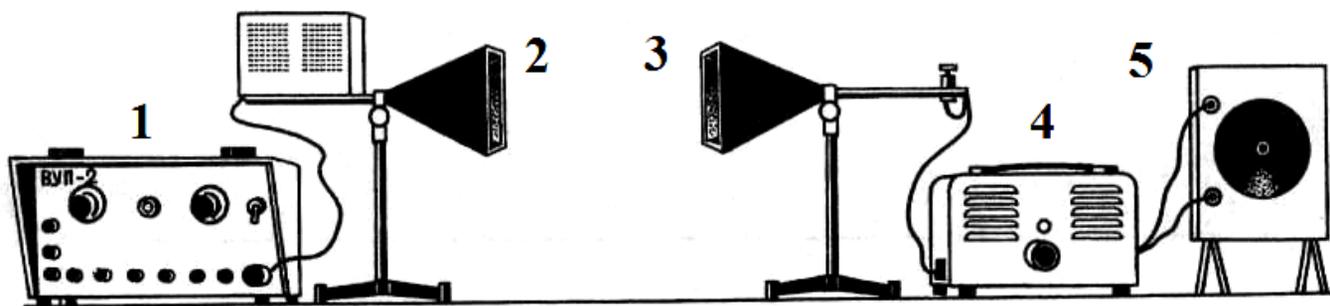


Рис. 2.

Приемная антенна в виде такого же рупора принимает электромагнитные волны, которые излучаются генератором. Принятый сигнал после преобразования (детектирования) подается на громкоговоритель.

Рупоры располагают друг против друга и, добившись хорошей слышимости звука в громкоговорителе, помещают между рупорами различные диэлектрические тела. При этом наблюдается уменьшение громкости. Если вместо диэлектрика между рупорами поместить металлический лист, то звук перестанет быть слышимым.

Опыт 1. Ламповый генератор незатухающих колебаний

1. **Ламповый генератор** – это автоколебательная система, которая вырабатывает незатухающие электромагнитные колебания (рис. 1).

Основой лампового генератора является колебательный контур, состоящий из конденсатора C и первичной обмотки трансформатора Tr . Роль ключа в этой автоколебательной системе выполняет электронный триод $Л1$. Элементом обратной связи является вторичная обмотка трансформатора.

Колебания регистрируются гальванометром, который подключается к специальной обмотке трансформатора.

Генератор подключается к источнику тока и включается ключом K . Изменяя индуктивность катушки и емкость конденсатора, можно изменять частоту колебательного контура, а следовательно, и частоту колебаний генератора.

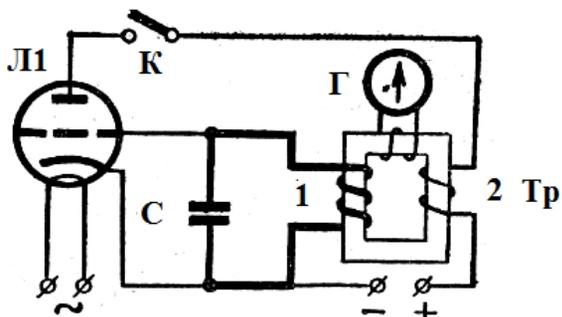


Рис. 1.

Опыт. Изучим работу лампового генератора электромагнитных колебаний.

Соберем схему, состоящую из лампового триода $Л1$, ключа K , батареи конденсаторов C , гальванометра $Г$, катушки колебательного контура L с дополнительной обмоткой для гальванометра, катушки обратной связи $L_{св}$ и выпрямителя B (рис. 2).

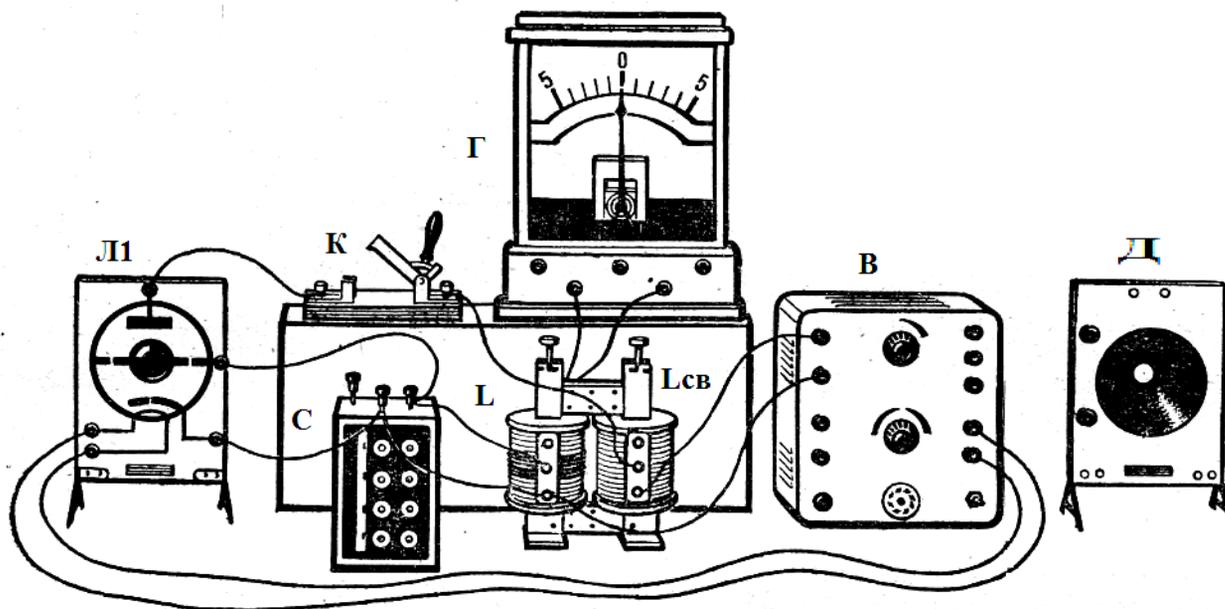


Рис. 2.

Включим выпрямитель B . После прогрева нити накала триода $Л1$ включим ключ K . В колебательном контуре генератора возникнут незатухающие колебания, так как потери энергии в нем будет пополнять выпрямитель B . О возникших колебаниях в генераторе можно судить по колебаниям стрелки гальванометра около положения равновесия.

Изменяя емкость батареи конденсаторов и индуктивности катушки L (сдвигая верхнюю часть сердечника), наблюдаем изменения частоты колебаний генератора. При высоких частотах стрелка генератора не успеет в силу инерции следовать за ним. Поэтому в этом случае можно заменить гальванометр на динамик $Д$.

Проблема. Почему в генераторе возникают незатухающие колебания?

Ответ. Потому что потери энергии в колебательном контуре на выделяющуюся теплоту в витках катушки и подводящих проводах, на перемагничивание сердечника, на переполаризацию диэлектрика в батарее конденсаторов и на излучение в окружающее пространство электрического и магнитного поля пополняет выпрямитель.

Исследовать осциллограмму колебаний в колебательном контуре генератора можно с помощью «Датчика электрического заряда» цифровой лаборатории PASCO.

Опыт 2. Генератор на 150 МГц. Электрический резонанс.

1. Генератор высокой частоты (ВЧ) на 150 МГц позволяет проводить наглядные опыты по генерации электромагнитных волн, их излучению и приему. Рассмотрим упрощенную схему генератора, разработанную Б.С. Зворыкиным. Генератор (рис.1) состоит из колебательного контура, двух радиоламп 6Н7С (Л1 и Л2), резистора и 8 дросселей ВЧ.

Колебательный контур представляет собой катушку, выполненную в виде полукольца из медной трубки, соединенную своими концами с анодами радиоламп.

Конденсаторами колебательного контура являются промежутки сетка – анод в радиолампах.

Анодное напряжение на радиолампы подается на середину катушки колебательного контура через дроссель ВЧ. Дроссели ВЧ нужны для того, чтобы электромагнитные колебания, возникающие в генераторе, не попали в электрическую цепь. Питается генератор от выпрямителя ВУП 2.

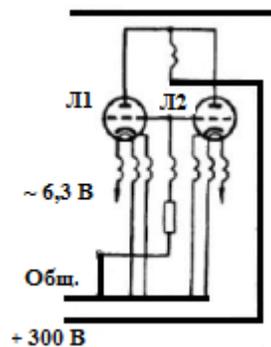


Рис. 1.

Опыт 2.1. Изучение работы генератора.

На рисунке 2 показан действующий генератор на 150 МГц (вид сзади). В верхней части генератора расположена катушка, состоящая из полувитка медной трубки. Ниже располагаются панельки, в которые с другой стороны вставлены радиолампы. Далее расположены дроссели ВЧ и резистор. Подключим генератор к выпрямителю ВУП 2. После прогрева нитей накала радиоламп поднесем к колебательному контуру генератора неоновую лампу. Лампа вспыхнет.

Проблема. Почему неоновая лампа вспыхнет?

Ответ. Около колебательного контура периодически изменяется электромагнитное поле. При помещении в это поле неоновой лампочки электрическое поле электромагнитных колебаний действует на неоновую лампу так, что в ней начинается процесс ионизации, возникает электрический разряд, и она начинает светиться.

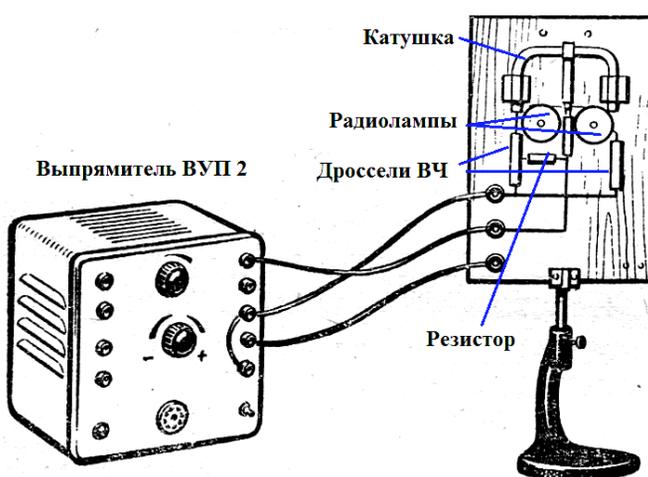


Рис. 2.

Опыт 2.2. Резонанс колебательных контуров.

Соберем электрическую цепь, состоящую из генератора и выпрямителя (рис. 3). Возьмем колебательный контур (рис. 4), состоящий из катушки индуктивности **а**, конденсатора переменной емкости **б**. В цепь колебательного контура включена электрическая лампочка (**в**).

Включим источник питания и после прогрева радиоламп поднесем катушку этого колебательного контура к катушке генератора. Лампа засветится (рис. 5).

Вращая ручку конденсатора переменной емкости на дополнительном колебательном контуре, заметим, что лампочка горит то ярче, то слабее.

Проблема. Почему при вращении ручки конденсатора переменной емкости на дополнительном колебательном контуре лампочка горит то ярче, то слабее?

Ответ. При вращении ручки конденсатора переменной емкости на дополнительном колебательном контуре лампочка горит то ярче, то слабее потому, что когда в колебательном контуре возникает электрический резонанс, при этом сила тока в нем увеличивается и лампочка горит ярче.

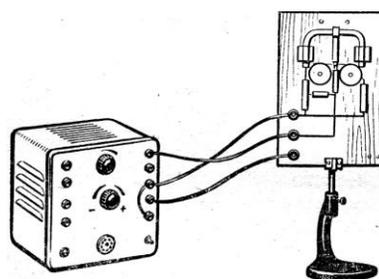


Рис. 3.

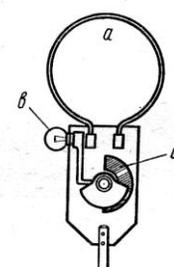


Рис. 4.

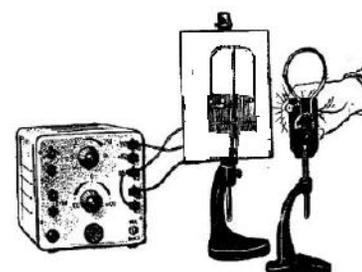


Рис. 5.

Опыт 3. Излучение и прием электромагнитных волн.

1. Источником электромагнитных волн может быть любой электрический колебательный контур или проводник, по которому течет переменный электрический ток, так как для возбуждения электромагнитных волн необходимо создать в пространстве переменное электрическое и магнитное поле.

Излучение электромагнитных волн

генератором на 150 МГц происходит следующим образом. У генератора 1 есть колебательный контур, в котором имеется катушка в виде полукольца (рис. 1). Поместим на некотором расстоянии от этого полукольца передающий диполь (медную трубку) длиной в $\frac{1}{2}$ длины волны. Так как этот диполь находится в переменном электромагнитном поле полукольца, то в нем вследствие электромагнитной индукции возникнет переменный электрический ток с частотой 150 МГц. Этот переменный ток создаст около проводника переменное магнитное поле, которое создаст переменное вихревое электрическое поле и т.д., т.е. этот диполь будет излучать электромагнитную волну с частотой 150 МГц. Если длина диполя будет равна половине длине волны $\lambda/2 = 1$ м, то в нем возникнет электрический резонанс. Чтобы получить электрический резонанс, меняют длину трубки (у нее есть такая возможность). Эта трубку называют излучающей (передающей) **антенной (диполем)**. От антенны электромагнитная волна будет распространяться во всех вертикальных направлениях.

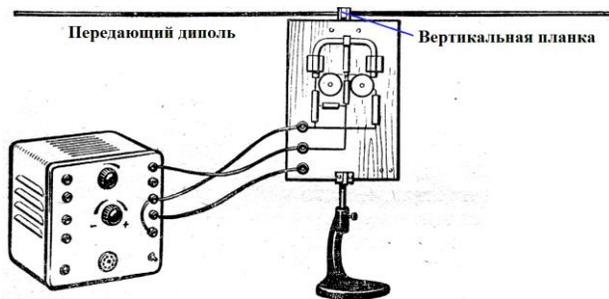


Рис. 1.

Прием электромагнитных волн

осуществляется приемным диполем (рис. 2). Он представляет такую же трубку, как и передающий диполь, только ее разрезают пополам и в промежуток между половинками вставляют электрическую лампочку. Приемный диполь с лампочкой устанавливают на подставке на расстоянии 2 – 3 м от генератора так, чтобы оба диполя были параллельны. Включив генератор, настраивают приемный диполь. Для этого изменяют его длину с помощью выдвинутых стержней. Изменяя длину приемного диполя, добиваемся наиболее яркого свечения лампочки, тем самым настраиваем приемную антенну в резонанс с передающей антенной. Более точную настройку производят регулированием величины связи излучающего диполя с контуром генератора. Для этого освобождают **вертикальную планку** (рис. 1) с излучающим диполем и, передвигая ее в вертикальном направлении, закрепляют в таком положении, при котором лампочка в приемном диполе светится наиболее ярко.

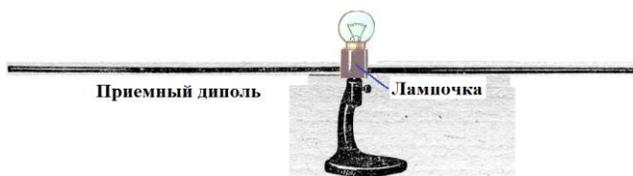


Рис. 2.

Опыт. Передача и прием электромагнитных волн. Возьмем передающий генератор (рис. 1) и приемник (рис. 2). Расположим передающий и приемный диполи параллельно.

Проблема. Почему при включенном генераторе горит лампочка в приемном диполе?

Ответ. Передающий диполь излучает электромагнитные волны, которые принимает приемный диполь. Так как приемный диполь настроен в резонанс с передающим диполем, то лампочка в приемном диполе загорается.

Опыт 4. Генератор электромагнитных волн на 11 ГГц.

1. Рассмотрим школьный генератор СВЧ на 1 МГц. Он предоставляет большие возможности для изучения свойств электромагнитных волн. С его помощью можно демонстрировать отражение, преломление, интерференцию, дифракцию и другие свойства волн. В состав комплекта для исследования электромагнитных волн входят:

1. Блок СВЧ-генератора (рис. 1).

Основными компонентами этого блока являются электронная схема с излучающим диодом Ганна на выходе. Диод Ганна генерирует электромагнитные колебания частотой $11 \pm 1,1$ ГГц (гигагерц) и мощностью 10 мВт (милливатт). Эти колебания генерируются в металлизированном волноводе и излучаются рупорной антенной. Внутри этого блока смонтирован и модулятор (звуковой генератор), который и обеспечивает модулирование электромагнитного

излучения СВЧ-генератора. На боковой стороне блока генератора смонтированы органы управления: включение питания, индикатор (светодиод) включения прибора, переключатель вида звукового сигнала (дискретный, мелодичный, непрерывный), гнезда для прослушивания модулирующего сигнала с помощью телефонов.



Рис. 1.

2. Блок приемника (см. рис. 1) по габаритным размерам и внешней конструкции практически совпадает с блоком СВЧ-генератора. Отличить его можно по той стороне блока, на которой смонтированы органы управления: включение питания, индикатор (светодиод) включения прибора, линейка светодиодов (число светящихся диодов говорит об уровне принимаемого сигнала), регулятор уровня громкости принимаемого сигнала, включение (выключатель) звукового сигнала, гнездо для включения диполь-приемника, гнездо для включения вольтметра (мультиметра) с пределом измерения до 10 В. Диполь-приемник (высокочастотный диод) на стойке предназначен для обнаружения (приема) высокочастотных электромагнитных колебаний. Выводы этого диода соединены с контактами гнезда, закрепленного в нижней части стойки.

Опыт. Излучение и прием электромагнитных волн. Соберем установку, изображенную на рисунке 2. Она состоит из выпрямителя 1, генератора с рупорной антенной 2, приемника с рупорной антенной 3, усилителя НЧ 4 и громкоговорителя 5.

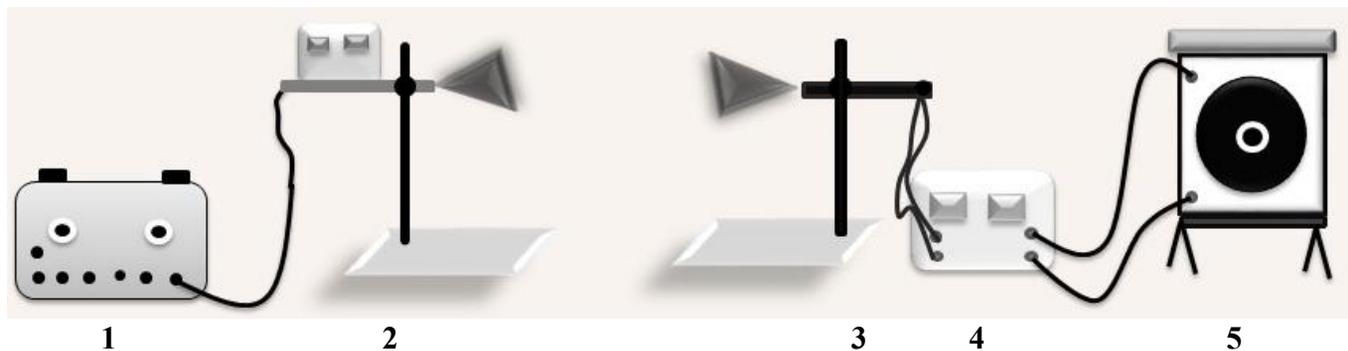


Рис. 2.

Включим источник питания и усилитель НЧ. Если рупорную антенну передатчика направить на рупорную антенну, то в громкоговорителе мы услышим звук.

Проблема. Почему в громкоговорителе мы услышим звук?

Ответ. При работе генератора СВЧ колебания НЧ модулируют колебания СВЧ, поэтому из антенны (рупора) генератора излучаются модулированные электромагнитные волны СВЧ. Рупорная антенна приемника принимает эти волны, детектирует их и направляет их на усилитель НЧ, а с него на громкоговоритель.

Опыт 5. Отражение и интерференция электромагнитных волн.

1. Отражение электромагнитных волн – явление, возникающее при падении электромагнитной волны на металлическую пластинку и состоящее в образовании волн, распространяющихся от металлической пластинки в ту же среду, из которой пришла падающая волна. Падающая волна вызывает колебания электронов в металлической пластинке, что приводит к возникновению отраженной волны. Пусть луч 1 будет лучом падающей волны, а луч 2 – лучом отраженной волны, при этом угол отражения β равен углу падения волны α (рис. 1).

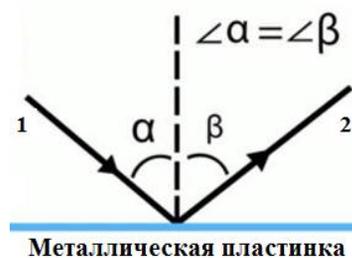


Рис. 1.

Законы отражения электромагнитных волн: «Угол отражения равен углу падения. Лучи падающий и отраженный лежат в одной плоскости».

2. Опыт 5.1. Отражение электромагнитных волн.

Соберем установку, состоящую из выпрямителя ВУП 2, генератора с рупорной антенной (а), металлического листа (б), приемника с рупорной антенной (в), усилителя низкой частоты (г) и демонстрационного вольтметра (рис. 2). Включим выпрямитель и усилитель НЧ. Если угол отражения равен углу падения, то стрелка вольтметра отклонится.

Проблема. Почему стрелка вольтметра отклонится?

Ответ. Стрелка вольтметра отклонится потому, что выполняются законы отражения.

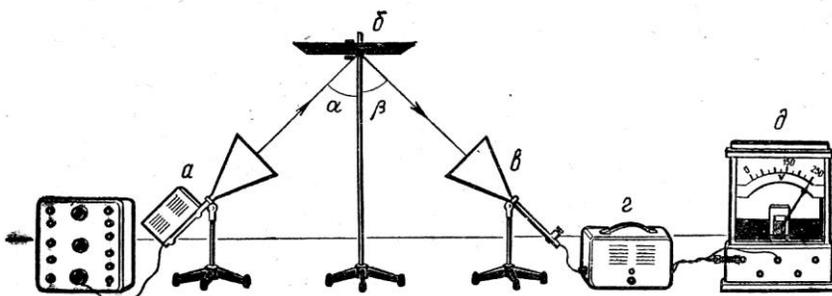


Рис. 2.

3. Интерференция электромагнитных волн. Интерференция возникает при наложении, так называемых, когерентных волн. Когерентные волны — это волны одинаковой частоты и с постоянной разностью фаз. Результат интерференции волн зависит от геометрической разности хода волн. Если в точке приема электромагнитных волн разность хода волн равна четному числу полувольт будет интерференционный максимум (отклонение стрелки вольтметра будет большим), а в точках, где разность хода волн равна нечетному числу полувольт будет интерференционный минимум (стрелка вольтметра практически не отклонится).

Опыт 5.2. Интерференция электромагнитных волн.

Соберем установку, состоящую из выпрямителя, генератора с рупорной антенной (А), металлического листа (С), приемника с рупорной антенной (В), усилителя низкой частоты и демонстрационного вольтметра (рис. 3).

Выпрямитель, усилитель НЧ и вольтметр на рисунке не показаны. Включим выпрямитель и усилитель НЧ. Если перемещать металлический лист по вертикали вверх и вниз, то стрелка вольтметра будет колебаться.

Проблема. Почему стрелка вольтметра будет колебаться?

Ответ. Стрелка вольтметра будет колебаться потому, что при разных положениях металлического листа разность хода электромагнитных волн (прямой и отраженной) будет изменяться, и вследствие этого будут возникать интерференционные максимумы и минимумы.

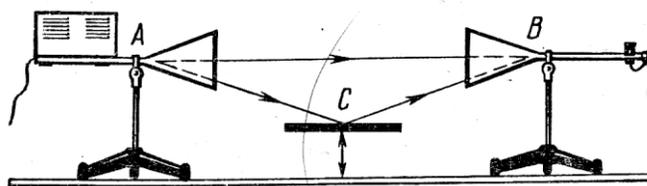


Рис. 3.

Вместо громкоговорителя к выходу приемника СВЧ можно подключить «Датчик напряжения» цифровой лаборатории PASCО и наблюдать на мониторе осциллограмму принятых колебаний.

Опыт 6. Дифракция электромагнитных волн.

Дифракция – процесс искривления электромагнитных волн при прохождении их у края непрозрачных тел или сквозь небольшие отверстия.

Дифракция проявляется в тех случаях, когда длина электромагнитной волны сравнима с размером препятствия.



Рис. 1.

Явление дифракции в природе наблюдается на длинных и средних радиоволнах. Длина этих волн сравнима с размерами Земли, и вследствие этого происходит дифракция этих волн над поверхностью Земли, и дальность приема радиопередач значительно увеличивается (рис. 1).

Иногда в некоторых квартирах, имеющих коллективную телевизионную антенну на крыше дома, возникают помехи при приеме телепередач. Это происходит из-за того, что телевизионный сигнал, приходящий в телевизионную приемную антенну, является суммой рассеянного, отраженного и дифракционного сигналов.

Опыт. Дифракция электромагнитных волн.

Соберем установку (рис. 2), состоящую из генератора с рупорной антенной, щели между двумя алюминиевыми листами, блока питания, приемника с рупорной антенной, усилителя низкой частоты и вольтметра.

Если размеры отверстия сравнимы с длиной электромагнитной волны, то при передвижении приемника перпендикулярно направлению распространению электромагнитной волны увидим непрерывное изменение показаний вольтметра.

Это будут дифракционные максимумы и минимумы.

Электромагнитные волны согласно принципу Гюйгенса – Френеля в промежутке между пластинами будут

будут представлять источники вторичных волн, от которых будут распространяться вторичные электромагнитные волны, которые будут интерферировать между собой, в результате чего будут возникать интерференционные максимумы и минимумы.



Рис. 2.

Проблема. Почему будут возникать интерференционные максимумы и минимумы.

Ответ. Интерференционные максимумы и минимумы будут возникать потому, что при передвижении приемника его приемная рупорная антенна будет находиться то в интерференционном максимуме, то в минимуме из-за интерференции дифрагирующих волн.

Вместо громкоговорителя к выходу приемника СВЧ можно подключить «Датчик напряжения» цифровой лаборатории PASCO и наблюдать на мониторе осциллограмму дифракции принятых электромагнитных волн.

Опыт 7. Поляризация электромагнитных волн.

1. Поляризация электромагнитных волн — это ориентированность в пространстве электромагнитных колебаний, являющихся перпендикулярными направлению движения волны. Чтобы осуществить поляризацию волны, используют **поляризаторы**, которые способны пропускать электромагнитные волны только с определённой ориентацией.

Пусть естественная электромагнитная волна, в которой колебания вектора E происходят в разных плоскостях, падает на **поляризатор** — устройство, которое поляризует волну, т.е. выделяет электромагнитную волну, в которой колебания вектора E происходят в одной плоскости (рис. 1). В поляризованной волне плоскость колебания вектора E совпадает с плоскостью поляризации поляризатора.

Чтобы проверить, поляризована волна или нет, на пути волны ставят еще один поляризатор, который называют **анализатором**. Если плоскость поляризации анализатора параллельна плоскости колебаний вектора E в электромагнитной волне, то электромагнитная волна пройдет через анализатор (рис. 2).

Если на пути поляризованной волны поставить анализатор так, чтобы его плоскость поляризации была перпендикулярна вектору E в поляризованной электромагнитной волне, то электромагнитная волна через анализатор не пройдет (рис. 3).

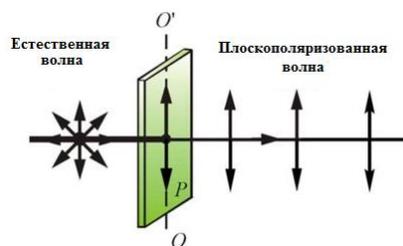


Рис. 1.

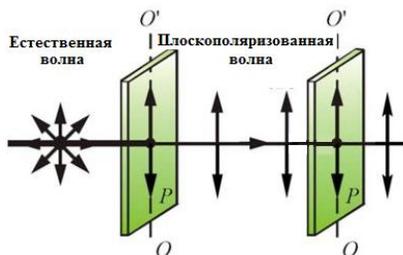


Рис. 2.

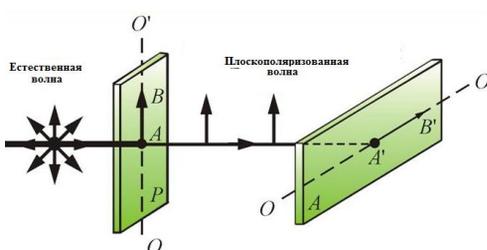


Рис. 3.

Опыт 1. Рассмотрим действие поляризатора и анализатора на опыте. Соберем установку (рис. 4), состоящую из выпрямителя (1), генератора с рупорной антенной (2), поляризатора (3), анализатора (4), приемника с рупорной антенной (5), усилителя НЧ (6) и демонстрационного вольтметра (7) (рис. 4).

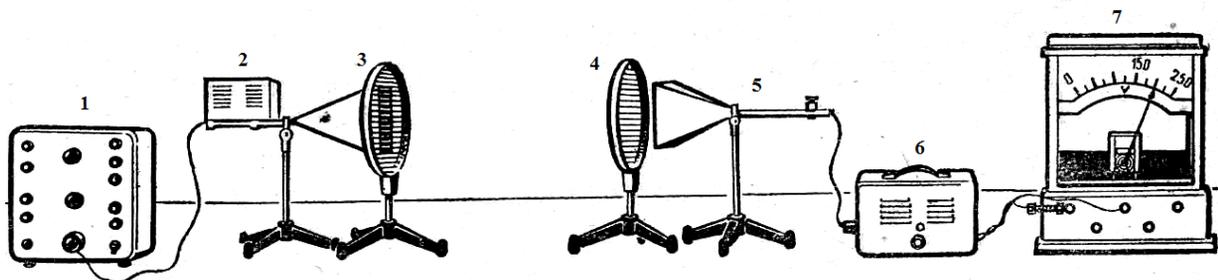


Рис. 4.

Включим выпрямитель и усилитель. Рупорная антенна генератора будет излучать неполяризованные электромагнитные волны. На пути неполяризованных электромагнитных волн поставим поляризатор (3). Из поляризатора выйдут поляризованные электромагнитные волны, колебания вектора E в которых будут находиться в горизонтальной плоскости, так как поляризатор пропускает только волны, поляризованные в горизонтальной плоскости. На пути поляризованных электромагнитных волн поставим горизонтальный анализатор (4), через который поляризованная электромагнитная волна пройдет, так как анализатор пропускает волны только в горизонтальной плоскости, и вольтметр покажет максимальное напряжение.

Если анализатор вращать в вертикальной плоскости, то показания вольтметра будут уменьшаться, так как часть вектора E в электромагнитной волне анализатор не будет пропускать. Когда анализатор повернем на 90° , показания вольтметра будут равны 0, так как он не пропустит электромагнитную волну, колебания вектора E в которой происходят в горизонтальной плоскости.

Проблема. Почему анализатор то пропускает электромагнитную волну, то не пропускает?

Ответ. Если колебания вектора E совпадают с плоскостью поляризации анализатора, то он пропускает электромагнитную волну, а если нет, то не пропускает.

Вместо громкоговорителя к выходу приемника СВЧ можно подключить «Датчик напряжения» цифровой лаборатории PASCO и наблюдать на мониторе осциллограмму поляризации волн.

Опыт 8. Модуляция.

Модулированными колебаниями называются колебания высокой частоты, у которых под воздействием колебаний низкой частоты изменяется амплитуда или частота. В первом случае модуляция называется амплитудной, во втором частотной. Первые опыты передачи речи и музыки с помощью радиоволн методом **амплитудной модуляции** произвёл в 1906 году американский инженер Р. Фессенден. В данном опыте мы будем рассматривать только амплитудную модуляцию (рис. 1).

Допустим, что у нас есть генератор высокой частоты – выше 100 кГц. При модуляции эту частоту называют **несущей частотой** (рис. 1б). Электромагнитная волна с такой частотой может распространяться на тысячи километров. Но такая волна не несет никакой информации.

Кроме этого у нас есть звуковой генератор (или другой источник звука), вырабатывающий электрические колебания с низкой частотой от 20 Гц до 20 000 Гц (рис. 1а). Если мы будем низкочастотный сигнал накладывать на несущую частоту, то результирующий сигнал будет называться **амплитудно модулированным сигналом** (рис. 1в).

На рисунке 2 представлена одна из схем амплитудной модуляции. Она состоит из генератора высокой частоты, в цепь питания которого включена первичная обмотка трансформатора. На вторичную обмотку трансформатора подается напряжение звуковой частоты от звукового генератора. Когда из источника тока течет ток подзарядки колебательного контура, на него накладываются электрические колебания звуковой частоты. Следовательно, колебания в колебательном контуре будут изменяться в такт со звуковой частотой, что и видно на экране осциллографа.

Опыт. Амплитудная модуляция.

Соберем установку (рис. 3), состоящую из звукового генератора, угольного микрофона, осциллографа и камертона.

Включим звуковой генератор и осциллограф. Установим частоту генератора 10 кГц. На экране осциллографа будет видна хаотичная осциллограмма. Вращая ручки осциллографа «Уровень входа», «Частота» и «Синхронизация», получим осциллограмму, представляющую устойчивую синусоиду высокой частоты.

Возьмем камертон, поднесем его ящик открытым концом к угольному микрофону и ударим по ножке камертона резиновым молоточком. На экране осциллографа появятся амплитудно модулированные колебания.

Проблема. Почему на экране осциллографа возникают амплитудно модулированные колебания?

Ответ. Потому что на высокочастотные колебания накладываются низкочастотные, которые изменяют амплитуду колебания ВЧ. Камертон будет излучать звуковую волну, которая, дойдя до микрофона, будет его деформировать со звуковой частотой. При деформации микрофона угольный порошок, находящийся в нем, будет периодически сжиматься и расширяться, вследствие чего его сопротивление будет изменяться. Значит, электрический ток, проходящий через него, будет то увеличиваться, то уменьшаться. Поэтому и напряжение на микрофоне, а, следовательно, на входе осциллографа будет изменяться со звуковой частотой.

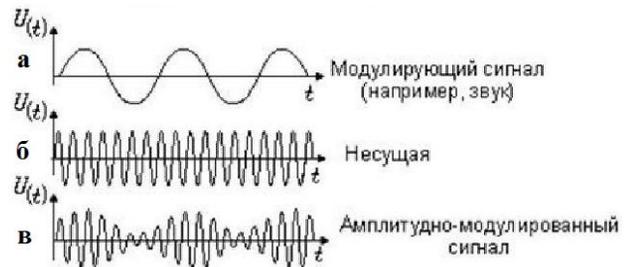


Рис. 1.

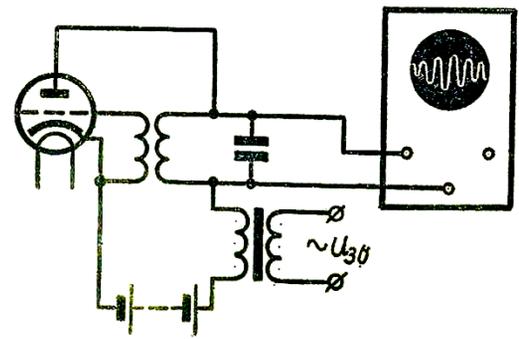


Рис. 2.

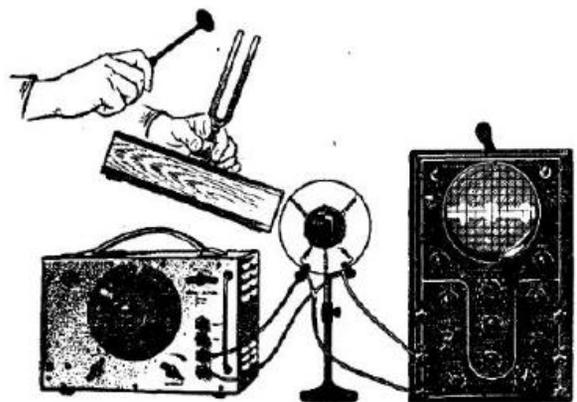


Рис. 3.

Опыт 9. Радиопередатчик модулированных колебаний на СВ.

1. Радиопередатчик модулированных колебаний состоит из генератора колебаний высокой частоты, модулятора, источника колебаний низкой частоты и источника питания. Генератор выполнен на радиолампах или на транзисторах. Он представляет автоколебательную систему, состоящую из колебательного контура, электронного переключателя, катушки обратной связи, модулятора и источника питания (рис. 1). В колебательном контуре генератора вырабатываются затухающие



Рис. 1.

высокочастотные колебания, так как в нем происходят потери энергии в проводах катушки, в сердечнике катушки (на перемагничивание сердечника) и в диэлектрике конденсатора (на переполаризацию диэлектрика). Чтобы колебания не были затухающими, в колебательном контуре с помощью катушки обратной связи, переключающего устройства и источника питания периодически пополняется энергия от источника питания. В этом случае генератор вырабатывает незатухающие колебания высокой частоты. Чтобы на них наложить колебания низкой частоты, к генератору подключается особое устройство – модулятор. Чтобы осуществить амплитудную модуляцию, необходимо в цепь питания включить модулирующий трансформатор. На него подаются электрические колебания НЧ от звукового генератора, магнитофона, мобильного телефона и т.д.

Опыт. Радиопередатчик модулированных колебаний на СВ.

Соберем схему радиопередатчика (рис. 2). Она состоит из колебательного контура L_2C_2 , катушки обратной связи L_1 , транзистора VT_1 , резистора R_1 , разделительного конденсатора C_1 , модулирующего трансформатора T_1 , шунтирующего конденсатора C_3 , ключа S_1 , звукового генератора и источника питания GB_1 . Кроме этого нужен звуковой генератор и вещательный радиоприемник с диапазоном СВ. При замыкании ключа, генератор начинает вырабатывать незатухающие колебания высокой частоты. Для модулирования этих колебаний изменяют амплитуду колебаний ВЧ с помощью трансформатора, на вторичную обмотку которого подают сигнал НЧ от звукового генератора. На вторичной обмотке трансформатора возникает ЭДС индукции, изменяющейся по величине со звуковой частотой. Эта ЭДС индукции создает в коллекторной цепи транзистора ток индукции, который складывается или вычитается с током источника тока. В результате чего пополнение энергии колебательного контура происходит со звуковой частотой, и в колебательном контуре возникают модулированные колебания ВЧ. Следовательно, и сам генератор вырабатывает модулированные колебания и излучает их в эфир с помощью антенны WA_1 . Принять радиоволну и послушать низкочастотный сигнал можно на любой вещательный приемник в средневолновом диапазоне СВ.

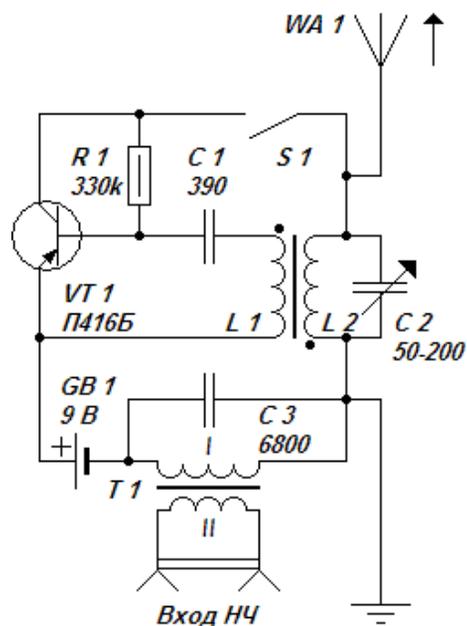


Рис. 2.

Проблема. Почему модулированные колебания ВЧ излучаются антенной в эфир?

Ответ. При попадании колебаний ВЧ в антенну в ней возникают колебания тока с частотой ВЧ. Эти колебания электрического тока создают переменное магнитное поле, которое создает вихревое электрическое поле. Вихревое электрическое поле создает переменное магнитное поле и т.д. Таким образом, антенной излучается модулированная радиоволна.

Опыт 10. Приемник модулированных колебаний СВ. Демонстрация радиопередачи.

1. Самым простым приемником, который является основой всех типов радиоприемников, является детекторный радиоприемник, состоящий из колебательного контура, к которому подключены антенна и заземление, и диодного детектора, осуществляющего детектирование (демодуляцию) амплитудно-модулированного сигнала. Сигнал звуковой частоты с выхода детектора, как правило, воспроизводится высокоомными наушниками. Настройка приёмника на частоту радиостанции производится изменением индуктивности контурной катушки или ёмкости конденсатора (рис. 1). Очень важным достоинством детекторного радиоприемника является то, что он не требует источника питания.

Работает детекторный радиоприемник следующим образом. Электромагнитная волна, идущая от радиостанции, попадает на антенну и вследствие явления электромагнитной индукции вызывает в ней переменный электрический ток, модулированный колебаниями низкой частоты (см. график колебаний в т.1 – $u_1(t)$).

Этот ток поступает на колебательный контур L2C1. Если частота собственных колебаний колебательного контура совпадает с частотой электромагнитных колебаний,

поступающих в него из антенны, то возникает явление электрического резонанса. Если частота колебательного контура отличается от частоты принятой электромагнитной волны, то колебательный контур настраивают в резонанс с колебаниями, поступающими с антенны. Для этого вращают ручку конденсатора переменной емкости колебательного контура (в радиоприемниках эта ручка называется «Настройка»). Затем эти колебания проходят через диод, который обрезает отрицательную часть колебаний (см. график колебаний в точке 2 – $u_2(t)$). После этого колебания поступают на фильтр, состоящий из конденсатора и резистора, в котором выделяется низкочастотная модуляция (см. график в точке 3 – $u_3(t)$). Этот процесс называется **детектированием**. Затем низкая частота подается на высокоомный телефон.

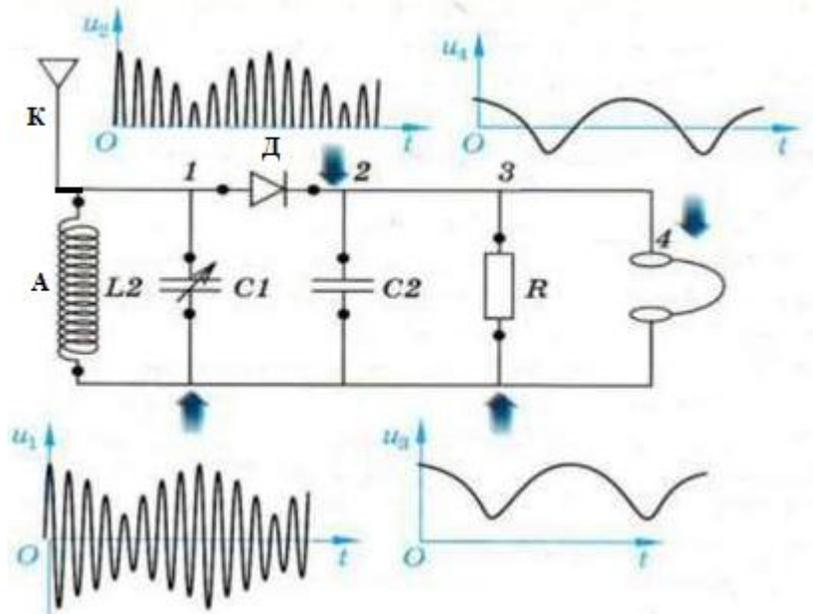


Рис. 1.

2. Опыт. Детекторный радиоприемник.

Соберем схему (см. рис. 2). Она состоит из антенны (1), колебательного контура (2), диода (3), конденсатора фильтра (4) резистора фильтра (5), головных телефонов (6) и осциллографа.

Включим радиопередатчик (см. Опыт 9) и осциллограф.

После настройки на передающую радиостанцию вы услышите в головных телефонах звуковой сигнал, а на экране осциллографа увидите осциллограмму принятого сигнала.

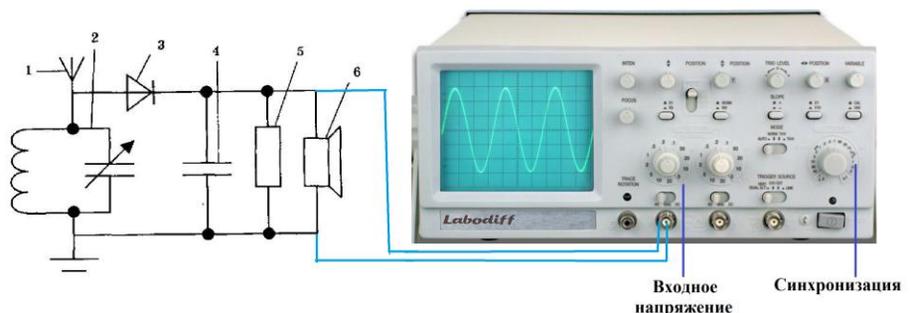


Рис. 2.

Проблема. Почему на экране осциллографа будет осциллограмма принятого сигнала?

Ответ. Потому что колебательный контур приемника настроен в резонанс с колебаниями передающей радиостанции. Эти колебания детектировали, и фильтр детектора отделил колебания НЧ от колебаний ВЧ, которые пошли на телефон и вход У осциллографа.

Вместо осциллографа к выходу детекторного радиоприемника можно подключить «Датчик напряжения» цифровой лаборатории PASCO и наблюдать на мониторе осциллограмму принятых электромагнитных колебаний.

Опыт 11. Передача и прием электромагнитных волн. Определение длины электромагнитной волны.

1. Демонстрационные передатчик и приемник электромагнитных волн.



Рис. 1.

Устройство, с помощью которого можно получить электромагнитные колебания высокой частоты, называется генератором (рис. 1). Когда он работает, в его колебательном контуре образуются электромагнитные колебания высокой частоты, которые излучаются в виде радиоволн передающей антенной.

Простейший приемник состоит из приемной антенны, электрической лампочки и колебательного контура (рис. 2).

Настроив приемный колебательный контур в резонанс с колебаниями генератора токов высокой частоты, можно осуществить передачу и прием электромагнитных волн.

Испытывается генератор с помощью испытательного кольца (рис. 3) диаметром до 70 мм с электрической лампочкой 2,5 в, включенной в разрыв кольца. Кольцо делается из такой же проволоки, как и катушка, и укрепляется на изоляционной ручке, чтобы было удобно держать его в руке.



Рис. 2.

Когда виток с лампочкой подносится к катушке генератора, лампочка должна загораться.

Изменяя положение движка на катушке генератора, добиваются лучшего горения лампочки (конденсатор C_3 должен находиться в среднем положении).

Приемный колебательный контур изображен на рисунке 2. Он состоит из катушки и конденсатора переменной емкости.

Настраивая переменным конденсатором приемный контур в резонанс с колебаниями генератора, замечаем горение индикаторной лампочки в цепи контура. При нарушении

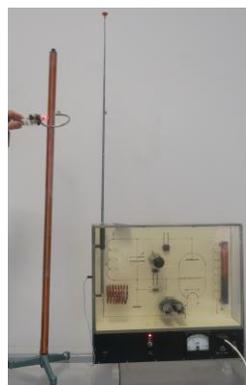
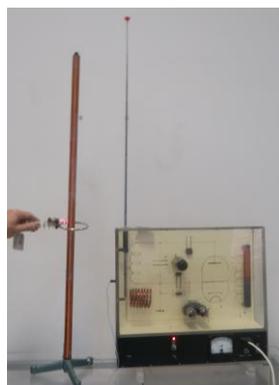


Рис. 3.

резонанса лампочка гаснет.

Если в разрыв высоковольтного провода, идущего к аноду лампы генератора, включить телеграфный ключ и нажимать его согласно знакам телеграфной азбуки, то лампочка в приемном контуре будет вспыхивать каждый раз, когда ключ замкнут. Таким образом можно передать радиограмму, используя азбуку Морзе.

2. Определение длины электромагнитной волны (линейкой).



С помощью генератора токов высокой частоты можно показать образование стоячих электромагнитных волн и измерить частоту генератора.

Для этого на стеклянную трубку диаметром 20 – 25 мм и длиной до 1 м наматывается провод в бумажной или эмалевой изоляции диаметром 0,4 – 0,5 мм и длиной 30 – 50 м.

Трубка с намотанным проводом укрепляется вертикально в какой-нибудь подставке.

Присоединив такую катушку одним концом к катушке генератора (другой остается свободным), берем приемный виток с индикаторной лампочкой и, надев его на трубку,

перемещаем вдоль намотки. При включенном генераторе лампочка при перемещении витка будет зажигаться в определенных местах, а при дальнейшем движении гаснуть. Если к этому же приемному витку присоединить еще небольшую неоновую лампочку (например, типа МН-4), как это показано на рисунке, и снова перемещать виток вдоль трубки с намоткой, то мы заметим, что лампочки будут зажигаться попеременно. Там, где зажигается неоновая лампочка, электрическая лампочка не горит и наоборот.

Токи высокой частоты, распространяясь вдоль провода, намотанного на стеклянной трубке, и дойдя до конца его, отражаются обратно и, складываясь с первоначальными колебаниями, образуют стоячие волны.

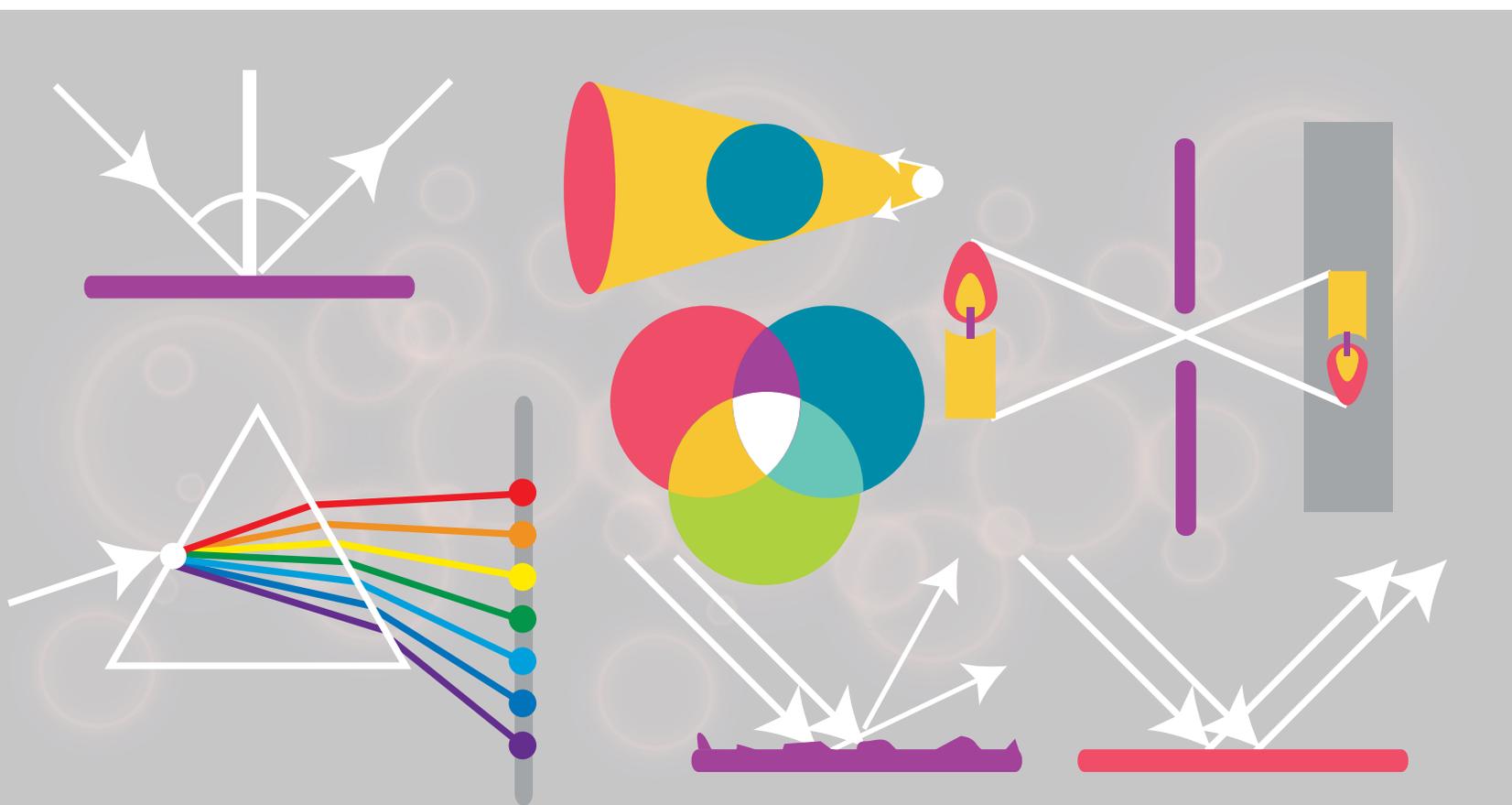
Стоячие волны характеризуются узлами тока, в которых электрическое поле имеет максимальную величину, и пучностями напряжения, в которых максимальна напряженность поля.

Электрическая лампочка горит в узлах тока, неоновая — в пучностях напряжения.

Расстояние между двумя наиболее яркими вспышками тех или других лампочек везде одинаково и равно половине длины волны колебаний, излучаемых генератором. Измерив расстояние между вспышками, определим половину длины волны генератора. Помножив результат на два, получим полную длину волны. По полученной длине волны в метрах можно подсчитать частоту в килогерцах.



ОПТИКА



Демонстрация 1. Источники света.

1. Источник света – любой объект, излучающий электромагнитную энергию в видимой области спектра. По своей природе источники света подразделяются на искусственные и естественные. Естественные источники света делятся на неживые и живые. В физике пользуются идеализированными моделями точечных и непрерывных источников света.

Механизм излучения света. Свет излучается атомами. Энергия атомов носит дискретный характер и изменяется определёнными скачками, своими для каждого атома. Эти установленные возможные значения энергий атомов получили названия энергетических или квантовых уровней. Электроны, находясь на одном из высших энергетических уровней, самопроизвольно переходят на более низкие через промежуток времени порядка 10^{-8} секунды. При этом самопроизвольный переход из низшего состояния в любое другое невозможен. Этот уровень называется **основным**, в то время, как остальные – **возбуждёнными**. В нормальных условиях все атомы находятся в своих основных энергетических состояниях. Для того, чтобы возбудить атом, ему необходимо сообщить некоторую энергию, причём для каждого атома существует определённая наименьшая порция энергии, переводящая из основного состояния в возбуждённое (так, для водорода эта величина равна 10,1 эВ – это энергетическое расстояние между его первым и вторым энергетическими уровнями). **При переходе из более высоких состояний в более низкие испускается порция энергии – фотон** (рис. 1). Согласно формуле Планка испускаемая энергия рассчитывается по формуле $\Delta E = h \nu$.

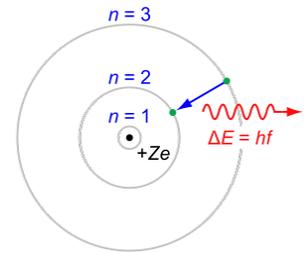


Рис. 1.

• **Искусственные источники света** – технические устройства различной конструкции и с различными способами преобразования энергии, основным назначением которых является получение светового излучения. В источниках света используется в основном электроэнергия, но также иногда применяется химическая энергия и другие способы генерации света (например, триболюминесценция, радиоломинесценция и др.).

К ним относятся:

- Электрические – электрический нагрев тел или плазмы, Джоулево тепло, вихревые токи, потоки электронов или ионов, Солнце, полярные сияния, молнии.
- Ядерные – распад изотопов или деление ядер.
- Химические – горение (окисление) топлива и нагрев продуктов сгорания.
- Электролюминесцентные – непосредственное преобразование электрической энергии в световую в полупроводниках (светодиоды, лазерные светодиоды) или люминофорах, преобразующих в свет энергию электрического поля либо преобразующих в свет энергию потока электронов (катодно-люминесцентные).
- Биоломинесцентные – бактериальные источники света в живой природе (светлячки, планктон и т.д.)

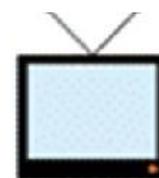
Демонстрация 1. Различные виды источников света. Показать свечение разных источников света.



Естественные.



Тепловые.



Люминесцентные.

Проблема. Как источник света излучает свет?

Ответ. Механизм излучения источников света одинаковый для всех источников света. За счет энергии, которую атомы вещества получают извне (электрическую, химическую, тепловую и т.д.) электроны в атомах переходят с основного уровня на более высокий. Через 10^{-8} с электроны возвращаются на основную орбиту, излучая при этом квант света.

Демонстрация 2. Голография.

1. Голография (др.-греч. полный – пишу) – набор технологий для точной записи, воспроизведения и переформирования волновых полей электромагнитного излучения в оптическом диапазоне, особый фотографический метод, при котором с помощью лазера регистрируются, а затем восстанавливаются изображения трехмерных объектов, в высшей степени похожие на реальные.

В 1962 г. советский физик Юрий Николаевич Денисюк предложил перспективный метод голографии с записью в трехмерной среде. В этой схеме луч лазера (1) расширяется линзой (2) и направляется зеркалом (3) на фотопластинку (4). Часть луча, прошедшая через неё, освещает объект (5). Отраженный от объекта свет формирует объектную волну (рис. 1). Как видно, объектная и опорная волны падают на пластинку с разных сторон (т. н. схема на встречных пучках). В этой схеме записывается отражающая голограмма, так как на пластинке происходит интерференция двух волн, которая самостоятельно вырезает из сплошного спектра узкий участок (участки) и отражает только его (т.о. выполняя роль светофильтра). Благодаря этому изображение голограммы видно в

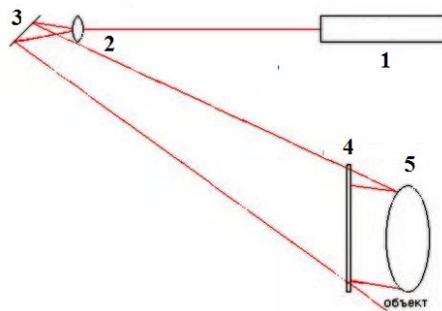


Рис. 1.

обычном белом свете солнца или лампы. Изначально голограмма вырезает ту длину волны, на которой её записывали, что позволяет записать на одну пластинку три голограммы одного объекта красным, зелёным и синим лазерами, получив в итоге одну цветную голограмму, которую практически невозможно отличить от самого объекта. Эта схема отличается предельной простотой. Именно такие схемы применяются при записи любительских голограмм. Как уже указывалось выше, такие голограммы можно посмотреть с разных сторон, используя любой источник естественного белого цвета (рис. 2).



Рис. 2.

Опыт. Рассмотрим три голограммы, имеющихся в музее «Нижегородская радиолaborатория» ННГУ им. Н.И. Лобачевского (рис. 3). Если их не освещать светом, то мы ничего не увидим. Если осветить голограммы светом от яркой лампы, то мы увидим разные объемные изображения.



Рис. 3.

Проблема. Почему мы видим изображения на освещенных голограммах?

Ответ. Изображения на освещенных голограммах мы видим потому, что на фотоэмульсии на каждом участке голограмм записаны интерференционные максимумы и минимумы тех цветовых лучей, которые падали на них при фотосъемке голограмм.

Поэтому эти темные и светлые участки (максимумы и минимумы) дают объемную полноцветную картину (рис. 3).

Опыт 2. Направим свет от источника света (рис. 4) на среднюю голограмму. Получится цветная объемная голограмма подводного мира.

Проблема. Что произойдет, если ее осветить красным светом, поставив между лампой и голограммой красный светофильтр?

Ответ. Голограмма будет черно-белой с красными областями. Дело в том, что красный светофильтр пропускает только красные лучи. Поэтому от голограммы будут идти только красные лучи. Лучи от остальных частей голограммы будут черными или черно-белыми в зависимости от качества светофильтра.

Рис. 4.



Демонстрация 3. Фотоэффект.

1. Фотоэффект или **фотоэлектрический эффект** – испускание электронов веществом под действием света или любого другого электромагнитного излучения. Существует внешний и внутренний фотоэффект.

Внешний фотоэффект. Поместим на электрометр цинковую пластинку и зарядим ее отрицательно. Осветим ее ультрафиолетовыми лучами (рис. 1). Электрометр сначала начнет разряжаться, а потом заряжаться положительно. Это происходит потому, что энергия фотонов ультрафиолетовых лучей больше, чем работа выхода электронов из цинка, и они выбивают электроны из цинка. Это явление называется внешним фотоэффектом. У каждого металла есть длинноволновая граница фотоэффекта (красная граница), начиная с которой энергия фотона падающего света больше работы выхода электрона из металла. Например, у Zn $\lambda_{кр} = 310$ нм, у Na – 540 нм.

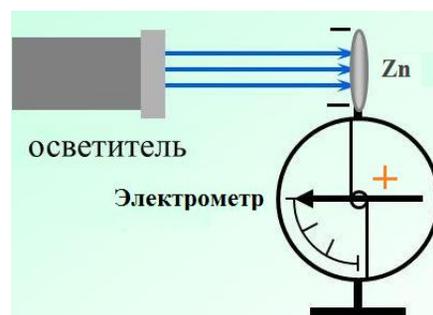


Рис. 1.

2. Внутренний фотоэффект. Рассмотрим стеклянный баллон, в который вставлены два электрода – катод и анод – и выкачан воздух. Катод выполнен в виде полусферы, внутренняя поверхность которого покрыта материалом с малой работой выхода, чаще всего серебрено-сурьмяным сплавом, обладающим малой работой выхода электронов (рис. 2). Такой прибор называется фотоэлементом. Источник тока создает в фотоэлементе электрическое поле. При попадании света на катод фотоэлемента фотоны света выбивают из него электроны, которые под действием электрического поля будут

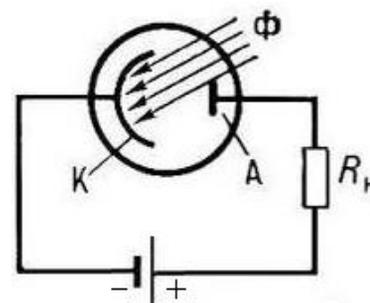


Рис. 2.

двигаться к аноду. В цепи возникает фотоэлектрический ток. Электроны, вылетающие из катода фотоэлемента, не выходят в окружающее пространство. Поэтому такой фотоэффект называется внутренним фотоэффектом. Чаще всего он применяется в вакуумных фотоэлементах, полупроводниковых фоторезисторах и полупроводниковых фотоэлементах, из которых создают солнечные батареи.

Опыт 1. Внешний фотоэффект. Соберем установку, состоящую из осветителя, в котором применяется дуговая лампа, свет от которой содержит ультрафиолетовые лучи, цинковую пластинку и электрометр (рис. 3). Зарядим электрометр отрицательно. Включим осветитель и направим лучи света на цинковую пластинку. Стрелка электрометра сначала спадет до 0, а потом поднимется.

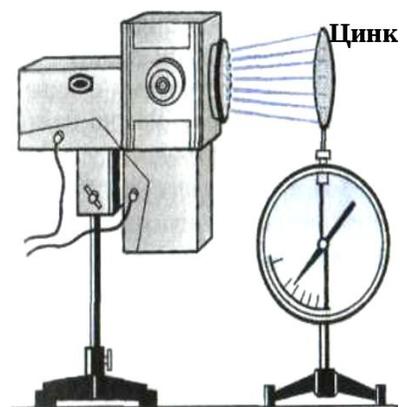


Рис. 3.

Проблема. Почему фотоэффект в цинковой пластинке не вызывается обычным светом, а только ультрафиолетовым?

Ответ. Потому что красная граница фотоэффекта лежит в начале ультрафиолетовой области.

Проблема. Почему стрелка так себя ведет – то опускается, то поднимается?

Ответ. Вначале цинковая пластинка и электрометр заряжены отрицательно. Когда на цинковую пластинку падают ультрафиолетовые лучи, они выбивают электроны из цинка, цинковая пластинка и электроскоп разряжаются. В дальнейшем электроны квантами света будут выбиваться из цинковой пластинки и электрометра, электроны со стрелки электроскопа будут подниматься вверх, заряд цинковой пластинки и электрометра станет положительным. Это можно проверить, отключив источник света и поднеся к цинковой пластинке эбонитовую или стеклянную палочку.

Опыт 2. Внутренний фотоэффект. Фотоэффект в фоторезисторе.

Соберем электрическую цепь (рис. 4). Если замкнем ключ К, то по цепи потечет электрический ток. Осветим фоторезистор.

Проблема. Что произойдет с силой тока в цепи?

Ответ. Сила тока увеличится, так как кванты света, попадая в полупроводник, разрушают ковалентные связи, и число носителей тока увеличится.

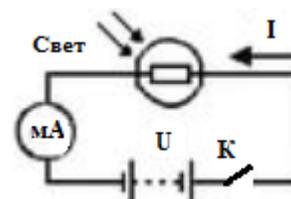


Рис. 4.

Опыт 3. Демонстрация работы солнечной батареи с электромотором.

Оборудование: солнечная батарея, электромотор, мощный осветитель.

Опыт 1. Прямолинейное распространение света.

1. Обобщением всех законов геометрической оптики является всего лишь один принцип, так называемый принцип наименьшего времени или иначе – принцип Ферма. Принцип был назван в честь французского математика, который впервые его сформулировал. Определение: распространение света из одной точки к другой происходит по такому пути, прохождение которого требует минимального времени по сравнению с любыми другими путями между этими точками. Закон прямолинейного распространения света был выведен на основе данного принципа. В самом деле, какая линия является кратчайшим путем между двумя точками? Конечно, прямая, а это значит, что луч света, который распространяется по прямой, затратит наименьшее время при распространении в прозрачной, оптически однородной среде.

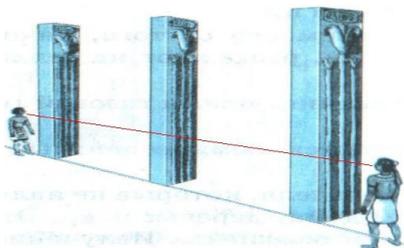
Закон прямолинейного распространения света:

Свет в однородной среде распространяется прямолинейно.

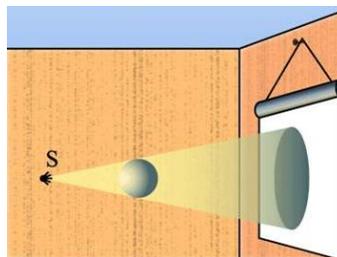
Доказательством этого закона является наличие тени с резкими границами от непрозрачных предметов при освещении их источниками малых размеров.

Тень, отбрасываемая предметом, обусловлена прямолинейностью распространения световых лучей в оптически однородных средах.

Астрономической иллюстрацией прямолинейного распространения света и, в частности, образования тени и полутени может служить затенение одних планет другими, например затмение Луны, когда Луна попадает в тень Земли, и солнечное затмение.



Установка столбов по прямой линии в древности.



Образование тени.

2. Опыт. Прямолинейное распространение света.

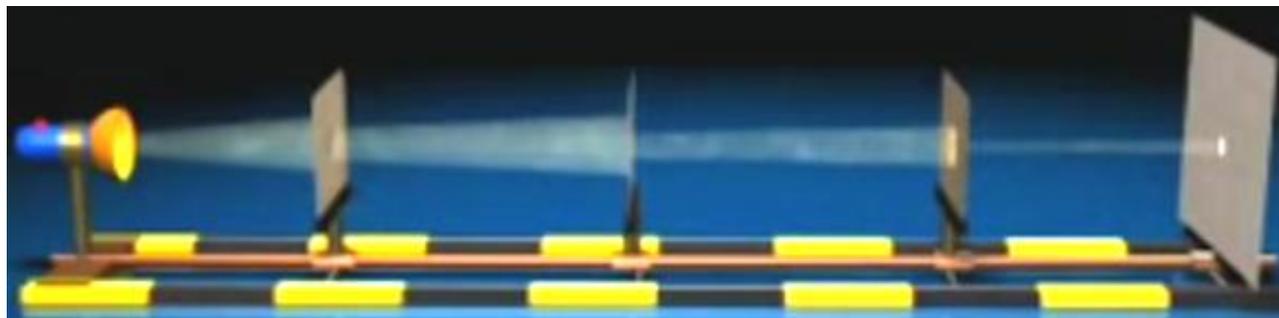


Рис. 1.

Соберем установку на оптической скамье (рис. 1), состоящую из источника света, трех экранов с отверстиями и белого экрана. Расположим все приборы на прямой линии. Луч, проходя от источника света через отверстия в экранах с отверстиями, попадет на последний экран.

Если отодвинуть 3-й экран так чтобы свет через него не проходил, то и на последний экран свет не попадет (рис. 2).

Проблема. Почему, отодвигая 3-й экран, мы не увидим света на конечном экране?

Ответ. Если отодвинуть 3-й экран так, чтобы свет через него не проходил, то и на последний экран свет не попадет.

Это происходит на основании закона прямолинейного распространения света.

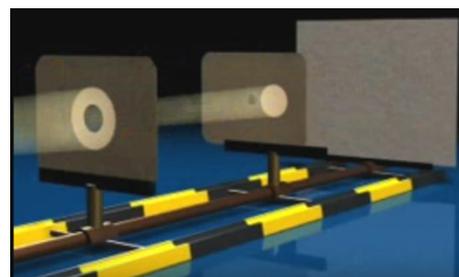


Рис. 2.

Опыт 2. Отражение и преломление света. Оптическая шайба.

1. Отражение света – возникновение вторичных световых волн, распространяющихся от границы раздела двух сред обратно в первую среду, из которой первоначально падал свет. Несамосветящиеся тела становятся видимыми вследствие отражения света от их поверхностей.

Существует два вида отражения света – диффузное и зеркальное (рис. 1). При диффузном отражении меняется характер отраженного пучка света. При зеркальном отражении характер отраженного пучка не меняется.



Рис.1.

Рассмотрим зеркальное отражение. Пусть на зеркало падает световой луч (1) под углом α . Он отражается от зеркальной поверхности под углом β . При зеркальном отражении угол $\beta = \alpha$. Существуют два закона отражения света:

1. Угол отражения равен углу падения (рис. 2).
2. Лучи падающий и отраженный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точке падения.

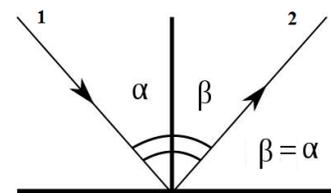


Рис.2.

Опыт 2.1. Отражение света.

Возьмем оптическую шайбу (рис. 3), укрепим в центре О плоское зеркало. Подключим ее осветитель к источнику света. Направим луч света (А) от источника света в центр оптической шайбы на плоское зеркало под углом 45° . Падающий луч отразится и появится отраженный луч (В), причем под таким же углом к зеркалу.

Проблема. Если на плоское зеркало будет падать луч под углом 30° , под каким углом будет идти отраженный луч?

Ответ. Отраженный луч отразится под углом 30° на основании закона отражения света.

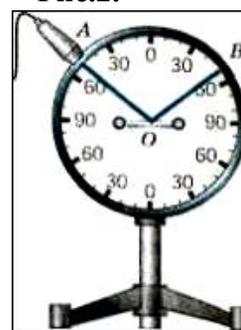


Рис. 3.

2. Преломление света.

Преломление (рефракция) – изменение направления луча света, возникающее на границе двух сред с разной оптической плотностью.

Оптическая плотность среды определяет скорость света в среде. Чем меньше оптическая плотность среды, тем больше скорость света в среде и наоборот. Пусть луч света идет из среды с меньшей оптической плотностью в среду с большей оптической плотностью (рис. 4). Из рисунка видно, что направление луча изменилось. Это называется преломлением луча. Угол α_1 называется углом падения. Угол α_2 называется углом преломления. При изменении угла падения будет изменяться и угол преломления. Эти углы связаны соотношением $\sin \alpha_1 / \sin \alpha_2 = n$, где n – показатель преломления второй среды относительно первой.

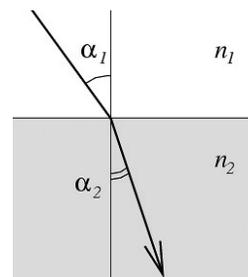


Рис. 4.

Существуют два закона преломления света:

1. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная, равная показателю преломления второй среды относительно первой.
2. Лучи падающий и преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точке падения».

Опыт 2.2. Преломление света.

Возьмем оптическую шайбу (рис. 5), укрепим в центре О стеклянный полуцилиндр. Подключим ее осветитель к источнику света. Направим луч света (2) от источника света в центр оптической шайбы на плоское зеркало под углом 45° . Преломленный луч выйдет из оптической шайбы под углом 20° . При изменении угла падения будет изменяться и угол преломления

Проблема. Если на стеклянном полуцилиндре луч света преломляется, то при выходе из полуцилиндра он не преломляется. Почему?

Ответ. Это происходит потому, что при выходе из полуцилиндра луч света падает перпендикулярно к поверхности, а такие лучи не преломляются.

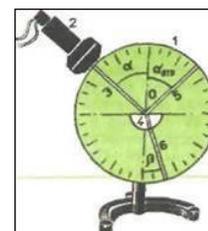


Рис. 5.

Опыт 2.3. Преломление на плоскопараллельной пластинке и призме.

Опыт 2.4. Полное внутреннее отражение в призме и в стекловолокне. Свет, завязанный в узел.

Рассказать о волоконной оптике. Продемонстрировать нижегородские оптоволоконные кабели.

Опыт 3. Зеркала и линзы.

1. Плоское зеркало – оптический прибор с плоской отражающей поверхностью. Чтобы построить изображение точки в плоском зеркале, достаточно продолжить отраженные лучи до их пересечения или отложить от зеркальной плоскости в противоположную сторону по перпендикуляру расстояние S' , равное расстоянию S до предмета (рис. 1).

Изображение в плоском зеркале является мнимым, равным предмету по размерам, одинаковым по форме, цвету и положению, симметрично расположенным относительно зеркальной поверхности, но правые и левые части предмета и изображения меняются местами.

Плоские зеркала широко применяются в перископах, косметике, катафотах и уголковых отражателях (рис. 2).

Демонстрация. Уголковый отражатель.

2. Сферические зеркала – оптический прибор с вогнутой или выпуклой отражающей поверхностью. Сферические зеркала бывают вогнутые и выпуклые (рис. 3).

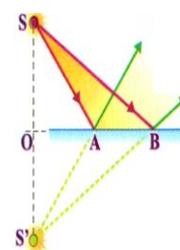


Рис. 1.

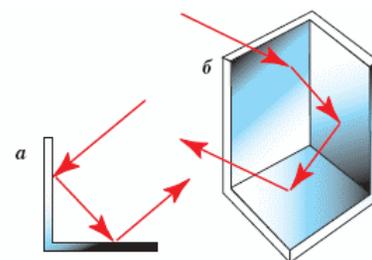


Рис. 2.

В вогнутом зеркале можно получить три разных изображения в полном соответствии с формулой зеркала

$$1/F = 1/d + 1/f \text{ (рис. 3).}$$

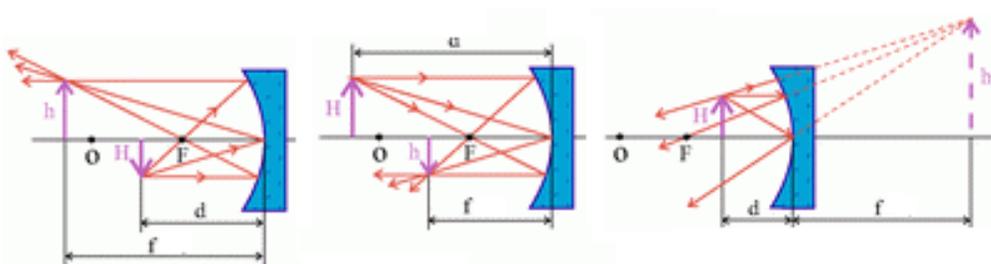
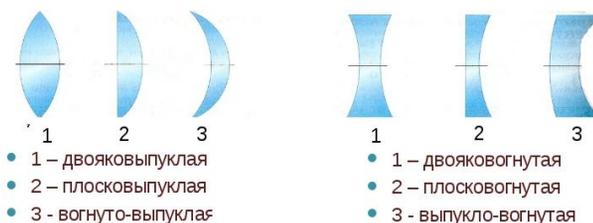


Рис. 3.

Изображения в вогнутых зеркалах получаются действительными, мнимыми, увеличенными или уменьшенными.

Демонстрация. Получение разных изображений в зеркале Питке. **Рассказать о комнате смеха.**

3. Линзы – оптический прибор, изготовленный из прозрачного материала, у которого есть хотя бы одна сферическая поверхность (рис. 4). Для всех линз выполняется формула линзы $1/F = 1/d + 1/f$. Изображения в линзах получаются действительными, мнимыми, увеличенными и уменьшенными.



- 1 – двояковыпуклая
- 2 – плосковыпуклая
- 3 – вогнуто-выпуклая

- 1 – двояковогнутая
- 2 – плосковогнутая
- 3 – выпукло-вогнутая

Основные линии и точки линзы.

На рисунке 5 изображена собирающая линза. Горизонтальная линия, проведенная перпендикулярно линзе через оптический центр линзы O , называется оптической осью. На главной оптической оси линзы находятся фокусы и двойные фокусы линзы. Расстояние от линзы до предмета обозначают буквой d , а расстояние от линзы до изображения обозначают буквой f . Каждая линза имеет свое фокусное расстояние F и оптическую силу D .

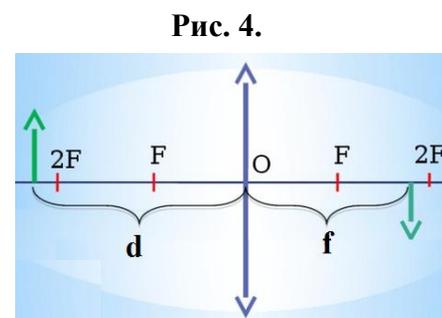


Рис. 4.

Опыт. Соберем набор по оптике. Направим на собирающую линзу пять параллельных лучей, параллельно оптической оси.

Проблема. Что произойдет с этими лучами при выходе из линзы?

Ответ. Все пять лучей при выходе из линзы пройдут через фокус линзы.

Опыты. Провести проблемные опыты с разными линзами и с разными расстояниями от предмета до линзы.

Линзы применяются в различной оптической аппаратуре – фотоаппаратах, кино- и видеокамерах, видеопроекторах, лазерных установках, биноклях, подзорных трубах, телескопах и т. д.

Рис. 5.

Опыт 4. Камера обскура. Фотокиноаппаратура.

1. Камера обскура. Камера-обскура (в переводе с латинского буквально – «темная комната») – это простейшее оптическое устройство (приспособление), позволяющее получить на экране изображения предметов. Камера-обскура является предшественником фотокамеры.

Принцип действия камеры-обскуры заключается в следующем. Если в одной из стенок темного ящика сделать небольшое отверстие, то на противоположной стенке ящика (внутри его) образуется видимое изображение предмета (А), находящегося перед отверстием, при этом изображение будет перевернутым (В) (рис. 1). Физической основой камеры-обскуры является прямолинейное распространение света. От каждой точки предмета идет прямолинейный луч. Все эти лучи и создают изображение.

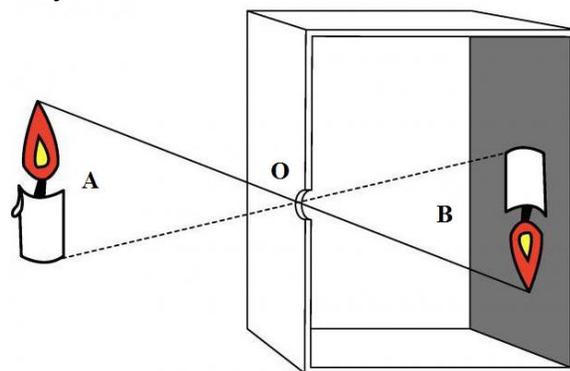


Рис. 1.

Опыт 3.1. Возьмем камеру-обскуру, у которой задняя стенка сделана из матового стекла. Если камеру-обскуру направить отверстием на освещенный предмет, то на матовом стекле мы увидим перевернутое изображение предмета.

Проблема. Почему в камере-обскуре получается изображение?

Ответ. Изображение на задней стенке камеры обскуры получается потому, что от каждой точки предмета идет прямолинейный луч. Все эти лучи и создают изображение.

2. Фотоаппарат – устройство для регистрации неподвижных изображений (получения фотографий). Фиксация изображения в фотоаппарате осуществляется при помощи света на светочувствительном фотоматериале или в матрице.

Отличие фотоаппарата от камеры-обскуры заключается в наличии у фотоаппарата объектива, состоящего из одной или нескольких линз, механизма диафрагмы и затвора, обеспечивающего моментальные выдержки (рис. 2). Для получения резкого изображения должна выполняться формула линзы, где d –

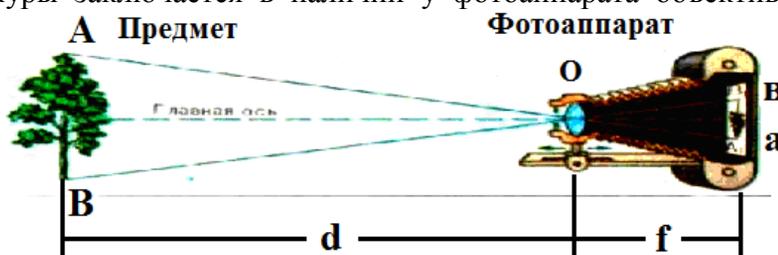


Рис. 2.

расстояние от

$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ предмета до фотоаппарата,

f – расстояние от объектива до изображения, F – фокусное расстояние объектива.

Опыт 3.2. Возьмем старинный фотоаппарат и получим на матовом стекле перевернутое изображение предмета.

Проблема. Почему на матовом стекле фотоаппарата получается перевернутое изображение?

Ответ. Перевернутое изображение получается потому, что из точки А предмета луч света попадает в точку а изображения, а луч света из точки В попадает в точку в.

Опыт 3. Возьмем цифровой фотоаппарат и сделаем снимок группы экскурсантов. Подсоединим фотоаппарат к компьютеру, найдем в проводнике файл с этим кадром и продемонстрируем учащимся.

Проблема. На чем в фотоаппарате получилось изображение?

Ответ. На светочувствительной матрице.

Продемонстрировать кинокамеру, видеокамеру и кинопроектор.

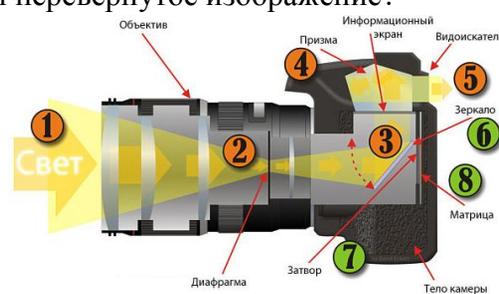


Схема цифрового фотоаппарата.



Кинокамера



Видеокамера



Кинопроектор

Опыт 5. Дисперсия света. Спектры.

Дисперсия света (разложение света) – это зависимость показателя преломления вещества от длины волны света. Дисперсия света экспериментально открыта Ньютоном около 1672 года (рис. 1).

Один из самых наглядных примеров дисперсии – разложение белого света при прохождении его через призму (опыт Ньютона). На рисунке 1 изображен И. Ньютон демонстрирующий, дисперсию света Эдмунду Галлею.

Дисперсия света позволила впервые вполне убедительно показать составную природу белого света.

Дисперсией объясняется факт появления радуги после



Рис. 1.

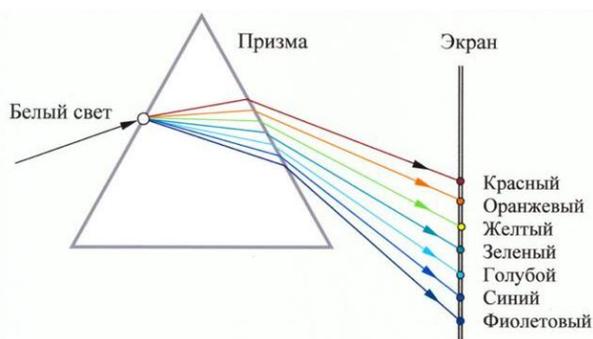


Рис. 2.

дождя (точнее, тот факт, что радуга разноцветная, а не белая).

Если пустить луч белого света на призму под некоторым углом, то в точке падения луча на призму он разложится на составные цвета (от красного до фиолетового). При выходе лучей из призмы они преломятся и попадут на экран, образуя красивый спектр (рис. 2). Каждому цвету соответствует определенная длина световой волны.

Спектр начинается от фиолетового цвета – длина волны 400 нм и кончается красным цветом – длина волны 760 нм (рис. 3).

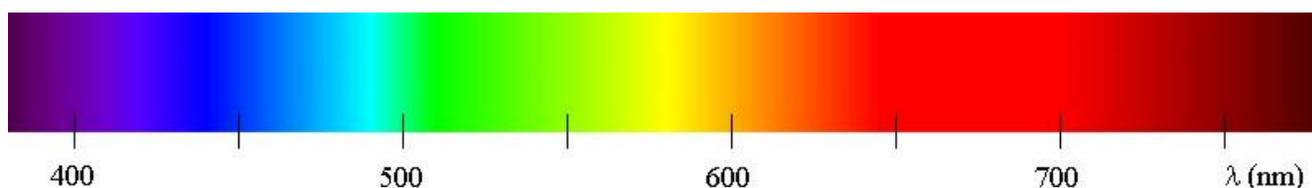
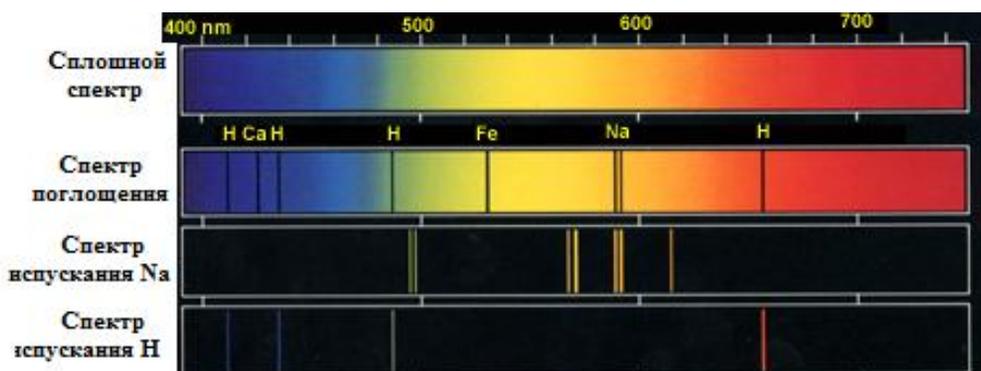


Рис. 3.



Если вещество поглощает свет, то оно дает спектр поглощения.

Если вещество испускает свет, то оно дает спектр испускания (рис. 4). Для исследования спектров используют приборы – спектрометры.

Рис.4.

Опыт. Дисперсия света. Демонстрация дисперсии света на оптической скамье (рис. 5). Осветитель испускает свет на щель (б), от нее свет идет на объектив (а), потом на призму (в). В призме происходит дисперсия света, и на экране возникает спектр.

Проблема. Что будет на экране, если между щелью (б) и объективом (а) поместить зеленый светофильтр?

Ответ. На экране будет зеленая вертикальная полоса, так как через светофильтр пройдет только зеленый свет. Зеленый свет является простым, и в призме он не будет разлагаться в спектр.

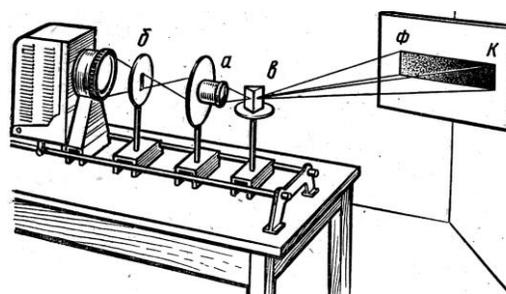


Рис. 5.

Опыт 6. Цвета тел. Сложение цветов.

1. Предметы не имеют цвета. Цвет предметов возникает в процессе поглощения и отражения световых волн. Свет, излучаемый Солнцем или другими нагретыми источниками, называется белым светом, который представляет смесь разных цветов. Если на пути света поставить стеклянную призму, то свет, проходя через нее, распадается на различные цвета: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Красная краска **1** (рис. 1) выглядит красной потому, что она поглощает почти все цвета светового луча и отражает только красный, желтая **2** – только желтый, черная **3** – ничего не отражает, белая **4** – отражает все цвета.

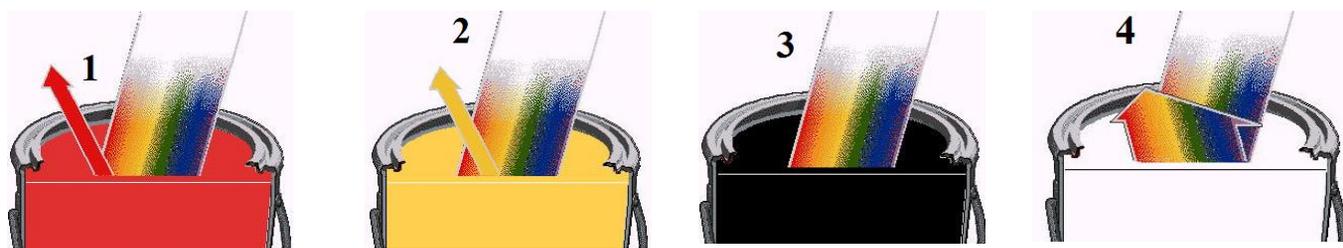


Рис. 1.

Опыт 6.1. Если посмотрим на красный мяч через зеленый светофильтр, то мяч будет нам казаться черным.

Проблема. Почему?

Ответ. Мяч покажется нам чёрным, потому что зелёный цвет поглощается мячом и не отражается от мяча.

Проделайте опыты с предметами других цветов и другими светофильтрами.

2. Сложение цветов. Большинство цветов, которые мы видим, состоят из смеси разных длин световых волн. Лиловый, например, это смесь красного и фиолетового; коричневый — красного, оранжевого и желтого. Различные оттенки цвета образуются путем добавления небольшого количества белого; например, смесь красного и белого дает розовый цвет.

Когда складываются красный и желтый цвета, то это создает такой же эффект для глаза, как оранжевый цвет. Точно так же синий и желтый цвета в сложении дают зеленый цвет, красный и синий – фиолетовый. Другие цвета образуются изменением соотношений интенсивности смешивающихся основных цветов. В цветном телевидении цвета также образуются сочетанием трех основных цветов RGB (рис. 2). Каждая точка изображения (*пиксель*) содержит в себе три точки, светящихся красным, зеленым и синим цветом.

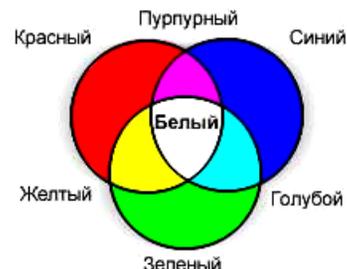


Рис. 2.

Их можно регулировать отдельно по яркости и соотношению цветов в каждом пикселе изображения. В зависимости от конструкции и режима работы монитора он может передавать различную глубину цвета (рис. 3).



Рис. 3.

Опыт 6.2. Возьмем круг Ньютона – картонный диск, раскрашенный семью основными цветами спектра (рис. 4), и прикрепим его к оси центробежной машины. При вращении диска с большой скоростью мы вместо отдельных цветов увидим серо-белый вращающийся диск.

Проблема. Почему?

Ответ. Когда при вращении диска человек смотрит на него, то в его глаза поочередно попадают лучи семи цветов, которые отражаются от окрашенных секторов диска. Так как глаз удерживает зрительное ощущение около 0,1 с, то при быстром вращении он кажется человеку серым. Это отличие от белого цвета объясняется отсутствием промежуточных цветов и несовершенством красок.



Рис. 4.

Цвета тел можно определить с помощью датчика

Опыт 7. Интерференция света Цвета тонких пленок.

1. Интерференция света – перераспределение интенсивности света в результате наложения (суперпозиции) нескольких когерентных световых волн. Это явление сопровождается чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности. Впервые явление интерференции было независимо обнаружено Робертом Бойлем (1627—1691 гг.) и Робертом Гуком (1635—1703 гг.). Они наблюдали возникновение разноцветной окраски тонких плёнок, подобных масляным или бензиновым пятнам на поверхности воды. В 1801 году Томас Юнг (1773—1829 гг.), введя «принцип суперпозиции», первым объяснил это явление и ввёл в научный обиход термин «интерференция» (1803). Он также выполнил первый демонстрационный эксперимент по наблюдению интерференции света, получив интерференцию от двух щелевых источников света (1802); позднее этот опыт Юнга стал классическим.

Интерференция света в тонких плёнках.

Интерференция в тонкой плёнке. Альфа — угол падения, бета — угол преломления. Жёлтый луч отстанет от оранжевого, они сводятся глазом в один и интерферируют (рис. 1).

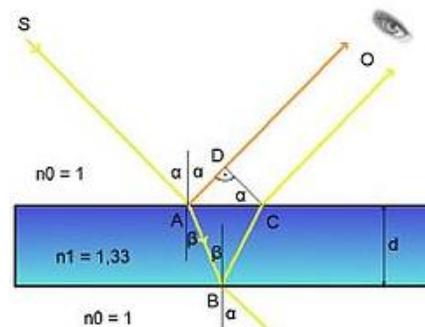


Рис. 1.

Опыт 7.1. Выдуем мыльный пузырь. Он сразу же окрасится всеми цветами радуги (рис. 2).

Проблема. Почему?

Ответ. Мыльный пузырь представляет объемную тонкую пленку, и все цвета мыльного пузыря объясняются интерференцией света в тонких пленках. Радужная окраска объясняется тем, что мыльная пленка в разных местах имеет разную толщину и, следовательно, окраска различных точек мыльного пузыря определяется интерференционным максимумом для конкретной длины световой волны. Причем малейшие изменения толщины пленки в результате стекания мыльного раствора вниз сразу же выражаются в смещении спектра наблюдаемого цвета, поэтому радужная окраска мыльного пузыря непрерывно меняется.



Рис. 2.

Явление интерференции наблюдается в тонких пленках, тонком слое несмешивающихся жидкостей (керосина или масла на поверхности воды), в бензине, на крыльях бабочек и т.д.

Опыт 7.2. Если рассмотреть объектив фотоаппарата, то он будет нам казаться практически черным с лиловато-фиолетовым оттенком (рис. 3).

Проблема. Почему?

Ответ. Объектив фотоаппарата будет нам казаться практически черным с лиловато-фиолетовым оттенком вследствие интерференции света на его поверхности. Поверхность объектива покрыта слоем прозрачного вещества толщиной в $\frac{1}{4}$ длины



Рис. 3.

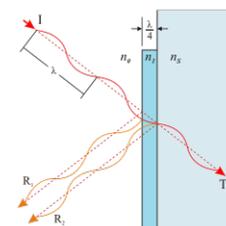


Рис. 4.

световой волны. В этом случае лучи, отражённые от наружной и внутренней сторон, отразятся в противофазе и при равной амплитуде погасят друг друга вследствие интерференции – интенсивность отраженного света станет равной нулю (рис. 4).

В настоящее время однослойное просветление используется в бюджетных оптических узлах и в лазерной оптике, рассчитанной на работу в узком спектральном диапазоне. Многослойное



Рис. 5.

просветление оптики осуществляется в высококачественной оптике.

Интерференцию света можно наблюдать в крыльях стрекоз, бабочек (рис.5) и в тонких воздушных прослойках, когда на плоскую стеклянную пластинку кладется

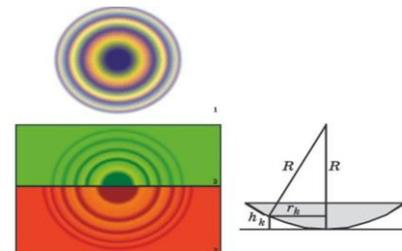


Рис. 6.

плосковыпуклая линза с большим радиусом кривизны – в кольцах Ньютона (рис. 6).

Опыт 8. Дифракция света. Дифракционная решетка.

1. Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий. Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени. Если на пути параллельного светового пучка расположено круглое препятствие (круглый диск, шарик или круглое отверстие в непрозрачном экране), то на экране, расположенном на достаточно большом расстоянии от препятствия, появляется **дифракционная картина** – система чередующихся светлых и темных колец.

Классическим опытом, в котором можно наблюдать дифракцию света, является опыт Юнга (рис. 1). В непрозрачной ширме булавкой проколото отверстие **a**, которое является источником вторичной волны, создающим круговую волну. Она доходит до следующей непрозрачной ширмы, в которой проколото два отверстия **b** и **c**. От этих отверстий распространяются круговые когерентные волны, которые создают интерференционную картину из чередующихся полос на правом экране.

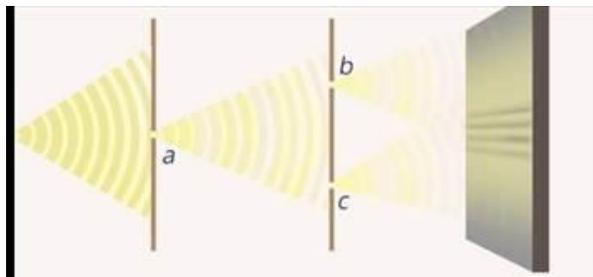


Рис. 1.

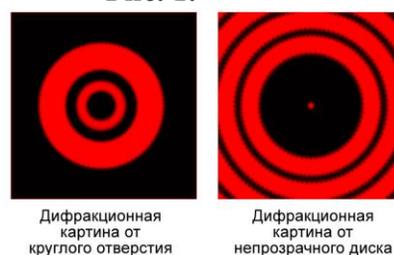


Рис. 2.

Рис. 3.

Дифракция на отверстии (рис. 2) представляет чередующиеся темные и светлые круги, в центре темный круг. Дифракция от непрозрачного диска (рис. 3) представляет чередующиеся темные и светлые круги, в центре светлый круг.

Дифракция от щели и нити представляет чередующиеся темные и светлые линии.

Дифракционная решетка. Представляет стеклянную пластинку, на которой нанесены острым резцом штрихи (рис.4). На рисунке видно, что она представляет чередование прозрачных и непрозрачных областей (на штрихах свет не проходит). На 1мм наносят от 100 до 1000 штрихов. Сумма длин прозрачных и непрозрачных штрихов, называется периодом решетки **d**. Возьмем дифракционную решетку и собирающую линзу, в фокусе которой поместим экран (рис. 5). Если на дифракционную решетку направить пучок монохроматического света, то, дифрагируя



Рис. 4.

на прозрачных штрихах решетки и проходя через собирающую линзу, он даст на экране, который расположен в фокусе линзы, максимумы для данного цвета, которые будут чередоваться на различных участках экрана.

Если пучок света будет белый, то вместо отдельных максимумов на экране будут чередоваться спектры от фиолетового цвета до красного (m_0, m_1, m_2, m_3) по обе стороны от центра, в котором будет находиться нулевой белый максимум m_0 . В отличие от дисперсионного спектра дифракционные спектры будут линейными.

Опыт. Возьмем лазерную указку и направим лазерный луч на дифракционную решетку. На экране, расположенным за дифракционной решеткой, возникнет картина (рис. 6).



Рис. 6.

Проблема. Почему?

Ответ. На экране возникла дифракционная картина от данной дифракционной решетки.

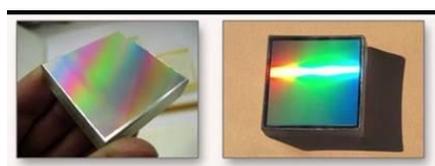


Рис. 7.

Кроме дифракционных решеток, работающих на просвет, существуют отражательные дифракционные решетки, которые обладают лучшими качествами, так как они дают линейный спектр (рис. 7). Они представляют собой чередующиеся участки, отражающие свет и рассеивающие его. Рассеивающие свет полосы наносятся резцом на отшлифованную металлическую пластину. Обычные CD диски (рис. 8) являются примером отражательной дифракционной решетки. Основное применение дифракционных решеток – это спектральный анализ.

Они представляют собой чередующиеся участки, отражающие свет и рассеивающие его. Рассеивающие свет полосы наносятся резцом на отшлифованную металлическую пластину. Обычные CD диски (рис. 8) являются примером отражательной дифракционной решетки. Основное применение дифракционных решеток – это спектральный анализ.



Рис. 8.

Опыт 9. Поляризация света. Поляриды. Цвета тонких пленок.

В начале XIX века, когда Т. Юнг и О. Френель развивали волновую теорию света, природа световых волн была неизвестна. На первом этапе предполагалось, что свет представляет собой продольные волны, распространяющиеся в некоторой гипотетической среде – эфире. В то время казалось невероятным, что свет – это поперечные волны, так как по аналогии с механическими волнами пришлось бы предполагать, что эфир – это твердое тело (поперечные механические волны не могут распространяться в газообразной или жидкой среде). Блестящим подтверждением того, что свет представляет поперечные волны, является явление поляризации.

Свет, испускаемый обычными источниками (например, солнечный свет, излучение ламп накаливания и т. п.) в каждый момент состоит из вклада огромного числа независимо излучающих атомов с различной ориентацией вектора \vec{E} в излучаемых этими атомами волнах. Поэтому в результирующей волне вектор \vec{E} беспорядочно изменяет свою ориентацию во времени, так что в среднем все направления колебаний оказываются равноправными. Такой свет называют также естественным светом (рис. 1).

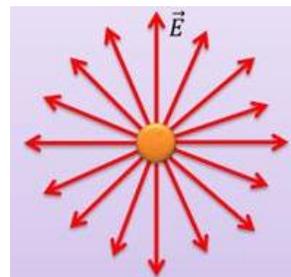


Рис. 1.

Возьмем прямоугольную пластину турмалина, вырезанную таким образом, чтобы одна из ее граней была параллельна вертикальной оси кристалла. Если направить на нее луч естественного света (1) от источника света S (рис. 2), то через турмалиновую пластинку (2) пройдут только те световые лучи, у которых вектор \vec{E} совпадает с направлением оптической оси (3), и попадут на экран (4). Такой свет называется линейно поляризованным, а турмалиновая пластинка (2) называется **поляризатором**.

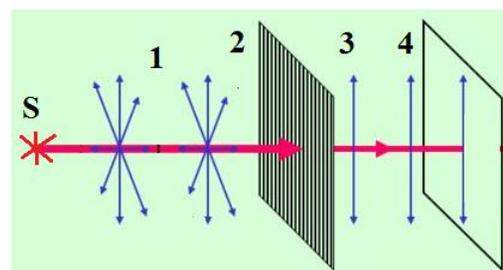


Рис. 2.

Такой поляризованный свет испускается лазерными источниками.

Свет может оказаться поляризованным при отражении или рассеянии. В частности, голубой свет от неба частично или полностью поляризован.

Теперь на пути поляризованного света (3) поставим еще одну пластинку из турмалина (4), оптическая ось которого перпендикулярна вектору \vec{E} поляризованного света. В этом случае пластинка не пропустит поляризованный свет (рис. 3).

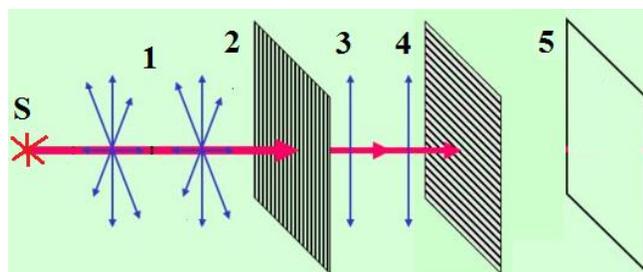


Рис. 3.

Экран (5) не будет освещен. Вторая пластинка называется **анализатором**.

Опыт. Поместим на оптическую скамью осветитель (1), поляризатор (2), анализатор (3), объектив (4) и экран (5) (рис. 4). Оптические оси поляризатора и анализатора вертикальны (они совпадают с направлением стрелок). Включим осветитель. Естественный свет от осветителя пройдет через поляризатор и выйдет линейно поляризованным. Так как оптическая ось анализатора тоже вертикальна, то линейно поляризованный свет пройдет через анализатор, и на экране будет светлое пятно.

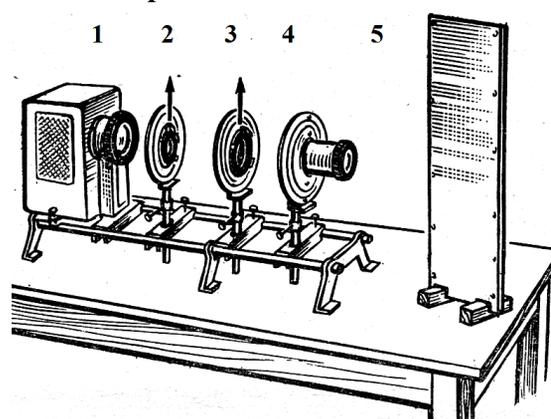


Рис. 4.

Проблема. Что будет, если анализатор или поляризатор повернуть на 90° ?

Ответ. На экране светлое пятно будет уменьшаться, а потом исчезнет.

Это произойдет потому, что оптические оси пластинок турмалина будут взаимно перпендикулярны. Хорошо было бы применить это явление в автомобилях, чтобы ослабить свет фар встречных автомобилей.

Проблема. Что произойдет, если между скрещенным поляризатором и анализатором поместить целлофан, кружок из секторов целлофана, модели рельса и балки из оргстекла?

Ответ. На экране появятся цветные пятна и рисунки. Это произойдет потому, что эти вещества поворачивают плоскость поляризации.

Поляризацию света можно демонстрировать с помощью датчика освещенности лаборатории PASCO.

Опыт 10. Жидкие кристаллы. Экраны мониторов и мобильных телефонов.

1. Жидкие кристаллы (сокращённо ЖК)– это фазовое состояние, в которое переходят некоторые вещества при определенных условиях (изменение температуры, давления, концентрации в растворе). Жидкие кристаллы обладают одновременно свойствами как жидкостей (текучести), так и кристаллов (анизотропия). По структуре ЖК представляют собой вязкие жидкости, состоящие из молекул вытянутой или дискообразной формы, определённым образом упорядоченных во всем объёме этой жидкости. Наиболее характерным свойством ЖК является их способность изменять ориентацию молекул под воздействием электрических полей, что открывает широкие возможности для применения их в промышленности. По типу ЖК обычно разделяют на две большие группы: нематики и смектики. В свою очередь, нематики подразделяются на собственно нематические и холестерические жидкие кристаллы (рис. 1).



Рис. 1.

2. Жидкокристаллические экраны телевизоров, мониторов, мобильных телефонов и т.д. Устройство жидкокристаллического экрана видно из рисунка 2.

Свет от лампы подсветки экрана попадает на поляризующий фильтр и выходит из него линейно поляризованным. Далее находятся две стеклянные пластинки, между которыми находится жидкокристаллическое вещество. Потом свет попадает на анализатор, оптическая ось которого расположена перпендикулярно оптической оси поляризатора. Таким образом, свет не попадает на зеленый светофильтр, который является частью RGB пикселя на экране монитора.

Если на жидкий кристалл подать напряжение видеосигнала, то созданное им электрическое поле повернет жидкие кристаллы, вследствие чего произойдет поворот плоскости поляризации и часть света пройдет через анализатор и через зеленый светофильтр. Засветится часть RGB пикселя зеленым светом.

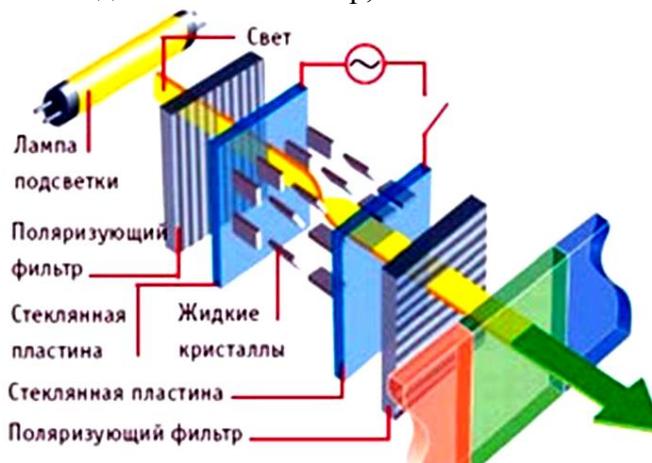


Рис. 2.

Опыт. Возьмем ЖК экран телевизора, монитора или мобильного телефона и поляриод.

Проблема. Что произойдет, если перед экраном поместить поляриод и вращать его?

Ответ. Яркость экрана за поляриодом будет изменяться от максимальной яркости до нуля, так как через светофильтры разных RGB пикселей выходит поляризованный свет.

Опыт 11. Люминесценция света.

1. Люминесценция – нетепловое свечение вещества, происходящее после поглощения им энергии возбуждения. Впервые люминесценция была описана в XVIII веке. Первоначально явление люминесценции использовалось при изготовлении светящихся красок и световых составов на основе так называемых фосфоров для нанесения на шкалы приборов, предназначенных для использования в темноте. Особого внимания в СССР люминесценция не привлекала вплоть до 1948 года, когда советский учёный С. И. Вавилов предложил начать изготовление экономичных люминесцентных ламп и использовать люминесценцию в анализе химических веществ. В быту явление люминесценции используется чаще всего в люминесцентных лампах «дневного света» и электронно-лучевых трубках кинескопов.

Люминесцентная лампа – газоразрядный источник света, в котором электрический разряд в парах ртути создаёт ультрафиолетовое излучение, которое преобразуется в видимый свет с помощью люминофора – например, смеси галофосфата кальция с другими элементами. Световая отдача люминесцентной лампы в несколько раз больше, чем у лампы накаливания аналогичной мощности. Люминесцентные лампы нашли широкое применение в освещении общественных зданий: школ, больниц, офисов и т. д. С появлением компактных люминесцентных ламп с электронными балластами (энергосберегающие лампы), которые можно включать в обычные патроны вместо ламп накаливания, люминесцентные лампы завоевывают популярность и в быту. Люминесцентные лампы наиболее целесообразно применять для общего освещения, прежде всего помещений большой площади для снижения потребления энергии на 50-83 % и увеличить срок службы ламп. Люминесцентные лампы широко применяются также и в местном освещении рабочих мест, в световой рекламе, подсветке фасадов. До начала применения светодиодов являлись единственным источником для подсветки жидкокристаллических экранов.

2. Люминесцентная лампа состоит из стеклянной колбы (1), в которой находятся пары ртути (2).

По обе стороны лампы находятся нити накала (3) (рис. 1). Электроны, испускаемые нитями накала, движутся под действием электрического поля (5), сталкиваются с атомами ртути (4) и возбуждают их. Атомы ртути, переходя из возбужденного состояния в нормальное, излучают ультрафиолетовые лучи. Эти лучи, попадая на люминофор, которым покрыта внутренняя поверхность стеклянной колбы (1), вызывают видимое излучение белого света (6,7).

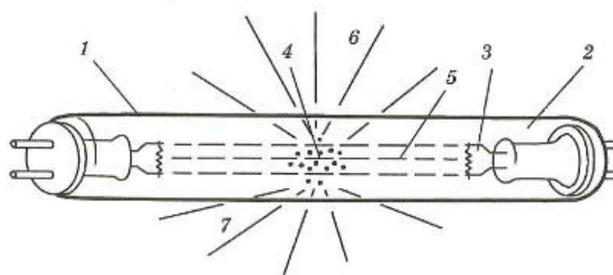


Рис. 1.

Работа люминесцентной лампы. Схема включения люминесцентной лампы изображена на рис.2. Лампа включается в сеть с напряжением 220 В. Последовательно с лампой включен дроссель, а параллельно лампе включен стартер, который состоит из двух контактов и биметаллической пластинки.

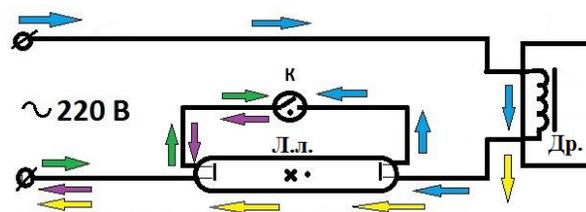


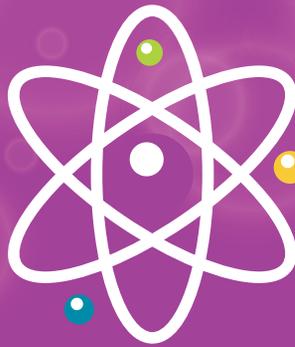
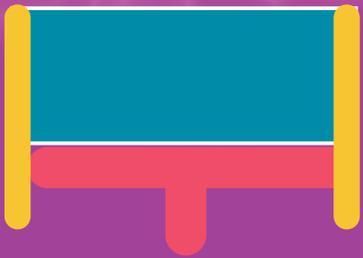
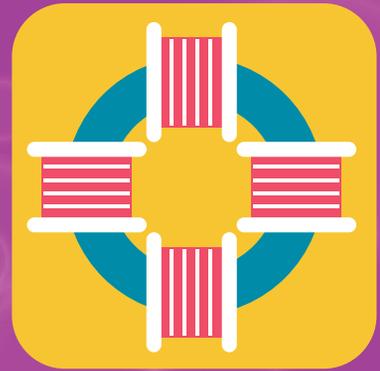
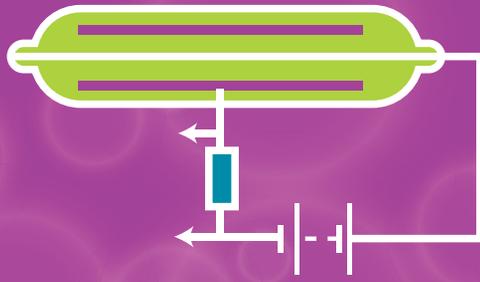
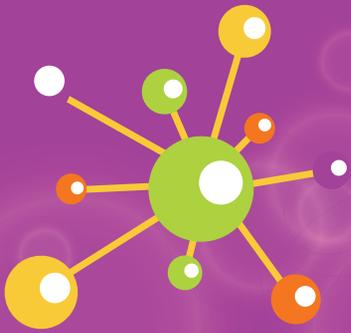
Рис. 2.

В начальный момент, при включении люминесцентного светильника, не хватает сетевого напряжения для того, чтобы создать разряд в самой люминесцентной лампе. Для того, чтобы создать газовый разряд в люминесцентной лампе, в стартере создается искровой разряд, который нагревает биметаллическую пластинку. Контакты стартера замыкают электрическую цепь. По дросселю течет переменный электрический ток, который создает ЭДС индукции. Она складывается с напряжением сети, в лампе возникает тлеющий разряд, и лампа светится.

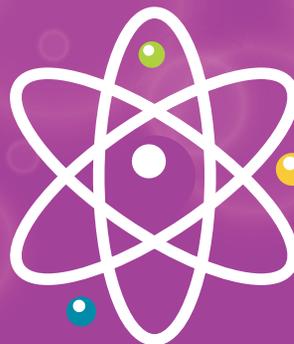
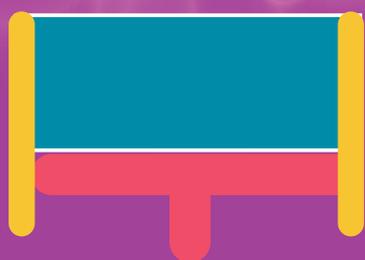
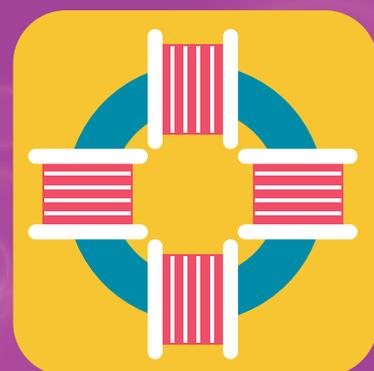
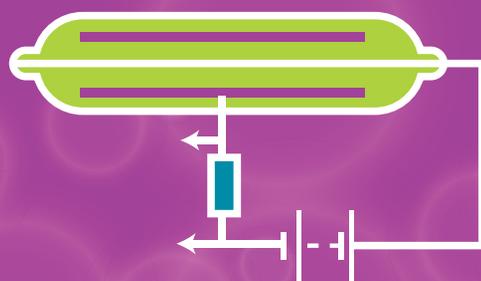
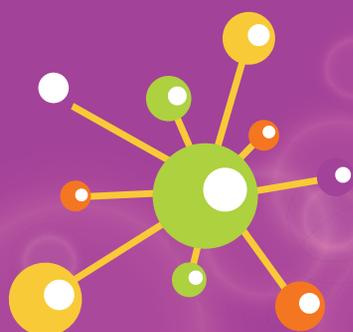
Опыт. Изучение люминесцентной лампы. Собираем схему по рисунку 2. Объясняем устройство и принцип действия люминесцентной лампы. Включаем люминесцентную лампу в электрическую сеть. Она загорается.

Проблема. Что произойдет, если из схемы убрать стартер?

Ответ. Лампа не загорится, так как напряжения сети недостаточно для зажигания лампы.



АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО



Опыт 1. Счетчик Гейгера.

Счётчик Гейгера – газоразрядный прибор для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц. Принцип предложен в 1908 году Гансом Гейгером; в 1928 г. Вальтер Мюллер, работая под руководством Гейгера, реализовал на практике несколько версий прибора, конструктивно отличавшихся в зависимости от типа излучения, которое регистрировал счётчик.

Счетчик Гейгера представляет собой газонаполненный конденсатор, обкладками которого являются тонкий металлический цилиндр (катод), наполненный инертным газом, и металлическая нить (анод). В цепь катода подключен нагрузочный резистор (R) и источник питания 300 – 700 В (рис. 1).



Рис. 1.

При пролете через металлический цилиндр ионизирующей частицы она ионизирует газ, т.е. в газе появляются свободные электроны и положительные ионы, вследствие чего в цепи возникает газовый разряд, а в цепи со счетчиком появляется электрический ток.

На резисторе R появляется падение напряжения, вследствие этого напряжение на счетчике уменьшается, т.е. становится меньше напряжения горения, разряд в счетчике прекращается до пролета следующей ионизированной частицы.

Такие счетчики называются счетчиками с самогашением.

При каждом пролете ионизирующей частицы напряжение, появляющееся на резисторе R, подается на регистрирующее устройство, которое состоит из электромеханического или цифрового счетчика числа частиц, попадающих в счетчик.

Наиболее распространенный счетчик Гейгера – СТС 5 (рис. 2). Он напрямую регистрирует заряженные



Рис. 2.

частицы – электроны (бета-излучение), альфа-частицы, протоны, ионы. Гамма-кванты счетчик Гейгера регистрирует косвенно – за счет фотоэффекта. Кроме счетчика Гейгера радиоактивное излучение можно регистрировать карманными дозиметрами, камерой Вильсона, пузырьковой камерой, искровой камерой и методом фотоэмульсий.

Опыт. Работа со счетчиком Гейгера.

Соберем установку, состоящую из выпрямителя ВУП 2, счетчика Гейгера с резистором, усилителя низкой частоты и вольтметра (или громкоговорителя) (рис. 3).

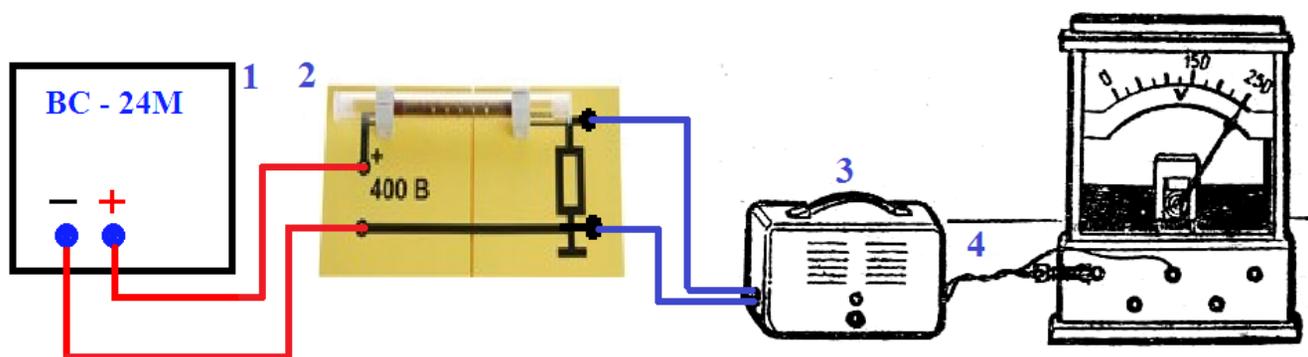


Рис. 3.

Включим выпрямитель в электрическую сеть ВС-24М (1) и усилитель низкой частоты (3). Иногда стрелка вольтметра будет периодически отклоняться – это регистрируется радиоактивный фон. Поднесем к счетчику Гейгера (рис. 2) радиоактивное вещество (многие предметы, окружающие нас, радиоактивны. Проэкспериментируйте!). Сигнал со счетчика пойдет на УНЧ, а с него на вольтметр. Стрелка вольтметра (4) будет отклоняться чаще, в зависимости от радиоактивности поднесенного вещества.

Проблема. Что произойдет, если перед счетчиком поместить лист картона.

Ответ. Частота срабатывания счетчика уменьшится, так как картон не пропускает ионы и альфа-частицы.

Опыт 2. Камера Вильсона.

1. Камера Вильсона (туманная камера) – один из первых в истории приборов для регистрации следов (треков) заряженных частиц.

Изобретена шотландским физиком Чарлзом Вильсоном между 1910 и 1912 г. Принцип действия камеры основан на конденсации перенасыщенного пара: при появлении в среде перенасыщенного пара каких-либо центров конденсации (в частности ионов, сопровождающих след быстрой заряженной частицы) на них образуются мелкие капли жидкости. Эти капли достигают значительных размеров и могут быть сфотографированы. Источник исследуемых частиц может располагаться либо внутри камеры, либо вне её (в этом случае частицы залетают через прозрачное для них окно).

В 1927 г. советские физики П. Л. Капица и Д. В. Скобельцын, предложили помещать камеру в сильное магнитное поле, искривляющее треки, для исследования количественных характеристик частиц (например их массы и скорости).

Камера Вильсона представляет собой ёмкость со стеклянной крышкой и поршнем в нижней части, заполненную **почти насыщенными** парами воды, спирта или эфира (рис. 1а). Пары тщательно очищены от пыли, чтобы до пролёта частиц у молекул воды не было центров конденсации. Когда поршень опускается, то за счет адиабатического расширения пары охлаждаются и становятся насыщенными. Заряженная частица, проходя сквозь камеру, оставляет на своем пути цепочку ионов. Пар конденсируется на ионах, делая видимым след частицы (рис. 1б).

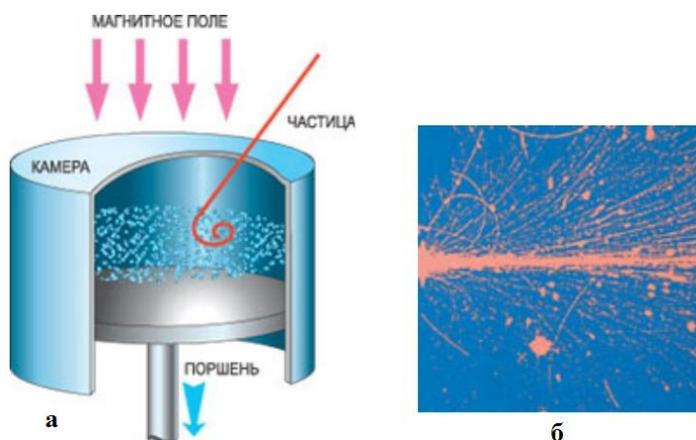


Рис. 1.

Камера Вильсона сыграла огромную роль в изучении строения вещества. На протяжении нескольких десятилетий она оставалась практически единственным инструментом для визуального исследования ядерных излучений и исследования космических лучей.

2. Опыт. Возьмем школьную камеру Вильсона (рис. 2). Она представляет круглую коробку с круглыми отверстиями, в которые вставлены стекла (1). Камера заполняется парами какой либо жидкости, близкими к состоянию насыщения. В камеру вставлен радиоактивный препарат (4). В



Рис. 2.

Рис. 3.

конец резиновой трубки вставляется сжатая резиновая груша. Из радиоактивного препарата вылетают α -лучи, но их не видно. Быстро разожмем грушу. Давление пара в камере Вильсона понижается, пар становится насыщенным и треки (следы) заряженных частиц становятся видимыми благодаря конденсации насыщенного пара на ионах газа, образованных заряженной частицей (рис. 3). На ионах образуются капли жидкости, которые вырастают до размеров, достаточных для наблюдения (10^{-3} - 10^{-4} см) и фотографирования при хорошем освещении.

Проблема. Будут ли видны треки заряженных частиц, если к камере подсоединить несжатую грушу, а потом ее резко сжать.

Ответ. Нет. Так как при сжатии грушей пара в камере не возникнет ненасыщенный пар.

Опыт 3. Ускоритель заряженных частиц.

1. Ускоритель заряженных частиц – класс устройств для получения заряженных частиц (элементарных частиц, ионов) высоких энергий. Современные ускорители подчас являются огромными дорогостоящими комплексами, которые не может позволить себе даже крупное государство. К примеру, Большой адронный коллайдер в ЦЕРН представляет собой кольцо длиной почти 27 километров.

В основе работы ускорителя заложено взаимодействие заряженных частиц с электрическим и магнитным полями. Электрическое поле способно напрямую совершать работу над частицей, то есть увеличивать её энергию. Магнитное же поле, создавая силу Лоренца, только отклоняет частицу, не изменяя её энергии, и задаёт орбиту, по которой движутся частицы.

Конструктивно ускорители можно принципиально разделить на две большие группы. Это **линейные ускорители**, где пучок частиц неоднократно проходит ускоряющие промежутки, и **циклические ускорители**, в которых пучки движутся по замкнутым кривым (например, окружностям), проходя ускоряющие промежутки по многу раз.

Синхрофазотрон – наиболее распространенный ускоритель заряженных частиц.

Устройство циклотрона – см. рис. 1. Вверху слева – место поступления заряженных частиц, окружность циклотрона – траектория их движения, в камерах находятся ускоряющие электроды, к которым подключается источник переменного напряжения. Магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости рисунка.

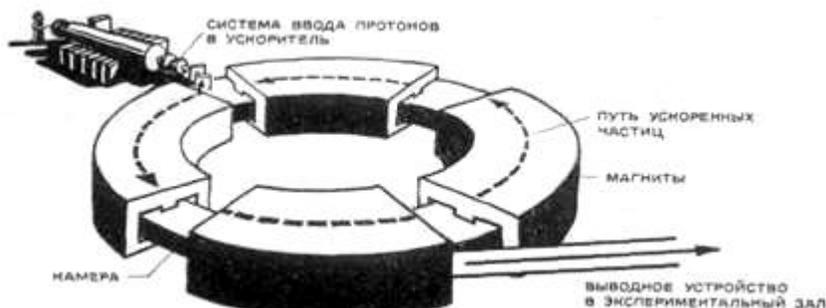


Рис. 1.

В синхрофазотроне заряженные частицы инжектируются из ускорителя заряженных частиц.

Магнитное поле, действуя на них с силой Лоренца, заставляет их двигаться по кругу. В цилиндрических камерах они ускоряются электрическим полем. Чтобы при увеличении скорости они не вылетели бы из кольца, так как у них увеличивается масса, постепенно увеличивают магнитное поле. Когда заряженные частицы приобретут достаточную энергию, их выводят из синхрофазотрона с помощью дефлектора (отрицательно заряженного электрода) и направляют на нужный объект.

Ускорители классифицируют по назначению: коллайдеры, источники нейтронов, бустеры, источники синхротронного излучения, установки для терапии рака, промышленные ускорители.

2. Опыт. Действующая модель синхрофазотрона.

Модель ускорителя изображена на рисунке 2а. «Ускоряемой частицей» служит стальной шарик

диаметром 15 мм, который катится по направляющим рельсам (2). Рельсы делают из медной проволоки диаметром 4 мм. Катушки (1) соединяют между собой последовательно (рис. 2б). Рельсы окрашены краской, кроме участков перед катушками. Когда шарик находится перед катушкой, он замыкает цепь и втягивается в эту катушку. Попадая на окрашенную часть, шарик размыкает цепь и продолжает движение по инерции до тех пор,

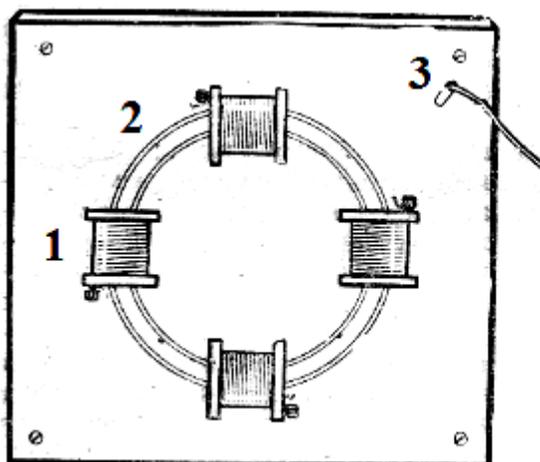


Рис. 2а.

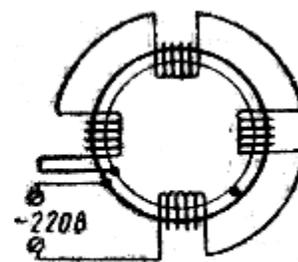


Рис. 2б.

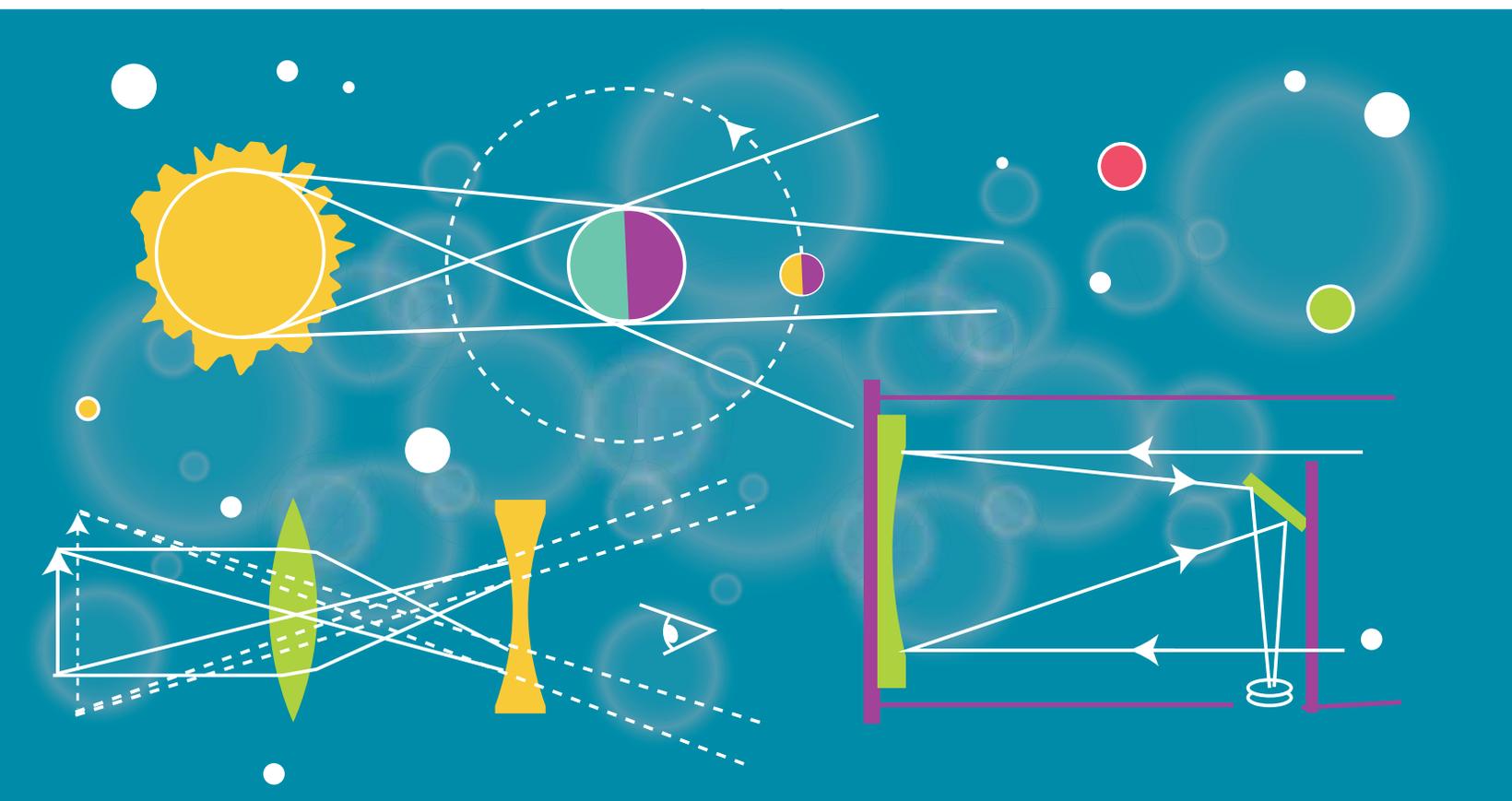
пока не попадет на оголенную часть перед следующей катушкой, втягивается в нее и т.д.

Шарик ускоряется до тех пор, пока не соскакивает с рельсов.

Проблема. Что произойдет, если рельсы не закрашивать краской?

Ответ. Если рельсы не закрашивать краской, то шарик двигаться не будет. Он втянется в какую либо катушку и в ней остановится, так магнитное поле катушки не выпустит его из катушки.

АСТРОНОМИЯ



Демонстрация 1. Доказательства вращения Земли вокруг оси.

1. Доказательств вращения Земли вокруг своей оси существует несколько.

а) Отклонение падающих тел к востоку. Из физики известно, что любое тело падает по отвесной линии. Проводились многочисленные опыты, и всякий раз оказывалось, что падающее тело отклоняется от отвеса к востоку. Дело в том, что при вращении Земли вокруг оси тела на высоте движутся с большей скоростью, чем на поверхности Земли. При падении они сохраняют по инерции первоначальную скорость, и в результате как бы обгоняют точки, находящиеся на поверхности, тем самым отклоняясь от отвесной линии к востоку, так как Земля вращается с запада на восток.

б) Опыт с маятником Фуко. Французский ученый Фуко произвел опыт с качающимся маятником. Из физики известно, что качающийся маятник сохраняет плоскость качания, если на него не действует никакая другая сила, кроме силы тяжести. На длинном шнуре Фуко подвешивал груз, под ним помешал горизонтальный круг, разделенный на градусы. Маятник выводил из спокойного состояния, придавая его качанию направление вдоль меридиана. Через некоторое время плоскость качания маятника уже не совпадала с линией меридиана. Почему?

А потому что изменялось положение градуированного круга под маятником, который перемещался к востоку в результате вращения Земли вокруг оси. Наблюдателю же казалось, что изменилась плоскость качания маятника.

в) Вращением Земли вокруг оси объясняется смена дня и ночи.

г) По этой же причине происходит подмыв правых берегов у рек в северном полушарии Земли и левых – в южном.

Доказательством годового обращения Земли вокруг Солнца служит *параллактическое смещение* звезд. Параллактическое смещение звезд происходит вследствие годового обращения Земли вокруг Солнца.

Два основных движения Земли дают людям естественные эталоны времени: *сутки и год*. Смене дня и ночи, а также временам года подчинены жизненные ритмы человека, животных и всей биосферы в целом.

Опыт. Доказательство вращения земли с помощью маятника Фуко.

Для проведения опыта возьмем вращающийся диск с маятником Фуко, секундомер и ящик с песком. Отклоним маятник на небольшую высоту и отпустим. Маятник своим острием будет описывать на песке некоторую фигуру.

Опыт основан на законе сохранения момента импульса. Если математический маятник заставить колебаться, то на основании закона сохранения импульса плоскость колебаний маятника всегда будет оставаться постоянной (рис.1). Поэтому, если вращать точку подвеса маятника, его плоскость колебаний останется неизменной (рис. 1). Например, если штатив, на который подвешен маятник, поставить на Северном полюсе и отклонить его на максимальный угол, а затем отпустить, то рисунок его колебаний на песке будет выглядеть как звезда (рис. 1).

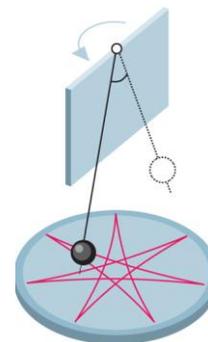


Рис. 1.

На Северном или Южном полюсе Земли (ось вращения Земли лежит в плоскости колебаний маятника) плоскость колебаний маятника Фуко совершает поворот на 360° за звёздные сутки (на 15° за звёздный час), т.е. 1 полный оборот плоскости колебаний произойдет за 24 часа (рис. 2) , а на средней широте на $\alpha = 15^\circ \sin \varphi$ в 1 час ($12,4^\circ$), за сутки 1 полный оборот произойдет за 29 часов.

Проблема. Какую фигуру будет описывать маятник на песке, если его толкнуть в начале движения?

Ответ. Так как при толчке ему сообщили большую скорость, то формой кривой будет розетка.

Проблема. Какие фигуры будет выписывать маятник на экваторе?

Ответ. На экваторе он будет колебаться в одной плоскости (рис. 2).

Проблема. Как будет колебаться маятник на широте Нижнего Новгорода?

Ответ. На широте Нижнего Новгорода он будет выписывать звезду или розочку за 29 часов, так как угол поворота за 1 час равен $12,4^\circ$.

Проблема. Как будет колебаться маятник на экваторе?

Ответ. Маятник все время будет колебаться в одной плоскости, так как угол поворота за 1 час будет равен $\alpha = 15^\circ \sin \varphi = 15 \times 0 = 0$ (рис. 3).

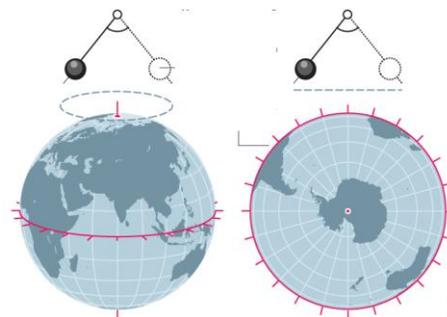


Рис. 2.

Рис. 3.

Демонстрация 2. Телескопы.

1. Телескоп представляет собой трубу (сплошную, каркасную), установленную на штативе, снабжённом осями для наведения на объект наблюдения и слежения за ним. Визуальный телескоп имеет **объектив и окуляр**. Задняя фокальная плоскость объектива совмещена с передней фокальной плоскостью окуляра. В фокальную плоскость объектива вместо окуляра может помещаться фотоплёнка или матричный приёмник излучения. В таком случае объектив телескопа, с точки зрения оптики, является фотообъективом, а сам телескоп превращается в астрограф. Телескоп фокусируется при помощи фокусирующего устройства.

По своей оптической схеме большинство телескопов делятся на:

- Линзовые (*рефракторы*) – в качестве объектива используется линза или система линз. Первый телескоп этого типа изобрел Г. Галилей в 1609 году.
- Зеркальные (*рефлекторы*) – в качестве объектива используется вогнутое зеркало. Первый телескоп этого типа изобрел И. Ньютон.
- Зеркально-линзовые телескопы – в качестве объектива используется обычно сферическое главное зеркало, а для компенсации его aberrаций (искажений) служат линзы.

Телескоп-рефрактор – оптический телескоп, в котором для собирания света используется система линз, называемая объективом. Работа таких телескопов обусловлена явлением рефракции. Телескоп-рефрактор (рис. 1) содержит два основных узла: линзовый объектив (3) и окуляр (4).

Объектив создаёт действительное уменьшенное обратное изображение бесконечно удалённого предмета (1)

в фокальной плоскости. Это изображение рассматривается в окуляр как в лупу (2). Такая оптическая схема даёт не перевёрнутое изображение. Иоганн Кеплер в 1611 г. усовершенствовал телескоп, заменив рассеивающую линзу в окуляре собирающей. Это позволило увеличить поле зрения, однако система Кеплера даёт перевёрнутое изображение. В настоящее время телескоп Г. Галилея используется в театральных биноклях, а телескоп И. Кеплера в астрономических наблюдениях.

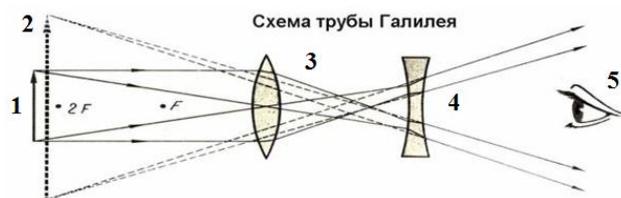


Рис. 1.

Телескоп-рефлектор. Если в телескопе-рефракторе изображение создается объективом – компактной системой линз, то в рефлекторе его образуют лучи, отраженные от вогнутого зеркала. Ход лучей в рефлекторе системы Ньютона – см. рис. 2. Телескоп состоит из параболического зеркала, вторичного плоского зеркала и окуляра.

Лучи света от небесного тела практически параллельным пучком падают на вогнутое зеркало, отражаются и сходящим пучком падают на плоское зеркало и, отражаясь от него, идут через окуляр в глаз наблюдателя.

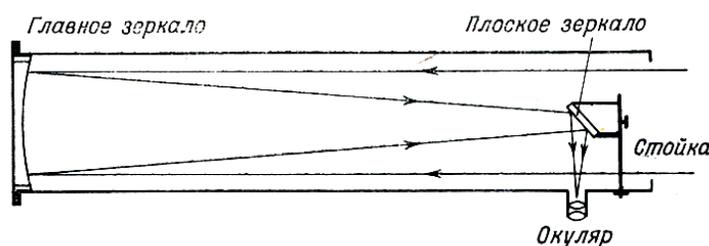


Рис.2.

В настоящее время в основном используются телескопы-рефлекторы с диаметром зеркала до 20 м.

Демонстрация. Изучить устройство и принцип действия телескопа, направить его на удаленный предмет и дать возможность каждому экскурсанту посмотреть в телескоп.

Проблема. Увеличивает ли телескоп изображение или нет?

Ответ. Телескоп не увеличивает изображение. Он просто приближает изображение.

Проблема. Можно ли в телескоп смотреть на Солнце?

Ответ. Нет. Телескоп собирает лучи, идущие от Солнца, и наблюдатель может испортить глаза.

Проблема. Можно ли наблюдать изображение Солнца?

Ответ. Да, если лучи, выходящие из объектива направить на лист белой бумаги.

Демонстрация 3. Модели космических кораблей из бумаги. (Выкройки моделей скачиваются из интернета).

1. «Спутник-1» – первый искусственный спутник Земли, советский космический аппарат, запущенный на орбиту 4 октября 1957 года (рис. 1). Кодовое обозначение спутника – «ПС-1» («Простейший Спутник-1»). Запуск был осуществлён с 5-го научно-исследовательского полигона Министерства обороны СССР «Тюра-Там» (получившего впоследствии открытое наименование космодром «Байконур») на ракете-носителе «Спутник», созданной на базе межконтинентальной баллистической ракеты «Р-7». Дата запуска «Спутника-1» является началом космической эры человечества, а в России ежегодно отмечается как памятный день Космических войск.

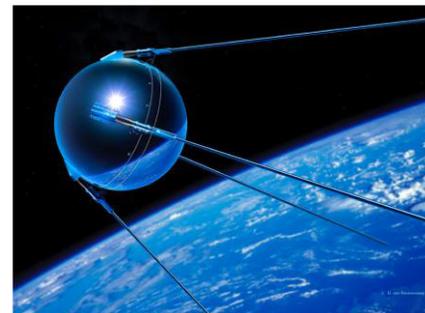


Рис. 1.

2. Демонстрируется модель спутника и рассказывается о его устройстве.

3. Космический корабль «Восток». «Восток» – наименование серии советских космических кораблей, предназначенных для пилотируемых полётов по околоземной орбите (рис. 2). Создавались ведущим конструктором О.Г. Ивановским под руководством генерального конструктора ОКБ-1 С.П. Королёва с 1958 по 1963 год.



Рис. 2.

Первый пилотируемый корабль «Восток», запуск которого состоялся 12 апреля 1961 года, стал одновременно и первым в мире космическим аппаратом, позволившим осуществить полёт человека в космическое пространство.

Первый космический корабль «Восток» с Ю.А. Гагариным на борту совершил 1 оборот вокруг Земли, облетев планету за 108 минут.

Основными научными задачами, решаемыми на кораблях «Восток», были изучение воздействий условий орбитального полёта на состояние и работоспособность космонавта, отработка конструкции и систем, проверка основных принципов построения космических кораблей.

4. Демонстрируется модель космического корабля «Восток», рассказывается о его устройстве и полете Юрия Гагарина.

5. Орбитальная станция серии «Салют». Салют-7 – советская орбитальная станция, созданная по гражданской программе «Долговременная орбитальная станция» (рис. 3). Предназначалась для проведения научных, технологических, биологических и медицинских исследований в условиях невесомости. Создавалась для продолжения работ, начатых на предыдущих станциях серии «Салют». Была модифицирована по сравнению со своей предшественницей, станцией «Салют-6», и рассчитывалась на более длительный период эксплуатации (до 5 лет). Для выходов в открытый космос применялись усовершенствованные скафандры «Орлан», которые рассчитаны на 6,5 часа работы в открытом космосе.



Рис. 3.

6. Демонстрируется модель «Салют 7» и рассказывается о ее устройстве.

7. «Буран» – орбитальный корабль-ракетоплан советской многоразовой транспортной космической системы (МТКК), созданный в рамках программы «Энергия – Буран». Один из двух реализованных в мире орбитальных кораблей МТКК.

«Буран» предназначался для:

- выведения на орбиты, обслуживания на них и возвращения на землю космических аппаратов, космонавтов и грузов,
- проведения военно-прикладных исследований и экспериментов по созданию больших космических систем с использованием оружия на известных и новых физических принципах,
- решения целевых задач в интересах народного хозяйства, науки и обороны,
- комплексного противодействия мероприятиям вероятного противника по расширению использования космического пространства в военных целях.



Рис. 4.

8.- Демонстрируется модель «Салют 7» и рассказывается о ее устройстве.

Опыт 1. Теллурий.

1. Теллурий (от лат. *tellus* — «Земля») – прибор для наглядной демонстрации годового движения планет – Меркурия (2), Венеры (3), Земли с Луной (4), Марса со спутниками (5), Юпитера с Галилеевыми спутниками (6), Сатурна (7), Нептуна (8) и Плутона (9) – вокруг Солнца (рис. 1).

В Теллурии шарик, изображающий Землю, движется вокруг большего шарика или какого-либо источника света (например, лампочки с рефлектором), представляющего Солнце (рис. 1). Кроме того, шарик-Земля вращается вокруг оси, проходящей через его центр и сохраняющей неизменное наклонное направление (подобно земной оси). Меньший шарик около Земли изображает Луну, обращающуюся вокруг Земли.

В наиболее простых теллуриях движение производится от руки.

Прибор «Теллурий» предназначен для использования в общеобразовательных учреждениях в качестве демонстрационной модели при изучении физической географии и астрономии по теме «Движение небесных тел».

Опыт. Изучение движения планет вокруг Солнца на модели Теллурия.

Прибор для наглядной демонстрации годового движения Земли вокруг Солнца и суточного вращения Земли вокруг своей оси состоит из горизонтальной панели, на которой размещены Солнце – большой шарик, в который помещена лампа накаливания (1), меньший шарик, изображающий Землю (2) и еще более меньший шарик, изображающий Луну (3).

Будем вращать ручку (4) теллурия – все шарики придут в движение. Земля движется вокруг большего шарика или какого-либо источника света (например, лампочки с рефлектором), представляющего

Солнце. Кроме того, шарик – Земля вращается вокруг оси, проходящей через ее центр и сохраняющей неизменное наклонное направление (подобно земной оси). Меньший шарик изображающий Луну, будет вращаться вокруг Земли.

При вращении шариков теллурия можно наблюдать: постоянство угла наклона земной оси, смену времен года, фазы Луны.

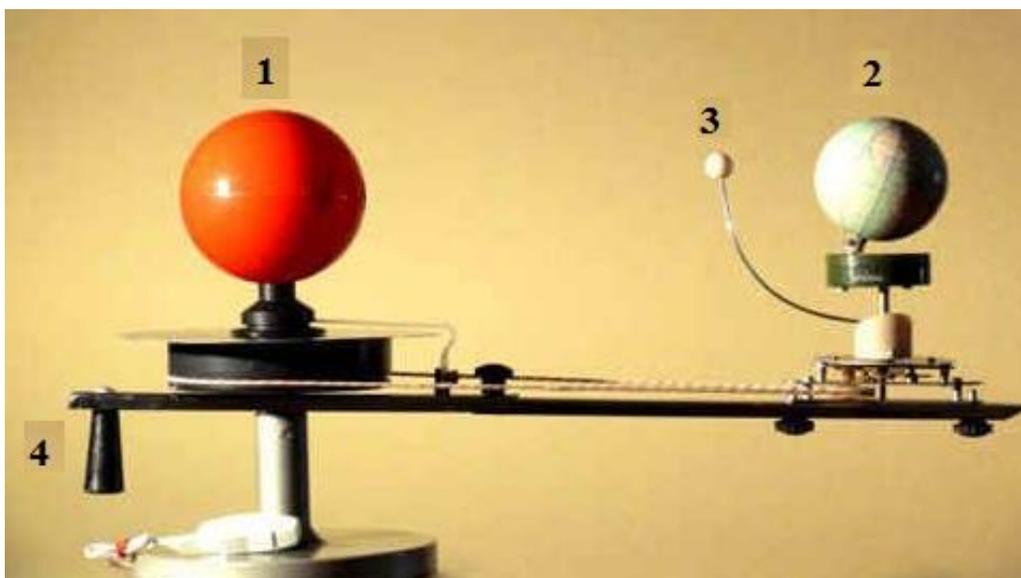


Рис. 2.

Проблема. Что произойдет, если Земля прекратит вращение вокруг своей оси?

Ответ. 1. Все объекты по инерции с большой скоростью полетят на восток. На экваторе скорость движения будет самой большой (около 1600 км/ч), а ближе к полюсам она достигнет 1300 км/ч). Начнут формироваться огромные приливные волны. Сила ветра увеличится. Внезапная остановка Земли приведет к перераспределению суши и воды, образуя два гигантских океана на обоих полюсах. Суша на экваторе сформирует новый континент, охватывающий всю планету Земля. Начнется извержение вулканов, ураганы и землетрясения. Огромная кинетическая сила Земли и ее импульс смогут повлиять даже на ядро. В одном полушарии станет жарко, как в пустыне, а в другом холодно, как в Антарктиде. Если Земля продолжит делать только один оборот вокруг Солнца, нагреваться будет только ее половина. Это значит, что температура здесь станет слишком высокой, особенно на экваторе. Исчезнет магнитное поле, которое защищает Землю от опасного космического излучения и от солнечного ветра – заряженных частиц, летящих от Солнца, являющимися смертельными для любого живого существа.

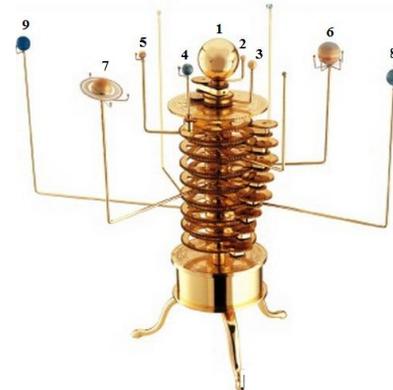


Рис. 1.

Основные использованные источники

1. Терентьев М.М. Демонстрационный эксперимент по физике в проблемном обучении.– М.: Просвещение, 1978.
2. Гринбаум М.И. Самодельные приборы по физике.– М.: Просвещение, 1972.
3. Покровский А.А., Буров Б.А., Зворыкин Б.А, Румянцев И.М. Физический эксперимент в школе.– М.: Просвещение, 1964.
4. Орехов В.Л. Колебания и волны в курсе физики средней школы.– М.: Просвещение, 1977.
5. Мансветова Г.П., Гудкова В.Ф. Физический эксперимент в школе.– М.: Просвещение, 1961.
6. Бугайова О.І. Фізика в школі.– Київ: Радянська школа, 1976.
7. Громыко Г.Г. Сто опытов по физике.– Кстово: 2000.
8. Журнал «Учебная физика» .– М.: Российская Академия Образования, 2008 – 2012.
9. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики, ч. I – III.– М.: Наука, 1995.
10. Резников З.М. Прикладная физика.– М.: Просвещение, 1989.
11. Остер Г.Б. Физика.– М.: Росмен, 1995.
12. Маркс Э. История открытий.– Росмен, 1995.
13. Евсеевичева А.Н., Как это работает. Свет и звук.– Олма Медиа Групп, 2014.
14. Зарапин В.Г. Опыты Тома Тита. Удивительная механика.– Эксмо, 2014.
15. Мотылева Э.И. Большая книга экспериментов.– М.: Росмен, 2009.
16. <http://www.school-collection.edu.ru> – Единая коллекция ресурсов
17. <http://elkin52.narod.ru/> – Занимательная физика
18. <http://presfiz.narod.ru/zf/> – Занимательная физика. Я.И.Перельман.
19. <http://experiment.edu.ru/> – Физика. Коллекция опытов.
20. <http://www.curator.ru/e-books/physics.html> – Список электронных средств по физике.
21. <http://www.edu.delfa.net/> – Кабинет физики
22. <http://astronom-ntl.narod.ru> – Сборник материалов по физике и астрономии.
23. <http://electricaleather.com/sovremennaya-yestestvenno-nauchnaya-kartina-mira> – Современная естественнонаучная картина мира
24. Трубецков Д.И. Колебания и волны для гуманитариев.– Саратов: «Колледж», 1997.

Содержание

Введение	3
Часть 1. Механика	5
Часть 2. Электростатика	23
Часть 3. Постоянный ток	41
Часть 4. Магнитное поле	63
Часть 5. Механические колебания и волны	101
Часть 6. Электромагнитные колебания	139
Часть 7. Электромагнитные волны	161
Часть 8. Оптика	175
Часть 9. Атом и атомное ядро	191
Часть 10. Астрономия	195
Основные использованные источники	200

Подписано в печать 02.08.2018 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 23,5. Заказ № 475. Тираж 300 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии ННГУ им. Н.И. Лобачевского.
603000, г. Нижний Новгород, ул. Б. Покровская, 37