

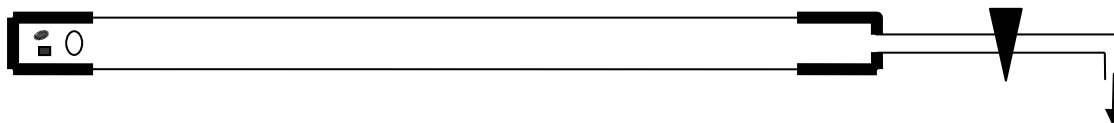
Харьковский национальный  
университет им. В.Н. Каразина.  
Физический факультет.  
Кафедра экспериментальной физики.  
Лаборатория лекционного эксперимента  
и демонстрирования.

## ПЕРЕЧЕНЬ ДЕМОНСТРАЦИЙ (с описанием)

№ п/п	Раздел	Количество демонстраций	Страница
1	Механика	60	2
2	Механика жидкостей и газов	16	5
3	Механические колебания и волны	46	6
4	Молекулярная физика и термодинамика	55	8
5	Фазовые переходы первого рода	21	11
6	Электричество	29	12
7	Постоянный электрический ток	25	14
8	Электромагнетизм	16	15
9	Электромагнитная индукция	10	16
10	Магнетизм	8	17
11	Электромагнитные колебания и волны	9	18
12	Оптика	53	19
13	Геометрическая оптика	14	21
14	Лучеиспускание и лучепоглощение	20	22
<b>Всего демонстраций</b>		<b>382</b>	

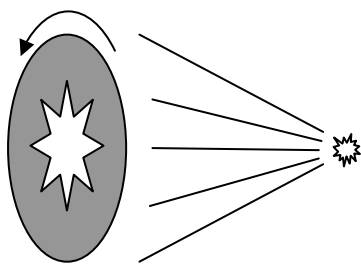
# 1. Механика

## 1.1. Свободное падение тел (труба Галилея).



Для демонстрации падения тел в безвоздушном пространстве служит стеклянная трубка диаметром 5-7 см, длиной ~ 1,6 м. С одной стороны трубка геометрически закрыта металлическим стаканом, а с другой – находится такой же металлический стакан с краном для присоединения к форвакуумному насосу. Внутри трубки вложены металлическая монета, капроновый диск и кусочек поролона. При переворачивании трубки из вертикального положения на  $180^\circ$  монета падает быстро, что можно определить по стуку о дно трубки, капроновый диск и вата падают медленно. Затем трубку присоединяют к форвакуумному насосу, и после откачки вновь переворачивают. Теперь все тела падают одновременно. Наконец, пустив воздух в трубку, вновь показывают падение тел в воздухе.

## 1.2. Кольца Маха.



Возьмем черный диск с белой звездой на нем, осветим его белым светом и начнем вращать со скоростью несколько десятков оборотов в минуту. Тогда интенсивность света, посылаемого диском в наш глаз должна уменьшаться с увеличением радиуса.

Наблюдение, однако, показывает, что внутренний круг ограничен яркой белой полосой, а черное кольцо ограничено изнутри полосой ещё более глубокого черного света. Эти две полосы - так называемые полосы Маха. Не взирая на то, что в действительности переход от белого к чёрному непрерывный, мозг и глаз увеличивает контраст, проводя белую полосу по границе белого и черную по границе черного. Благодаря этому мы имеем впечатление резких контуров.

### Угловая скорость:

#### 1.3. вращение диска в стробоскопическом освещении;

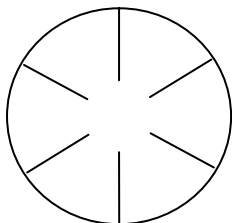


Рис. 1

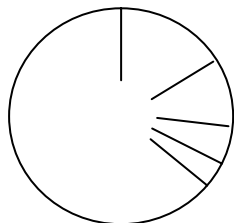


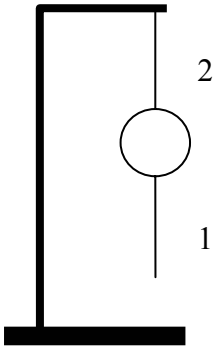
Рис. 2

Для этой демонстрации применяется стробоскопическое освещение вращающегося чёрного диска диаметром 40 см, на котором нанесена белая радиальная черта. Диск насажен на вал мотора, делающего несколько сот оборотов в минуту. Диск устанавливается на демонстрационном столе и с расстояния 4-5 м освещается стробоскопом типа СШ-2. На вращающийся диск направляют луч стробоскопа и наблюдают отдельные положения черты, составляющие равные углы между собой, если отношение частот вращения диска и вспышек стробоскопа равно целому числу. Если отношение частот не равно целому числу, наблюдаемая на диске картина будет перемещаться. Положение линий при постоянной скорости вращения диска и при торможении показаны на рис. 1, 2.

#### 1.4. вращение пропеллера в стробоскопическом освещении.

Для этой демонстрации применяется стробоскопическое освещение вращающегося вентилятора (пропеллера), который устанавливается перед экраном. Вращая ручку плавной регулировки частоты стробоскопа, добиваемся того, чтобы лопасти вентилятора казались неподвижными.

### 1.5. Инерция тяжелого шара.

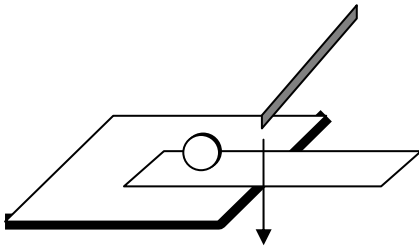


На массивной подставке подвешивается металлический шар, масса которого примерно равна 950 г. Внизу шара прикреплена такая же нить, как та, на которой он подвешен.

Если резко дёрнуть за нижнюю нить, она обрывается на участке 1.

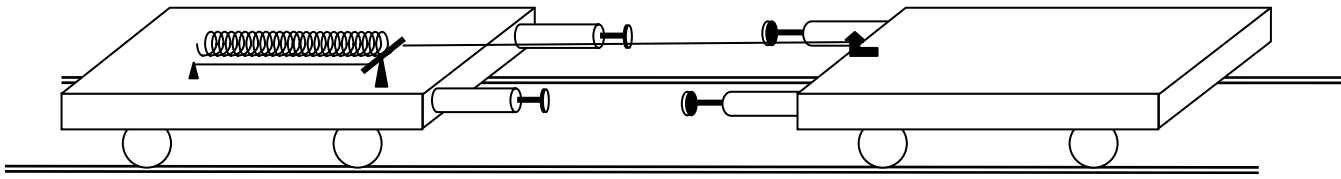
Если затем медленно потянуть за остаток нити, обрывается верхняя часть на участке 2.

### 1.6. Инерция монеты.



Положим на край стола лист картона и установим на этом листе монету (металлический рубль) на ребро. Нанеся резкий удар (например, линейкой) по части листа, которая выступает за край стола, лист можно выбить из-под монеты, причём монета останется на своём месте, на ребре. За это непродолжительное время лист не успевает изменить скорость монеты. В случае недостаточно резкого удара монета упадет.

### 1.7. Демонстрация законов Ньютона с помощью двух тележек.



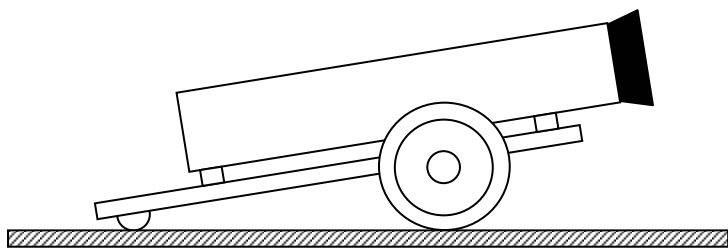
Две одинаковые тележки, устанавливаются на рельсах. На одной из тележек имеется закреплённая с одного конца пружина, которую можно растягивать. К другому концу пружины прикреплен шнурок, связывающий тележки между собой. Пружина натягивается при помощи рычажка, который закрепляется ниткой.

Когда нитка пережигается, пружина сокращается и тянет за собой вторую тележку.

В силу того, что массы тележек одинаковы, они встречаются на середине пути. Если же вторую тележку нагрузить гирями ( $\sim 1,5$  кг), путь пройденный ею уменьшится, т. к. сила сокращающейся пружины одинакова, а массы тележек разные, т.е. и ускорения их различны.

### Закон сохранения количества движения:

#### 1.8. пушка;



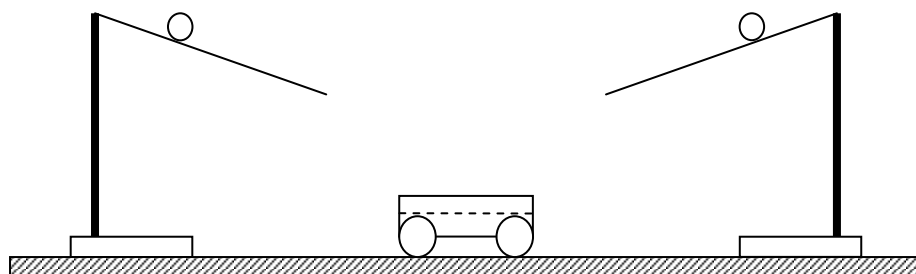
Латунная трубка  $d = 3,5$  см, длиной - 22см укрепляется на площадке с колёсиками. С одного конца трубка плотно закрывается резиновой пробкой, через которую по ее оси проходит металлический стержень, служащий электродом; второй электрод - корпус пушки.

Трубка заполняется водой  $50 \text{ см}^3$ , плотно закрывается резиновой пробкой. К электродам подводится напряжение  $U=220\text{V}$ , в результате чего вода нагревается и закипает. Образовавшиеся пары выталкивают резиновую пробку. Пробка вылетает, а сама пушка откатывается в противоположную сторону.

### 1.9. скатывание шариков в тележку с наклонных рельсов;

Небольшая тележка, на дне которой находится мешочек с песком, ставится на рельсы между двумя наклонными направляющими, по которым могут скатываться стальные шарики  $d = 3$  см.

Если шарики пускать поочередно по направляющим, тележка движется в сторону,

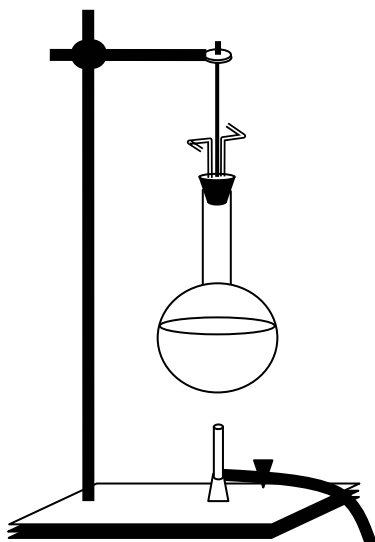


совпадающую с направлением движения шариков.

Если же шарики пускать одновременно

тележка остается на месте.

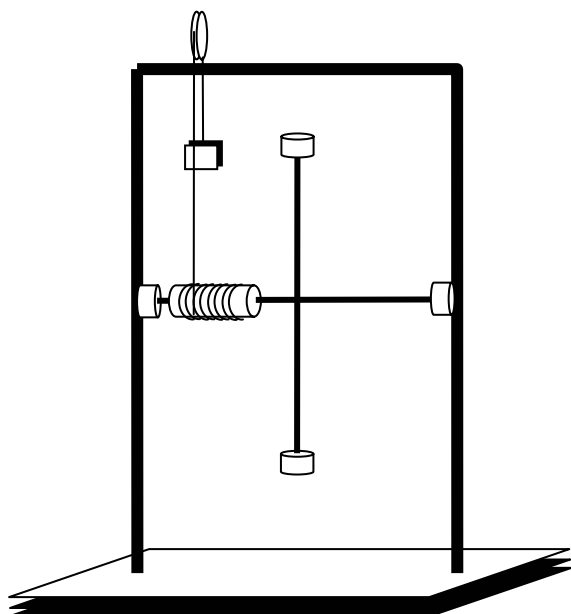
## 1.10. реактивное действие струи.



Реакцию вытекающей струи газа можно показать на приборе, изображенном на рисунке. Колба с водой закрыта пробкой в которую вставлен стержень с кардановым подвесом для крепления на штативе и две трубки с концами, согнутыми в виде сегнера колеса. Если воду в колбе довести до кипения, пар начнёт выходить из отверстий и сосуд начнёт вращаться.

**Момент инерции:**

## 1.11. маятник Обербека;



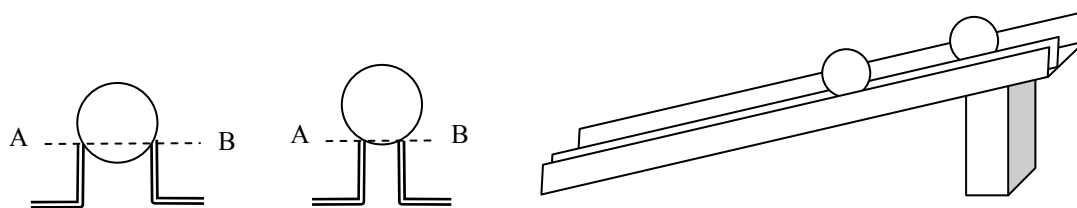
На горизонтальной оси укреплен стержень с массивными грузами, которые могут передвигаться вдоль него. На оси прибора имеется шкив, на который наматывается нить. Нить переброшена через блок вверху стойки и к ней подвешивается груз \_\_\_\_ 0,5кг. Нить наматывается на шкив и груз отпускается свободно падать. Перемещение грузов вдоль стержня сильно изменяет момент инерции прибора, поэтому, когда грузы находятся на концах стержня, вращение происходит медленно, когда грузы перемещены к центру - вращение быстрое

### 1.12. скатывание цилиндров с наклонной плоскости;

На наклонную плоскость размером  $50 \times 70 \text{ см}^2$  кладут сплошной и полый цилиндры одинаковых масс и размеров. Один цилиндр (сплошной) деревянный, второй - металлический.

Цилиндры ставятся соосно и отпускаются скатываться одновременно. Нижнего края плоскости первым достигает сплошной цилиндр, т.к. его момент инерции вдвое меньше чем у полого.

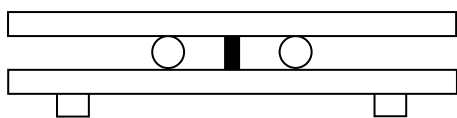
## 1.13. скатывание шариков с двух наклонных рельсов разной ширины.



По рельсам одной длины, но разной колеи, наклонённых к горизонтальной плоскости под равными углами, одновременно спускают с наивысшей точки два шара. Опыт покажет, что шары одинакового диаметра и равной массы скатываются с рельсов разной колеи неодновременно - чем больше расстояние между рельсами, тем с меньшей линейкой скоростью катится шар по рельсам. Мгновенная ось вращения шара при скатывании его по рельсам проходит по линии АБ сквозь тело шара /см. рис./ Отсюда следует, что момент силы, действующей на шар, и момент инерции его по отношению к мгновенной оси зависит от глубины погружения шара между рельсами. Поэтому ускорение, с которым скатывается шар, будет зависеть от соотношения между радиусом шара и расстоянием между рельсами. Для сравнения опыт необходимо демонстрировать дважды. Сначала необходимо первый шар спустить по широкой колее и одновременно с ним второй шар по узкой, а затем наоборот: первый по узкой, второй по широкой.

**Закон сохранения момента количества движения:**

1.14. скамья Жуковского (с гирями);



Столик Жуковского представляет собой платформу, свободно вращающуюся около вертикальной оси.

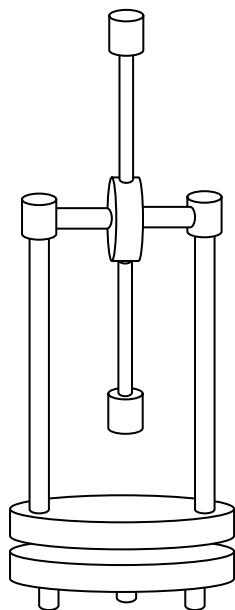
На платформу ставится демонстратор с гирями (\_\_\_\_\_ 2кг каждая гиря) в руках. Его слегка раскручивают. Если демонстратор разведет руки, скорость вращения резко уменьшается. При опускании рук скорость вращения снова увеличивается, т.к. момент инерции демонстратора изменяется

### 1.15. скамья Жуковского (с колесом);

На столик Жуковского становится демонстратор с велосипедным колесом, насаженным на ось длиной около метра. Для увеличения момента инерции на обод колеса надета свинцовая лента. Демонстратор раскручивает колесо, держа ось в горизонтальном положении. При этом проекция момента количества движения системы на вертикальное направление равна нулю. Если повернуть ось вращающегося колеса в вертикальное положение, проекция момента количества движения колеса на вертикальное направление отлична от нуля. А так как момент количества движения системы должен оставаться равным нулю, демонстратор должен начать вращаться в сторону, противоположную вращению колеса.

Если повернуть ось колеса на  $180^\circ$ , скамья изменит направление вращения на противоположное.

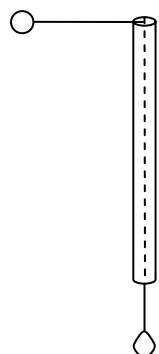
### 1.16. маятник Пешехонова.



Прибор состоит из маятника на оси, двух опорных стоек, закреплённых на одной вращающейся круглой платформе и неподвижной подставки. Сам маятник состоит из цилиндра, который при помощи двух шарикоподшипников посажен на горизонтальную ось. В цилиндр по вертикальной оси вкручены два плеча, на концах которых закреплены грузы одинаковых размеров. Массы грузов соотносятся как 1:3. Это позволяет уменьшить затухания колебаний. Горизонтальная ось с маятником крепится к вертикальным стойкам, укреплённым на вращающейся платформе. Платформа посредством двух шарикоподшипников соединена с массивной подставкой. Прибор работает следующим образом: отклонив маятник на небольшой угол, приводим рукой во вращение платформу вокруг вертикальной оси. Когда маятник проходит вертикальное положение, то под действием сил инерции нижняя часть его отбрасывается в сторону, что влечет за собой увеличение момента инерции всей системы и соответствующее уменьшение угловой скорости вращения прибора.

При уменьшении угловой скорости уменьшаются силы инерции, действующие на маятник, он возвращается вновь в вертикальное положение и далее явление повторяется.

## 1.17. Длинный полый цилиндр и тяжелый шар на нити.

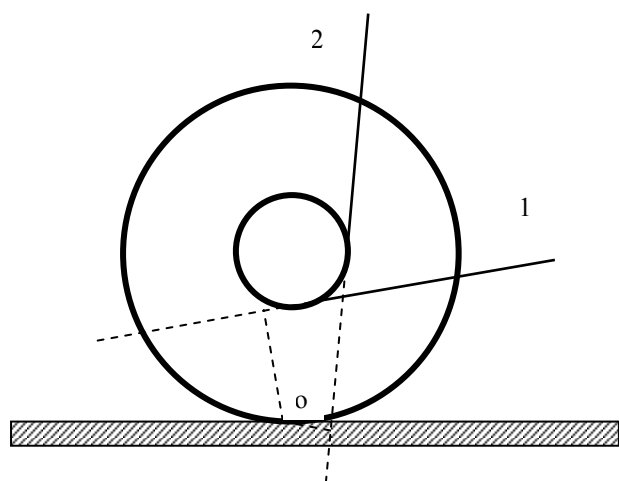


Момент импульса материальной точки относительно оси вращения определяется произведением импульса на кратчайшее расстояние до оси.

В нашей демонстрации траектория шарика - окружность. Момент сил относительно оси вращения равен нулю, поэтому момент импульса шарика сохраняется. Изменение радиуса вращения сопровождается изменением импульса, т.е. изменяется скорость вращения шарика вокруг вертикальной оси.

Для этого опыта используется деревянная катушка, у которой радиус цилиндра приблизительно в два раза меньше радиуса "щек". К середине катушки приклеен конец тесьмы, которую несколько раз обёртывают вокруг цилиндра. Катушку кладут на стол и тянут за конец тесьмы, выходящий из-под нижней поверхности цилиндра. Катушка перемещается в ту или другую сторону в зависимости от того, в какую сторону направлен вращающий момент относительно мгновенной оси  $O$ , расположенной в плоскости стола. В положении 1 тесьма вращает катушку по часовой стрелке, в положении 2 - против.

## 1.18. “Послушная” и “непослушная” катушка.

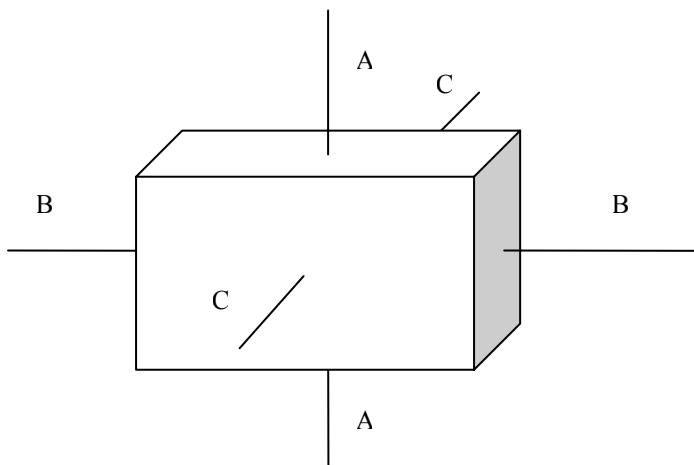


Для этого опыта используется деревянная катушка, у которой радиус цилиндра приблизительно в два раза меньше радиуса "щек". К середине катушки приклеен конец тесьмы, которую несколько раз обёртывают вокруг цилиндра. Катушку кладут на стол и тянут за конец тесьмы, выходящий из-под нижней поверхности цилиндра. Катушка перемещается в ту или другую сторону в зависимости от того, в какую

сторону направлен вращающий момент относительно мгновенной оси  $O$ , расположенной в плоскости стола. В положении 1 тесьма вращает катушку по часовой стрелке, в положении 2 - против.

### Свободные оси вращения:

#### 1.19. вращение большого спичечного коробка;



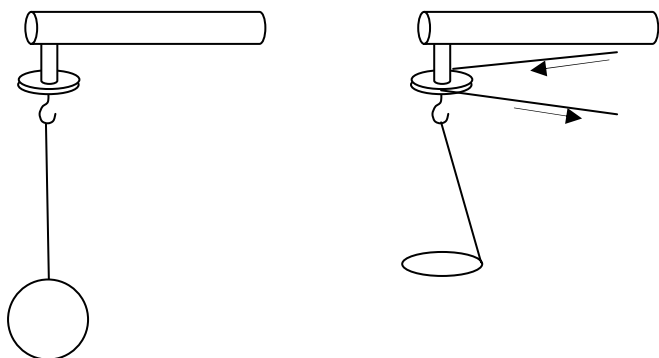
Для демонстрации того, что вращение вокруг свободных осей с наибольшим и наименьшим значением момента инерции устойчиво, а с промежуточным значением - неустойчиво, берут пустую коробку, размером приблизительно 20 x 20 x 5 см. Ось AA представляет собой ось, относительно которой момент инерции наибольший. Оси BB соответствует наименьший момент, а оси CC - промежуточное значение момента инерции. Сначала подбрасывают коробку, сообщая ей одновременно быстрое вращение вокруг оси AA. Коробка во время полёта вращается устойчиво, сохраняя неизменным направление оси AA. Затем коробку подбрасывают, сообщая ей вращение вокруг оси BB. Это вращение также устойчиво. Наконец, подбросив коробку и сообщив ей вращение вокруг оси CC, наблюдают неустойчивое вращение. Коробка движется неровно, меняя направление оси CC в пространстве, как бы "кувыркаясь" в воздухе.

1.20. вращение цилиндрического стержня;

1.21. вращение кольца;

1.22. вращение цепочки;

## 1.23. вращение диска.



На центробежную машину подвешиваются цилиндрический стержень, кольцо или замкнутая цепочка. При быстром вращении тела постепенно переходят в горизонтальное положение, причем цепочка приобретает форму круга.

Это происходит потому, что все тела стремятся вращаться вокруг оси с наибольшим моментом инерции. Шнурок, на котором висят тела, можно отсоединить от центробежной машины и показать, что некоторое время тела сохраняют направление оси вращения неизменным.

#### 1.24. бегущая цепочка;

Для этой демонстрации необходима металлическая цепочка, концы которой соединяют в кольцо диаметром \_\_\_\_ 25-30см. На вал мотора надевается деревянный шкив, диаметр которого должен быть таким, чтобы цепочка надевалась на него плотно.

Надев на шкив цепочку, приводят мотор в быстрое вращение. Когда скорость вращения - установится, что слышно по звуку, сталкивают деревянной дощечкой цепочку со шкива. Быстро вращающаяся цепочка катится по столу, как упругое кольцо, вокруг свободной оси, проходящей через его центр масс.

### 1.25. вращение “яйца”;

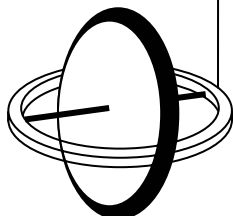
Для демонстрации свободной оси вращения и одновременно гироскопического эффекта твёрдое тело, имеющее форму яйца и лежащее на столе, нужно привести в достаточно быстрое движение. Яйцо становится на более острый конец и устойчиво вращается в этом положении. В отличие от сваренного вкрутую куриного яйца, которое при вращении становится на острый конец, сырое скоро перестаёт вращаться вследствие внутреннего трения его жидкого содержимого. Для приведения яйца в быстрое вращение следует к его тупому концу приложить большой палец левой руки, а к острому концу - средний палец правой руки и затем сделать резкое движение одновременно обоими пальцами.

**Гирскопический эффект:**

## 1.26. гироскоп в кардановом подвесе;

Гироскоп, закрепленный в кардановом подвесе, приводится в быстрое вращение электромотором. После того, как гироскоп хорошо раскрутится, демонстратор несколько раз изменяет положение подставки в пространстве. При этом направление оси вращающегося гироскопа строго сохраняет свое направление.

## 1.27. прецессия (гироскоп на нити);



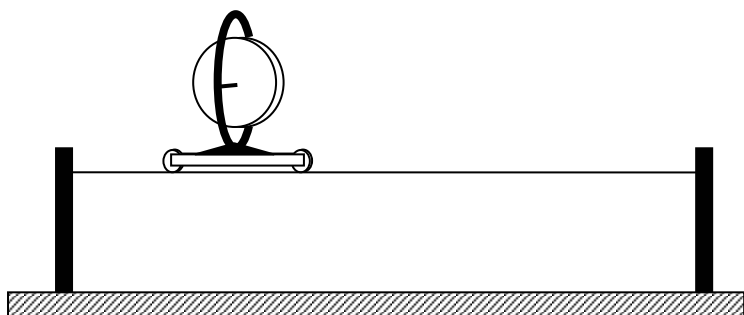
К раме гироскопа привязывается шнурок. С помощью мотора гироскоп приводится во вращение. Затем оси гироскопа придаётся такое положение, чтобы она образовала угол, около  $90^\circ$ , со шнуром, за который поднимают гироскоп. Тогда гироскоп, сохраняя приданое ему положение относительно вертикали, начинает прецессировать вокруг направления подвеса, постепенно отклоняясь от вертикали на всё больший угол. Когда ось гироскопа постепенно опускается, перейдёт в горизонтальное положение, гироскоп следует подтолкнуть в ту же сторону, куда происходит прецессия. Тогда вследствие ускорившейся прецессии ось гироскопа поднимается, приближаясь к вертикальному положению. Наоборот, если слегка задержать прецессию ось гироскопа начнёт опускаться.

### 1.28. прецессия гироскопа (велосипедное колесо);

Велосипедное колесо, утяжелённое по ободу свинцовой полоской, насажено на ось, на противоположной стороне которой находится массивный противовес. Ось колеса крепится на стойке и может вращаться вокруг вертикального направления. При помощи противовеса, который можно передвигать вдоль оси, велосипедное колесо может быть сбалансировано (его ось горизонтальна) или слегка разбалансировано.

После того как система сбалансирована, колесо раскручивается мотором. Если теперь потянуть за нитку, прикрепленную к свободному концу оси, ось повернется не в направлении действия силы, а в направлении момента силы, т.е. если потянуть за нитку вверх или вниз, ось движется горизонтально. Если же система слегка разбалансирована, ось движется в горизонтальной плоскости (прецессирует) до тех пор, пока вращение колеса достаточно быстрое.

## 1.29. монорельсовая дорога;

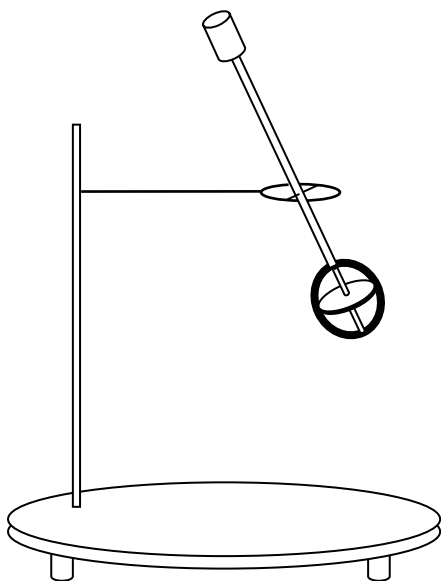


Устройство предназначено для демонстрации гироскопического эффекта. Устройство состоит из тележки с гироскопом, литых металлических стоек со стационарными крючками на них и троса. В одном из штативов предусмотрено устройство для натяжения троса. Тележка представляет собой горизонтальную платформу установленную на двух колёсах. На платформе предусмотрено зубчатое фиксирующее устройство для предотвращения падения тележки при неустойчивом положении на тросе. Гироскоп установлен на горизонтальной платформе и соединен с ней посредством подшипник. Для проведения демонстрации необходимо укрепить стойки на демонстрационном столе, натянуть трос. Раскрутить гироскоп от мотора, выставить ось гироскопа перпендикулярно тросу, теперь положение тележки устойчиво, слегка толкнуть тележку, она плавно катится от стойки к стойке.

### 1.30. массивный медный волчок на специальной подставке;

Массивный волчок раскручивается при помощи шнура ( 1,2 м ), намотанного на узкую цилиндрическую часть волчка. После раскачивания волчка убираем иглу, которая удерживала до этого волчок от падения. Сильно и резко ударяем по средней части оси волчка. При этом волчок сохраняет направление своего вращения почти неизменным и начинает лишь прецессировать. Этот опыт демонстрирует устойчивость движения волчка при действии на него внешних мгновенных сил

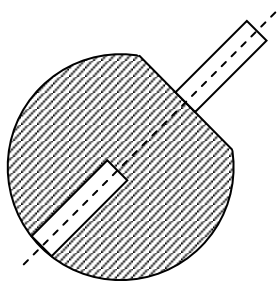
1.31. опрокидывающийся волчок на скамье Жуковского;



На скамье Жуковского укрепляется массивный гироскоп с противовесом, как показано на рисунке. Гироскоп полусвободен, т.к. ось его может вращаться только в одной вертикальной плоскости. Приведя гироскоп во вращение, показывают, что при неподвижной скамье гироскоп устойчиво вращается в любом положении, которое ему придано.

Приведя во вращение скамью Жуковского, демонстрируют поворот гироскопа таким образом, что его ось располагается параллельно оси вращения скамьи. При изменении направления вращения скамьи, гироскоп поворачивается на 180 градусов. Устойчивое вращение гироскопа возможно только при совпадении направления его оси с направлением оси вращения скамьи Жуковского.

## 1.32. опрокидывающийся волчок;

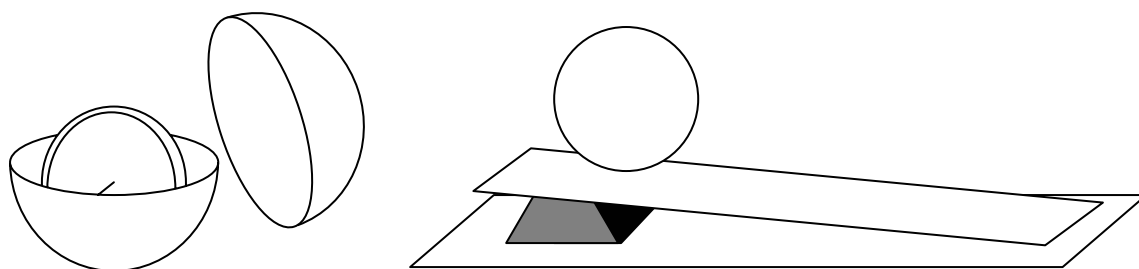


Китайский волчок — волчок особой форма, представляющий собой усеченный пластмассовый шар, с трубкой по оси шарика (см. рис.). Центр тяжести  $O_1$  такого волчка находится ниже центра - шара  $O$ . Как известно, у обычного волчка при прецессии центр тяжести опускается все ниже, по мере уменьшения скорости вращения волчка. Китайский волчок касается опоры не в одной точке на конце оси, как обычный волчок, а его точка касания непрерывно смещается по поверхности шара, описывая спираль по мере увеличения наклона волчка к горизонтальной плоскости. Как видно из рисунка, центр тяжести волчка при этом не опускается, а поднимается, что приводит не к уменьшению скорости вращения, а к ее увеличению, что сопровождается дальнейшим подъемом центра тяжести и увеличением наклона оси волчка к горизонту. Понятно, что увеличение скорости вращения может происходить лишь при уменьшении момента инерции волчка, что определяется его специальной формой. Наконец ось волчка устанавливается горизонтально и волчок переворачивается, становясь на конец трубки и продолжая вращаться в том же направлении (обычно по часовой стрелке) т.к. его момент количества движения не меняет знак. Однако относительно оси волчка его скорость вращения меняет знак, что происходит в тот момент, когда ось волчка проходит через горизонтальное положение.

## 1.33. юла;

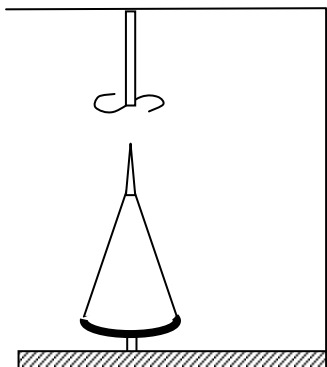
Юлу приводят во вращение так, чтобы её ось была вертикальной. Деревянной палочкой длиной 25-30 см. и диаметром 6-8мм. ударяют по средней части оси. Удар должен быть резким и достаточно сильным. Юла после удара сохраняет направление своего вращения почти неизменным и начинает лишь сильнее прецессировать. Кроме того, появляется небольшое дрожание оси - нутация. Этим опытом демонстрируется устойчивость движения юлы по отношению к внешним мгновенно действующим силам. если заставить юлу вращаться на достаточно большом куске картона, то, взяв картон двумя руками можно подбрасывать юлу довольно высоко. Падая обратно на картон, юла продолжает своё вращение.

## 1.34. гироскоп в шаре;



Устройство предназначено для демонстрации гироскопического эффекта. Масса шара - 0,635 кг. Длина наклонной плоскости - 1-2 м. Диаметр шара - 0,104 м. Устройство состоит из гироскопа в шаре и наклонной плоскости. Гироскоп в шаре - это массивный маховик на оси, вмонтированный в кольцо - обойму с помощью шарикоподшипников. Кольцо-обойма с маховиком помещены в полый разъемный шар. Наружная поверхность обоймы служит местом соединения двух полусфер шара. Одна полусфера насажена на обойму жестко, другая - соединена резьбовым соединением. Для проведения демонстрации необходимо установить на столе наклонную плоскость под углом не более  $35^\circ$ , снять полусферу, раскрутить маховик с помощью мотора, затем собрать шар и с вращающимся гироскопом поместить на наклонную плоскость. Ось вращения гироскопа необходимо установить перпендикулярно плоскости скатывания. При таком условии шар не скатывается.

## 1.35. периметрический гироскоп;



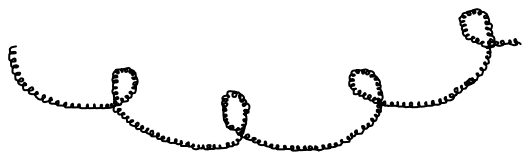
Этот гироскоп еще можно назвать уравновешенным или астатическим. Он выполнен в форме колокола, у которого точка опоры совпадает с центром тяжести, поэтому он находится в состоянии безразличного равновесия. Раскрутим гироскоп. При произвольном положении основы ось гироскопа сохраняет свое положение в пространстве.

Если опустить фиксирующий стержень, ось гироскопа будет двигаться по периметру закрепленной на нем фигуры (в форме буквы S). Такой гироскоп называется периметрическим.

### 1.36. гироскоп в магнитном поле;

В практике на ось гироскопа внешние силы могут воздействовать не только непосредственно, но и через влияние, например, магнитного поля. Возьмем гироскоп в кардановом подвесе и поднесем к его оси магнит. Стальная ось нераскрученного гироскопа будет взаимодействовать с магнитом естественным образом - она притягивается. Если поднести магнит к оси уже раскрученного гироскопа, то направление движения оси будет иным, более сложным. Она движется вверх или вниз, или в сторону в зависимости от положения магнита по отношению к оси. Это действие гироскопического эффекта. Полезно провести аналогию наблюдая за поведением оси расбалансированного велоколеса при воздействии внешней силы непосредственно на его ось.

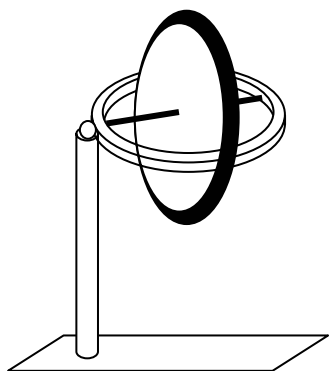
## 1.37. прецессия, нутация;



Траекторию прецессии и нутации можно непосредственно увидеть. Возьмем для этого закопченную стеклянную пластинку и поместим на нее ось раскрученного волчка.

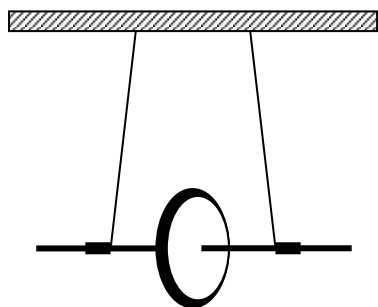
Ось будет описывать извилистую спираль. Кольцо большой спирали - это кольцо прецессии. Линия кольца извилистая. Это результат малых колебаний, которые называются нутацией.

## 1.38. гироскоп на вертикальной опоре;



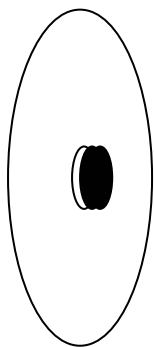
Если гироскоп на нити, раскрученный с помощью мотора, установить на опоре, то он будет прецессировать вокруг вертикальной оси.

## 1.39. гироскоп на бифилярном подвесе;



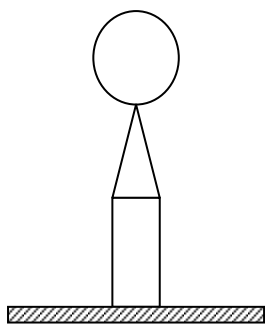
С помощью гироскопа на бифилярном подвесе можно показать, что при определенной скорости вращения ему достаточно и одной нити, чтобы ось старалась сохранить горизонтальное положение

## 1.40. гироскоп на тонком диске;



Попытки установить тонкий диск большого диаметра с закрепленным на нем гироскопом в виде подшипника, на ребро - тщетны. Однако, если раскрутить гироскоп с помощью мотора до больших скоростей, то результат окажется положительным - диск удерживается длительное время на ребре.

## 1.41. гироскоп на острие.

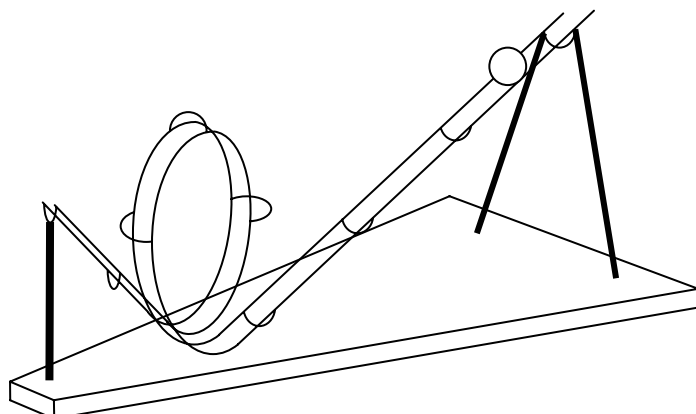


Гироскопические силы способны удержать шар с вмонтированным в него и раскрученным до больших скоростей с помощью мотора массивным гироскопом, на острие. Можно разобраться, как должна быть ориентирована ось гироскопа, чтобы шар не падал.

### Закон сохранения и превращения механической энергии:

#### 1.42. движение тела по “мёртвой” петле;

Прибор "мертвая петля" служит для демонстрации опыта по динамике

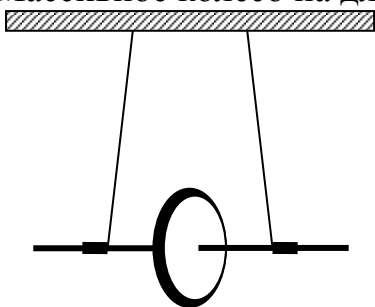


движения материальной точки по окружности. Эта демонстрация дает возможность выяснить соотношение сил (силы тяжести и реакции рельсов), действующих на катящийся по рельсам шарик, и объяснить возникновение центростремительной силы, определяющей криволинейное движение шарика. Если шарик

скатываться с наивысшей точки наклонных рельсов, то он устойчиво описывает петлю и с некоторой скоростью вылетает с другого конца прибора. Если шарик скатывать с наименьшей высоты, то он не доходя до вершины петли, отрывается от нее и падает, описав в воздухе внутри петли параболу.

## 1.43. маятник Максвелла;

Массивное колесо на длинных шнурках укрепляется на перекладине высокого штатива. Намотав шнурки на ось, поднимаем колесо в верхнее положение, при котором его потенциальная энергия имеет максимальное значение. Если колесо отпустить свободно падать, шнурки будут разматываться, и колесо будет опускаться с некоторым ускорением, меньшим  $g$ . Опустившись в нижнее положение, в котором потенциальная энергия равна нулю, а кинетическая максимальна, маятник поднимается вверх почти до верхнего положения.



#### 1.44. неупругий удар шаров;

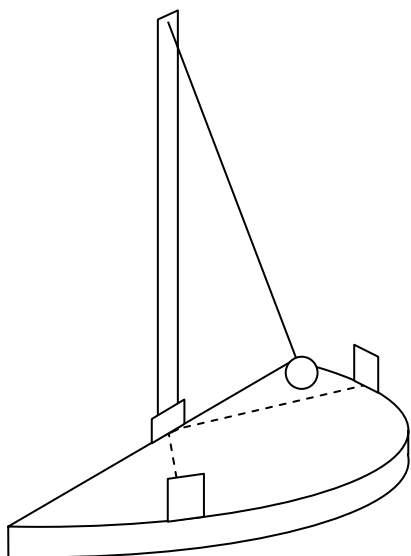
На штативе бифилярно подвешиваются два шара из пластилина диаметром примерно 4-5 см. Один из шаров отводится в сторону на 15-20 см. и отпускается. После удара оба шара будут двигаться совместно с одинаковой скоростью. Если же отвести оба шара на одинаковые расстояния и отпустить, они, столкнувшись, остановятся.

#### 1.45. упругий удар шаров;

На штативе бифилярно подвешиваются два шара одинаковой массы из слоновой кости. Если отвести оба шара на расстояние примерно 15-20 см. и одновременно отпустить, они, столкнувшись, разойдутся примерно на такое же расстояние. Если отвести один шар и отпустить, то после соударения покоившийся шар отклоняется, а двигавшийся останавливается.

Один из шаров заменяется на шар большей массой. При ударе малого шара о большой он отскакивает обратно с меньшей скоростью, а большой шар отклоняется на небольшое расстояние. При ударе большого шара о малый шары двигаются в одном направлении, но большой несколько уменьшает свою скорость, а малый приобретает скорость значительно большую, чем большой.

## 1.46. упругий удар шара о стенку;



В опыте демонстрируется сохранение тангенциальной составляющей скорости шара при упругом ударе о стенку и изменении нормальной составляющей скорости на противоположную. Прибор состоит из массивной горизонтально подставки, на которой находится вертикальная стойка. К верхнему краю стойки прикрепляется костяной шарик на длинной нити; к нижнему краю прикреплена костяная пластинка. На подставке симметрично относительно стойки расположены две пластинки, которые могут передвигаться вдоль края подставки. Шарик отводится до соприкосновения с одной из пластинок и отпускается. Ударившись о

пластинку на стойке, шарик отскакивает под таким же углом и ударяется о вторую пластинку.

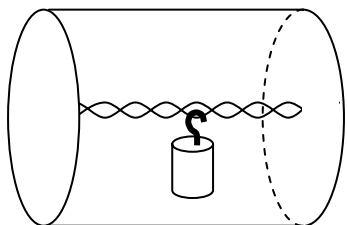
1.47. упругий удар многих шаров;

На специальной подставке бифилярно подвешены 5 шаров одинакового диаметра и массы, слегка касающиеся друг друга.

Если отклонить крайний шар на 10 - 15 см. и отпустить, то после удара на противоположной стороне отклонится последний шар, а три средние - будут неподвижны. Если отклонить два шара, то на противоположной стороне после соударения отклонятся два шара, а центральный останется без движения.

## 1.48. банка-бумеранг;

Опыт с банкой-бумерангом служит примером превращения кинетической энергии в потенциальную. Круглую банку кладут на стол и толкают. Банка проходит некоторое расстояние и останавливается. Но сразу после остановки она начинает катиться обратно. Всё объясняется просто. По оси банки



проходит жгут

из резинок, таких, какие используются для моторчиков авиамodelей. Концы жгута прикреплены к дну и к крышке банки. К середине жгута прикреплен свинцовый грузик. Когда банка катится, грузик висит вертикально и резина при вращении банки закручивается. Кинетическая энергия банки переходит

в потенциальную энергию закручивания резины, и банка останавливается.

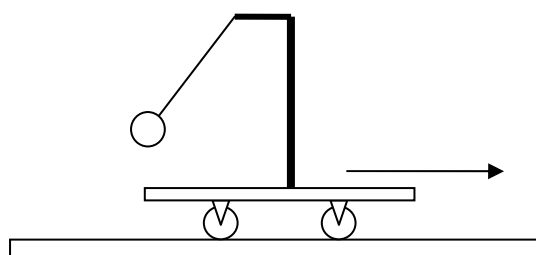
После остановки резина раскручивается и приводит в движение банку.

Энергия из потенциальной снова превратилась в кинетическую. Часть энергии из-за трения переходит в тепло и происходит затухание.

**Силы инерции:**

1.49. отвес на тележке;

На рельсах устанавливается тележка. На тележке укреплены стойки с

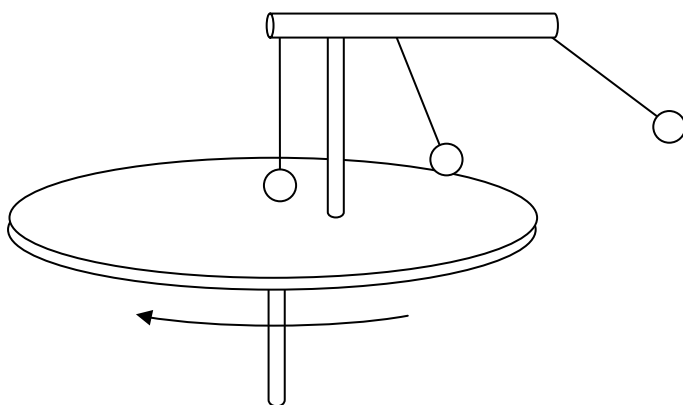


перекладиной, к которой прикреплен стержень с шариком на конце, образуя отвес.  $d$  шарика = 20 мм. Если привести в движение тележку равномерно без ускорения, шарик отвеса слегка отклоняется, когда тележка трогается с места, и в дальнейшем возвращается в

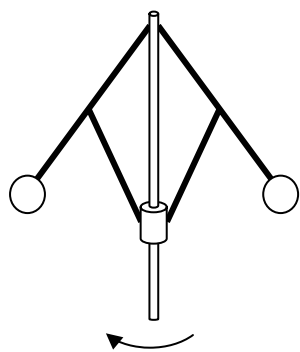
положение равновесия. Затем тележку заставляют двигаться с ускорением. Под влиянием силы инерции шарика отвес отклоняется на некоторый угол, тем больший, чем больше ускорение тележки.

## 1.50. отвесы на вращающейся подставке;

На центробежную машину устанавливается горизонтальный диск, вдоль радиуса которого на различных расстояниях укреплены отвесы с металлическими шариками одинаковой массы на концах. Один из шариков расположен точно над осью вращения диска, и он при вращении диска остается неподвижным. Два других шарика отклоняются на различные углы тем больше, чем больше расстояние их от центра, т.к. центробежная сила инерции, действующая на шарик, пропорциональна расстоянию его от оси вращения. Вращение диска должно быть равномерным.



## 1.51. регулятор Уатта;

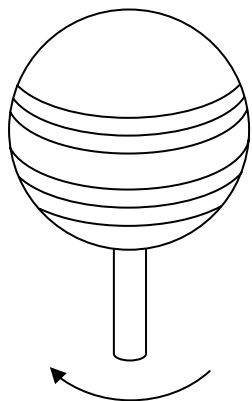


увеличивается.

На оси центробежной машины укрепляется вертикальный стержень, к верхнему концу которого прикреплены шарнирно два стержня одинаковой длины, на концах которых находятся тяжелые металлические шары. Со стержнем соединены шарнирно два других стержня, нижние концы которых несут муфту S.

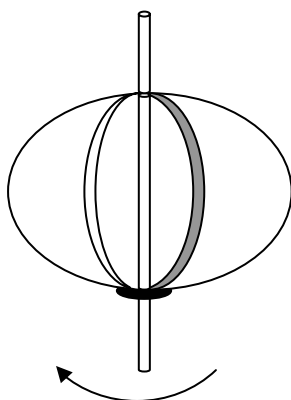
Если вращать центробежную машину, регулятор начнет вращаться вокруг вертикальной оси. Увеличивая скорость вращения машины, угол расхождения стержней с шарами

## 1.52. жидкости разной плотности;



Шарообразный сосуд зажимается в центробежной машине. В сосуд наливаются три жидкости различной плотности: ртуть, подкрашенная вода и керосин. При быстром вращении сосуда жидкости отбрасываются центробежной силой инерции к боковой поверхности сосуда и располагаются в нем в сл. порядке: ртуть, как более тяжелая - по экватору, затем выше и ниже ее подкрашенная вода, а еще дальше - керосин.

## 1.53. модель Земли;

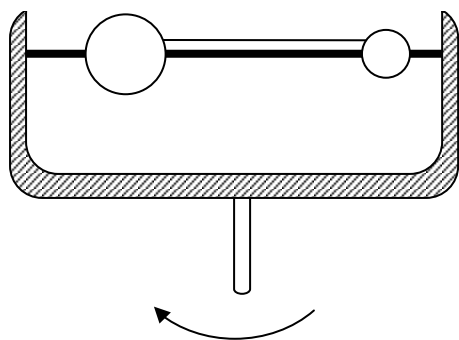


Две взаимноперпендикулярные металлические полоски жестко скреплены концами и при помощи двух муфт насажены на вертикальный стержень, который можно укрепить в центробежной машине. Нижняя муфта плотно скреплена со стержнем, верхняя свободно перемещается вдоль него и т.к. длина полосок больше длины стержня, они оказываются слегка сплюснутыми. При вращении стержня вращаются и скрепленные с ним в нижней муфте полоски. На каждый элемент этих полосок действует центробежная сила инерции, пропорциональная расстоянию от оси вращения. Поэтому центральные части полосок отодвигаются от стержня на еще большее расстояние. Получающаяся фигура является моделью Земли в первом приближении.

1.54. параболическая поверхность вращающейся жидкости;

В центробежную машину зажимается подставка с цилиндрическим стаканом. Стакан на треть заполняется водой. При вращении стакана поверхность воды принимает форму параболоида. Воду надо подкрасить раствором флюоресцеина или на поверхность воды насыпать немного порошка ликоподия.

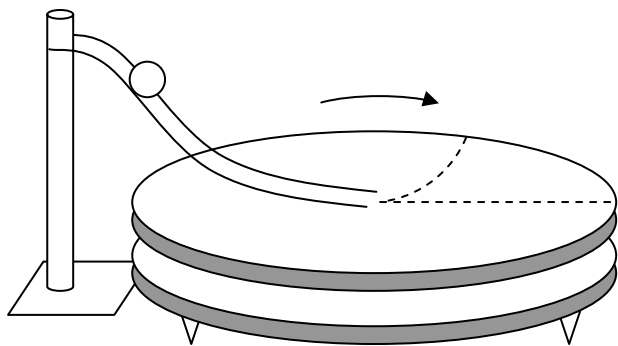
## 1.55. шары разной массы на горизонтальной штанге;



На оси центробежной машины укрепляют горизонтально расположенную штангу, вмонтированную в деревянную раму. На штангу насажены два костяные шара разного диаметра. Шары связаны между собой капроновой нитью. В зависимости от расположения шаров относительно оси центробежной машины, при вращении последней, либо большой шар перетянет меньший, либо наоборот. А если шары

расположить так, чтобы на оси машины находился центр масс обоих шаров, тогда при вращении центробежные силы инерции уравниваются и шары находятся в состоянии неустойчивого равновесия.

## 1.56. сила Кориолиса;



Круг диаметром ~80 см кладется на скамью Жуковского. Над кругом устанавливается небольшой наклонный желоб, с которого может скатываться шарик, смоченный водой с мелом. Конец желоба приходится над центром круга. Вначале шарик скатывают над медленно вращающимся кругом. Шарик отклоняется от прямолинейного пути в сторону противоположную вращению круга; - его траектория - дуга. Затем шарик скатывают при неподвижном круге - его траектория прямая линия.

Круг диаметром ~80 см кладется на скамью Жуковского. Над кругом устанавливается небольшой наклонный желоб, с которого может скатываться шарик, смоченный водой с мелом. Конец желоба приходится над центром круга. Вначале шарик скатывают над медленно вращающимся кругом. Шарик откла-

### 1.57. маятник Фуко.

Маятник Фуко представляет собой массивный металлический шар диаметром примерно 10-15 см., подвешенный к металлической проволоке, укрепленной в кардановом подвесе к потолку аудитории. Снизу к шару прикреплено заостренное перышко. На столик, который может при помощи специального рычага подниматься и опускаться, помещается закопченное стекло.

Маятник укрепляется ниткой в отклоненном положении и оставляется в покое несколько часов. Затем нитка пережигается, через несколько качаний столик кратковременно поднимается, и перышко прочерчивает на стекле линию. Примерно через 20 минут столик поднимается вновь и перышко прочерчивает новую линию, которая пересекается с предыдущей. Это пересечение происходит из-за того, что плоскость колебания маятника сохраняет свое направление в пространстве, а Земля вращается.

- 1.58. Движение двойного конуса вверх по наклонным рельсам.
- 1.59. Движение 5-ти копеечных монет с горизонтальной планки “мгновенно” сброшенной вниз (TV).
- 1.60. Поведение вертикально закреплённого стержня после ударов в разных точках (TV).

## 2. Механика жидкостей и газов

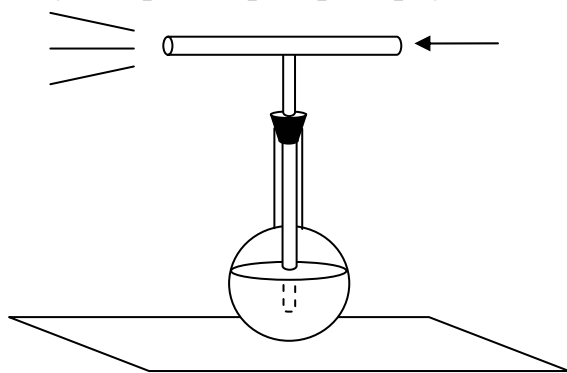
### 2.1. Линии тока.

В опыте демонстрируется ламинарное движение жидкости. Прибор представляет собой плоскую стеклянную кювету, расстояние между стенками которой около 3-х мм. Сверху над кюветой расположены два корытца, в нижних частях которых друг против друга просверлены отверстия. Корытца заполняются разноцветными жидкостями. Краном в нижней части кюветы можно регулировать скорость вытекания жидкости. При правильно подобранной скорости на экране видна застывшая картина течения линии тока. Если между стенками кюветы поместить обтекаемое "препятствие" каплеобразной формы, линии тока жидкости изгибаются, сгущаясь или разрежаясь вследствие изменения скорости в потоке.

**Закон Бернулли:**

## 2.2. пульверизатор;

Пульверизатор - прибор, убедительно демонстрирующий уменьшение



давления в потоке жидкости или газа.

Если продувать воздух по трубе с сужением, то при достаточной скорости тока воздуха давление в суженной части трубы будет

ниже атмосферного. Жидкость из сосуда будет возгоняться избытком

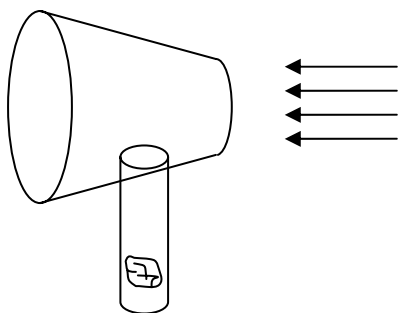
атмосферного давления в боковую трубку. Выходя из трубки, жидкость

будет распыляться струёй воздуха.

Действие пульверизатора рекомендуется показывать в теневой проекции.

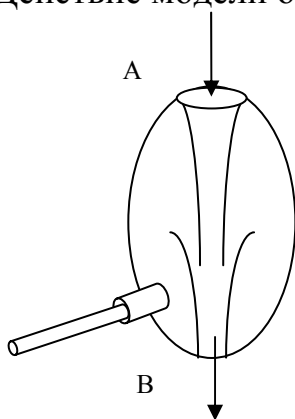
### 2.3. модель паровой вентиляции;

Действие модели основано на том, что давление в движущейся струе газа или жидкости меньше чем в покоящейся. Благодаря этому на частицы жидкости или газа, находящиеся в покоящихся слоях, действуют силы, направленные в сторону движущихся слоев. Модель парового вентилятора представляет собой изогнутую трубку с раструбом. В узкую часть трубки вкладывается небольшой кусочек ваты. Если обтекаемую часть раструба обдуть воздухом от -воздуходувки, ватка втягивается в трубку и вылетает из раструба.



#### 2.4. модель пароструйного насоса;

Действие модели основано на том, что давление в движущейся струе газа или жидкости меньше чем в покое. Благодаря этому на частицы жидкости или газа, находящиеся в покое, действуют силы, направленные в сторону движущихся слоев.

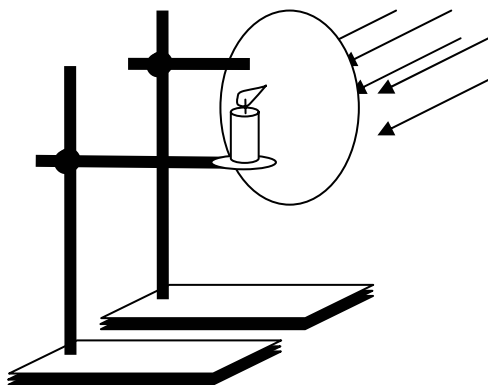


**В.** В модели водоструйного насоса через трубку "А" продувается воздух, и через расширение "В" воздух засасывается из окружающего пространства. Чтобы это было наглядно, сбоку стеклянной рубашки впаяна оливка и в нее вставляется зажженная папироса. При продувании воздуха папироса разгорается, а из

открытого отверстия идет дым.

### 2.5. явление “подсасывания”;

Если на пути воздушного потока поставить какое-либо тело, то струя воздуха, дойдя до этого предмета, начнёт его огибать. Поток воздуха настолько

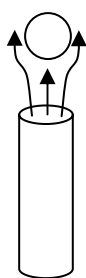


изменит своё направление, что часть потока позади предмета устремится в сторону, противоположную потоку. Заднюю сторону обдуваемого тела принято называть подсасывающей стороной. Следовательно явление "подсасывания" характеризуется обратным движением части потока позади обдуваемого тела. Для демонстрации явления "подсасывания" можно воспользоваться небольшим электрическим

вентилятором, продувающим воздух вдоль стола. На расстоянии одного метра от мотора в центре потока ставится зажжённая свеча. Пламя свечи резко отклоняется по направлению потока. Картина изменяется, если между вентилятором и свечей /ближе к свече/ расположить большой стеклянный диск, чтобы сидящим сбоку было видно. Теперь благодаря явлению подсасывания пламя свечи отклонится в направлении задней стороны диска, т.е. навстречу основному потоку.

## 2.6. парящий шарик;

Стеклянная трубка с узким отверстием на конце соединена с воздушно-дувкой.



Если в струю газа, выходящую из отверстия с большой скоростью, поместить легкий целлулоидный шарик, он повиснет в ней, не падая.

Объяснение этому заключается в том, что если написать уравнение

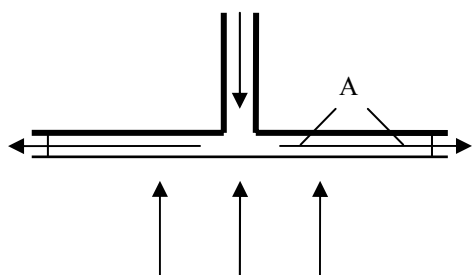
Бернулли для трубки тока в точках 1 и 2, получим  $P_2 = P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2}$ , т.к.

$V_2 = 0$ , в точке 2 существует так называемый "гидродинамический

подпор". Кроме того, вне трубки тока в невозмущенном воздухе

сохраняется неизменным атмосферное давление, препятствующее падению шарика в сторону. Положение шарика настолько устойчиво, что трубка может быть наклонена на значительный угол.

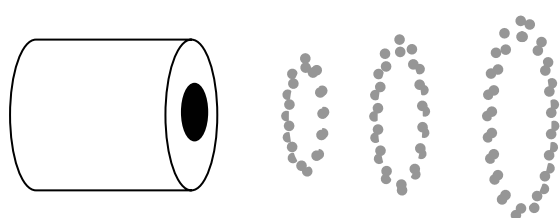
## 2.7. присасывающее действие струи.



Прибор состоит из металлического и бумажного дисков диаметром 15 см. В верхнем диске (металлическом) сделано отверстие, через которое может продуваться воздух. Нижний диск подвешивается к верхнему на нескольких ниточках на расстоянии около 1 см. Если между дисками продувать воздух,

статическое давление в струе в точках А уменьшается и бумажный диск атмосферным давлением поднимается вверх и прижимается к металлическому.

## 2.8. Кольцевые вихри в воздухе.



Для демонстрации берется большой полый цилиндр, одно из оснований которого затянута упругой мембраной, а в другом сделано небольшое отверстие. Через это отверстие внутрь цилиндра впускают дым. Если резко ударить

ладонью по мембране, дым выбрасывается из цилиндра в виде устойчивых кольцевых вихрей, движущихся вдоль оси цилиндра с большой скоростью. Демонстрация будет эффектней, если вихри осветить мощным источником света.

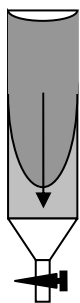
## 2.9. Вихри в воде.

Чтобы продемонстрировать вихри в воде, берется стеклянная кювета с водой, в которой хорошо размешиваются древесные опилки. В кювету резко опускают (а затем поднимают) каплеобразное тело и убеждаются, что завихрений практически нет. Если же резко погрузить и поднять металлическую пластинку, наблюдаются завихрения над и под пластинкой. Демонстрация показывается в проекции.



## 2.10. Течение вязкой жидкости.

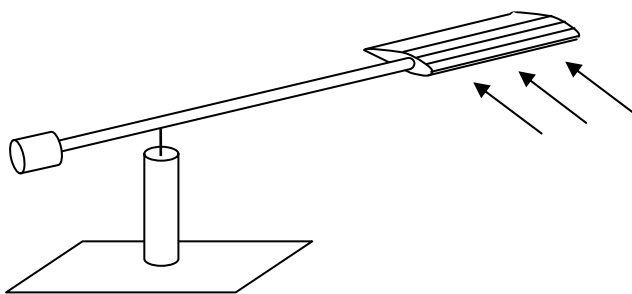
При вытекании вязкой жидкости из узкого отверстия



скорости отдельных слоев жидкости неодинаковы. Слой жидкости, расположенный по оси трубки обладает максимальной скоростью, слой жидкости, прилегающий непосредственно к стенкам сосуда, неподвижен. Для демонстрации этого явления берётся узкий сосуд квадратного сечения, на конце которого вмонтирован кран. Сосуд заполняется примерно над светлым глицерином, остальная часть объёма - окрашенным. Граница между окрашенной и неокрашенной жидкостями будет достаточно резкой. Открываем кран, жидкость начинает выливаться из сосуда. При этом из-за проявления сил внутреннего трения граница раздела между жидкостями начнёт изменяться, приобретая вид, который показан на рисунке. Демонстрация показывается в проекции.

### 2.11. Подъёмная сила крыла самолёта.

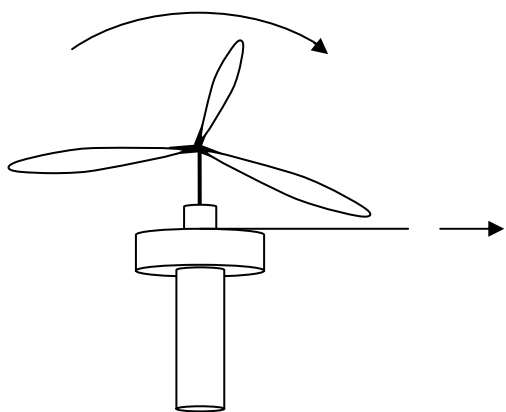
Демонстрация осуществляется при помощи аэродинамической трубы и модели крыла самолета. На массивной стойке горизонтально укреплена ось, с одной стороны которой расположена модель крыла самолета, а на про-



отивоположной - противовес. Первоначально противовес устанавливается так, чтобы крыло "перетягивало". Оно обдувается струёй воздуха от аэродинамической трубы. Т.к . крыло расположено под углом по отношению к горизонту, скорость

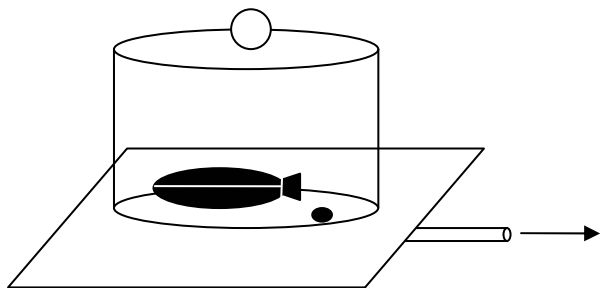
потока воздуха под крылом меньше, чем сверху. За счет этого возникает разность давлений, направленная вверх, которая и создает подъемную силу крыла самолета. Начинать опыт следует с такого положения крыла самолета, когда угол атаки  $\alpha$  равен примерно  $5-8^\circ$ . Затем угол атаки постепенно увеличивается. При этом наблюдается увеличение подъемной силы, которая достигает максимального значения при угле порядка  $15^\circ$ .

### 2.12. Работа пропеллера (вертолёт).



При вращении вокруг вертикальной оси появляется сила тяги, направленная вверх, это явление лежит в основе конструкции вертолёт. Чтобы продемонстрировать принцип действия вертолёт, пропеллер А, состоящий из трех лопастей на металлическом стержне, насаживают на рукоятку так, чтобы он свободно вращался как на оси. С помощью вмонтированной в рукоятку В, нити пропеллер приводят во вращение. При этом он поднимается вверх, срываясь с опоры, на которой находился при запуске.

### 2.13. Раздувание камеры под колоколом.



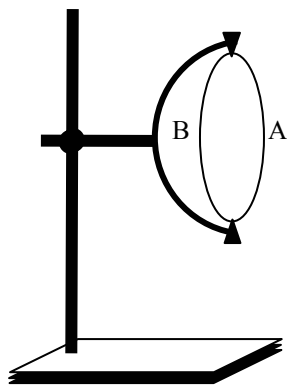
воздух из-под колпака. Камера постепенно раздувается за счёт находящегося в ней воздуха.

Для демонстрации этого опыта слегка надувают резиновую камеру воздухом, складывают вдвое отводную трубку и плотно зажимают её зажимом. Камеру кладут на тарелку под колокол так, чтобы она не закрывала отверстие для выхода воздуха.

Соединяют тарелку с насосом и откачивают

воздух из-под колпака. Камера постепенно раздувается за счёт находящегося в ней воздуха.

## 2.14. Диск Рэлея.



Металлический диск, ( $d = 14,5$  см) укрепленный в опорном полукольце с помощью двух держателей и свободно вращающийся вокруг точек закрепления, ставят на расстоянии  $0,5$  м от вентилятора так, чтобы центр диска приблизительно находился на одной горизонтальной линии с центром вентилятора. В однородном горизонтальном потоке воздуха диск начнёт вращаться, стремясь расположиться своей плоскостью

перпендикулярно к потоку. При всяком ином положении диска по отношению к потоку линии тока воздуха несимметрично обтекают края диска, что, создаёт разность давлений воздуха на передней и задней поверхностях диска, влекущую за собой появление крутящего момента. При положении диска перпендикулярно к потоку условия обтекания его с обеих сторон полностью симметричны, и диск находится в покое. Если плоскость диска расположена строго параллельно потоку, то поток в этом случае оказывает одинаковое давление на обе поверхности диска, и диск может остаться в покое, однако это равновесие не будет устойчивым. Самое небольшое отклонение диска, от этого положения создаёт несимметричное обтекание диска потоком воздуха, и он начнет вращаться, стремясь занять устойчивое положение в потоке воздуха т. е. расположится перпендикулярно к потоку.

С диском Рэлея следует показать варианты опыта:

1. диск располагается своей плоскостью под углом к потоку так, чтобы вперед был выдвинут край А диска;
2. под тем же углом выдвинут край Б;
3. диск располагается параллельно потоку / неустойчивое положение/
4. диск располагается сразу перпендикулярно потоку и наблюдается его устойчивость к потоку.

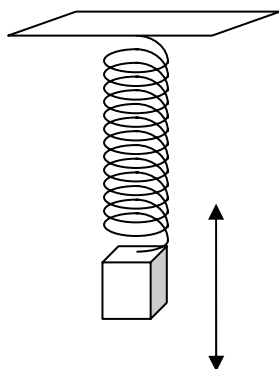
Диск расположен параллельно потоку /неустойчивое положение/

2.15. “Шаман”.

2.16. Фонтан воды при гидравлическом ударе.

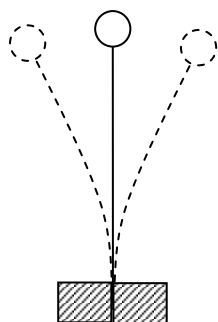
### 3. Механические колебания и волны

#### 3.1. Колебания груза на пружине.



На штативе закрепляется жесткая стальная пружина из проволоки  $d = 2-3$  мм,  $d$  витка = 10 см, на нижнем конце которой подвешивается груз,  $m \sim 50$  г. Оттянув груз на несколько сантиметров вниз и затем отпустив его, демонстрируем свободные колебания  $\Gamma$  пружины. Затем увеличив массу груза вдвое, показываем, что период колебания пружины изменился.

### 3.2. Колебания зажатой в тисках стальной узкой пружины.



Стальную тонкую пластинку зажимают в тиски. На верхнем конце укрепляют деревянный шарик и приводят пластинку в колебательное движение. При достаточной длине пластинки период колебаний настолько велик, что аудитория может свободно следить за колебаниями шарика. Рекомендуется показать колебания пластинки, когда она зажата тисками в трёх-четырёх различных местах. При этом меняется длина вибрирующей части пластинки и следовательно, частота колебаний системы. Для демонстрации зависимости периода колебаний пластинки от её момента инерции целесообразно сопоставить два опыта: колебания пластинки с шариком и колебание той же пластинки, но без шарика. Опыт демонстрируют в теневой проекции /стробоскоп/.

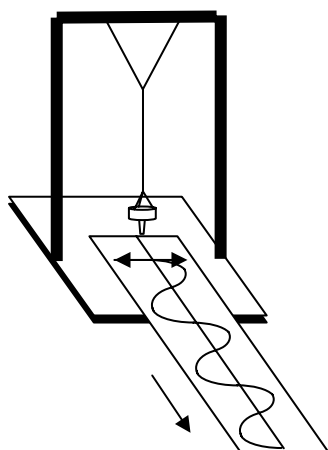
3.3. Проекция вращающегося шарика на центробежной машине (фаза, амплитуда) – гармонические колебания.

На центробежную машину устанавливается диск  $d = 25\text{см.}$  с рядом небольших отверстий по взаимноперпендикулярным диаметрам. В эти отверстия могут ввинчиваться стерженьки с насаженными на них шариками. Стерженек ввинчивается в одно из отверстий диска, освещается светом от фонаря и на экране видна его тень. При вращении диска тень шарика на экране двигается по прямой линии - совершает гармоническое колебательное движение, если установить на диске 2 стержня с шариками на концах какого-либо диаметра, то их теневая проекция совершает колебания с одинаковой амплитудой и частотой, но в противофазе. Устанавливая стерженьки на концах взаимно перпендикулярных диаметров, можно наблюдать колебания, происходящие с одинаковой амплитудой и частотой и сдвинутых по фазе на  $\frac{\pi}{2}$ .

### 3.4. Колебания камертона в стробоскопическом освещении.

Камертон необходимо закрепить в штативе. Стробоскоп располагают так, чтобы световой поток падал на камертон. Ударом деревянного молоточка возбуждают камертон. При использовании в стробоскопе сильного источника света следует получить на экране теневой рисунок ветвей камертона. При слабом источнике света следят за колебаниями ветвей камертона. Необходимо добиться равенства частот колебания камертона и вспышек света, тогда изображение ветвей камертона на экране будет неподвижным. Можно наблюдать три случая: ветви камертона кажутся неподвижными, сближенными и разошедшимися в разные стороны. Вид изображения зависит от сдвига фаз между колебаниями ветвей камертона и световыми вспышками. Когда частоты колебания камертона и стробоскопа отличаются на небольшую величину, ветви камертона медленно передвигаются, то сближаясь, то отходя друг от друга. Этот вариант опыта убеждает в том, что ветви камертона колеблются в противофазе.

### 3.5. “Автограф” маятника.



На бифилярном подвесе прикреплено массивное кольцо, в которое вставляется воронка для песка. Под воронкой помещается длинная подвижная доска. Маятник приводится в колебательное движение в -плоскости бифиляра. Высыпавшийся из воронки песок прилипает к смоченной доске и образует четкую полосу. Если теперь равномерно потянуть за доску в направлении, перпендикулярном плоскости колебаний, на ней останется след синусоиды, который получается в результате сложения двух движений: синусоидального и равномерного.

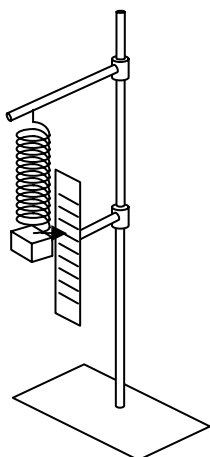
### 3.6. Синусоидальные колебания на осциллографе.

Электронный осциллограф является универсальным прибором при помощи которого можно наблюдать временные ( $y=y(t)$ ) и безвременные ( $y=y(t)$ ) характеристики.

Простейшим примером временной характеристики является колебание электронного пучка под действием переменного электрического поля. для наблюдения соответствующей картины осциллограф включается в цепь и на вертикально отклоняющие пластины (у-вход) подается напряжение или от сети (220 В) или от клеммы "контрольный сигнал". Если напряжение подается от сети, на входной цепи осциллографа необходимо поставить максимальное ослабление. При помощи усилителя след луча на экране растягивается в вертикальную полосу, длина которой равна примерно  $2/3$  диаметра экрана. Для того же, чтобы рассмотреть смещение электронного пучка во времени, на горизонтально отклоняющие пластины подается пилообразное напряжение. Если частота пилы равна частоте напряжения, поданного на у-вход, на экране осциллографа наблюдается один период неподвижной синусоида. Если частота пилообразного напряжения (частота развертки), например, вдвое меньше частоты исследуемого, на экране наблюдается 2 периода и т.д. Для большой стабильности картины должно быть подано синхронизирующее напряжение.

Если к у-входу осциллографа подключить микрофон и поднести к нему звучащий камертон то, подобрав предварительно частоту развертки также можно наблюдать синусоидальную кривую.

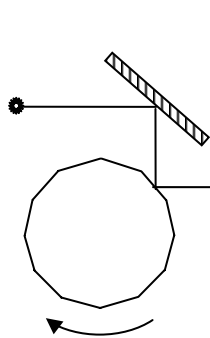
### 3.7. Затухающие механические колебания (система зеркал).



Небольшой груз подвешивают к нижнему концу довольно жесткой спиральной пружины. На верхний конец пружины закрепляют в горизонтальном держателе массивного штатива. Оттянув груз на несколько сантиметров вниз и затем отпустив его, демонстрируют свободные колебания системы пружина-груз. Желательно подобрать пружину такой жесткости, груз такой массы, чтобы период колебания системы был меньше 0,5-1 сек. Затем этот опыт необходимо продемонстрировать с грузами большей и меньшей массы.

Свободные колебания груза на пружине являются гармоническими, если нет трения. Силы трения совершают отрицательную работу, и тем самым уменьшают механическую энергию системы. Поэтому амплитуда колебаний с каждым размахом уменьшается после того как запас механической энергии окажется исчерпанным. колебания прекратятся совсем.

### 3.8. График сильно затухающих колебаний (машина Авенариуса).



Чтобы продемонстрировать на экране график синусоидальных колебаний, собирают установку схематично изображенную на рис. Лазерный пучок направляют на пластинку с прикрепленным к ней зеркальцем. В качестве отражающего зеркала применяют вращающуюся призму с боковыми поверхностями в виде плоских зеркал, которых в данном случае-12. Отклонив рукой свободный конец пластинки в сторону, вызываем колебания всей пластинки. Используя вращающееся

зеркало, получаем на экране горизонтальную развёртку колебаний светового пучка. Колебания пластинки будут настолько сильно затухающими, что на экране уложится не больше 2-3 периодов этой кривой при каждом возбуждении пластинки. Отражающее зеркало медленно приводится во вращение от руки.

### 3.9. Сложение колебаний одного направления при помощи двух камертонов и Э.О.

К клеммам вертикальной развертки электронного осциллографа подключается микрофон. Перед микрофоном устанавливаются два камертона, имеющую одинаковую частоту. Заставляя поочередно звучать камертоны, получаем на экране осциллографа синусоиду. При одновременном же звучании их получаем с суммарную синусоиду или с большей амплитудой или с меньшей, в зависимости от соотношения фаз.

Если же незначительно изменить частоту одного из камертонов, надев на ножку его хомутик, и заставить их звучать одновременно, на экране будет получена картина биения.

### 3.10. Сложение колебаний (механическая модель).

На горизонтальной деревянной подставке укреплена вертикальная доска с прорезями, в которые вставляются металлические стержни. Длина стержней подобрана так, чтобы они, опираясь на горизонтальную подставку, верхними концами образовали очертания синусоиды частотой  $f$ . \* Под нижние концы стержней можно подставить синусоидальные шаблоны различных периодов. Тогда концы поднявшихся стержней образуют другую линию, соответствующую сумме двух складывающихся синусоид. На шаблоне частотой  $f$  можно получить результирующую кривую с удвоенной амплитудой или с амплитудой равном нулю.

### 3.11. Сложение двух взаимно перпендикулярных механических колебаний (фигуры Лиссажу на песке).

Демонстрацию этого опыта можно показать на маятнике с песком. Для этой цели нити подвеса воронки охватываются хомутиком. При таком условии маятник может колебаться как в плоскости штатива так и перпендикулярно ему. Передвигая хомутик вверх или вниз можно менять соотношение частот колебаний маятника.

Надо насыпать в воронку песок, оттянуть под углом  $45^\circ$  к плоскости штатива и отпустить его. Песок, высыпаясь из колеблющейся воронки, описывает ту или иную фигуру на увлажненной доске.

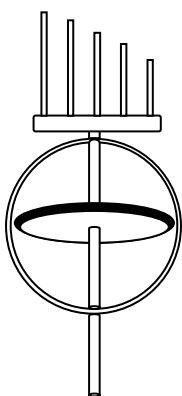
### 3.12. Фигуры Лиссажу на Э.О.

На горизонтально отклоняющие пластины осциллографа подается напряжение от "контрольного сигнала", а на вертикальный вход - от звукового генератора. При одинаковых частотах подаваемых напряжений на экране будет прямая линия, эллипс или круг в зависимости от разности фаз. Если разность фаз между напряжениями меняется во времени, картинка на экране осциллографа будет периодически видоизменяться: -прямая линия - эллипс - круг. Подавая от звукового генератора напряжения различных частот ( 100, 150, 200 герц), увидим на осциллографе простейшие фигуры Лиссажу: восьмерка, двойная восьмерка и. т. д.

### 3.13. Фигуры Лиссажу на экране (два зеркала и лазер).

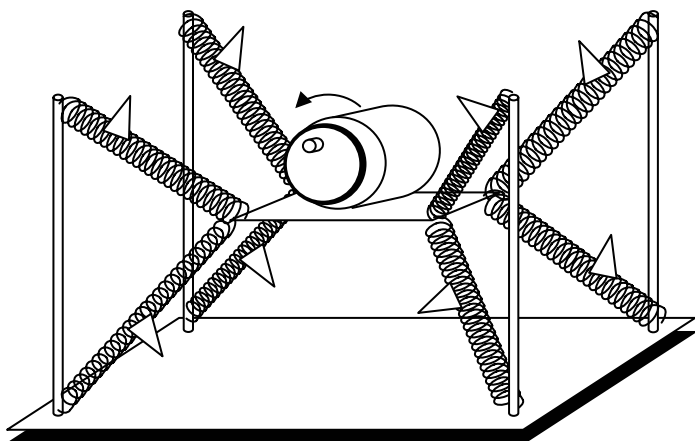
Для демонстрации используют прибор, состоящий из подставки, на которой есть две передвигающиеся стойки. На стойках укреплены металлические пластины в виде полос с зеркальцами на концах. Положение пластин тоже можно менять. Отклонив рукой свободный конец пластины в сторону, вызываем колебания всей пластины и зеркальца. Подставку с пластинами следует установить относительно лазерного источника света так, чтобы одно зеркало колебалось в горизонтальной плоскости, а второе - в вертикальной. Луч лазера направляют на одно зеркало, пучок, отразившись от другого зеркала попадает на экран, и мы получаем различные фигуры. Зеркала закреплены так, что можно менять частоту колебаний. А отношение частот равно отношению числа касаний фигуры с горизонтальной и вертикальной, сторонами прямоугольника, в который она вписывается. Так как периоды /частоты/ обоих колебаний не совпадают точно, то фаза всё время меняется, вследствие чего эллипс непрерывно деформируется. При существенно различных периодах замкнутые кривые не наблюдаются, однако если периоды относятся как целые числа, то через промежуток времени равный наименьшему кратному обоим периодам, движущаяся точка снова возвращается в то же положение - получают фигуры Лиссажу.

### 3.14. Резонанс (гироскоп Фрама).



Опыт механического резонанса можно показать на приборе, известном под названием "гироскоп с резонаторами". Этот прибор в отличие от обычного гироскопа снабжен несколькими стальными пластинками /резонаторами/, обладающими различными собственными частотами. Все резонаторы прикреплены к одной общей колодке, которая в свою очередь прижата винтами к опорному кольцу А /рис./. Внутри этого кольца в центрах вращается диск гироскопа Б. Если привести во вращательное движение диск Б, то вследствие неизбежных толчков диска при его вращении "резонаторы", прикрепленные к кольцу, придут последовательно друг за другом в колебательное движение. При больших скоростях вращения диска колебательное движение приходит самый короткий вибратор, а затем по мере уменьшения частоты вращения диска раскачиваются более длинные резонаторы. Для усиления этих толчков в диске гироскопа просверливается с одной стороны небольшое углубление, создающее некоторую асимметрию диска относительно оси. Опыт показывают в теневой проекции. Пучок света имеет направление, указанное на рис. стрелками. На экране необходимо добиться изображения верхних концов вибраторов, изогнутых под прямым углом.

### 3.15. Вынужденные колебания (резонанс мотора).



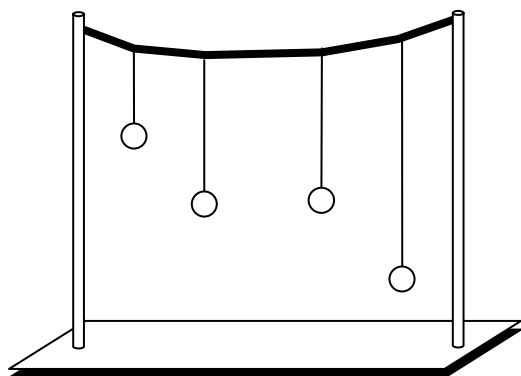
Мотор постоянного тока крепится на 8-и пружинах к вертикальным стойкам жестко связанных с массивной подставкой. Питание мотора

ЛАТР выпрям. мотор осуществляются выпрямителем, который включается в сеть 220 V через ЛАТР. Подавая на выпрямитель различное напряжение (0-180V), изменяют частоту вращения мотора.

На шкив насажен ассиметрично

свинцовый груз, который при вращении мотора заставляет всю систему вибрировать. Если частота вращения мотора совпадает с собственной частотой колебания всей системы или отдельных ее частей, то б колебательной движение соответственно приходят то платформа вместе с мотором, то вертикальные столки, то отдельные пружины.

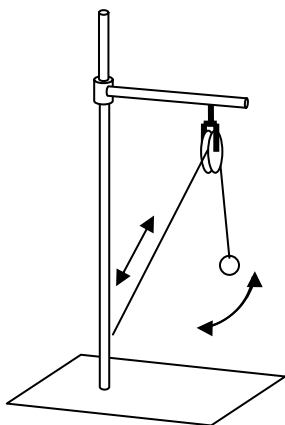
### 3.16. Резонанс маятников.



К вертикально раме прикреплена резиновая трубка. На нитях разной длины к этой трубке подвешиваются четыре металлических шарика одинаковой массы. Подвесы двух из них имеют одинаковую длину. Раскачав один из маятников (короткий или длинный), наблюдаем за поведением остальных, - появляется незначительное колебание, то быстро затухающее, то опять возникающее с небольшой амплитудой.

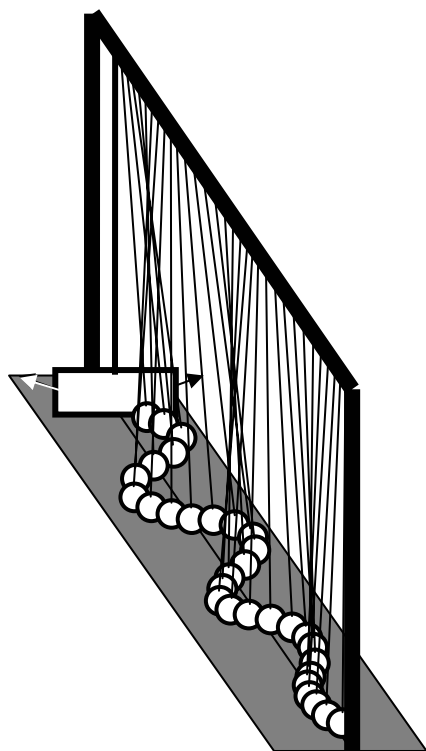
Если же раскачать один из двух одинаковых маятников, то второй из них начинает колебаться со все возрастающей амплитудой. В это же время амплитуда колебания первого маятника начинает затухать и к тому времени, когда второй маятник полностью раскачается, амплитуда колебания первого станет равной нулю. В дальнейшем весь процесс повторяется.

### 3.17. Параметрический резонанс.



Резонансом называется явление увеличения амплитуда колебания при совпадении собственной частоты колеблющейся системы и частоты вынуждающей силы. Параметрическим резонансом называется увеличение амплитуды колебания при периодическом изменении одного из параметров колеблющейся системы. Небольшой металлический шарик прикрепляется к тонкой нити длиной 1,5-2м. Свободный конец нити перебрасывается через блок, укрепленный на высоком штативе и удерживается рукой, Для параметрического возбуждения необходимо, чтобы шарик вначале совершал небольшие колебания. Каждый раз, когда шарик проходит положение равновесия, нить слегка укорачивается, а при максимальном отклонении удлиняется на ту же величину. Воздействуя на систему таким образом, можно добиться значительного увеличения амплитуды.

### 3.18. Механическая модель распространения поперечной волны.



На длинном стержне, укрепленном на подставке, подвешиваются бифилярно на нитях металлические шарики диаметром 20 мм, так что они соприкасаются друг с другом. Затем каждая нить одного шарика связывается с нитью соседнего, так что все они оказываются связанными друг с другом. Крайние шарики прикреплены - один к массивной пластинке стержня, а второй неподвижно к подставке. Если заставить колебаться массивную пластинку, то она потянет за собой крайний шарик. Второй шарик придет в колебание с некоторым сдвигом по фазе, третий и все последующие вступят в колебание с некоторым запозданием.

Таким образом, при поперечном движении всех шариков, сдвинутых относительно друг друга по фазе, возникнет волна, распространяющаяся в горизонтальном направлении.

### 3.19. Распространение волны на резиновом шнуре.

Резиновый шнур диаметром 3-10 мм, длиной 7-8 метров прикрепляется к стене аудитории в плоскости параллельной лекционному столу.

Демонстратор берет в руку свободный конец шнура, сильно натягивает его, а второй рукой резко ударяет по резине на расстоянии 20-30 см. от конца.

Благодаря упругим свойствам резины в шнуре возникает бегущая волна.

На этом же шнуре можно показать и стоячую волну, непрерывно ударяя рукой по шнуру.

**Волны на поверхности воды:**

3.20. плоская;

Для демонстрации возникновения и распространения волн на поверхности воды применяют плоскую ванну со стеклянным дном. Ванна устанавливается строго горизонтально на металлической подставке и снизу подсвечивается дугой. В ванну наливают воду глубиной слоя около 1 см. и касаются поверхности воды деревянной линейкой. От места касания расходится плоская волна, которая распространяется вдоль ванны к противоположному краю, которую наблюдают на потолке.

### 3.21. сферическая;

Для демонстрации возникновения и распространения волн на поверхности воды применяют плоскую ванну со стеклянным дном. Ванна устанавливается строго горизонтально на металлической подставке и снизу подсвечивается дугой. В ванну наливают воду глубиной слоя около 1 см. и касаются поверхности воды стеклянной палочкой. От места касания расходится круговая волна, которую наблюдают на потолке.

### 3.22. отражённая;

Для демонстрации возникновения и распространения волн на поверхности воды применяют плоскую ванну со стеклянным дном. Ванна устанавливается строго горизонтально на металлической подставке и снизу подсвечивается дугой. В ванну наливают воду глубиной слоя около 1 см. и касаются поверхности воды деревянной линейкой. От места касания расходится плоская волна, которая распространяется вдоль ванны к противоположному краю, которую наблюдают на потолке. Видна также отраженная волна.

### 3.23. интерференция волн;

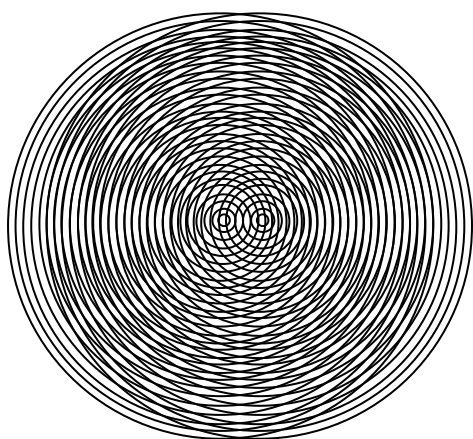
На пластинке, связанной с вибратором, укреплены два стерженька А. Если включить вибратор, то в местах касания стерженьками поверхности воды образуются как бы два источника когерентных волн, которые, перекрываясь, образуют устойчивую интерференционную картину гиперболы с фокусами в местах нахождения стерженьков.

### 3.24. дифракция волн.

Если на пути распространения плоской волны поставить два щита на небольшом расстоянии друг от друга, за отверстием, вследствие дифракции будет распространяться сферическая волна.

Если поставить небольшое препятствие, плоская волна пройдет без искажений. Поставив препятствие побольше можно наблюдать загибание волны в область геометрической тени.

### 3.25. Модель интерференционной картины на плоских стёклах.



Два диапозитива с изображением концентрических окружностей накладываются друг на друга и вместе проектируются на экране. Если диапозитивы расположены так, что центры полуокружностей и горизонтальные их диаметры совпадают, то проектируемая на экране картина будет одна и та же, что и при проектировании одного диапозитива. Если же один из диапозитивов чуть-чуть сдвинуть относительно другого вдоль горизонтального диаметра, то концентрические полуокружности в некоторых

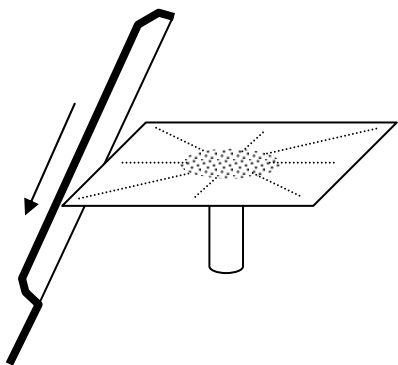
местах будут пересекаться, возникнут затемнённые полосы, которые можно рассматривать как области усиления колебаний. Если увеличить расстояние между центрами полуокружностей, то число полос затемнения возрастёт. Полосы затемнения примерно располагаются по ветвям гиперболы. По мере увеличения расстояния между центрами диапозитивов слева и справа от проектируемой картины появляются взаимно перекрытые части диапозитивов.

### 3.26. Стоячая волна на шнуре.

Между двумя вертикальными стойками, на одной из которых укреплен камертон с электромагнитным возбуждением, а на второй - устройство для изменения натяжения нити, крепится шнур длиной около 1,5 метра. Камертон расположен так, что его колебания перпендикулярны к длине натянутого шнура. Включив ток и возбудив колебания камертона, при помощи винта изменяем натяжение шнура, а, значит, и его собственные частоты.

При совпадении одной из собственных частот натянутого шнура с частотой колебания камертона, шнур придет в интенсивное колебание. Вдоль длины шнура уложится целое число полуволн. Если коснуться пальцем узла смещения, то картина распределения смещения по длине не нарушится, а если коснуться пучности, то колебания шнура изменяются.

### 3.27. Фигуры Хладни.



Образование узлов и пучностей на вибрирующих пластинах обычно демонстрируют на приборе, известном под названием пластины Хладни.

Квадратную или круглую металлическую пластину, закреплённую /в центре/ на массивной подставке, посыпают ровным слоем мелкого песка и возбуждают смычком, которым проводят отвесно /сверху вниз/ по краю пластины. Пластина будет выведена из положения равновесия и начнёт колебаться. При этом

окажется, что в ней может возбуждаться не одна волна, а одновременно много различных волн. Их сложение /интерференция/ приводит к тому, что амплитуды колебаний различных участков пластины оказываются различными и разделены они покоящимися, так называемыми "узловыми линиями", которые возникают в результате взаимного "гашения" возбуждённых волн и волн, отражённых от контура пластины. Картина распределения узлов и пучностей на пластине зависит от формы пластины и места возбуждения её смычком. Если на пластину поставить зажим то характер распределения узлов и пучностей изменится; в месте торможения обязательно установится узел колебаний.

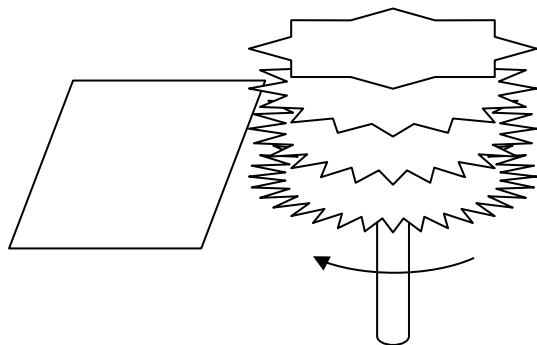
### 3.28. Продольная волна (барабан).

### 3.29. Звучащий колокол.

Массивный стеклянный колокол укреплен в П-образной подставке и к ней же прикрепляется легкий деревянный шарик, касающийся в нижней его части. Скрипичным смычком колокол заставляют звучать, а о том, что он при этом приходит в колебательное движение, судят по тому, что деревянный шарик отскакивает, пока колокол звучит (шарик может быть сделан из пробки).

### 3.30. Сирена Савара (Диск с зубьями).

Высота звука и её зависимость от числа колебаний в сек. демонстрируется



различными способами. Более ясное представление о высоте звука аудитория получит из демонстрации сирены Савара. Прибор представляет собой набор дисков с зубьями разного шага. Для проведения эксперимента сирену ставят на центробежную машину. При равномерном вращении такой сирены на центробежной машине легко вызвать звук, касаясь зубцов

сирены небольшой картонной пластинкой. Вибрирующая пластинка издаёт звук, частота которого равна произведению из числа зубцов, нанесённых по краю диска, на число оборотов диска в секунду. Высота тона изменяется при изменении числа оборотов центробежной машины. Если передвигать картонную пластину вверх и вниз у края вращающейся с стопы дисков, мы последовательно будем получать звуки различных высот, потому что, с изменением шага зубца, изменяется частота ударов картона. Касаясь картоном зубцов всех дисков одновременно, получаем сложный звук, являющийся более или менее гармоничным сочетанием нескольких звуков разных частот.

### 3.31. Дискровая сирена (сирена Зеебека).

Сирена представляет собой металлический диск диаметром  $\approx 60$  см, с рядом небольших отверстий, просверленных в определенном порядке. Диск в центре укреплен на оси электродвигателя и приводится в равномерное движение (напряжение 127 В).

Если вблизи отверстий вращающегося диска поместить трубку, через которую продувать сильную струю воздуха, то поток воздуха будет периодически прерываться. При достаточном числе оборотов диска быстро следующие друг за другом толчки воздуха создают непрерывный звук.

Если воздушную струю перемещать вдоль радиуса диска, можно услышать звуки разных тонов.

### 3.32. Звуковой генератор.

Звуковой генератор - прибор, предназначенный для получения колебаний синусоидальной формы. На передней панели прибора имеются регуляторы частоты и амплитуды выходного напряжения. Имеется также регулятор устройства, позволяющего передавать во внешнюю цепь большую мощность. Если к выходу звукового генератора подключить репродуктор и плавно изменять частоту выходного напряжения, наблюдатели слышат плавное изменение тона звука. Если к тем же клеммам присоединить вертикальный вход осциллографа, изменение частоты можно одновременно наблюдать и на его экране по тому, как изменяется синусоида.

### 3.33. Свисток Гальтона.

Зависимость высоты звука от размеров полости трубки можно продемонстрировать на свистке Гальтона.

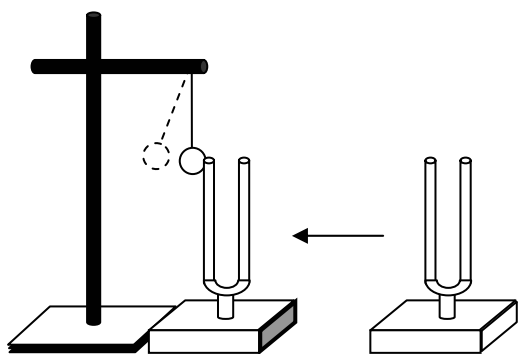
Он представляет собой небольшую трубку, объем которой можно менять, передвигая в ней небольшой поршень с помощью микрометрического винта. Против отверстия трубки расположено круглое сопло, через которое грушей продувают воздух. Сопло тоже можно передвигать относительно отверстия трубки. С изменением объема трубки тон звука меняется.

### 3.34. Резонанс столба воздуха.

В высокий стеклянный цилиндр, наполненный почти до краев водой, опускают стеклянную трубку меньшего диаметра и удерживают на весу. К открытому концу трубки подносят звучащий камертон и медленно поднимают камертон и трубку вверх, следя за тем, чтобы расстояние между трубкой и камертоном оставалось все время постоянным. Когда длина воздушного столба в трубке будет равной  $1/4$  длины волны, излучаемой камертоном, вследствие резонанса звук резко усиливается. При дальнейшем подъеме трубки звук затихает, но когда длина воздушного столба достигает  $3/4$  длины звуковой волны, излучаемой камертоном, звук вновь усиливается. При опускании трубки и камертона эффект повторяется.

### 3.35. Резонанс (камертон с шариком и З.Г.).

### 3.36. Резонанс (два камертона и шарик).



Закреплённые на резонаторных ящиках два камертона одинаковой частоты располагают на демонстрационном столе на расстоянии 60-80см. один от другого. Отверстия резонаторных ящиков следует обратить друг к другу. Ветвь одного из камертонов касается подвешенного на нити небольшого пинг-понгового шарика. Ударом деревянного молоточка возбуждают второй камертон. Если частоты камертонов равны или достаточно близки друг к другу, то первый камертон дошедшими до его ящика волнами будет почти сейчас же возбуждён. О его возбуждении можно судить или по беспорядочным движениям шарика, или непосредственно по звучанию первого камертона. В последнем случае необходимо прекратить звук камертона-генератора, коснувшись его ветвей рукой. Опыт следует повторить, изменяя частоту одного из камертонов с помощью небольшой металлической насадки, которую укрепляют на одну из ветвей камертона. В этом случае явление резонанса не будет наблюдаться, и шарик перестанет отскакивать.

### 3.37. Биения (колебания двойного маятника).

3.38. Биения (два камертона разных частот и Э.О.).

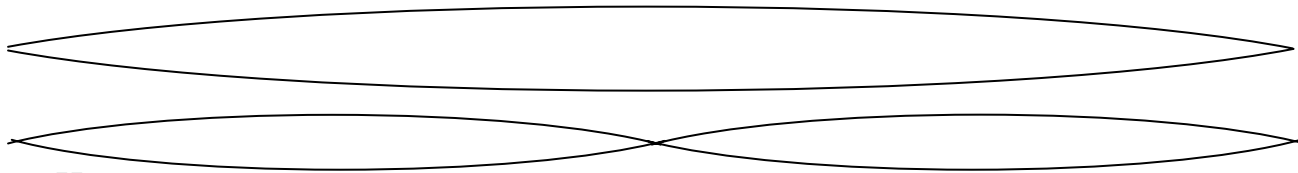
### 3.39. Резонаторы Гельмгольца.

Резонатор Гельмгольца представляет собой полый цилиндр, один из торцов которого закрыт, а во втором имеется круглое отверстие.

Резонаторы отличаются геометрическими размерами, из-за чего они оказываются настроенными на разные частоты.

Поднеся звучащий камертон к отверстию резонатора, настроенного на частоту, камертона, услышим резкое усиление звука. Если тот же камертон поднести к другому резонатору, усиление звука наблюдаться не будет.

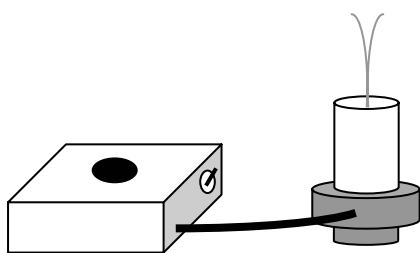
### 3.40. Стоячая волна на струне (обертоны).



На резонаторном ящике натянута струна, степень натяжения которой изменяется при помощи винта. При возбуждении струны наблюдатели слышат основной тон. Если коснуться гусиным перышком середины звучащей струны, основной тон приглушается и становится слышным звук вдвое большей частоты.

Касаясь перышком различных мест струны можно погасить основной тон и несколько низких обертонов и оставить звучать более высокие. Интенсивность звучания высоких обертонов мала.

### 3.41. “Ультразвуковой фонтан”.



Опыт выполняется на демонстрационной ультразвуковой установке типа УД-76. Установка, представляет собой полупроводниковый генератор звуковых колебаний с пьезокерамическим излучателем, обладающим большим пьезоэффектом /способностью изменять свои геометрические размеры в такт с приложенным напряжением/.

Генератор создаёт электрические колебания ультразвуковой частоты, напряжение которых с выходных клемм генератора подаётся на излучатель. Для проведения опыта взять линзовый стакан /внутренняя часть дна вогнута, что дает возможность фокусировать колебания в одну точку/ и поместить его сверху излучателя так, чтобы в воде /дистиллированной/ между дном стакана и пьезоэлементом не образовались воздушные пузырьки, которые мешают опыту. Для этого следует стакан ставить путём передвижения дном по крышке излучателя до попадания выступа стакана в уступ излучателя. Если образовались воздушные пузырьки, которые хорошо видно сверху вниз через линзу, то повторить установку снова, каждый раз доливая в уступ излучателя воду до выливания. Установив линзовый стакан правильно, излучатель ставят на подъёмный столик для лучшей видимости опытов. Примерно через минуту после подачи генератору питания от сети можно наблюдать ультразвуковой фонтан, который настраивается вращением отвёрткой регулировочного винта конденсатора генератора. Вращая отвёрткой, регулировочный винт вправо и влево от положения максимальной настройки, получают фонтан такой высоты, что вода выбрызгивается за край стакана. Регулировка винтами вызвана стремлением создать максимальный переход энергии ультразвуковых колебаний от пьезоэлемента к воде вследствие взаимной параллельности между плоским дном линзового стакана и пьезоэлементом, что обеспечивает нулевой угол падения ультразвукового луча к плоскости дна линзы. Зависимость перехода энергии ультразвуковых колебаний от ориентации дна линзы хорошо подтверждается изменением высоты фонтана при регулировке винтом. Одновременно с возникновением фонтана появляется водяной туман, являющийся результатом кавитационного явления. Понижение фонтана разбрызгиванием жидкости объясняется уходом плоскости уровня жидкости в сосуде от фокуса ультразвуковой линзы, вследствие понижения уровня понижения.

### 3.42. Анализ звука (Э.О. и микрофон).

Анализ звука производят при помощи микрофона, присоединенного к вертикально отклоняющим пластинам осциллографа (генератор горизонтальной развертки должен быть при этом включен).

Произнося перед микрофоном различные гласные и согласные звуки, можно отметить весьма сложный характер кривых на экране осциллографа.

3.43. Йо-йо.

3.44. Кельтский камень.

3.45. Двойной хаотический маятник.

3.46. Одинарный хаотический маятник (TV).

3.47. Прибор Мельде (стоячая поперечная и продольная волны).

**Ультразвуковые колебания (TV):**

3.48. стоячая волна;

3.49. отражение;

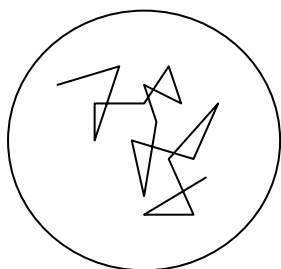
3.50. преломление;

3.51. и т. д

## 4. Молекулярная физика и термодинамика

Экспериментальные основы молекулярно-кинетической теории:

### 4.1. броуновское движение (под микроскопом);



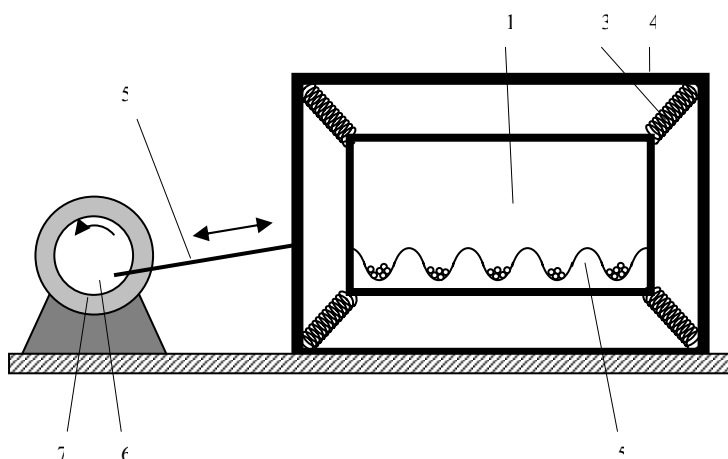
Для наблюдения броуновского движения под микроскопом служит эмульсия черной туши в воде. На часовое стекло наливается немного воды и погружается стеклянная палочка, смоченная тушью. Раствор туши хорошо перемешивается и в микроскоп наблюдают, как ведут себя взвешенные частицы .

Частицы не остаются в покое, а непрерывно перемещаются по всевозможным направлениям.

Если проследить путь каждой отдельной частицы, то получается очень сложная зигзагообразная линия.

#### 4.2. модель броуновского движения;

## 4.3. модель теплового движения;

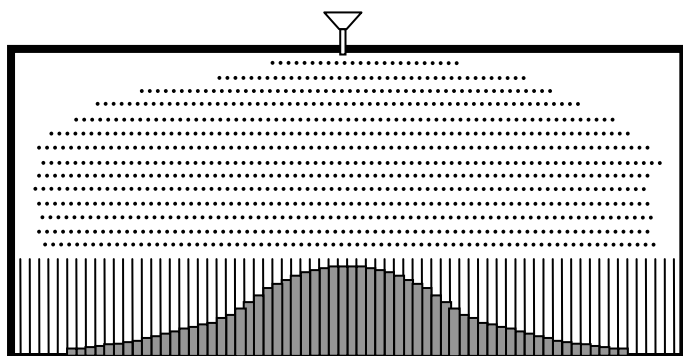


Тепловое движение атомов в твёрдом теле можно продемонстрировать с помощью устройства показанного на рисунке. Рамка I изготовлена из двух прямоугольных параллельных пластинок оргстекла. Расстояние между ними 3 мм. Верхняя и обе боковые стороны рамки закрыты полосками оргстекла, а дно рамки сделано в виде гребёнки 2 / «потенциальные ямы, барьеры»/. Во внутреннюю полость рамки помещены 40-45 стальных шариков диаметром 3 мм. Рамка на пружинках 3 подвешена вертикально в каркасе 4. Посредством шатуна 5 и кривошипа б, насаженного на ось электродвигателя 7, рамка может совершать колебания в собственной плоскости. Частоту колебаний рамки в широких пределах можно варьировать, изменяя скорость вращения вала электродвигателя. При малых частотах колебаний шарики совершают движения, оставаясь в ямках дна рамки / " низкие температуры"/; при больших частотах траектории шариков заполняют всю полость рамки и конфигурация рамки как бы не сказывается на их движении / "высокие температуры"/.

Тепловое движение атомов в твёрдом теле можно продемонстрировать с помощью устройства показанного на рисунке. Рамка I изготовлена из двух прямоугольных параллельных пластинок оргстекла. Расстояние между ними 3 мм. Верхняя и обе боковые стороны рамки закрыты полосками оргстекла, а дно рамки сделано в виде гребёнки 2

#### 4.4. модель кривой Гаусса;

Прибор, описанный ниже, дает возможность подучить кривую Гаусса, близкую к кривой распределения Максвелла. Он представляет собой щит из оргстекла, в



верхней части которого в шахматном порядке на расстоянии 10мм друг от друга вмонтированы металлические стержни, а в нижней части имеется ряд вертикальных камер шириной 10мм, отделенных друг от друга прозрачными перегородками. Весь щит прикрывается стеклом, прикасающимся к стержням и

перегородкам. Над серединой щита, у верхнего его края, укрепляется воронка, в которую насыпают просо или мелкие металлические шарики, крупинки, испытывая многократные соударения с преградами, в конечном итоге попадают в одну из вертикальных камер. Уровни крупинок во всех камерах образуют кривую Гаусса.

#### 4.5. диффузия через пористую перегородку;

Цель демонстрации - показать зависимость скорости диффузии газа от его молекулярного веса:

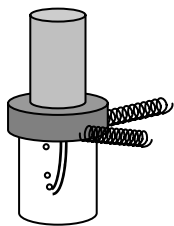
Пористый керамический стакан, связанный со стеклянным сосудом, наполненным подкрашенной флуоресцеином водой, укрепляется в штативе кверху дном. В сосуд вмонтирована изогнутая стеклянная трубочка, погруженная в воду.

На пористый стакан надевают стеклянный большого диаметра стакан, под него подводят каучуковую трубку, через которую пропускают водород от прибора Киппа.

Вследствие большой скорости диффузии водорода внутри пористого стакана по сравнению со скоростью диффузии из него воздуха, давление в стакане и в соединенном с ним стеклянном сосуде быстро повышается, вследствие чего из стеклянной трубки начинает вытекать вода.

#### 4.6. тепловая эффузия;

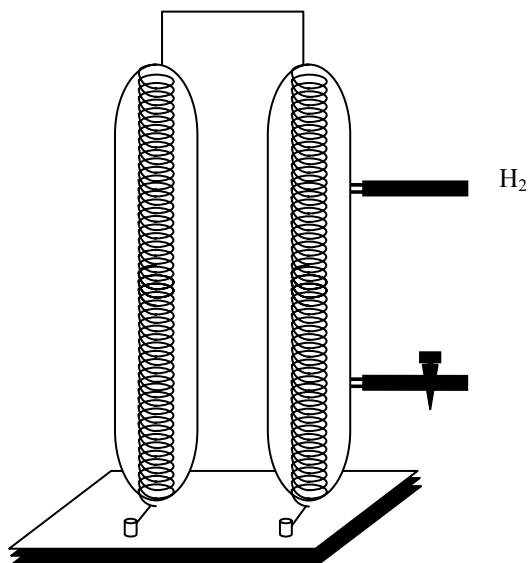
Тепловую эффузию можно наблюдать, если взять стакан из необожженной глины, внутри которого находится электрический нагреватель. При включении нагревателя воздух из стакана может выходить через трубку, нижний конец



которой погружен в воду. Поскольку температура окружающего воздуха ниже температуры внутри стакана, наружный воздух непрерывно всасывается в стакан. Давление в нем повышается, и излишек воздуха непрерывно выходит через трубку в виде пузырьков. Процесс прекращается, когда температура внутренней и наружной поверхностей стакана выравниваются.

## 4.7. теплопроводность газов;

Для сравнения теплопроводности газов (водород-воздух) служит прибор,

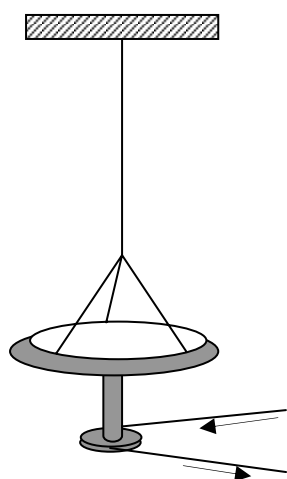


показанный на рисунке. В две стеклянные трубки вмонтированы нихромовые спирали, соединенные последовательно. Клеммы от спиралей выведены на подставку, и на них через реостат -30 Ом подается напряжение от городской сети (127 В). Когда в обеих трубках находится воздух, спирали накаливаются одинаково ярко. Затем напряжение выключается, и одну из трубок наполняют водородом от прибора Киппа. Если снова подать напряжение на спирали, накаливается только та спираль, которая находится в воздухе. Спираль, находящаяся в атмосфере водорода, не калится, т.к.

сильно охлаждается из-за его большой теплопроводности

#### 4.8. “жидкие” кристаллы;

#### 4.9. внутреннее трение в газах;



Наличие внутреннего трения в газах может быть продемонстрировано следующим образом.

Над массивным горизонтальным диском, насаженным на ось центробежной машины, подвешен на нити легкий диск. При вращении машины в результате внутреннего трения приходит во вращение и воздух между дисками, увлекая за собой подвешенный диск.

Если начать вращать машину в обратном направлении, то верхний диск вначале остановится, а затем изменит направление своего вращения.

#### 4.10. естественные кристаллы;

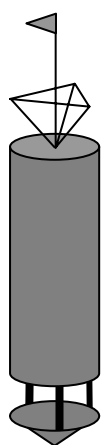
Известно, что при горных работах попадаются минералы, имеющие естественную форму многогранников. Такие минералы стали называть кристаллами. Примерами хорошо образованных кристаллов могут служить горный хрусталь, многие драгоценные камни: алмаз, рубин, изумруд, топаз и др.

В нашей лаборатории есть естественные кристаллы каменной соли и исландского шпата.

#### 4.11. рост кристаллов.

### Молекулярные явления в жидкостях:

#### 4.12. поплавок;



Существование поверхностной пленки в жидкости можно хорошо продемонстрировать при помощи поплавка на воде.

Поплавок представляет собой металлический баллончик с прикрепленным к нему проволочным каркасом. Для лучшей видимости опыта над каркасом на проволоке прикрепляют флажок. Если погрузить поплавок в воду так, чтобы каркас оказался ниже уровня воды, а затем медленно отпустить его, то поплавок не всплывает, т.к. будет удерживаться силой поверхностного натяжения. Если же поплавок отпустить быстро, он всплывает. Поплавок можно заставить всплыть, не прикасаясь к нему, а уменьшая поверхностное натяжение воды, для чего следует капнуть на воду несколько капель

эфира.

## 4.13. опыт Плато;

Свободная поверхность жидкости принимает форму, определяемую действующими на нее силами. Если каплю жидкости поместить в среду с одинаковой плотностью, то на ее поверхности не действуют никакие силы кроме сил поверхностного натяжения, под действием которых капля принимает сферическую форму.

В качестве внешней жидкости используется раствор поваренной соли в воде. В качестве жидкости для образования капли удобен анилин. Если на дно сосуда насыпать некоторое количество соли и залить водой, создается градиент плотности в вертикальном направлении. Тогда капля устойчиво держится в том слое жидкости, который имеет с ней одинаковую плотность.

Кювета 4-х-граная 33x110 мм

воды налито 100 мл

соли 15 г

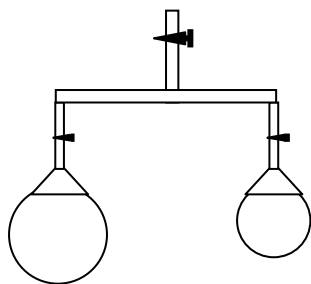
Через 10 мин градиент плотности такой, что капля анилина держится в центре кюветы

#### 4.14. образование капли;

Демонстрация этого явления заключается в проецировании на экран водяной капли, образующейся на нижнем конце бюретки с краном, которая погружена в сосуд с вазелиновым маслом.

Если кран на бюретке открывать медленно, постепенно образуется капля: она растет, затем у нее появляется шейка, которая разрывается и капля медленно падает на дно сосуда. Из шейки образуется маленькая капелька - спутник. Благодаря вязкости масла отрывание и падение водной капли происходит достаточно медленно.

## 4.15. мыльные пузыри;



Для демонстрации зависимости давления в мыльном пузыре от его радиуса (формула Лапласа) существует опыт с сообщающимися пузырями. На штативе укрепляются две одинаковые воронки широким отверстием вниз. Узкие концы воронок сообщаются трубками с тройником, на третий конец которого надевается каучуковая трубка для выдувания пузырей. Затем из воронки поочередно выдувают пузыри неодинакового радиуса, после чего трубку для вдувания воздуха зажимают. Если теперь пузыри соединить, меньший будет уменьшаться, т.к. в нем давление больше, а больший увеличиваться.

4.16. изменение поверхностного натяжения под действием эфира;  
Уменьшение поверхностного натяжения воды под действием паров эфира можно продемонстрировать в чашке Петри, в которой поверхность воды посыпана ликоподием. Если к поверхности воды поднести флакон с эфиром, ликоподий разбегается во все стороны, образуя "окна". Эти "окна" быстро затягиваются, т.к. пары эфира улетучиваются. Опыт показывают в горизонтальной проекции.

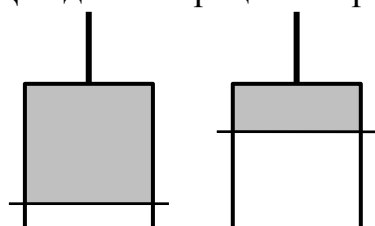
## 4.17. “лодочка”;

Изменение поверхностного натяжения можно показать на примере так называемой "лодочки". Показ проводится в горизонтальной проекции. Хорошо вымытую, чтобы не было жира, чашку Петри наполнить свежей водопроводной водой. Затем кусочек спички, размером  $1/3$  от целой, торцом обмакнуть в клей БФ или другой быстро испаряющийся клей и опустить на поверхность воды. Это и будет "лодочка". Под действием клея поверхностное натяжение воды уменьшается, "лодочка" приходит во вращательное движение.

132

## 4.18. мыльные плёнки;

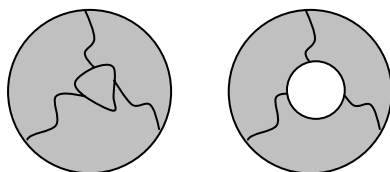
Для демонстрации сокращения мыльной пленки проволочную прямоугольную рамку с одним подвижным ребром опускают в специально приготовленный мыльный раствор. Если рамку осторожно вынуть из раствора, подвижное ребро подтянется вверх.



рамку с одним подвижным ребром опускают в специально приготовленный мыльный раствор. Если рамку осторожно вынуть из раствора, подвижное ребро подтянется вверх.

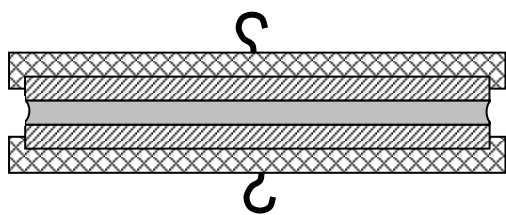
**Натяжение мыльной пленки**

Натяжение пленки демонстрируется на опыте с нитью укрепленной на кольце.



Пока все кольцо затянута пленкой, нитка свободно лежит на ее поверхности. Если пленку прорвать в каком-то месте, нитка оттягивается оставшейся частью пленки

## 4.19. силы сцепления (две стеклянных пластины);

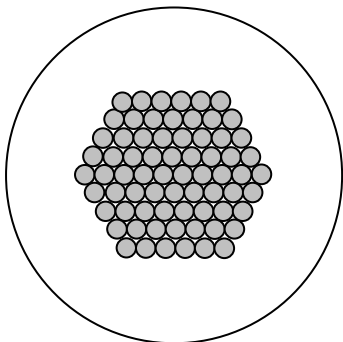


Два стеклянных отполированных диска вмонтированы в металлическую оправу. Один из дисков подвешивается к штативу, а второй тщательно притирается к верхнему. Если нижний диск перестать удерживать рукой, он сразу же отстанет от верхнего. Если же на диск капнуть каплю воды и снова их притереть, диски склеиваются, и теперь к нижнему можно даже подвесить значительный груз около 0,5-1 кг. Такое прочное сцепление во втором случае происходит из-за того, что силы, действующие на нижний диск сверху и снизу, различны за счет лапласовского уменьшения давления в вогнутом мениске жидкости.

4.20. капля ртути в азотной кислоте;

Опыт следует показывать в горизонтальной проекции. На дно кюветы опускают каплю ртути, затем наливают 10% раствор азотной кислоты. После этого на дно кюветы кладут кристаллик двуххромовокислого калия. Кристалл начинает растворяться, окрашивая жидкость в оранжевый цвет. Когда оранжевая окраска дойдет до капли ртути, то на стороне капли, обращенной к кристаллу, уменьшается поверхностное натяжение, и капля приходит в быстрое движение. Если капля невелика, то она как бы присасывается к кристаллу, постоянно дрожа и выбрасывая вследствие химической реакции нерастворимый осадок. Если капля велика по сравнению с кристаллом, то она продолжает двигаться вперед, гоня кристалл перед собой.

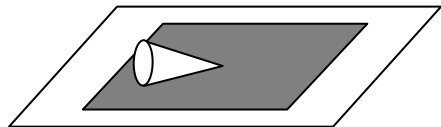
#### 4.21. Модель “идеального” кристалла (металлические шарики на стекле).



Существуют вещества с очень сложной структурой. Наряду с этим многие металлы образуют кристаллическую решетку по очень простому закону. Существование кристаллической решетки обусловлено силами взаимодействия между атомами. В наших опытах роль атомов будут играть металлические шарики, силами отталкивания будут упругие силы, возникающие при соприкосновении шаров, а силу притяжения заменит сила тяжести.

Если в часовое стекло положить, например, 217 шариков и встряхнуть, то можно наблюдать с помощью эпидиаскопа образовавшуюся картину. Шарики расположатся правильными рядами. Центры шаров будут лежать в вершинах равносторонних треугольников со стороной, равной диаметру шара, а сами шарики заполнят всю плоскость и образуют сеть, которую называют гексагональной.

- 4.22. Модель взаимодействия атомов кристаллов (два стеклянных шарика).  
 4.23. Механическая модель для демонстрации различных деформаций.  
 4.24. Модель теплового двигателя (двигатель Попова).



На стеклянную пластинку кладётся тонкий, около 0,1мм толщиной, листок слюды. Затем нагревают металлический конус  $h=40\text{мм}$ ,  $d=20\text{мм}$  и кладут его на слюду боком. Конус начинает вращаться вокруг некоторой точки. Здесь механическая энергия берётся за счёт тепловой. Слюда нагревается только с одной стороны, вспучивается в сторону нагретого тела и приподнимает его слегка, вследствие этого в соприкосновение с нагретым телом приходят новые точки на поверхности слюды, а прежде нагретые остывают. Длительность вращения конуса зависит от степени его нагретости. Эксперимент демонстрируют, используя кодоскоп.

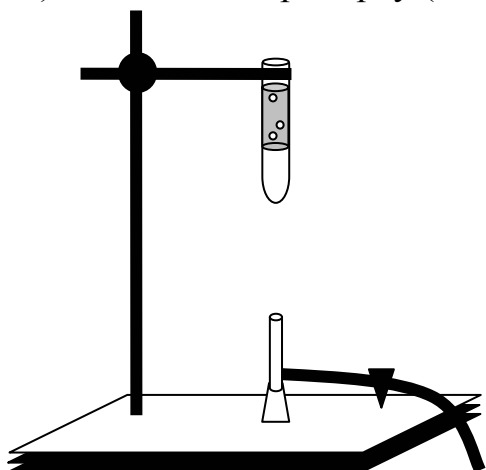
#### 4.25. Адиабатическое расширение.

Последствия адиабатного расширения (т.е. процесса без обмена энергией с внешней средой) можно наблюдать в стеклянной колбе с несколькими каплями воды внутри. Колба соединена с клапанным насосом через резиновую пробку. Накачаем воздух в колбу. При определенном давлении пробка вылетит и колба наполнится густым белым туманом, похожим на облако. Это так называемый мокрый пар - смесь водяного пара с мельчайшими капельками воды (пересыщенный пар).

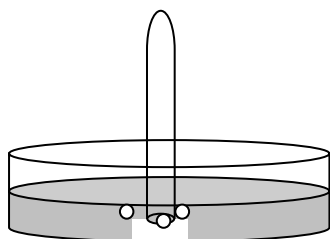
Явление сжижения водяного пара наблюдается благодаря тому, что быстрое расширение пара в колбе приводит к охлаждению пара ниже критической температуры и последующей конденсации с образованием тумана.

## 4.26. Иллюстрация закона Дальтона.

- а) Поместим в пробирку (не смешивая) две жидкости:  $\text{H}_2\text{O}$  и более тяжелый  $\text{CCl}_4$ . При атмосферном давлении температура кипения  $\text{H}_2\text{O}$   $T=100^\circ\text{C}$ . а  $\text{CCl}_4$  -  $T=76,6^\circ\text{C}$ . Подогреваем пробирку. На границе раздела двух жидкостей образуется азеотропная смесь, температура кипения которой  $65,5^\circ\text{C}$ . При температуре  $65,5^\circ\text{C}$  парциальное давление паров воды примерно 192 мм .рт.ст., а паров  $\text{CCl}_4$  - 568мм. рт.ст. По закону Дальтона оба эти давления складываются и дают 760 мм. рт. ст. Поэтому и появляются пузырьки и начинается кипение на границе раздела



- б) В чашку Петри наполненную эфиром, помещаем перевернутую пробирку и наблюдаем выходящие пузырьки. Это происходит потому, что воздух вытесняется из пробирки более высоким парциальным давлением эфира.

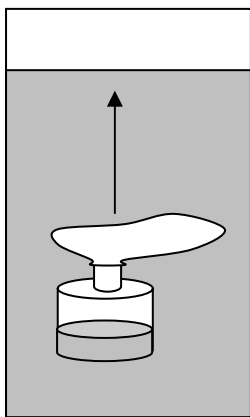


**4.27. Кипение азеотропной жидкости – смеси.**

#### 4.28. Осмотические явления.

Лучшей искусственной полупроницаемой перегородкой является мембрана из железистосинеродистой меди, предложенная Траубе. Она изготавливается так: капля концентрированного медного купороса (16% раствор) помещается на поверхность слабого раствора (19%) желтой кровяной соли. Тогда из железистосинеродистой меди (коричневая пленка) образуется пузырь, висящий под поверхностью раствора соли. Со временем пузырь растет, что объясняется тем, что вода из раствора соли проникает внутрь пузыря, тогда как молекулы медного купороса не могут покинуть пузырь.

#### 4.29. Зависимость давления насыщенного пара от температуры.



Пузырек, наполненный водой комнатной температуры, герметично закрытый резиновым шариком погружаем в сосуд с горячей водой. Пузырек сначала погружается на дно, а потом всплывает. При нагревании давление насыщенного пара в шарике возрастает, его объем увеличивается и пузырек всплывает.

#### 4.30. Двигатель Стирлинга

#### 4.31. Магдебургские полушария (атмосферное давление).

Одним из первых экспериментов, произведенных для доказательства существования давления воздуха, был знаменитый опыт с "магдебургскими полушариями", выполненный Отто фон-Герике в 1654г. (в Магдебурге). Он выкачал воздух из двух сложенных вместе медных полушарий, и давление наружного воздуха прижало полушария друг к другу настолько сильно, что их не могли разорвать две упряжки лошадей.

Предлагаемая демонстрация позволяет повторить этот опыт на модели и сделать свои выводы относительно атмосферного давления. Возьмем два пластмассовых полушария, откачаем из них воздух с помощью форвакуумного насоса и перекроем кран, ограничивая доступ воздуха внутрь образовавшегося шара, из атмосферы. Присутствующие могут наглядно убедиться, что разорвать такие полушария весьма затруднительно.

#### 4.32. Кипятильник Франклина.

#### 4.33. Модели кристаллических решёток.

Лаборатория располагает набором моделей кристаллических решёток. Это деревянные шарики, соединенные друг с другом ровными проволочками. Шарики - атомы, проволочки - символы связей между атомами, их "замороженного" взаимодействия.

Модели представлены в таком составе:

1. Простая кубическая кристаллическая решетка.
2. Кубическая объёмноцентрированная кристаллическая решетка
3. Кубическая гранецентрированная кристаллическая решетка
4. Гексагональная кристаллическая решетка
5. Кристаллическая решетка графита
6. Кристаллическая решетка магния
7. Кристаллическая решетка алмаза
8. Кристаллическая решетка льда
9. Кристаллическая решетка маркизита  $\text{Fe S}_2$
10. Кристаллическая решетка цезий хлор  $\text{Cs Cl}$
11. Кристаллическая решетка куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$

#### 4.34. Парафинированное сито.

Явление несмачивания твердого тела жидкостью можно показать с помощью сита, изготовленного из металлической сетки, покрытой парафином. Отверстия в сетке около 1 мм, диаметр сита приблизительно 6 см. Воду следует наливать осторожно по стенке сита, наклонив его.

Чтобы показать, что в сите действительно была вода, ее следует вылить в другой сосуд, или провести пальцем по дну. В этом случае вода прольется через отверстия сетки, т.к. нарушится пленка, удерживающая ее внутри сита.

#### 4.35. Капиллярность.

Поднятие жидкости в капиллярных трубках демонстрируется в проекции. В плоскопараллельную кювету наливают подкрашенный керосин, в который опускают несколько капиллярных трубок различных диаметров. В трубках меньшего диаметра керосин поднимается на большую высоту. Чтобы показать поднятие смачивающей жидкости и опускание несмачивающей, используется U-образные трубки с разными диаметрами колен. Трубки укреплены на подставке узкими коленами друг к другу и в них налиты ртуть и керосин. В широких коленях уровни жидкостей одинаковы, в узких - разные. Кроме того, и форма мениска у них различна.

4.36. Двойной мениск в одном сосуде (TV).

4.37. Несмачиваемость тела, покрытого ликоподием или тальком.

**Испарение и конденсация:**

4.38. круглодонная колба с трубками различного сечения;

4.39. сжатие металлической тонкостенной банки при погружении в жидкий азот;

4.40. процесс фонтанирования в колбе;

4.41. модель “гейзера”.

4.42. Вызывание (“провокация”) кипения при помощи песка.

4.43. “Чудо”-лампа.

4.44. “Огниво” (адиабатическое расширение).

**Иллюстрация некоторых особенностей проявления закона Архимеда при помощи:**

4.45. пластины из воска;

4.46. поплавка на стенках сосуда;

4.47. поплавка на наклонной плоскости;

4.48. поплавка на дне.

4.49. Картезианский “водолаз” (TV).

4.50. Иллюстрация понижения давления при помощи стакана, внутри которого горит свеча.

4.51. Резание простого (оконного) стекла под водой.

4.52. Иллюстрация атмосферного давления с помощью фужера с водой и перфокарты.

4.53. Иллюстрация атмосферного давления с помощью фужера с водой и перфокарты с пробитыми в ней отверстиями (3-5 мм).

4.54. Иллюстрация конвективных потоков при помощи бумажного пропеллера и тепла рук, свечи, горячей лампы и т.д.

## **5. Фазовые переходы первого рода**

### **5.1. Кипение жидкости под пониженным давлением.**

В круглодонной колбе кипятят водопроводную воду не менее 15 мин. для того чтобы "выкипел" находящийся в воде воздух.\* Затем колбу снимают с огня, закупоривают каучуковой пробкой, переворачивают вверх дном и горлышко опускают в сосуд с водой. Если дно колбы полить водой давление пара над водой в колбе понижается, и вода снова закипает. Это кипение можно вызывать несколько раз, поливая колбу новой порцией воды.

## 5.2. Замерзание кипящей жидкости.

На тарелку воздушного насоса ставят под стеклянный колокол чашку Петри с концентрированной серной кислотой для поглощения водяных паров.

Над чашкой на проволочной подставке помещают часовое стекло, в которое налита водопроводная вода. При откачке насосом вода закипает, затем на ее поверхности образуется ледяная корка и, наконец, вся вода замерзает. Откачку прекращают, под колокол впускают воздух, лед снимают со стекла.

### 5.3. Критическое состояние.

$T_{кр.} = 31,04 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $304,2 \text{ K}$ )

$P_{кр.} = 73,8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$

285 K – 47 бар

290 K – 53 бар

295 K – 59,8 бар

300 K – 67,1 бар

Критическим состоянием вещества называется совокупность объема, давления и температуры, при которых исчезает различие между жидкой и газообразной фазами вещества.

Для демонстрации этого явления используется ампула, наполненная углекислотой под большим давлением. Внутри ампулы часть углекислоты находится в жидком состоянии, часть в газообразном, и мениск жидкости хорошо виден. Критическая температура углекислоты  $31^\circ\text{C}$ , поэтому для достижения критического состояния требуется небольшое нагревание. Ампулу опускают в стакан, содержащий воду при  $40^\circ\text{C}$ . По мере нагревания объем жидкой фазы увеличивается, мениск становится более плоским и при достижении критической температуры исчезает.

После этого ампулу опускают в стакан с холодной водой. Через некоторое время внезапно происходит образование капелек тумана, которые сбегают ко дну ампулы, в результате чего появляется снова столбик жидкости с явно видимым мениском. Опыт демонстрируется в вертикальной проекции.

**Свойства вещества при низких температурах:**

5.4. хрупкость каучука;

Если опустить резиновую трубку в жидкий азот и держать там до прекращения интенсивного кипения азота, то потом трубку можно разбить на куски.

Мягкий каучуковый гвоздь, охлажденный до температуры жидкого азота 77К, становится таким твердым, что его можно забить в деревянную дощечку.

5.5. хрупкость цинка;

Мягкая цинковая пластинка после охлаждения в жидком азоте становится хрупкой и ее можно ломать на кусочки.

#### 5.6. изменение сопротивления проводника;

На катушку наматывают проволоку и соединяют последовательно с батареей аккумуляторов и лампочкой на 6 вольт. Сопротивление катушки подбирают так, чтобы лампочка не накаливалась при комнатной температуре и горела ярко, когда катушка охлаждена до температуры жидкого азота.

5.7. изменение сопротивления полупроводника;  
С увеличением температуры сопротивление полупроводников падает с уменьшением температуры - возрастает. Этот эффект можно наблюдать пользуясь прибором, в котором полупроводник соединяют последовательно с батареей аккумуляторов и лампочкой на 6В. При комнатной температуре лампочка ярко горит. Если прибор охладить до температуры жидкого азота, лампочка постепенно тускнеет и, наконец, гаснет.

#### 5.8. фотолюминесценция парафина;

Кусочек парафина облучают ультрафиолетовым светом от вольтовой дуги и в темноте показывают, что нет никакого свечения. Затем парафин охлаждают жидким азотом, снова освещают ультрафиолетом и в темноте демонстрируют яркое зеленоватое свечение.

## 5.9. фотолюминесценция пенопласта;

5.10. гадолий;  
Точка Кюри гадолия 16,9 °С.

### 5.11. диспрозий;

Имеется ряд веществ обладающих ферромагнитными свойствами при температурах жидкого азота и ниже. К числу таких веществ относится представитель редких земель - диспрозий.

Помещенный в магнитное поле при комнатной температуре, он ведет себя довольно индифферентно. Если же его охладить жидким азотом, кристалл диспрозия интенсивно притягивается к постоянному магниту.

Точка Кюри диспрозия 85 К.

(Для диспрозия надо взять более слабый магнит, чтобы образец не притягивался при комнатной температуре).

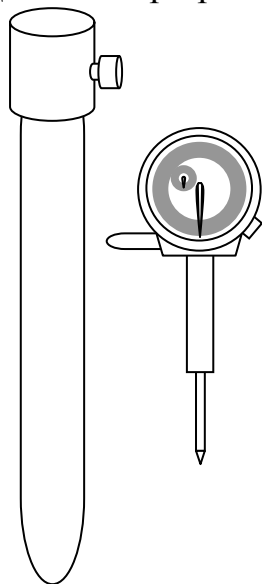
5.12. холодная посадка тел с одинаковыми коэффициентами теплового расширения;

5.13. холодная посадка тел с разными коэффициентами теплового расширения;

#### 5.14. принцип действия дилатометра;

## 5.15. демонстрационный дилатометр;

Дилатометр предназначен для демонстрации теплового расширения и



определения коэффициента теплового расширения /КТР/. Кварцевый дилатометр представляет собой ампулу из плавленного кварца, в которую помещён образец в виде стержня  $d = 5 - 8$  мм с заострёнными концами. В верхней части ампулы жёстко закреплён через переходную гайку микрометр. В демонстрации использован индикатор часового типа /многооборотный тип 1МИГ с ценой деления 1 мкм/. Кварцевый шток-толкатель своим нижним концом упирается в образец, а верхним - в подвижный шток микрометра. Выводим стрелку микрометра на нулевые деления и изменяем температуру образца. Данная установка позволяет показать изменение длины образца при изменении его температуры по

отношению к плавленому кварцу. Применение данной установки даёт возможность определять КТР твёрдых тел в интервале температур 100-450 К с погрешностью определения КТР во всём интервале температур не более 5%.

## 5.16. изменение объема при фазовых превращениях;

**5.17. КОЛОКОЛЬЧИК;**

5.18. йодистая ртуть;

### 5.19. “память формы” металла;



Суть эффекта в следующем. Из некоторых сплавов изготовлено изделие, в данном случае - пруток. Эту форму изделие сохраняет и при низких температурах. При этом существует

критическая температура, определённая для каждого сплава, ниже которой материал легко деформируется. Охладив изделие ниже этой температуры, можно изменить его форму. Образец в виде прутка при комнатной температуре.

Тот же образец после охлаждения в жидком азоте изогнутый с помощью пинцета.

Если деформированное изделие слегка подогреть, достаточно оставить на некоторое время при комнатной температуре, как оно через некоторое время восстанавливает исходную форму. При этом слышны щелчки. Механизм памяти сплавов заложен в особенности термоупругого мартенситного превращения.

- 5.20. сверхпроводимость;
- 5.21. эффект левитации;
- 5.22. получение жидкого кислорода;
- 5.23. горение лучины под капельками жидкого кислорода;
- 5.24. фонтанирование жидкого азота из трубки;
- 5.25. поднятие гири при помощи резинового крючка ;
- 5.26. “взрыв” закрытой металлической банки;
- 5.27. забивание мягкого резинового гвоздя в деревянный брусок;

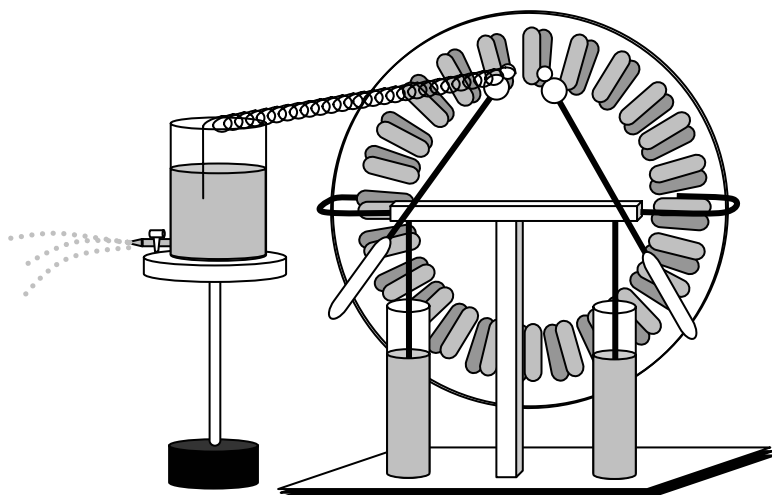
## 6. Электричество

6.1. Движение диполя в неоднородном поле (притяжение лёгких предметов). Притяжение легких тел к наэлектризованному трением предмету можно продемонстрировать следующим образом. Папиросную бумагу, нарезанную небольшими кусочками, высылают на подъемный столик, приближают к ним стеклянную или эбонитовую палочку и показывают, что никакого взаимодействия между палочкой и бумажками нет. После этого стеклянную палочку натирают кожей и приближают к бумажкам, которые в этом случае интенсивно притягиваются к палочке, причем часть бумажек даже прилипает к ней. Опыт повторяют, приблизив к бумажкам эбонитовую палочку, натертую мехом. Бумажки ведут себя аналогично. Описанное притяжение происходит из-за того, что в легких нарезанных бумажках, находящихся в электрическом поле» происходит перераспределение зарядов, превращающее их в диполи, которые в неоднородном поле втягиваются в область более сильного поля.

Эбонит – мех (-)

Стекло – кожа (+)

## 6.2. Электризация струи воды.



Для наблюдения этого опыта необходимы:

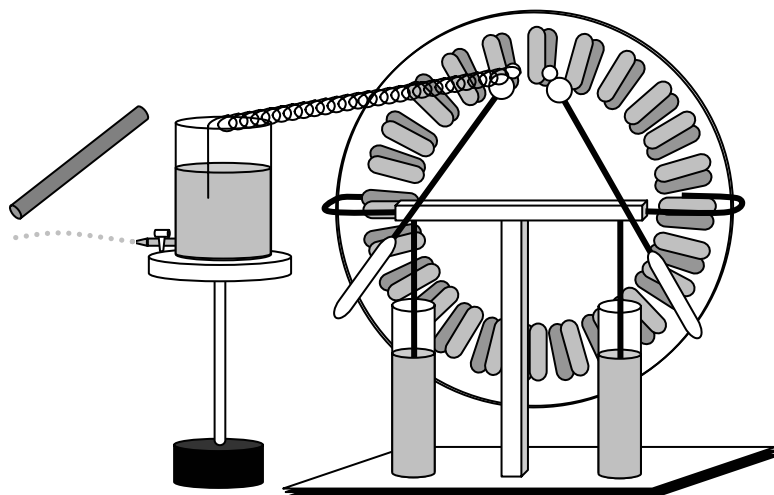
1. Слянка с тубусом внизу и краном.
  2. Электрофорная машина
  3. Подъёмный столик,
  4. Кювета для стока воды,
  5. Линза
  6. Обратная призма, линза,
  7. Проводник
- Конец проводника, соединённого с кондуктором

электрофорной машины (см.

рис.) находится в склянке, из которой выпускают струю воды. Вода течёт вначале сплошной массой и лишь в самом конце слегка разбрызгивается.

Если же привести в действие электрофорную машину, струя начинает разбиваться на отдельные капли (почти у самого выхода), которые потом широко разбрызгиваются из-за отталкивания одноимённых зарядов. Если затем электрофорную машину разрядить, струя приобретает прежний вид. (Рекомендуется использовать подсветку)

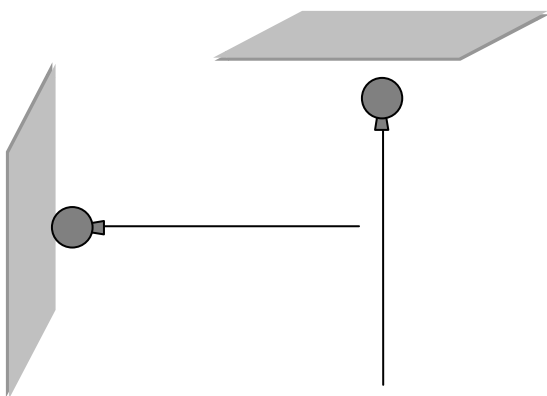
6.3. Притяжение струи воды к наэлектризованной эбонитовой палочке.  
 Чтобы продемонстрировать притяжение струи вода к наэлектризованной



палочке собирают схему, показанную на рисунке. Пользуясь краном, получаем достаточно заметную, но не слишком сильную струю воды. Если поднести к ней сверху или снизу хорошо наэлектризованную эбонитовую (стеклянную) палочку, можем видеть как струя, притягиваясь, изгибается в сторону наэлектризованной палочки.

Этот опыт демонстрирует в световой проекции с оборотной призмой.

#### 6.4. “Индикатор” электрического поля.

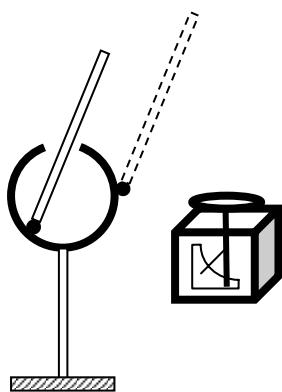


Из резины (использовать резину надувных шаров) выдувают маленький шарик  $d = 5-6$  мм. Шарик необходимо покрыть графитом и привязать к нити. После этого кусок плексигласа натереть сукном и поднести к его поверхности шарик. Шарик будет притягиваться и очень эффектно висеть под плексигласом вертикально вверх или удерживаться горизонтально. Это один из способов показать наличие

электрического поля возникшего при электризации трением.

### Распределение заряда на поверхности:

#### 6.5. шара;



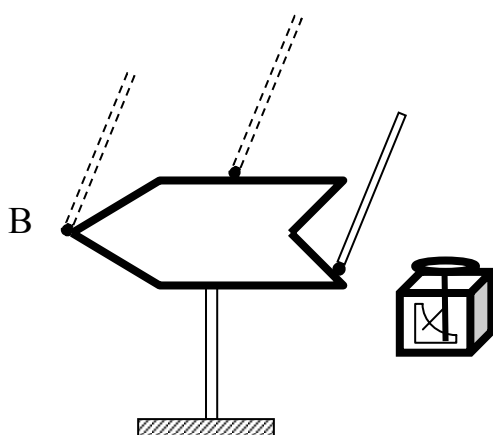
электрические заряды, перенесенные на какое-либо проводящее тело, располагаются по его внешней поверхности, причем, в тех случаях, когда кривизна поверхности везде постоянна, постоянна и плотность поверхностных зарядов. В случае различной кривизны поверхности плотность поверхностных зарядов тем больше, чем больше кривизна поверхности.

Продемонстрировать это можно, используя полый металлический шар. Шар укреплен на изолирующей подставке. Наэлектризовав шар, прикасаются сначала к его внутренней, затем к наружной поверхности небольшим металлическим шариком, насаженным на изолирующую палочку.

После соприкосновения с поверхностью шара шариком прикасаются к пластине электроскопа. При прикосновении к внутренней поверхности шара, на которой нет зарядов, листочек электроскопа не отклоняется.

При прикосновении к наружной поверхности, заряд будет переноситься на электроскоп и листочек отклонится. Величина отклонения не зависит от того, в каком месте произошло касание.

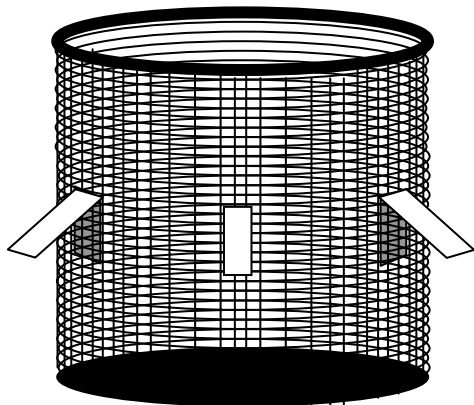
## 6.6. конуса;



электрические заряды, перенесенные на какое-либо проводящее тело, располагаются по его внешней поверхности, причем, в тех случаях, когда кривизна поверхности везде постоянна, постоянна и плотность поверхностных зарядов. В случае различной кривизны поверхности плотность поверхностных зарядов тем больше, чем больше кривизна поверхности. Продемонстрировать это можно, используя цилиндрическую поверхность с конусообразным выступом и вмятиной.

Цилиндрическая поверхность укреплены на изолирующей подставке. При переносе зарядов со сложной поверхности сначала прикасаются шариком к внутренней конической части поверхности - листочек электроскопа практически не отклоняется, затем касаются боковой поверхности и листочек отклоняется сильнее и, наконец, наибольшее отклонение листочка электроскопа получится при перенесении заряда с выступающей конической части поверхности.

## 6.7. сетка Фарадея;



внутренней поверхности цилиндра, отклоняться не будут.

Из проволочной сетки сделана боковая поверхность цилиндра, дно и крышка - из листового металла для прочности конструкции. К наружным и внутренним стенкам цилиндра крепятся тонкие бумажные полоски. Цилиндр устанавливается на изолирующие подставки. Наэлектризовав цилиндр от электростатической машины, можно наблюдать отклонение всех полосок, расположенных на наружной поверхности цилиндра. Полоски, расположенные на

## 6.8. эффект Кольбе;

## 6.9. вращение тяжёлого деревянного бруска, подвешенного на нити.

### **Электрический ветер:**

#### 6.10. задувание свечи;

На штативе из хорошего изолятора укрепляется проводник с загнутым под прямым углом острием, перед которым помещается горящая свеча. Проводник соединяют с электростатической машиной, и острие направляют на свечу. После того, как машина заработает, пламя свечи наклоняется и даже может погаснуть. Причина этого заключается в том, что плотность зарядов на острие, а, следовательно, и напряженность поля вблизи острия очень велики и молекула воздуха, находящиеся в этом месте, ионизируются. Поток ионов, направленный от острия, и служит причиной указанного явления.

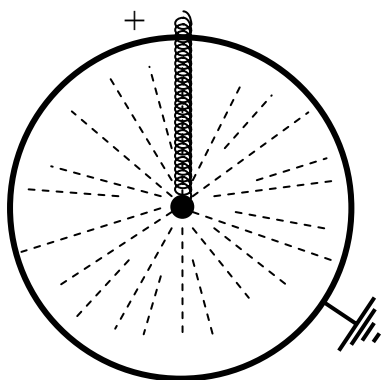
6.11. вращение трёхлучевой “звёздочки” от контура электрофорной машины; Отталкивание проводника уходящими от него ионами воздуха можно продемонстрировать на "колесе Франклина". На изолирующем штативе помещено вертикальное острие, на которое надета вертушка, состоящая из нескольких загнутых под прямым углом и заостренных проводников, образующих подобие электрического сегнерова колеса. Вертушка заряжается от электростатической машины и вращается в направлении, противоположном изгибу проводников.

## 6.12. вращение шестилучевой “звёздочки”.

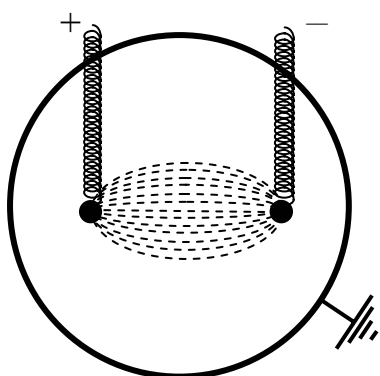
### Электрические поля:

Демонстрация позволяет наблюдать "силовые линии" электрических полей, соответствующих электродам различной конфигурации. В стеклянную кювету высотой 1-2 см вкладывается электроды различной формы, соединенные с полюсами электростатической машины. В кювету наливается касторовое масло, всыпается небольшое количество манной крупы, хорошо размешивается. Создав с помощью электростатической машины значительную разность потенциалов между электродами, можно наблюдать, как крупинки располагаются вдоль силовых линий поля, образуя поля. Демонстрация показывается в горизонтальной проекции

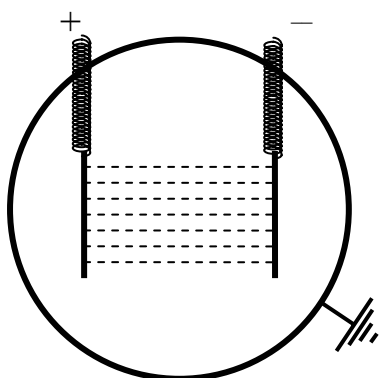
6.13. точечного заряда;



6.14. двух точечных зарядов;



6.15. плоского конденсатора;



6.16. точечного заряда и плоской пластины конденсатора;

## 6.17. фигуры Лихтенберга.

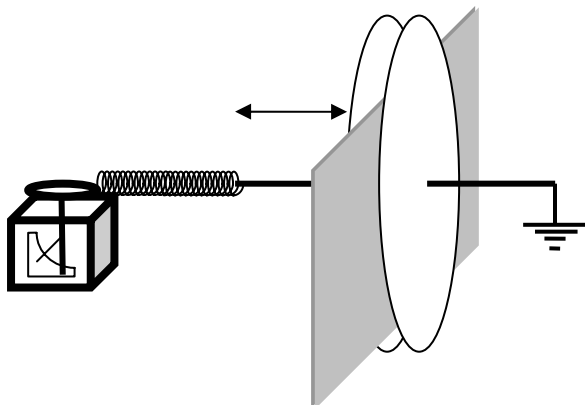
## 6.18. электростатическая защита.

### 6.19. Потенциал заряженного проводника.

Поверхность заряженного проводника имеет одинаковый потенциал. Продемонстрировать это можно следующим образом. Сложная поверхность, имеющая цилиндрическую и две конических части, укрепляется на штативе из хорошего изолирующего материала и заряжается от эбонитовой палочки, натертой мехом. Пробный шарик соединяется длинной спиралькой с проекционным электроскопом. При прикосновении пробного шарика к какой-либо точке наэлектризованного проводника, листочек электроскопа отклоняется на некоторый угол. Перемещая шарик вдоль всей поверхности, убеждаемся в том, что отклонение листочка электроскопа неизменно

6.20. Зависимость ёмкости конденсатора от расстояния между пластинами конденсатора и диэлектрической проницаемости вещества между обкладками:

- стекло.
- эбонит.



можно легко продемонстрировать на приборе, имеющемся в демонстрационном кабинете. В плоском конденсаторе одна из пластин неподвижна и изолирована, другая может перемещаться относительно первой и заземлена. Неподвижная пластина соединена с электроскопом. Зарядив эту пластину, получим некоторое отклонение листочка электроскопа. Отодвигая подвижную пластинку конденсатора, наблюдаем увеличение

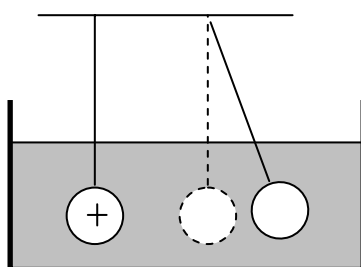
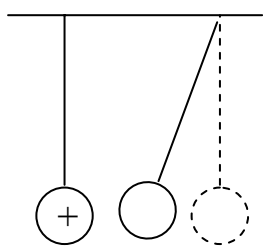
отклонения листочка электроскопа, т.к. ёмкость конденсатора уменьшается ( $C = \epsilon s / 4\pi d = \epsilon \epsilon_0 / d$ ) а заряд на обкладках остается неизменным.

Сделав небольшой зазор между пластинами конденсатора, вводим пластинку из диэлектрика (эбонит, стекло) При этом ёмкость конденсатора увеличивается, а потенциал соответственно уменьшается и листочек электроскопа спадает. После удаления диэлектрика, листочек электроскопа возвращается в прежнее положение.

Введя между обкладками металлическую пластинку, будем также наблюдать уменьшение отклонения листочка электроскопа, т.к. это соответствует увеличению ёмкости.

**6.21. Петля гистерезиса на сегнетоэлектрике (титанат бария).**

### 6.22. Поляризация границ раздела диэлектрика.



На диэлектрик, находящийся в электрическом поле, действует механические силы, т.к. на его поверхности возникает поляризационный заряд, взаимодействующий с внешним полем.

Если тело находится в какой-либо диэлектрической среде, а не в вакууме, поляризационные заряды возникают и на теле, и в окружающей среде.

Силы, действующие на тело в этом случае, зависят как от диэлектрической проницаемости тела, так и от диэлектрической проницаемости среды, и могут быть как силами притяжения, так и силами отталкивания.

$\epsilon$  ацетона - 21

$\epsilon$  парафина - 2

$\epsilon$  воздуха - 1

Действительно, сила, действующая на парафиновый шарик в жидкости, зависит от знака результирующего заряда на границе шарик-жидкость ( $\sigma_1 - \sigma_2$ )

Если диэлектрическая проницаемость среды ( $\epsilon_2 < \epsilon_1$ ) диэлектрической проницаемости шарика, знак ( $\sigma_1 - \sigma_2$ )  $> 0$  и между зарядами действуют силы притяжения. Если ( $\epsilon_2 > \epsilon_1$ ), знак ( $\sigma_1 - \sigma_2$ )  $< 0$  и между зарядами действуют силы отталкивания.

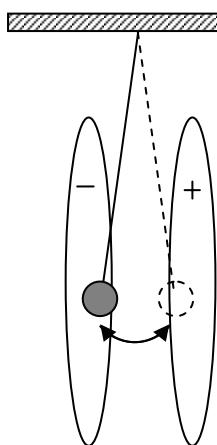
Демонстрационный прибор представляет собой штатив, на котором жестко укреплен металлический шарик, и на нити подведен шарик из парафина. Если оба шарика находятся в воздухе, то при перенесении заряда на металлический шарик парафиновый притягивается, т.к. образовавшийся "диполь" находится в неоднородном электрическом поле.

Если же оба шарика погрузить в ацетон, у которого диэлектрическая проницаемость больше, чем у парафина, то парафиновый шарик отталкивается от металлического.

- 6.23. Поляризация диэлектрика (электроскоп и эбонитовая пластина).
- 6.24. Электрофор Вольта.
- 6.25. Получение свободных зарядов.
- 6.26. Электретные свойства диэлектрика (конденсатор, простое стекло, оргстекло, эбонит).
- 6.27. Воздействие электростатического поля на водяные струи (TV).
- 6.28. Воздействие электростатического поля на мыльные пузыри (TV).
- 6.29. Ртутное “сердце” (TV).

## 7. Постоянный электрический ток

7.1. Имитация тока: движение металлического или покрытого графитом шарика между плоскими электродами.



Для демонстрации этого явления берутся две плоские металлические пластины и лёгкий пластмассовый (или металлический) шарик, покрытый графитом. Диаметр шарика - 2-2,5 см. Разводим пластины примерно на 20 см и между ними на тонкой нити помещаем шарик. Заряжаем пластины от электрофорной машины. Шарик тотчас притягивается к одной из пластин, заряжаясь от неё - отталкивается и движется к противоположной. Колебание происходит до тех пор, пока заряд на пластинах не исчезнет.

Первоначальное притягивание шарика происходит потому, что на нём наводятся заряды противоположные данной

пластине.

## 7.2. Температурная зависимость сопротивления металлов.

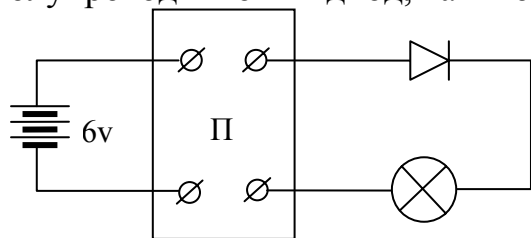
Электросопротивление металлов при понижении температуры уменьшается, и продемонстрировать это можно при помощи простого устройства.

Последовательно с лампочкой, рассчитанной на напряжение 6 В, соединяется катушка со значительным числом витков медного провода и на них подается напряжение от батареи аккумуляторов с ЭДС 6 В. Лампочка при этом не загорается. Если же катушку поместить в дьюаровский сосуд с жидким азотом, волосок лампочки постепенно накаляется и по мере охлаждения катушки лампочка ярко разгорается. Если есть время, катушку можно вынуть из жидкого азота и продемонстрировать постепенное угасание лампочки при отогревании провода.

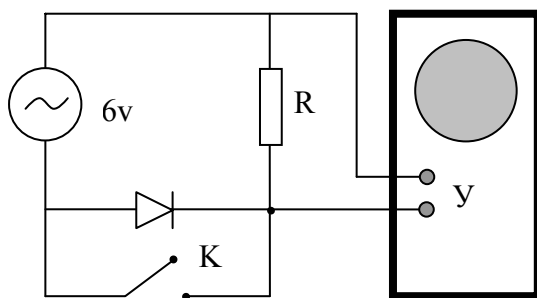
7.3. Температурная зависимость сопротивления диэлектриков (стекло). Электропроводность диэлектриков, например, стекла, можно продемонстрировать, собрав схему, изображенную на рисунке. На стеклянную палочку плотно навивают в двух местах, отстоящих на расстоянии 10-15 мм, медную проволоку по 6-8 витков. Свободные концы проволок соединяют через лампу накаливания (100 Вт) с осветительной сетью и убеждаются, что лампа не загорается, т.к. стекло при комнатной температуре является хорошим изолятором. После нагревания стекло газовой горелкой в промежутке между витками и доводят его до красного каления. Лампа загорается, указывая на возникшую электропроводность стекла при нагревании. Подача газа отключена, но стекло не остывает, т.к. продолжает разогреваться проходящим через него током. Наблюдаемое явление объясняется ионной проводимостью стекла при его расплавлении. Во время этого опыта можно показать свечение дуги между стеклянными электродами, разорвав палочку в размягченном месте.

#### 7.4. Униполярная проводимость границы раздела полупроводников и металлов.

Полупроводниковый диод, как и обычный, обладает униполярной (



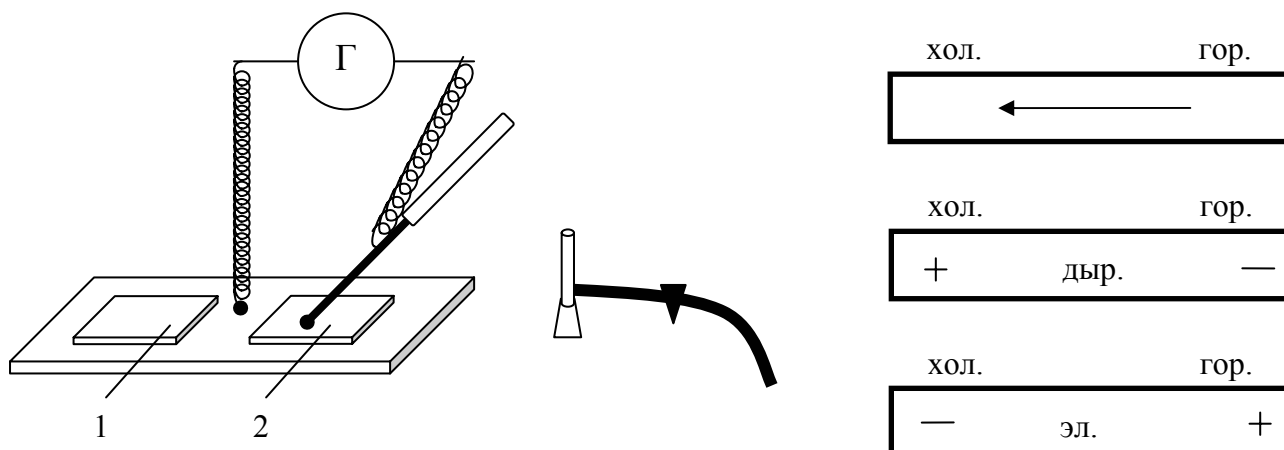
односторонней) проводимостью. При подаче "+" на анод, а "-" на катод, сопротивление п-р перехода мало и через диод проходит большой ток (лампочка горит). При обратной полярности, которая осуществляется переключателем П, сопротивление п-р перехода сильно возрастает,



ток резко уменьшается и лампочка гаснет. Эту демонстрацию можно расширить показом выпрямления напряжения при помощи полупроводникового диода. На вертикальный вход электронного осциллографа подается напряжение с

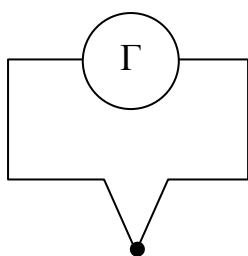
сопротивлением, включенным последовательно с диодом, Цепь питается напряжением 6 В. При замкнутом ключе "К" на экране осциллографа наблюдается синусоидальная кривая, при "К" разомкнутом наблюдается картина однополупериодного выпрямления

## 7.5. Электронная и дырочная проводимость.



Носителями электричества в полупроводниках являются электроны или дырки. С повышением температуры концентрация носителей в полупроводнике резко увеличивается. При разности температур на концах полупроводникового образца носители электричества передвигаются от горячего конца, где их концентрация и скорости больше, к холодному. Поэтому в полупроводниках с дырочной проводимостью горячий конец оказывается заряженным отрицательно, в полупроводниках с электронной проводимостью горячий конец заряжен положительно. Для иллюстрации этого свойства берется массивная медная пластина, в которую впаяны два куска германия 1 и 2, отличающихся друг от друга количеством и типом находящихся в них примесей. Вследствие этого один из них обладает дырочным механизмом проводимости, второй - электронным. На медной пластине укреплен клемма, соединенная с демонстрационным гальванометром, Вторая клемма гальванометра соединена проводником с латунным стержнем. Нагрев стержень на газовой горелке, им касаются поочередно поверхностей первого и второго образцов германия. При этом стрелка гальванометра отклоняется в разные стороны.

### 7.6. Термопара.



Для демонстрации явления Зеебека используется термопара медь-константан, свободные концы которой присоединяются к демонстрационному гальванометру. Если место контакта проволок подогреть зажженной спичкой или охладить жидким азотом, стрелка гальванометра отклоняется.

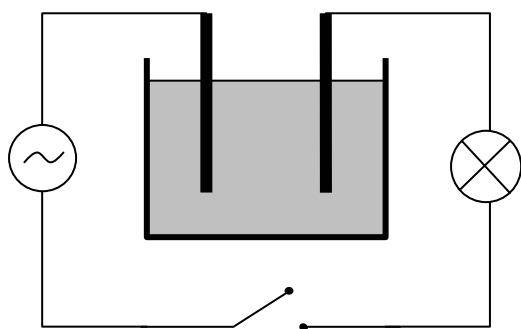
198

### 7.7. Термостолбик.

Термостолбик представляет собой группу последовательно соединенных термопар. Одни спаи, например, нечетные, подвергаются воздействию тепла, другие (четные) защищены от воздействия тепла оправой прибора.

Подсоединив термостолбик к демонстрационному гальванометру и подогрев один из спаев, получим отклонение стрелки значительно большее, чем при одиночной термопаре.

### 7.8. Проводимость электролита.



Для иллюстрации проводимости электролита берется стеклянная кювета с дистиллированной водой, в которой помещают два угольных электрода. Последовательно с электродами включена электролампа на 220 В и ключ. В цепь подается напряжение от сети 220 В. При замыкании ключа лампочка не загорается, т.к. сопротивление дистиллированной воды между электродами очень велико. Закоротив

электроды, добиваются свечения лампочки. Если в кювету с водой всыпать небольшое количество поваренной соли или какой-нибудь другой соли или налить немного щелочи, проводимость воды становится отличной от нуля и лампочка также начинает светиться.

### 7.9. Ионизация воздуха.

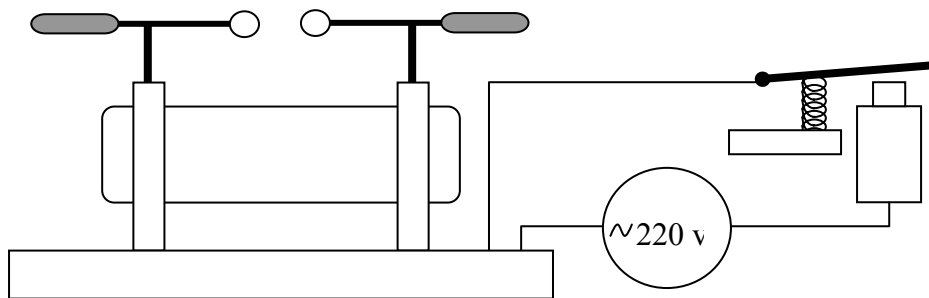
Демонстрационный электроскоп заряжают от эбонитовой палочки, натертой мехом, и листочки электроскопа при этом расходятся. В качестве ионизатора применяют пламя спички или рентгеновское излучение от небольшой трубки, которая помещается на некотором расстоянии от электроскопа

Если к заряженному электроскопу поднести зажженную спичку, листочки электроскопа опускаются (т.е. он разряжается), вследствие того, что пламя спички ионизирует молекулы воздуха вокруг электроскопа. Аналогичное явление происходит, если к заряженному электроскопу поднести работающую рентгеновскую трубку

#### 7.10. Дуговой разряд.

Чтобы продемонстрировать дуговой разряд, используют устройство для получения дуги из проекционного фонаря. Устройство закрывают темными стеклами, чтобы можно было вести визуальное наблюдение. Первоначально угли сводятся так, чтобы между ними было слабое касание. При пропускании тока через угли в месте их касания резко повышается температура, т.к. сопротивление этого участка значительно больше соседних, и возникает дуга. После этого угли слегка разводятся и располагаются таким образом, чтобы кратер был хорошо виден.

## 7.11. Искровой разряд.



Искровой разряд демонстрируют на большой индукционной катушке, дающей напряжение во вторичной обмотке порядка 200 кВ.

Катушка последовательно соединена с реостатом и прерывателем. Питание на катушку и прерыватель подается от сети переменного напряжения 220 В. При замыкании цепи разряд происходит между остриями, на концах которых навинчены металлические шары. Длина искры, получающейся при разряде, достигает нескольких сантиметров.

### 7.12. Разряд в разреженной газовой трубке.

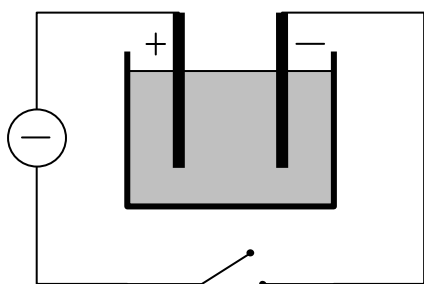
Чтобы показать различные фазы разряда в разреженном газе в зависимости от давления, применяют установку, состоящую из стеклянной трубки длиной около 1 м и диаметром 4 -5 см, которая присоединена к форвакуумному насосу. В торцах трубки впаяны два электрода, на которые подают напряжение от индукционной катушки.

В начале включают индукционную катушку и показывают, что разряд не наблюдается. После включения форвакуумного насоса при давлении около 50 мм рт. ст. начинается разряд в виде нити красноватого цвета. При понижении давления нить расширяется и при давлении 2-5 мм рт. ст. свечение заполняет всю трубку.

При давлении около 1 мм рт. ст. светящийся столб распадается на страты, расширяющиеся по мере дальнейшего понижения давления.

### 7.13. Электролиз медного купороса.

В стеклянную ванночку наливаем 20-30% раствор медного купороса ( $\text{Cu SO}_4$ ) и погружаем в него два угольных электрода от дугового фонаря.

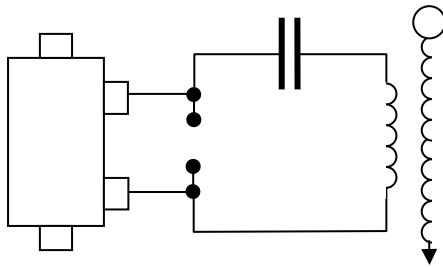


Собираем установку согласно схеме изображённой на рисунке.

Постоянный ток напряжением 12v подаётся от выпрямителя. Ток пропускаем в течение 2-3 мин., вынимаем из ванны, отрицательный электрод, на котором за это время откладывается хорошо видимый слой меди. После этого нужно электрод поставить обратно в ванночку и изменить

направление тока на противоположное. Через несколько минут слой меди на электроде, который теперь служит анодом, растворится, электрод вновь станет черным, а на втором электроде, который теперь стал катодом, отложится слой меди.

### 7.14. Трансформатор Тесла.



Трансформатор Тесла состоит из первичного колебательного контура и индуктивно с ним связанного вторичного, настроенного в резонанс с первичным. Первичный контур состоит из конденсатора (несколько лейденских банок) и катушки, состоящей из нескольких витков толстого провода. К искровому промежутку подведены провода от концов вторичной обмотки индукционной

катушки, дающей напряжение 200-300 кВ. Вторичный контур состоит из многослойной цилиндрической катушки. Один из концов вторичной обмотки присоединен к шарикау наверху катушки, второй к металлическому стержню на основании каркаса катушки. Этот стержень заземляется. При настройке контура в резонанс, с шарика вторичной катушки в воздух происходит интенсивный разряд. Длина искр может достигать нескольких сантиметров. Если к вторичной катушке работающего трансформатора подносят трубки с разреженным газом, то на довольно большом расстоянии ваз в трубках начинает интенсивно светиться. Аналогично светятся и неоновые лампочки.

#### Трансформатор Тесла

$$f = 100\ 000\ \text{Гц}$$

$$U_{\text{ампл.}} \sim 1\ 000\ 000\ \text{В}$$

При  $f=50\ \text{Гц}$  и  $I=0.01\ \text{А}$  существует опущений боли в мышцах, но в трансформаторе Тесла при  $I = (0,5-3,5)\text{А}$  и  $U \sim \text{до } 10^6\ \text{В}$  имеет место лечебное физиологическое воздействие, подогрев тканей организма с лечебными целями (диатермия).

Электрический прерыватель Симона (электролитический). Ток, питающий 1 обмотку, пропускают через 20% раствор серной кислоты. Вокруг анода (в фарфоровом стакане есть отверстие) вследствие электролиза образуется газовая оболочка, периодически прерывающаяся и, благодаря большой плотности тока, быстро восстанавливающаяся, что приводит к прерыванию тока (при 100 В до 1000 Гц)

#### Катушка Румкорфа

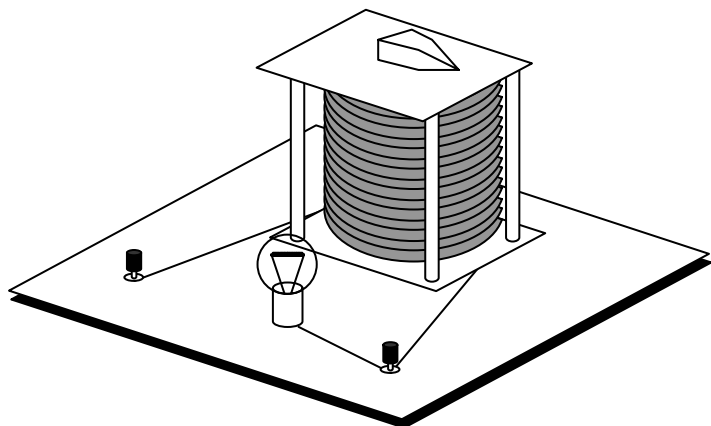
$$1\ \text{кат.} \sim 400\ \text{вит.}$$

$$11\ \text{кат.} \sim 50\ 000\ \text{вит.} (0,2\ \text{мм} \\ \ell = 25\ \text{см})$$

$$U \sim \text{сотни тысяч вольт}$$

$$f \sim (1000-2000\ \text{Гц})$$

## 7.15. Токи смещения.



Для демонстрации токов смещения используется переменный конденсатор с последовательно включенной лампочкой для индикации тока. Питание цепи производится от ЗГ. Меняя ёмкость конденсатора или частоту генератора, наблюдаем увеличение или уменьшение токов смещения.

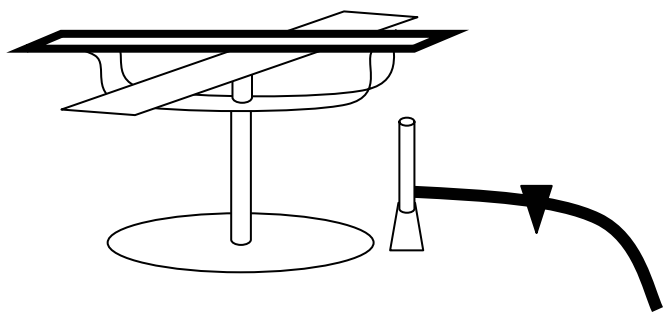
### 7.16. Скин-эффект.

Токи высокой частоты даже очень высокого напряжения при прохождении через тело человека безопасны и вызывают лишь его нагревание. Чтобы показать, что сила тока, протекающего через тело человека, достигает нескольких десятых ампера, берут лампочку накаливания на 25 Вт, вокруг нарезки цоколя которой обмотана медная проволока диаметром 2-3 мм. Конец этой проволоки длиной 11 см., переходящий в металлическую ручку, держат в руке. Второй контакт на цоколе лампочки в виде заострённой спицы из медной проволоки длиной 3 см., диаметром 2 мм. приближают к шарикю вторичной катушки работающего трансформатора Тесла. Лампочка загорается: ток накала проходит через неё и тело экспериментатора в землю

**7.17. Прибор Смита (эффект Зеебека, термоэлектрический преобразователь).**

7.18. Пьезоэлектрический эффект (полый шар из титаната бария).

7.19. Эффект Пельтье с магнитной стрелкой.



7.20. Электрическая дуга Петрова в воде.

7.21. Прибор для иллюстрации превращения световой в электрическую и электрической в механическую энергии.

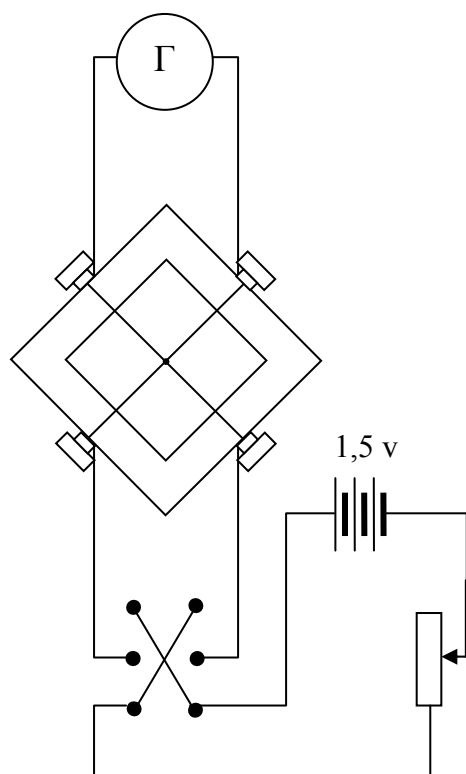
### Газоразрядные трубки

7.22. трубка для демонстрации стратов;

7.23. колбы;

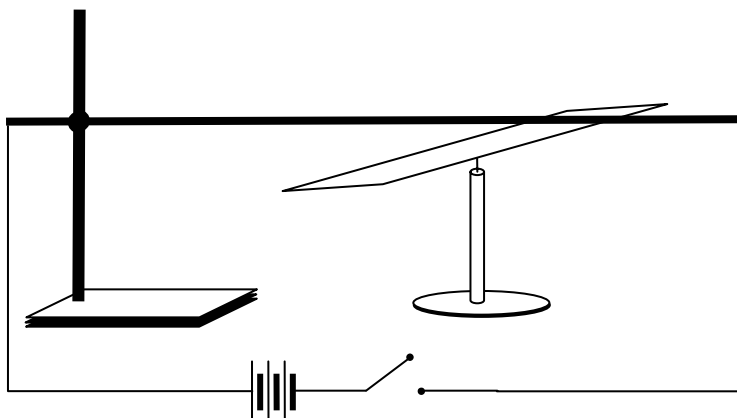
7.24. лампа дневного света.

7.25. Жидкостный реостат (две кюветы, соединенные последовательно с проводниками).



## 8. Электромагнетизм

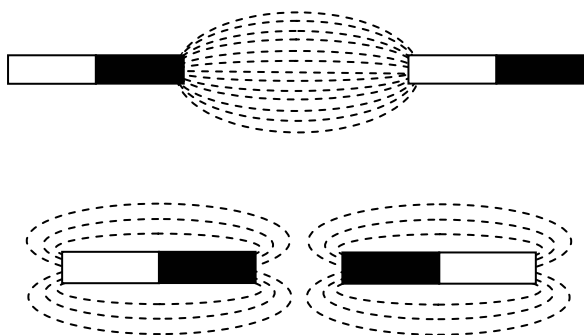
### 8.1. Опыт Эрстеда.



При прохождении электрического тока по проводнику вокруг последнего возникает магнитное поле. Медный проводник укрепляется в штативе. К концам проводника через переключатель подводится постоянное напряжение от аккумуляторов. Под проводником расположена

магнитная стрелка. Проводник и стрелка расположены в одной плоскости. Если замкнуть цепь электрического тока, то вследствие возникновения магнитного поля вокруг проводника магнитная стрелка отклонится на некоторый угол от своего первоначального направления. Если изменить направление тока, то и стрелка будет отклоняться в противоположную сторону.

## 8.2. Поля постоянного магнита.



Хорошо известно, что намагничивание стационарным магнитным полем при наличии градиента приводит к возникновению силы притяжения. Опытов демонстрирующих явление намагничивания очень много. Одним из таких опытов является демонстрация пространственных магнитных спектров или полей. Поля постоянного магнита

показывают в теневой проекции. Постоянные магниты, расположенные одинаковыми полюсами друг к другу, как указано на рис. 1, накрывают стеклянной пластинкой, на которую посыпают железные опилки. Вследствие индуктивного намагничивания железные опилки располагаются по магнитным силовым линиям, окружающим магниты. После этого магниты располагают разными полюсами друг к другу и снова посыпают железные опилки. Цепочки из намагниченных опилок воспроизведут пространственную картину распределения силовых линий у полюсов / рис. 2 /.

**Магнитное поле тока:**

В стеклянных пластинах просверлены отверстия, через которые пропускают медный провод диаметром 1-1,5 мм в виде прямого проводника, кругового и соленоида. Концы проводников через ключ подсоединяют к аккумуляторам. Пластины проецируют в горизонтальной проекции на экран, Из коробочки с крышкой, в которой проделаны мелкие отверстия, сыплют на пластинки мелкие железные опилки. При замыкании цепи и постукивании по пластинке пальцем опилки располагаются по силовым линиям, образуя так называемые магнитные спектры электрического тока.

- 8.3. прямолинейного;
- 8.4. кругового;
- 8.5. соленоида;

### 8.6. Катодные лучи.

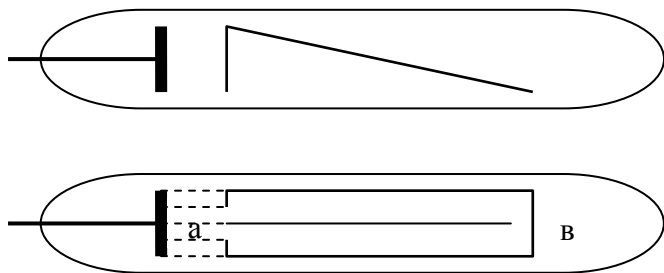
Катодные лучи представляют собой поток электронов, движущихся прямолинейно в вакуумной трубке в направлении, перпендикулярном поверхности катода. Разность потенциалов в трубке создается небольшой индукционной катушкой, дающей разность потенциалов порядка 50 кВ с искрой 5 - 10 см.

При помощи такой трубки можно продемонстрировать:

а) прямолинейность распространения катодных лучей. В трубке против катода помещены симметрично по обе стороны алюминиевая звездочка и алюминиевый диск с вырезанной звездочкой. Включаем индукционную катушку, питающую трубку. В первом случае на передней стенке трубки наблюдают резкую тень от звездочки на фоне зеленоватого свечения экрана трубки, во втором случае ярко зеленую звездочку. Обе фигуры имеют четко очерченные края.

б) люминесценцию под действием катодных лучей. В трубку вмонтирован букет цветов, покрытых различными люминофорами. При естественном освещении люминофоры имеют невыразительный сероватый цвет. Под действием катодных лучей атомы люминесцирующих веществ возбуждаются и высвечиваются чистыми различными цветами, придавая букету красивый вид.

### 8.7. Отклонение катодных лучей.

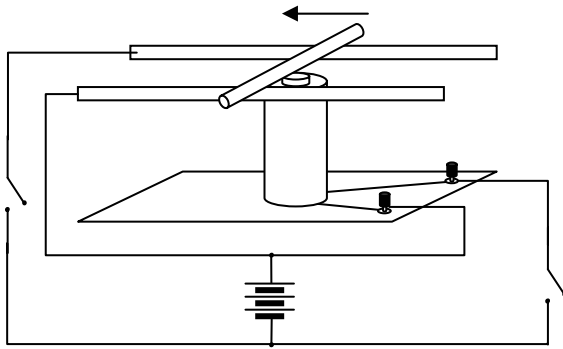


Для наблюдения отклонения катодных лучей в магнитном поле используют трубку с косо поставленным люминесцирующим экраном.

Электроны, пройдя через узкую щель в диафрагме, дают на экране светящуюся полосу *ав*. Если к трубке со стороны катода поднести линейный

магнит, пучок электронов отклонится. Повернув магнит другим полюсом, будем наблюдать отклонение пучка электронов в противоположную сторону. Трубку питают от небольшой индукционной катушки.

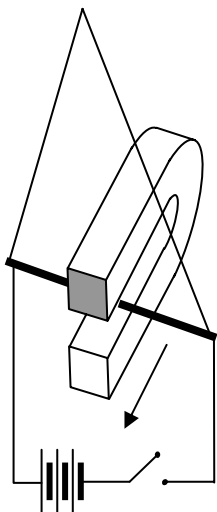
### 8.8. Действие магнитного поля на проводник с током (сила Ампера).



Прямолинейный проводник, по которому идет постоянный ток, будучи помещен во внешнее магнитное поле, испытывает боковое давление (сила Ампера). Если этот проводник сделать свободным, он будет перемещаться в направлении действия силы Ампера. Для демонстрации этого явления используется электромагнит, рядом с сердечником которого укреплены

горизонтально две медные шины. Поперек шин непосредственно над сердечником кладут медную трубку. На электромагнит и медные шины подается напряжение 12 В от аккумуляторов. При включении тока, а вместе с тем и магнитного поля, медная трубка начинает перемещаться по шинам. Изменение направления магнитного поля заставляет изменить направление перемещения трубки.

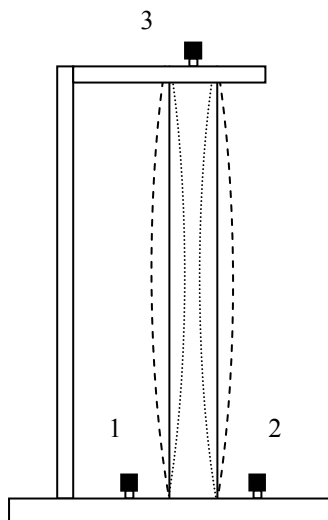
8.9. Выталкивание проводника с током из межполюсного пространства магнита.



На штативе вертикально укреплен изолированный гибкий провод длиной около 1 м. Провод через ключ подсоединяют к аккумулятору и располагают между полюсами подковообразного постоянного магнита. При пропускании тока по проводнику он либо втягивается в пространство между полюсами магнита, либо выталкивается из него в зависимости от направления тока и магнитного поля.

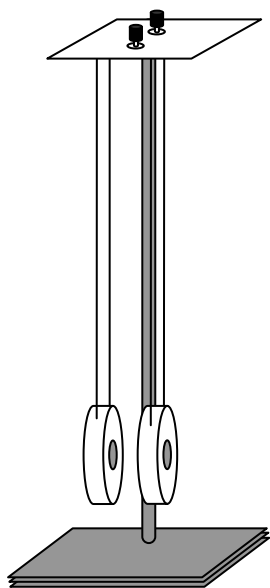
8.10. Движение электролита **во взаимно перпендикулярных магнитных полях.** Магнитное поле действует, согласно правилу левой руки, не только на электронный ток, в проводнике, но и на ионный ток в электролите. Для создания магнитного поля на горизонтальной подставке укреплен соленоид со стеклянным дном. Внутри соленоида наливается электролит (раствор медного купороса в воде). Для создания разности потенциалов в центре соленоида укреплено острие, а у стенки медная пластинка. Для наглядности на поверхность электролита насыпаются древесные опилки. Соленоид питается от аккумулятора напряжением 6 В. Такое же напряжение подается между пластиной и острием. Замкнув цепь соленоида и электролита, наблюдаем движение электролита по перемещению древесных опилок. При изменении направления тока в соленоиде или в электролите направление движения электролита изменяется на противоположное. Демонстрация показывается в горизонтальной проекции.

### 8.11. Взаимодействие параллельных токов.



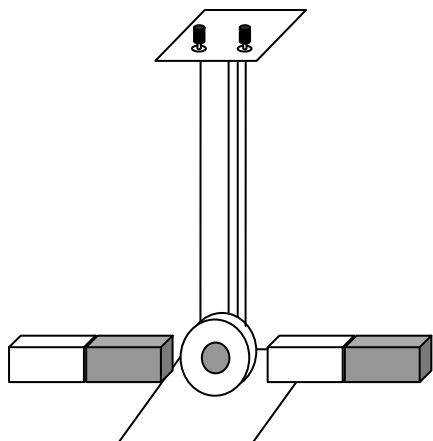
Для демонстрации притяжения параллельных токов и отталкивания антипараллельных используют две полоски из фольги, укрепленные на плексигласовой панели в вертикальном штативе. На панели имеются три клеммы. Соединив клеммы 1 и 3 между собой и подведя к ним один провод от аккумулятора с ЭДС 6 В, а второй - к клемме 2, получают в проводниках параллельные токи, которые притягиваются. Подводя напряжение к клеммам 1 и 3, получают антипараллельные токи, которые отталкиваются.

### 8.12. Взаимодействие двух катушек с током.



Согласно теории, два круговых тока одного направления притягиваются, а противоположного отталкиваются. При демонстрации этого явления используются две катушки диаметром 14-15 см, состоящие из большого количества витков. Катушки подвешены бифилярно к стойке так, что при прохождении постоянного тока они отталкиваются. Точки "а" и "б" выведены на подставку прибора. Подав напряжение (127 В) на клеммы "а" и "б", можно наблюдать, как катушки вначале расходятся, затем одна из них поворачивается на  $180^\circ$ , и они притягиваются друг к другу. Происходит это потому, что одна из катушек, находясь в поле второй, испытывает вращающий момент, поворачивающий ее так, чтобы направления их полей совпадали. А так как эти поля неоднородны, катушки испытывают силы притяжения.

### 8.13. Ориентация катушки с током в магнитном поле.

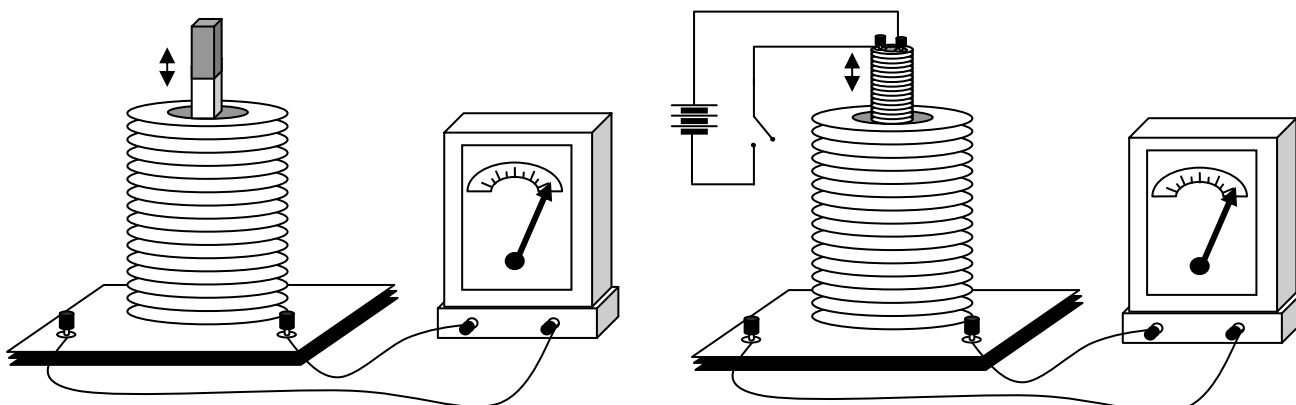


Плоская катушка диаметром 6 см из нескольких десятков витков изолированной проволоки подвешена на высоком штативе на двух гибких проводах. Плоскость катушки располагают параллельно силовым линиям поля, создаваемого двумя постоянными магнитами. Источником питания служит аккумулятор с ЭДС равной 6 В. При включении тока плоскость катушки поворачивается перпендикулярно направлению поля. При последующем изменении направления тока катушка переворачивается на  $180^\circ$ .

- 8.14. Эффект Эйнштейна – де-Гааза (модель: велоколесо на скамье Жуковского).
- 8.15. Эффект Барнетта (модель: гироскоп на центробежной машине).
- 8.16. Линии Лехера.
- 8.17. Вращение тела на магнитной подушке (TV).

## 9. Электромагнитная индукция

### 9.1. Основные опыты Фарадея.



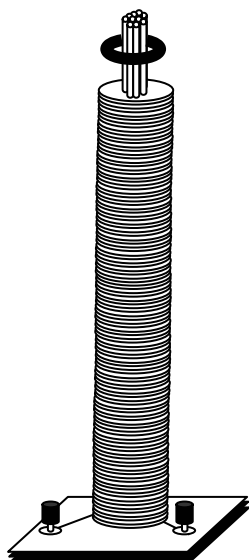
Эти опыты демонстрируют появление индукционных токов при изменении магнитного потока, пронизывающего данный контур, или, иначе, появление электродвижущей силы индукции при пересечении проводника магнитными силовыми линиями.

1. Катушку, состоящую из нескольких сотен витков провода  $L$  до  $1$  мм, присоединяют к демонстрационному стрелочному гальванометру. Вдвигая внутрь катушки полосовой магнит, наблюдают отклонение стрелки гальванометра. При удалении магнита из катушки стрелка отклоняется в противоположную сторону. Такое же изменение направления отклонения стрелки на противоположное получают при перемене полюсов магнита.

2. В катушку, соединенную с гальванометром, вдвигают другую катушку, питаемую током от аккумулятора. При этом стрелка гальванометра отклоняется до нуля. При извлечении катушки стрелка отклоняется в противоположную сторону. Направление отклонения стрелки меняется также при изменении направления тока, питающего катушку.

Если внутрь катушки с током вставить железный сердечник, отклонение стрелки значительно увеличится.

## 9.2. Закон Ленца: выбрасывание кольца.



В катушку, намотанную толстым проводом и содержащую несколько сотен витков, помещен железный сердечник для уменьшения рассеяния магнитного поля. На сердечник свободно надето легкое алюминиевое колечко. При замыкании цепи ток в катушке возрастает не мгновенно, т.к. ее индуктивность значительна. Увеличивающийся поток магнитной индукции пересекает площадь колечка, и в нем возникает ЭДС такого направления, что под действием индукционного тока направлено противоположно основному. Вследствие этого колечко подпрыгивает. Если катушка питается переменным напряжением, колечко подпрыгивает пока напряжение не снято. Пытаясь удержать колечко на месте, можно почувствовать, что его температура резко увеличивается вследствие быстрого изменения направления индукционных токов. Трансформатор питается переменным напряжением 127 В.

Трансформатор питается переменным напряжением 127 В.

**Токи Фуко:**

9.3. торможение колебаний маятника;  
для демонстрации токов Фуко используется электромагнит, питаемый от аккумулятора с ЭДС 12 В. Между полюсами электромагнита с малым затуханием колеблется маятник из красной меди. Если в обмотке электромагнита протекает ток, то при прохождении маятником межполюсного пространства развиваются интенсивные вихревые токи, почти мгновенно останавливающие колебания маятника. При включенном электромагните маятник трудно вывести из зазора.

9.4. падение сплошной и разрезанной пластины (алюминиевой) между полюсами магнита;

Для этого опыта полюсы электромагнита должны быть сдвинуты так, чтобы между ними оставался зазор немного больший, чем толщина алюминиевой пластинки. Размеры пластинки примерно 10x20 см. Сначала наблюдается свободное падение пластинки в отсутствие магнитного поля. Затем включается ток в обмотку электромагнита. Вследствие интенсивного развития вихревых токов в пластинке она так сильно тормозится, что проходит между полюсами медленно, двигаясь как бы в очень вязкой среде. Пластинка с прорезами (в виде гребешка) почти не тормозится, т.к. вихревые токи прерываются щелями.

#### 9.5. вращение диска в магнитном поле;

Прибор для демонстрации вихревых токов представляет собой легкий алюминиевый диск, вращающийся в подшипниках с очень малым трением. Чтобы вращение диска было заметно, на диске красной краской с обеих сторон нанесена треугольная метка.

В шпинделе центробежной машины закрепляется дугообразный магнит, к полюсам которого приближают диск. Расстояние между диском и полюсами должно быть возможно меньшим.

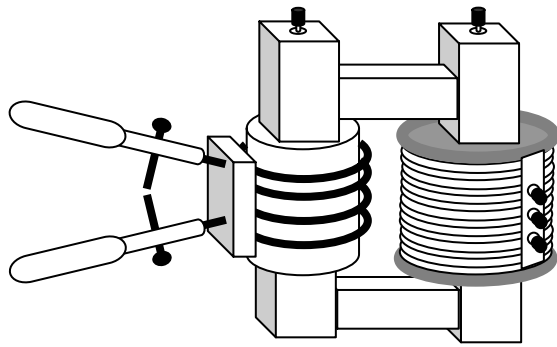
Рукояткой центробежной машины магнит приводят во вращение. Одновременно в ту же сторону начинает вращаться и диск.

Чтобы устранить действие внутреннего трения в воздушном промежутке, между диском и магнитом в специальный зажим на обойме диска вставляют листок тонкого картона.

Такое экранирование не уменьшает эффекта взаимодействия магнита и диска

При любой скорости вращения магнита скорость вращения диска всегда остается меньше скорости магнита, т.к. для образования вихревых токов, увлекающих диск, необходимо относительное движение магнита и диска.

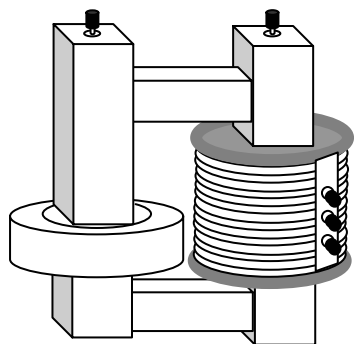
### 9.6. Сварка металлических стержней.



На сердечник 1 надевают катушку 127 / 220В и катушку 2 электросварочного аппарата. В зажимы электросварочной катушки прочно закрепляют при помощи стержней 3 электроды 4 остриями друг к другу /вместо электродов можно взять два хорошо зачищенных напильником гвоздя диаметром около 2мм./.

Включают обмотку катушки 127 / 220В в сеть и сближают концы электродов до соприкосновения /см. рис./. Ввиду большого сопротивления в месте соприкосновения металл электрода нагревается до красного каления. В это время надо несколько сильнее сжать ручки, а затем отключить обмотку катушки 127/220В от сети. При этом электроды /или гвозди/ свариваются. Опыт демонстрирует принцип устройства сварочного аппарата, состоящего из обмотки трансформатора, в котором вторичная низковольтная обмотка выполнена в виде нескольких витков толстого медного провода, и приспособление для сжатия свариваемых деталей. Вторичная обмотка сварочного трансформатора изготовлена из толстого медного провода, так как в момент сваривания через неё должен протекать ток большой силы.

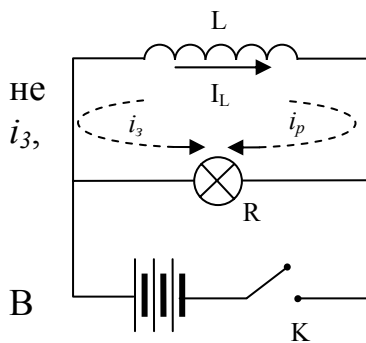
### 9.7. Плавление олова.



Для демонстрации принципа действия индукционной печи собирают на сердечнике 1 /рис./ катушку 127/220В и кольцо-желоб 2 и закрепляют яро прижимами. Яро следует положить шлифованной плоскостью к шлифованным плоскостям сердечника. Затем подключают через рубильник к сети переменного тока 127В или 220В соответствующие зажимы катушки, а в желоб, который состоит из кольца А выполненного из огнестойкого материала /асбест/, и металлического желоба Б, приклеенного к концу, закладывают кусочки олова. При включении рубильника, возникающее переменное магнитное поле /от переменного тока, протекающего по катушке,/ индуцирует ток в желобе, вследствие чего желоб разогревается и, находящиеся в нём, кусочки олова расплавляются.

### 9.8. Токи самоиндукции при замыкании и размыкании цепи.

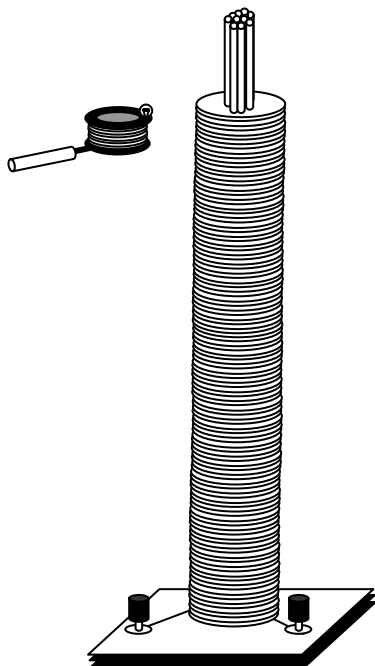
В цепи содержащей индуктивность при включении в цепь источника тока возникает экстраток самоиндукции, направленный противоположно току, создаваемому источником. При выключении из цепи источника тока экстраток направлен также как ослабевавший ток источника. Таким образом, индуктивность цепи проявляется в замедлении процессов исчезновения и установления тока. Наблюдать это можно при помощи изображенной схемы. Параллельно с большой индуктивностью включена лампочка накаливания и



источника ЭДС. При замыкании ключа ток через индуктивность возрастает до максимального значения мгновенно, т.к. навстречу ему идет ток самоиндукции который в лампочке накаливания складывается с основным током, текущим через нее. В силу этого лампочка в момент включения вспыхивает на короткое время .

дальнейшее значение токов, установившихся через лампочку и индуктивность, определяется их сопротивлениями, т.е.  $i_l \ll i_{инд}$ . т.к.  $R_l \gg r_{инд}$ . После размыкания ключа "К" через индуктивность уменьшается по экспоненциальному закону, но т.к. он проходит через лампочку, она на мгновение ярко вспыхивает.

### 9.9. Взаимоиндукция (трансформатор Тесла и виток с лампочкой).



катушку, намотанную толстым проводом и содержащую несколько сот витков, помещён железный сердечник для уменьшения рассеяния магнитного поля. Подключив катушку к блоку питания /127 В/, медленно подносят сверху к сердечнику плоскую катушку / рис. / На небольшом расстоянии от сердечника лампочка загорается под действием возникающего индукционного тока и горит всё ярче по мере дальнейшего приближения вплоть до надевания плоской катушки на стержень. Надо следить за тем, чтобы не пережечь лампочку.

## 9.10. Появление ЭДС в проводнике, движущемся в подковообразном магните.

## 10. Магнетизм

### 10.1. Парамагнетизм.

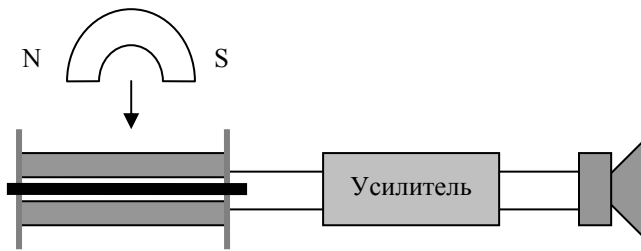
Для демонстрирования поведения парамагнитных веществ в магнитном поле используется электромагнит, питаемый от аккумулятора с ЭДС 12 В, и образец алюминия (парамагнетик). Образец подвешивается на нити в межполюсном пространстве перпендикулярно оси магнита. При включении тока в обмотке магнита образец устанавливается вдоль поля.

Демонстрация показывается в горизонтальной проекции.

### 10.2. Диамagnetизм.

Для демонстрирования поведения диамagnetных веществ в магнитном поле используется электромагнит, питаемый от аккумулятора с ЭДС 12 В, и образец из висмута (диамagnetик). Образец первоначально устанавливается вдоль оси магнита, а при включении поля изменяется ориентация на перпендикулярную. Демонстрация показывается в горизонтальной проекции.

### 10.3. Эффект Баркгаузена.



Отличительным свойством ферромагнетиков является наличие в них областей самопроизвольной, или спонтанной, намагниченности.

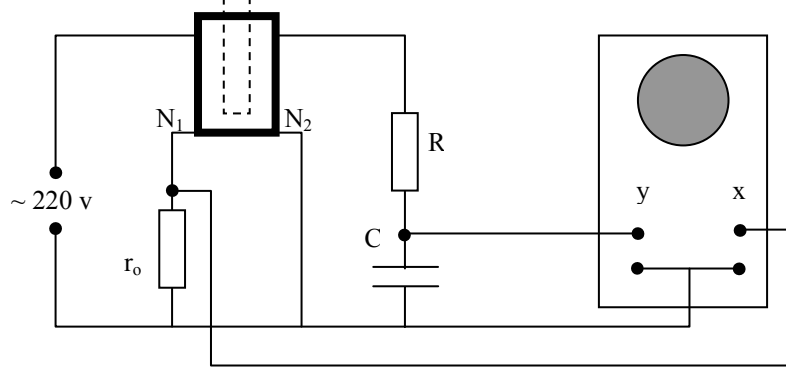
Изменение намагниченности происходит скачкообразно, т.е. при небольшом увеличении внешнего поля

намагниченность образца изменяется на весьма заметную величину (скачки Баркгаузена).

Для демонстрации этого явления используют следующую установку. В катушку, соединенную с ламповым усилителем, вводят пучок никелевых проволок. Подковообразный постоянный магнит медленно приближают к катушке. По мере приближения магнита его поле, действующее на пучок никелевых проволок, усиливается и, наконец, достигает той напряженности, при которой начинается интенсивный рост намагниченности никеля. В этот момент в репродукторе отчетливо слышны трески и шумы, напоминающие пересыпание сухого гороха. Эти прерывистые звуки и есть экспериментальное подтверждение факта существования областей спонтанной намагниченности в ферромагнетиках и переориентации их магнитных моментов под влиянием магнитного поля. Для контроля пучок никелевых проволок заменяют точно таким же по объему пучком медных проволок. Естественно никакого эффекта при этом не наблюдается.

#### 10.4. Петля гистерезиса с различными образцами.

Для наблюдения петли гистерезиса на экране осциллографа используется схема, изображенная на рисунке.



На катушку, внутрь которой можно вводить ферромагнитный и неферромагнитный образец, навиты намагничивающая ( $N_1$ ) и измерительная ( $N_2$ ) обмотки. Питание намагничивающей обмотки

осуществляется звуковым генератором (или от сети переменного тока через ЛАТР – для плавной регулировки напряжения).

С сопротивления  $r_c$  на горизонтальный вход осциллографа подается напряжение, пропорциональное току  $I$  в намагничивающей цепи, а следовательно — напряженности магнитного поля. На вертикальный вход осциллографа подается часть напряжения с измерительной катушки  $N_2$ .

$$U_2 \sim d\Phi/dt = N_2 S dB/dt$$

Чтобы на вертикальный вход осциллографа подавалось напряжение, пропорциональное индукции магнитного поля  $B$  между измерительной катушкой и осциллографом включается интегрирующая RC-ячейка. Параметры ячейки должны быть такими, чтобы  $RC$  было значительно больше  $T$  - периода изменения поля. При этом напряжение на конденсаторе  $C$  значительно меньше  $U_2$ . Поэтому:

$$U_c = \frac{\int i dt}{C} = \frac{1}{C} \int_0^T \frac{U - U}{R} dt = \frac{1}{RC} \int_0^T U dt \approx \frac{1}{RC} NS \int_0^T \frac{dB}{dt} dt \approx B$$

При введении в катушку образца из неферромагнитного материала на экране осциллографа наблюдается горизонтальная линия. При введении в катушку ферромагнетика наблюдается петля гистерезиса, т.е. зависимость  $B(H)$ .

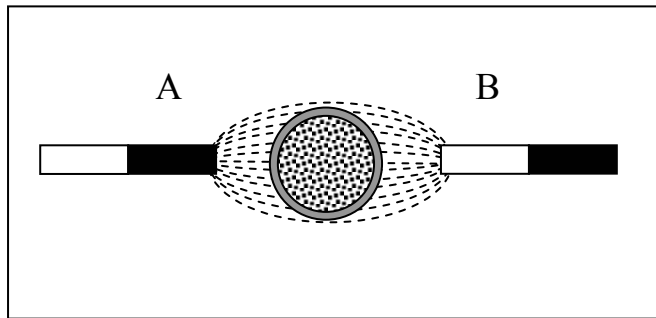
**Точка Кюри:**

10.5. диспрозий;

10.6. гадолиний.

## 10.7. Магнитная защита (экранировка).

Часто приходится ограждать измерительные приборы от вредных воздействий



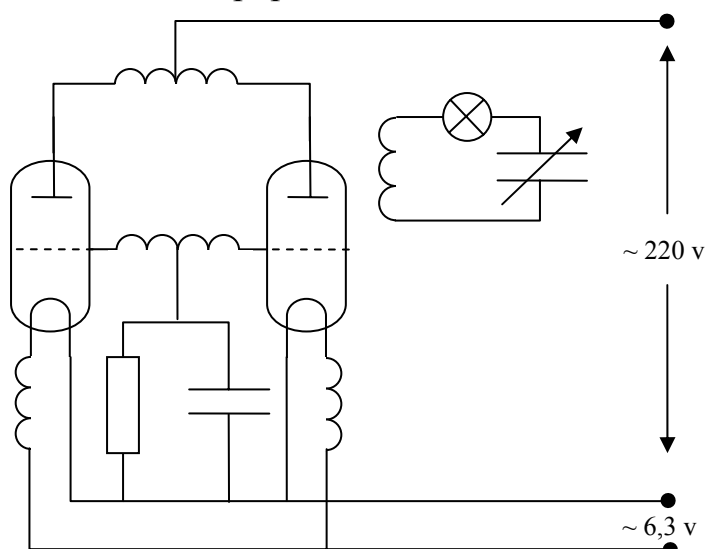
на них внешних магнитных полей, например, магнитного поля Земли, магнитного поля динамо-машины и т.д. В этом случае прибор окружают кожухом из мягкого железа, и тогда магнитные силовые линии внешнего поля проходят внутри стенок экрана и лишь незначительная часть

их проходит в пространство, ограждённое экраном. Для демонстрации магнитной защиты показывают следующий опыт в горизонтальной проекции. Между двумя стёклами на некотором расстоянии друг от друга расположены два постоянных полосовых магнита, которые обращены друг к другу разноимёнными полюсами. Полосы магнитов снабжены железными наконечниками А и В /см. рис./ для получения однородного магнитного поля в пространстве большого объёма. В средней части однородного поля, на равных расстояниях от полюсов, расположено железное кольцо. Посыпая через мелкое сито железные опилки на верхнюю стеклянную пластинку и слегка постукивая по ней, получаем на экране картину искажений однородного магнитного поля, вызванных железным кольцом. На экране ясно заметно сгущение силовых линий до и за железным кольцом; внутри кольца железные опилки по-прежнему остались расположенными беспорядочно, так как магнитное поле внутри кольца почти отсутствует. Следовательно, пространство внутри кольца экранировано железом. Если кольцо, убрать, железные опилки на всём пространстве равномерно выстраиваются по силовым линиям.

**10.8. Полосовые домены.**

# 11. Электромагнитные колебания и волны

## 11.1. Электрорезонанс.



Изображенный на схеме генератор вырабатывает колебания высокой частоты. Питание генератора осуществляется от трансформатора, который обеспечивает питание накалов и анодов ламп. На трансформатор подается напряжение от сети 127 В. Рядом с генератором помещается контур, состоящий из индуктивности, конденсатора переменной емкости и электрической

лампочки накаливания (2,5 В; 0,15 А). Изменяя емкость конденсатора, настраивают контур в резонанс с колебаниями генератора. При резонансе лампочка загорается.

### Электромагнитные волны (опыты Герца):

Демонстрационная установка состоит из клистронного генератора 3-х сантиметровых волн с выходом на направленный излучатель (рупор) и приемника (направленная антенна, детектор, УНЧ и динамик).

Остронаправленный излучатель и приемная антенна позволяют показать прямолинейность распространения э.м.в., отражение, преломление и поляризацию.

Чтобы показать, что металлы непрозрачны для э.м.в., излучатель и приемник располагают вдоль одной оси и при работающей схеме динамик звучит.

Помещая металлический экран на пути прохождения э.м.в., мы наблюдаем прекращение звучания динамика. Для демонстрирования отражения э.м.в.

располагают излучатель и приемник под одинаковыми углами к металлическому экрану. Тогда э.м.в., отражаясь от металлического экрана под углом, равным углу падения, попадают на приемник, усиливаются и вызывают звучание динамика.

Чтобы продемонстрировать преломление э.м.в. излучатель и приемник располагают как в предыдущем случае. Вместо металлического экрана на пути э.м.в. помещают призму. Э.м.в., преломляясь, попадают на приемник, усиливаются, и динамик начинает звучать. Чтобы продемонстрировать поляризацию э.м.в., устанавливают излучатель и приемник на одной оси.

Между ними помещают решетку, сделанную из медной проволоки диаметром 0,2 - 0,5 мм, натянутой на деревянный прямоугольный каркас. Если проволоки перпендикулярны осям излучателя и приемника, то э.м.в. не возбуждают в них индукционных токов и, следовательно, свободно проходят через решетку, и динамик начинает звучать. Если же решетку повернуть на  $90^\circ$  так, чтобы проволоки были параллельны осям излучателя и приемника, то в решетке возникают индукционные токи и э.м.в. не проходят. Этой демонстрацией доказывают, что э.м.в. поляризованы и для электрического вектора плоскостью поляризации является плоскость, перпендикулярная оси излучателя.

## 11.2. прямолинейность распространения;

### 11.3. отражение (от разных поверхностей – металл, диэлектрик);

11.4. отражение от поверхности, выполненной из медных проволок;

## 11.5. преломление;

## 11.6. поляризация;

**11.7. линзы;**

## 11.8. интерференция;

**11.9. дифракция.**

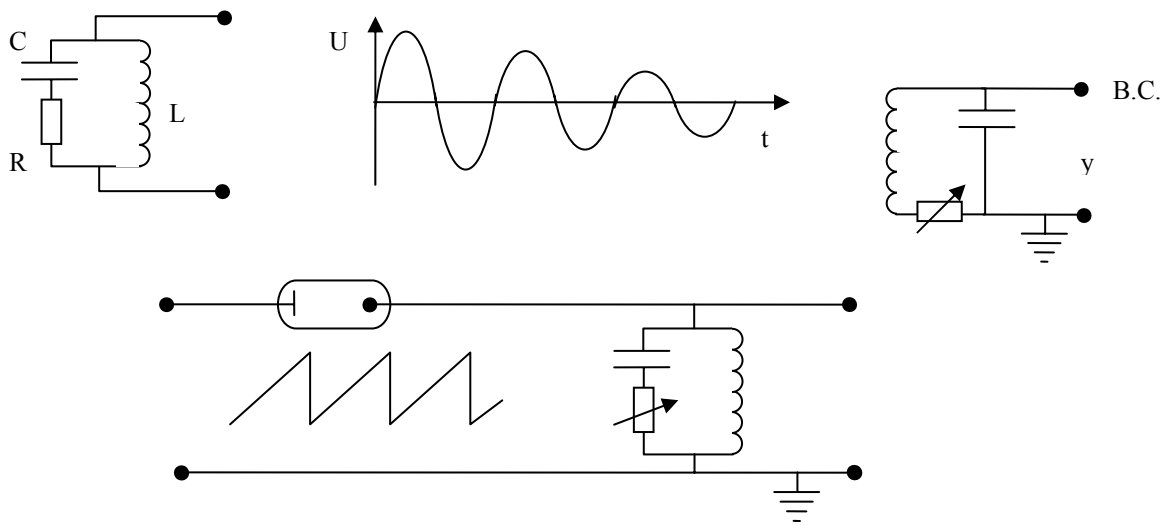
### 11.10. Затухающие электрические колебания.

Затухающие электрические колебания происходят в контуре, содержащем сопротивление (рис.1).

Если конденсатор контура периодически заряжать до какого-то потенциала и давать ему возможность разряжаться через  $R$  и  $L$ , на экране электронного осциллографа можно наблюдать затухающие колебания (рис.2). Для осуществления этого нужно собрать схему (рис.3).

#### Вариант «А».

На вход схемы подается пилообразное напряжение, снимаемое с гнезд  $X$  на



задней панели осциллографа. Напряжение, снимаемое с выхода, подается на вертикальный вход осциллографа. Изменяя величину сопротивления  $R$ , можно регулировать коэффициент затухания, получая на экране различные кривые.

#### Колебания

#### Затухающие электрические колебания.

##### (Вариант "Б")

Затухающие электрические колебания, происходящие в колебательном контуре, содержащем переменное сопротивление, могут быть продемонстрированы на электронном осциллографе при помощи приведенной схемы.

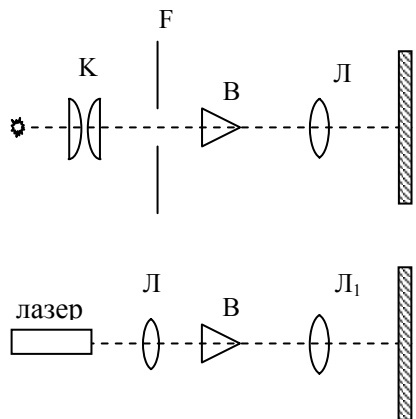
Источником питания является клемма "Внешняя синхронизация", соединенная внутри осциллографа с тиратроном генератора развертки ( $R \sim 500 - 1000 \text{ Ом}$ ,  $L \sim 0,22 \text{ Н}$ ,  $C = 0,01 - 0,02 \mu\text{F}$ ).

Кривые, соответствующие различным коэффициентам затухания получаются на экране осциллографа при изменении  $R$ .

## 12. Оптика

### Интерференция

#### 12.1. бипризма в лазерном излучении;



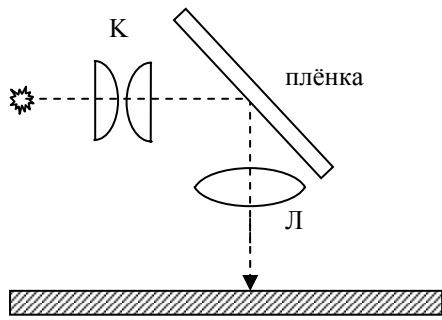
Для получения полос интерференции используется бипризма Френеля, вышлифованная из зеркального стекла так, что преломляющие грани образуют угол около  $7^\circ$ .

Вертикальная щель  $F$ , являющаяся "точечным" источником света, равномерно освещена при помощи конденсора  $K$  проекционного фонаря. Бипризма  $B$  помещена перед щелью на расстоянии  $20$  см. Для увеличения ширины полос на экране, после бипризмы ставят цилиндрическую линзу  $L$ . Чередование радужных полос наблюдают на матовом экране,

расположенном на расстоянии  $4-5$  метров от бипризмы.

При использовании в качестве источника света лазера, приборы располагают, как показано на нижнем рисунке. Рассеивающую линзу укрепляют непосредственно на трубке лазера. На расстоянии  $20$  см располагают бипризма. Интерференционные полосы наблюдают на экране, расположенном на расстоянии  $5-6$  метров от бипризмы.

## 12.2. мыльный клин;



Для демонстрации интерференции света можно использовать мыльный раствор, в который опускают проволочный каркас в виде прямоугольника так, чтобы каркас затянулся пленкой. Пленку проецируют на экран в отраженном свете. Вследствие стекания мыльного раствора верхняя часть пленки становится тоньше, и цвета интерференции появляются раньше всего именно в верхней части

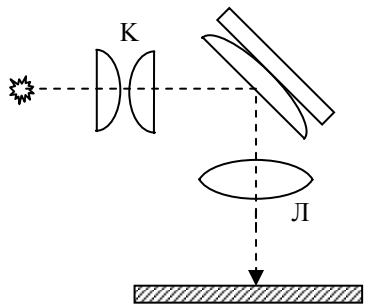
пленки. По мере стекания жидкости вдоль пленки на экране появляются цвета интерференции в виде ряда горизонтальных цветных полос, которые постепенно перемещаются вниз. На экране они перемещаются вверх, если не применена обратная призма.

б) Очень красивые и яркие цвета интерференции можно получить с помощью **тонких пленок из целлулоида**. Демонстрируют пленки на экране в отраженном свете, как и мыльные.

### 12.3. тонкие лаковые плёнки;

## 12.4. кольца Ньютона;

Кольца Ньютона - линии равной толщины - получаются в воздушном клине между плоско-параллельной пластинкой и плоско-выпуклой линзой большого радиуса кривизны в отраженном или проходящем свете. Линза и пластинка заключены в оправу, снабженную тремя винтами, позволяющими плавно изменять расстояние между линзой и пластинкой и величину воздушного клина. При демонстрации на прибор направляют не очень сильно сходящийся пучок света от конденсора



К проекционного фонаря так, чтобы сечение пучка было не шире самого прибора и отраженные от прибора лучи сходились приблизительно на собирающей линзе  $Z$  дающей, изображение колец на экране. С помощью регулирующих винтов необходимо показать расширение и сжатие колец при сближении и удалении линзы и пластинки. При этом сближение следует доводить до полного соприкосновения в центральной части, чтобы показать центральное черное пятно.

## 12.5. отражение лазерного пучка от плоской толстой пластины;

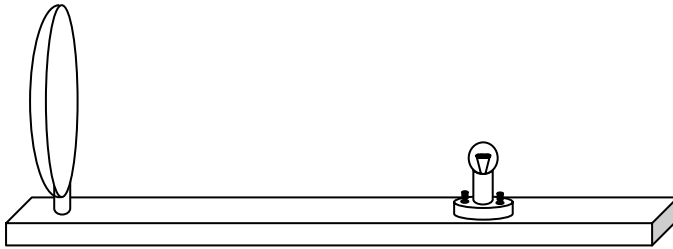
**12.6. световые узоры;**

## 12.7. отражение лазерного пучка от вогнутого тонкого зеркала:

12.8. от двух круглых отверстий;

12.9. от ртутного источника и слюдяных пластинок (опыт Поля);

12.10. от вогнутого **толстого** зеркала (с напылением ликоподия);



Если перед запылённым зеркалом зажечь лампочку, можно наблюдать вокруг изображения лампочки радужную каёмку. Внутри каёмки синий цвет, снаружи- красный. Каёмка

возникает из-за интерференции света, отраженного зеркалом, покрытым хаотически расположенными частицами пыли. Эти частицы образуют "дифракционную решетку". Такое явление сходно с появлением "венцов"-цветных концентрических окружностей, которые иногда окружают солнце или луну. Здесь роль пыли играют водяные капли в атмосфере. В нашей лаборатории прибор, демонстрирующий это явление, состоит из горизонтальной подставки, на которой укреплены лампочка и вогнутое зеркало. Зеркало равномерно посыпают порошком ликоподия /споры растений/ и наблюдают явление.

12.11. на двух щелях с лазерным пучком;

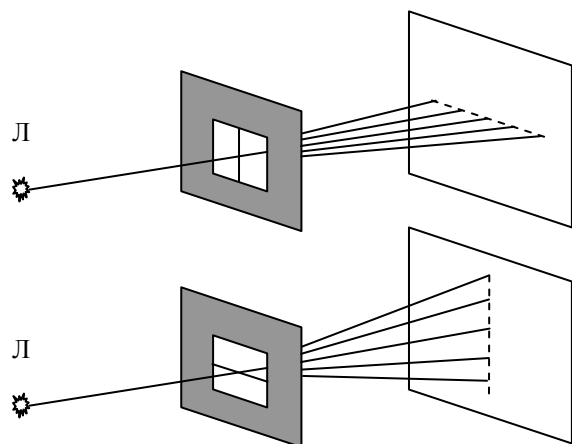
**Дифракция:**

12.12. от круглого отверстия (0,4; 0,5; 0,7; 1,2; 1,75) мм;

12.13. от препятствия (опыт Пуассона-Араго);

## 12.14. от нити;

Если на пути пучка света от лазера вместо щели поставить тонкую нить, то на экране будет отчетливо видна картина дифракции. В качестве тонкой нити можно использовать человеческий волос. Меняя расположение нити, можно



показать различное расположение дифракционной картины.

а/ нить расположена вертикально;

б/ нить расположена горизонтально.

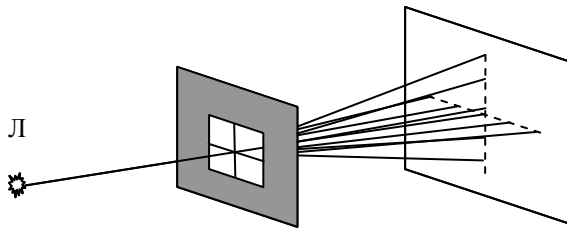
Очень наглядная картина получается при использовании окрещенных нитей.

Л - лазер

Н - нить

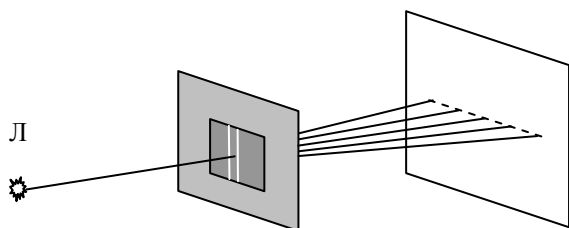
Э - экран

12.15. от двух нитей (скрещенных);



12.16. от щели;

12.17. от двух щелей;



Для наблюдения дифракции Фраунгофера на двух щелях пучок света от лазера пропускают через две щели, изготовленные заводским способом из металла. Картину наблюдаем на экране, расположенном от щели на расстоянии

нескольких метров. Для успешного проведения опыта нужно следить, чтобы обе щели освещались одним "пятном" лазерного - пучка. На экране хорошо видны два центральных максимума.

12.18. от конца иглы;

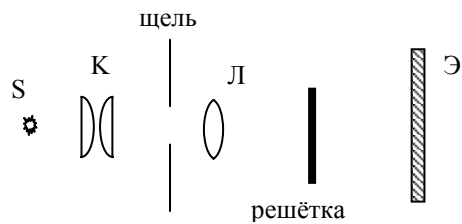
12.19. от границы лезвия;

Для этой демонстрации используется подставка из набора Дюбоско, в которой закрепляется лезвие в металлическом держателе-рамке. Источником света служит лазер. Пучок света направляют на край лезвия, а дифракционную картину (чередование красных и черных пятен) наблюдают на экране, находящемся от лазера на расстоянии примерно пяти метров.

Примечание: расстояние между лазером и лезвием 152-153 см. Большая рассеивающая линза устанавливается на расстоянии 53 см. от дальнего края демонстрационного стола. Боковой экран без крючка максимально выдвинуть в аудиторию так, чтобы падение света было скользящим.

12.20. от прямоугольной щели;

12.21. дифракционный спектр в зависимости от параметра решётки (256 и 512 штрихов на мм);



Демонстрируя дифракционную решетку, на экран проецируют раздвижную щель, которую в специальном устройстве крепят непосредственно на проекционный фонарь. За линзой в сходящемся пучке света помещают дифракционную решетку так, чтобы пучок полностью покрывал решетку, но не выходил

за ее пределы. Тогда на экране получается резкое изображение щели, по обе стороны которого расположены яркие дифракционные полосы спектральных цветов.

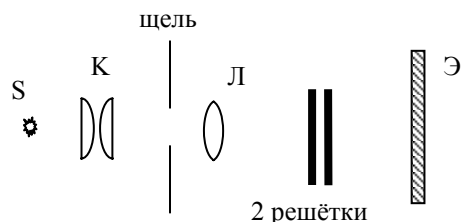
Чтобы показать зависимость расположения спектральных полос от периода решетки, рекомендуется продемонстрировать несколько решеток с различными периодами. Решетки с большим периодом дают очень тесно расположенные полосы, и поэтому для хорошей их видимости следует брать щель достаточно узкую.

При уменьшении периода решетки, когда полосы становятся шире, щель следует расширять, чтобы полосы получились ярче.

**12.22. дифракционные венцы, наблюдаемые в микроскопе без окуляра;**

12.23. при разложении света в спектр (решётка Попкова):

12.24. от скрещенных решёток под углом  $45^0$  (лауэграмма);



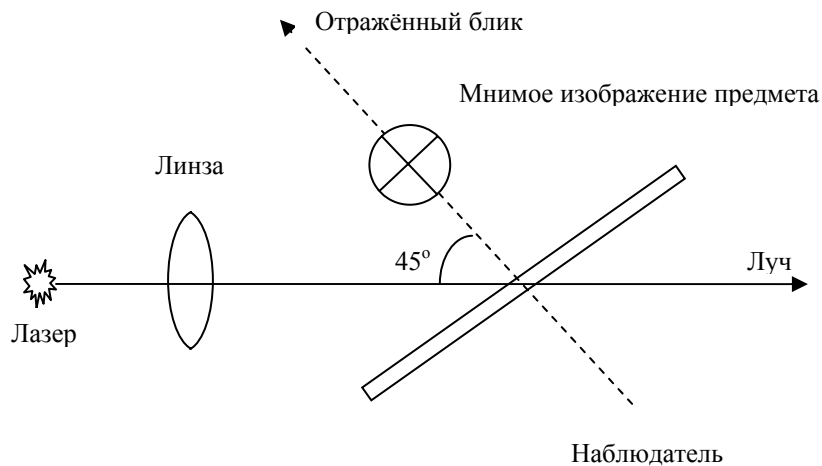
Спектры скрещенных решеток демонстрируют так же, как и с одной, только в качестве источника света берут не щель, а небольшую круглую диафрагму (диаметром 3-5 мм), освещаемую конденсором фонаря. Вначале можно показать спектры от каждой решетки

отдельно, а затем решетки накладываются одна на другую так, чтобы штрихи их были параллельны. На экране виден один ряд спектров. Если теперь поворачивать одну решетку относительно другой, на экране получается сложная и красивая система спектров, изменяющая свой вид по мере вращения решетки.

12.25. двумерная решётка с одинаковыми периодами;

12.26. на узлах и пучностях при ультразвуковых колебаниях;  
При звуковых колебаниях погруженной в жидкость пластинки из титаната бария возникают волны. Длина волны зависит от частоты колебаний пластины и от скорости её распространения в жидкости. При прохождении ультразвуковой волны через жидкость возникают периодические неоднородности, обусловленные разницей значений коэффициента преломления в областях сжатая и разрежения. Эти периодические неоднородности играют роль своеобразной дифракционной решетки для проходящего сквозь жидкость света. Свет, проходя через среду с периодически изменяющимся в пространстве и во времени показателем преломления, дифрагирует. Периодическое изменение показателя преломления в пространстве приводит к появлению соответствующих максимумов в дифракционной картине, а периодическое изменение показателя преломления во времени - к модуляции света в дифракционных максимумах с частотой, равной удвоенной частоте колебаний, так как решетка дважды за период исчезает и появляется вновь. Чтобы показать это явление собирают установку. В небольшой кубической формы сосуд, заполненный бензином, опущена закрепленная в держателе тонкая пластина титаната бария. Проецируют резкое горизонтальное изображение щели на экран. За объективом в том месте, где ставиться дифракционная решетка, располагают сосуд. Если интенсивность колебаний пластины достаточно велика, то на экране появится четкая картина дифракционного спектра. Это же явление можно показать с помощью лазера. Пучок света от лазера без проекции щели пропускают через кювету. При этом из-за монохроматичности луча дифракционная картина состоит не из полос, а из точек расположенных вертикально.

### 12.27. Голограммы (в белом свете).

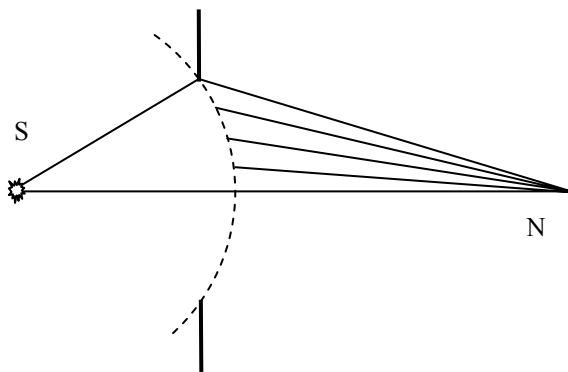


Голограмма представляет собой запись на фотопластинке интерференционной картины, возникающей при наложении "опорного" луча, отраженного от зеркала, и "сигнального" луча, отражённого от трёхмерного объекта. Общим источником света

этих когерентных лучей является расширенный луч лазера. Голограмма, в отличие от обычного негатива, содержит информацию не только об амплитуде, но и о фазе световых волн, рассеянных объектом. При восстановлении изображения голограмма выполняет роль дифракционной решетки, при освещении такой решетки монохроматическим пространственно-когерентным лучом лазера возникают дифракционные максимумы. Один из них формирует мнимое объёмное изображение объекта. Для того чтобы увидеть изображение, освещенную лазером голограмму просматривают на отражение, поворачивая её одновременно до того угла, при котором данная голограмма была записана. Наша лаборатория располагает голограммами, которые можно просматривать в затемнённой аудитории, пользуясь светом от дугового проекционного фонаря.

**12.28. Зонные пластинки с дециметровым излучателем.**

### 12.29. Зонные стеклянные пластинки.



Зонные пластинки применяются в оптике для усиления освещенности в некоторой точке наблюдения, если освещение производится сферической или плоской волной.

Согласно теории Гюйгенса-Френеля фронт волны может быть разбит на зоны, каждая, из которых отстоит от соседней на расстоянии, равном половине длины

волны.

В силу этого колебания, приходящие в точку наблюдения от соседних зон, гасят друг друга.

Если на пути фронта волны поставить пластинку, состоящую из прозрачных и непрозрачных колец, т.е. закрывающих часть фронта волны, в точке наблюдения будет наблюдаться усиление света. Усиление света будет большим, если центральная зона открыта (четная зонная пластинка).

В демонстрационном приборе в качестве источника электромагнитных колебаний используется клистронный генератор 3-х - сантиметровых волн. Зонные пластинки сделаны из гетинакса, на который нанесены концентрические металлические кольца, непрозрачные для электромагнитных волн. На одной из пластин центральная зона закрыта, первая, третья и н. др. открыта - нечетная пластинка. На второй центральная зона открыта - четная пластинка.

Схема демонстрации изображена на рисунке :

Расположив генератор и приемник колебаний так, чтобы было слышно звучание репродуктора, снимают рупор с волновода генератора. В волновод приемника попадает при этом значительно меньше энергии и звучание репродуктора не слышно. Поставив одну из зонных пластинок между генератором и приемником, можно вновь добиться звучания репродуктора. Положение пластинки, при котором получается максимальное звучание, подбирается практически.

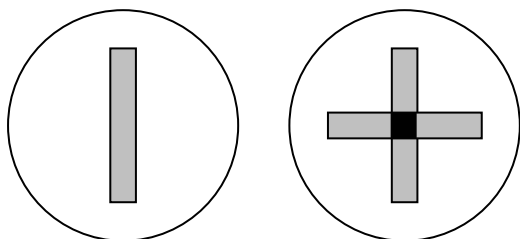
Это положение для четной и нечетной пластинок различно. Интенсивность звучания при помещении четной пластинки больше.

12.30. Компакт-диск (дифракционные венцы, дифракция, интерференция?).

**Поляризация:**

12.31. модель электромагнитной волны;

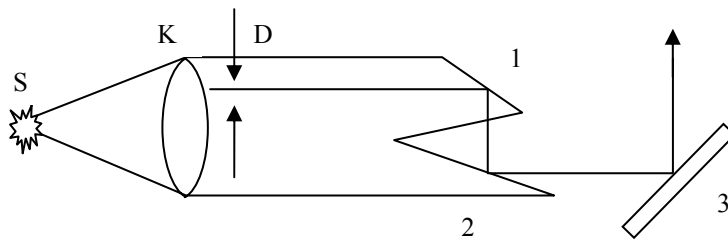
## 12.32. турмалиновый крест;



Поляризующее действие турмалиновых пластинок основано на сильном плеохроизме, т.е, различном поглощении света в кристаллах в зависимости от направления световых колебаний. Поляризующие пластинки изготавливают только из таких кристаллов, в

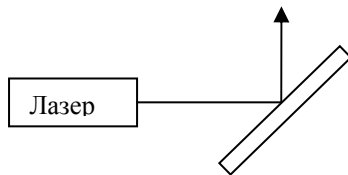
которых колебания, перпендикулярные к оптической оси, поглощаются почти полностью. Явление поляризации света наглядно демонстрируется при помощи двух турмалиновых пластинок, наклеенных на стекла и взятых в оправу, каждая отдельно. Сначала одну из турмалиновых пластин вставляют в диафрагму проекционного фонаря и вращают вокруг горизонтальной оси. Цвет изображения пластинки на экране при этом не меняется. После этого укрепляют второй турмалин параллельно первому и медленно поворачивают один относительно другого, чтобы показать непрерывное изменение яркости пропущенного света, В момент скрещивания двух пластин наблюдается полное гашение света.

12.33. при отражении (чёрное зеркало) в белом свете;



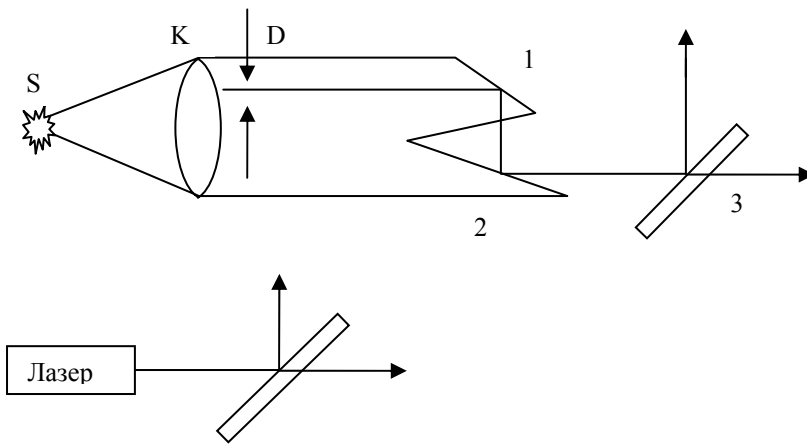
Если естественный луч попадает на полированную поверхность тела под углом Брюстера, то отраженный луч оказывается полностью поляризованным. Явление полной поляризации при

отражении демонстрируется при помощи приборов, указанных на рисунке.



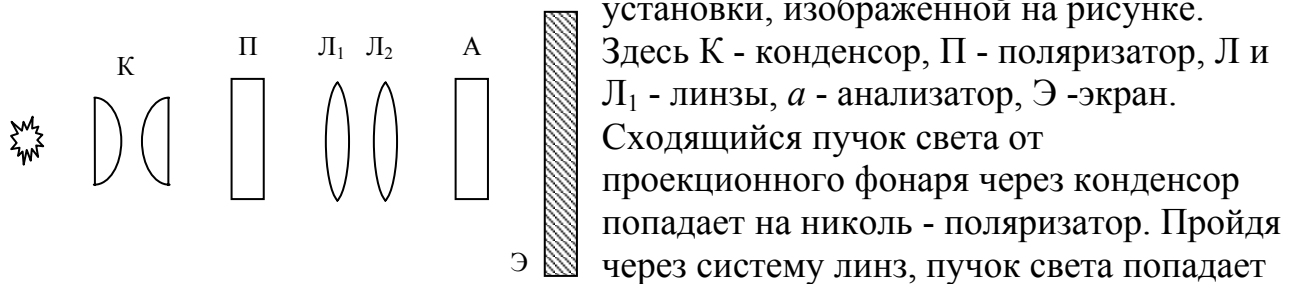
Пучок света, исходящий из проекционного фонаря, через конденсор "К", попадает на диафрагму "Д", расположенную в верхней части оправы. Отражаясь от нижней плоскости зеркала I, пучок света под углом Брюстера попадает на плоское черное зеркало 2, являющееся поляризатором и, отражаясь от него, попадает на "анализатор" - черное зеркало 3, укрепленное во вращающейся оправе. При вращении "анализатора" вокруг горизонтальной оси зайчик света будет с потолка аудитории сбегать по стене, имея в различных направлениях различную яркость в соответствии с законом Малюса. Когда плоскости падения луча в обоих зеркалах взаимно перпендикулярны, зайчик исчезает.

12.34. при преломлении (в белом свете);



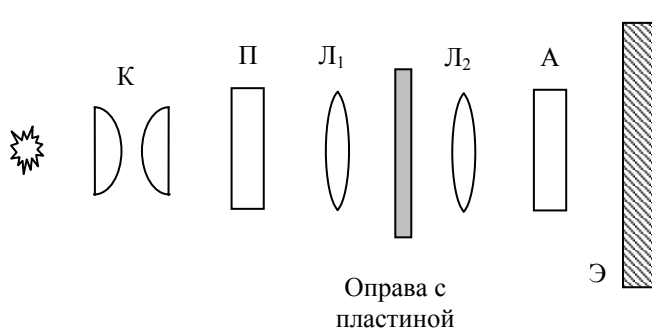
12.35. николи;

Призма Николя (кратко - николю) позволяет получить поляризованный свет и может служить, кроме того, анализатором света. Достигается это при помощи



Сходящийся пучок света от проекционного фонаря через конденсор попадает на николю - поляризатор. Пройдя через систему линз, пучок света попадает на экран. Легко заметить, что вращение поляризатора не вызывает изменения освещенности. Если же за линзами располагать второй никель-анализатор и вращать его вокруг горизонтальной оси, то на экране можно наблюдать изменение освещенности от максимальной (когда плоскости поляризации николей параллельны) до минимальной, когда они скрещены. На этой установке демонстрируется закон Малюса.

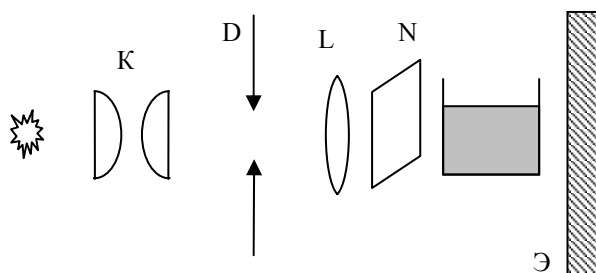
## 12.36. хроматическая поляризация (слюда и т.д.);



Для демонстрации интерференции поляризованного света берутся пластинки слюды, сколотые по плоскостям спайности и закреплённые в оправе. Схема демонстрации дана на рис. ( К - конденсор, р - поляризатор, Л Л<sub>1</sub> - линзы, О - оправка, А - анализатор).

Устанавливают николи Р и А так чтобы на экране была полная темнота. Затем оправку с пластинкой вводят между линзами Л и Л<sub>1</sub>. При этом в поле зрения появляется яркая интерференционная окраска. При повороте анализатора А на 90 градусов окраска пластинки меняется на дополнительную. Особенно красивы опыты, если брать пластинки различной толщины (например, бабочка).

## 12.37. свет в мутной среде;



Для демонстрации этого явления используется стеклянный четырехгранный сосуд, наполненный водой, в которую по каплям добавляется раствор канифоли в спирте. Полученная жидкость оказывается окрашенной в молочно белый цвет. Приборы устанавливаются, как показано на рис.

Сходящийся пучок света от конденсора К проекционного фонаря после прохождения диафрагмы Д направляется на линзу Z для получения параллельного светового пучка и затем на сосуд с мутной водой. Так как интенсивность рассеянного света возрастает с уменьшением длины волны, эмульсия в средней части кажется окрашенной в голубой цвет. На экране же видим желто-оранжевое пятно. Сосуд с мутной водой можно освещать плоскополяризованным светом, вводя между диафрагмой и линзой какой-нибудь поляризатор, например, николю N. При вращении николя направление плоскости поляризации пучка меняется, а, т.к. интенсивность рассеянного света зависит от направления, сосуд кажется то светлым, то темным.

12.38. равностороння стеклянная призма;

12.39. ромб Френеля (демонстрация получения круговой поляризации);

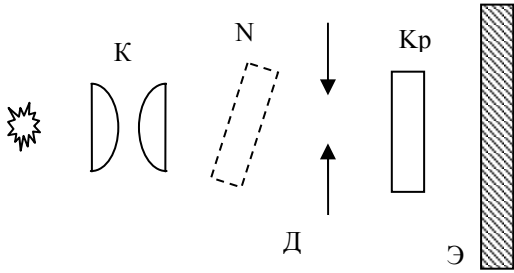
## 12.40. двойное лучепреломление в кристалле исландского шпата;

В веществах, обладающих анизотропным строением молекул, наблюдается

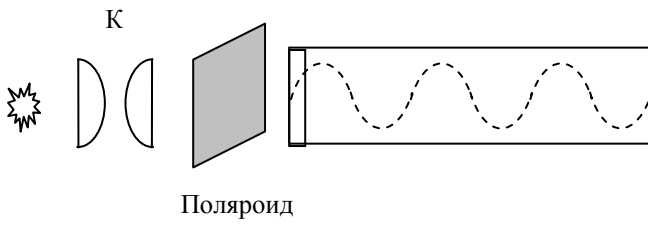
явление двойного лучепреломления, т.е. при падении света на одноосный кристалл падающий луч разбивается на два поляризованных луча: обыкновенный и необыкновенный. Плоскости поляризации обоих лучей взаимно перпендикулярны. При демонстрации этого явления приборы

располагаются, как показано на рисунке. Здесь К - конденсор, N - николю, Д - диафрагма, Кр - кристалл. В качестве одноосного кристалла берется исландский шпат, из которого вырезана пластинка (Кр) под некоторым углом к оптической оси. Если пластинку поместить перед объективом проекционного фонаря, то на экране вместо одного луча получается два светлых кружочка, имеющих одинаковую яркость. При вращении пластинки, обыкновенный луч (центральный) будет оставаться неподвижным, в то время как необыкновенный луч будет вращаться вокруг обыкновенного, Если на пути луча между конденсором фонаря и кристаллом поставить николю, то при вращении кристалла, лучи обыкновенный и необыкновенный будут попеременно изменять интенсивность через каждые  $90^\circ$ .

При желании перед объективом фонаря можно поместить еще одну пластинку из исландского шпата. В этом случае на экране появляется четыре светлых кружочка, т.к. каждый из лучей, прошедших через первую пластинку еще раз раздваивается. Интенсивность освещенности этих кружочков при вращении кристалла меняется.



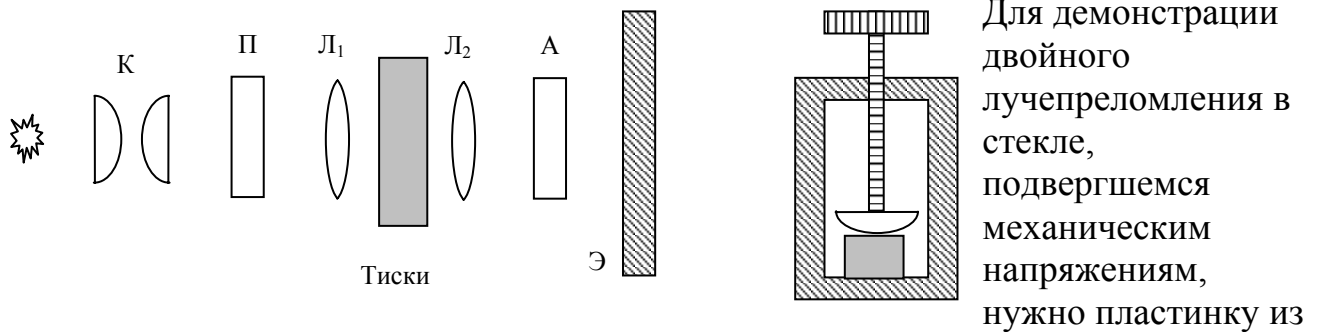
12.41.опыт Умова;



12.42. поляризованность лазерного излучения (лазер + николю).

### Применение поляризованного света для исследований:

12.43. напряжений в стекле;



Для демонстрации двойного лучепреломления в стекле, подвергшемся механическим напряжениям, нужно пластинку из

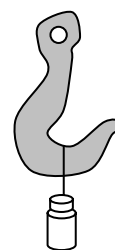
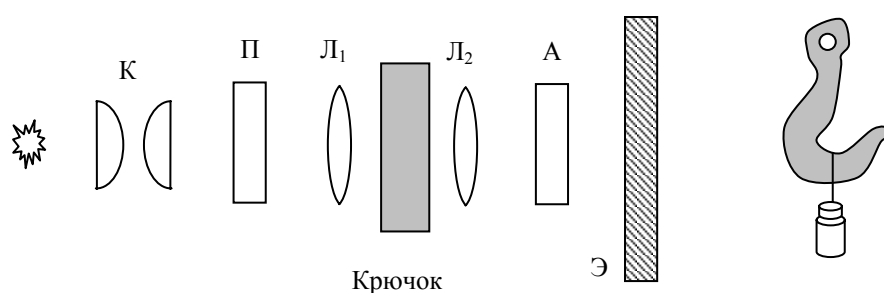
зеркального стекла толщиной около 1 см и площадью

$3 \times 3 \text{ см}^2$  зажать в тиски, как показано на рис 1, между плоской и выпуклой поверхностями.

Демонстрация производится в проекции на экран в параллельном пучке поляризованного света. На пути луча света рис. 2, между поляризатором (Р) и анализатором (А) ставят тиски со стеклом и фокусируют стекло на экран. При этом винт тисков опущен, напряжений в стекле нет, и стекло действует как вполне изотропное тело. Далее повернув анализатор в скрещенное положение, добиваются полной темноты поля зрения на экране. Оставляя николи скрещенными, начинают постепенно сжимать пластинку в тисках. Поле зрения сначала просветляется, затем в нем вырисовывается картина распределения напряжений с характерными "павлиньими глазками".

Установив картину на максимальную яркость, убирают временно анализатор, чтобы показать, что данная картина наблюдается только в поляризованном свете. Красивым двойным лучепреломлением обладают готовые стекла с остаточными напряжениями, вызванными быстрым охлаждением (закаленные стекла). Демонстрация производится в поляризованном свете в проекции на экран по схеме, представленной на рис.2

## 12.44. “крючка”;

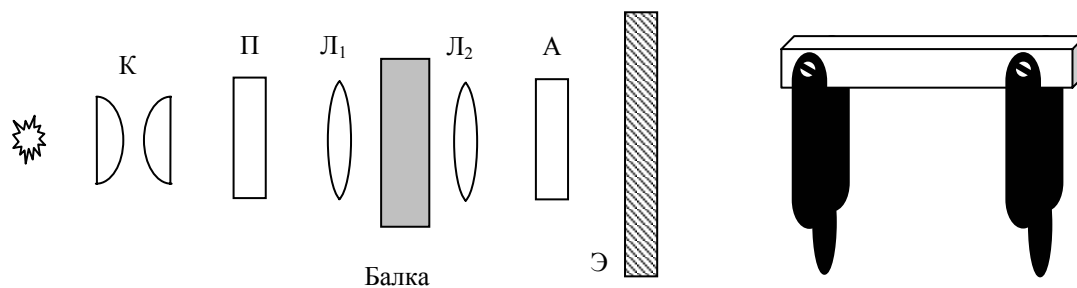


В скрещенных николях можно наблюдать распределение напряжений в механических моделях. Крючок, вырезанный из плексигласа,

укрепляют в штативе и ставят на пути поляризованного луча в ненапряженном состоянии. Поле зрения остаётся тёмным. Затем подвергают крюк растяжению с помощью гирьки. Поле зрения просветляется, появляется картина распределения напряжений.

12.45. профиля рельса;

## 12.46.балки.



В скрещенных николях можно наблюдать распределение напряжений в механических моделях. Балку из плексигласа в зажимах, вырезанную из плексигласа ставят на пути поляризованного луча в ненапряженном состоянии. Поле зрения остаётся тёмным. Затем подвергают балку напряжению. Поле зрения просветляется, появляется картина распределения напряжений.

12.47. **Ход светового луча в оптически неоднородной среде.**

12.48. **Камера Обскура.**

12.49. **Билинза с микроскопом и лазером.**

12.50. **Прибор Фабри-Перо.**

12.51. **Тонкие стеклянные запыленные пластинки для иллюстрации эффекта Фабри-Перо.**

12.52. **Пластинка Люмера-Герке.**

12.53. **Определение главных оптических плоскостей системы.**

## 13. Геометрическая оптика

### 13.1. Законы отражения

## 13.2. Законы преломления.

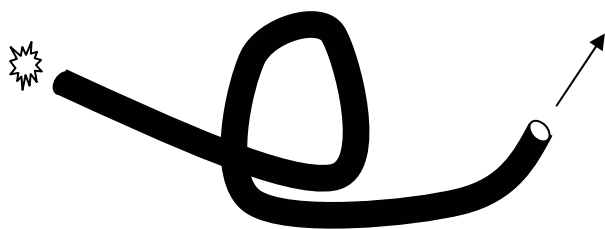
### 13.3. Преломление и отражение предмета в вогнутом толстом зеркале, наполненном водой.

#### 13.4. Смещение луча света в толстой стеклянной пластине.

**Полное внутренне отражение:**

**13.5. в сосуде с водой;**

## 13.6. световод;



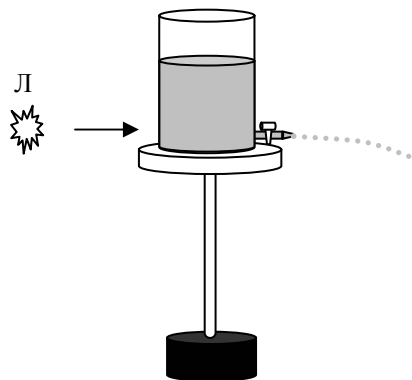
С помощью световода можно изменять направление лазерного луча. Луч лазера направляют на торцевую поверхность стекловолоконного световода. В аудиторию направляют вторую торцевую поверхность световода, который можно завязать даже в

узел, демонстрируя возможность вывода луча в любом направлении. Для эффективного ввода лазерного излучения в световод, диаметр канала которого имеет размеры  $\sim 0,1$  мм, необходимо, чтобы конец световода находился в фокусе объектива, причем его торец должен быть перпендикулярен оптической оси установки.

13.7. в изогнутой стеклянной трубке;

### 13.8. стеклянная воронка в ёмкости с водой.

## 13.9. Светящаяся струя.



Вытекающую струю ставят корытце.

Этот очень эффектный опыт демонстрируют с помощью прибора, изображенного на рис. В стеклянный сосуд, имеющий в нижней части отводную трубку и кран, налита вода. Луч лазера направляют так, чтобы он проходил через толщу воды и попадал на входное отверстие отводящей трубки. Если открыть кран, то из отводной трубки будет вытекать светящаяся красным светом струя. Сосуд с водой ставят на подъемный столик. Под

### 13.10. Линзы на приборе Гартля.

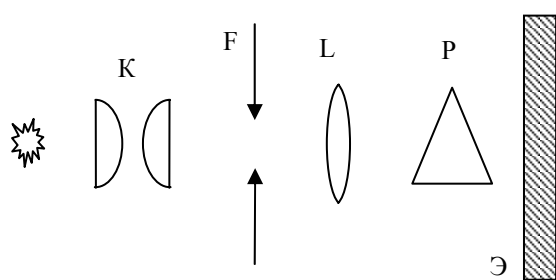
### 13.11. Хроматическая aberrация.

Для демонстрации хроматической aberrации нужно взять плоско-выпуклую линзу с фокусным расстоянием 10 см. Плоская сторона линзы обращена к источнику света. С помощью такой линзы на экран проектируется изображение источника света, лучше всего углей дугового проекционного фонаря,

При резкой фокусировке края изображения источника света слегка окрашены; если же перемещать линзу вперёд или назад, то изображение расплывается, и края светлого пятна на экране оказываются окрашенными в красный или синий цвет, смотря по тому, в какую сторону сдвинута линза.

## 13.12. Дисперсия.

Для демонстрации дисперсии света используется дуговой фонарь с насадкой,



закрытой щелью  $F$ , линза  $Z$ , стеклянная призма  $P$  и экран. Пучок света, пройдя через щель  $F$ , линзу  $Z$  и преломившись в призме  $P$ , попадает на экран, образуя полосу непрерывного спектра. Вначале линзой фокусируют щель на экран. Для этого, используя одну грань призмы в качестве зеркала, посылают пучок отраженного от грани света на то место, где

должен получиться спектр. На экране появляется белое отражение щели фонаря, которое и фокусируется. После этого призма поворачивается так, чтобы луч света в ней преломлялся.

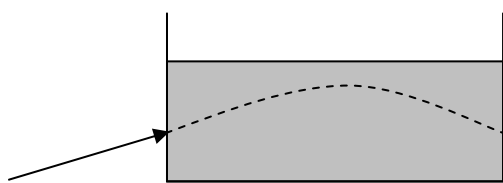
Ультрафиолетовую часть спектра невооруженным глазом обнаружить невозможно, однако, это легко сделать, воспользовавшись фосфоресцирующим экраном. Точно также инфракрасные лучи обнаруживаются при помощи болометра или термостолбика, соединенного с демонстрационным гальванометром.

**Геометрическая оптика с лазером:**  
**13.13.отражение:**

13.14. преломление;

13.15. полное внутреннее отражение на границе раздела двух сред (воздух-вода);

## 13.16. искривление лучей (рефракция).



При прохождении света в среде с непрерывно изменяющимся показателем преломления лучи света искривляются.

Для демонстрации этого явления берут прямоугольный сосуд с прозрачными стенками размером 670x65x140 мм, наливают до половины воду /лучше прокипяченную, во избежание прилипания пузырьков воздуха к стенкам сосуда/, всыпают I столовую ложку поваренной соли и пропускают луч лазера через раствор вдоль длинной стороны сосуда. На величину искривления лазерного пучка влияет градиент концентрации.

Воду можно замутить молоком или канифолью растворённой в спирте, но канифоль от стенок сосуда отмывается только спиртом.

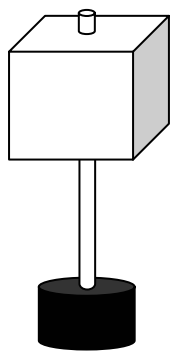
## 14. Лучеиспускание и лучепоглощение

### 14.1. Сплошной видимый спектр (дисперсия).

#### 14.2. Критическая опалесценция.

Для этого эксперимента нужно взять запаянную ампулу с углекислотой. Луч лазера направить на участок жидкость - газ. На экране будет видна пунктирная линия из чередующихся красных и чёрных точек. Затем ампулу опускают на короткое время в горячую воду. При критической температуре стирается различие между жидким и газообразным состояниями веществ. Удельная теплота парообразования и коэффициент поверхностного натяжения обращаются в нуль. Вблизи критической точки наблюдается критическая опалесценция - сильное рассеяние света в веществе, вызванное его оптической неоднородностью связанной с флуктуациями плотности и ростом сжимаемости. Изображение пунктира на экране исчезает. При охлаждении картина пунктирной линии возобновляется.

### 14.3. Куб Лесли.



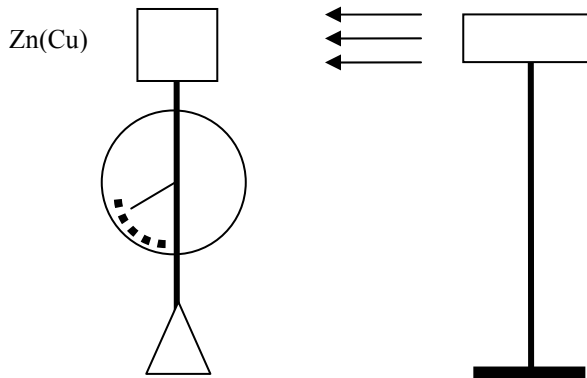
Для демонстрации различия в излучении поверхностей тела, имеющих одну и ту же температуру, используют куб Лесли. Он представляет собой металлический полый куб, одна грань которого гладкая блестящая, вторая — блестящая рифленая, третья — черная блестящая, четвертая — закопченная. В куб наливают кипящую воду и на определенном расстоянии (~ 30 см) устанавливают теплоприемник, соединенный резиновой трубкой с открытым водяным манометром. Поворачивая куб поочередно всеми гранями к теплоприемнику, убеждаются в различии излучения по положению в различии уровней водяного манометра. Демонстрация показывается в проекции.

#### 14.4. Составная призма из стёкол различной дисперсии.

#### 14.5. Фотосопротивление.

### 14.6. Фотоэффект.

Принцип работы комплекта по фотоэффекту КПФ I основан на облучении



ультрафиолетовыми лучами цинковой и медной пластин катодом вакуумного фотоэлемента Ф-26 для наблюдения явления фотоэффекта. Осветитель ультрафиолетовый "Фотон" с помощью основания устанавливают на рейтере оптической скамьи. На расстоянии 40см. от осветителя помещают электромметр. На стержне электромметра закрепляют с помощью держателя цинковую пластину,

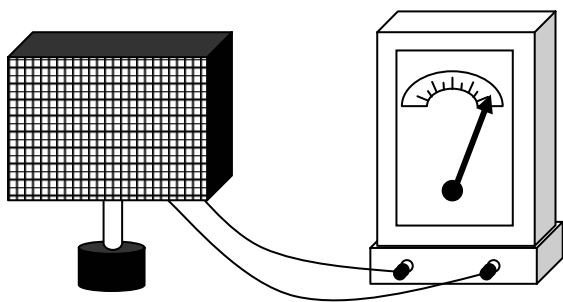
предварительно с одной стороны зачищенную до блеска мелкозернистой наждачной бумагой. Пластины располагают зачищенной стороной к осветителю "Фотон" и заряжают отрицательно от эбонитовой палочки. Затем включают "Фотон" и освещают цинковую пластину ультрафиолетовыми лучами. При этом наблюдают постепенную потерю цинковой пластиной отрицательного заряда. После этого цинковую пластину заряжают от стеклянной палочки положительно и тоже освещают ультрафиолетовыми лучами. Стрелка электромметра остаётся неподвижной даже при продолжительном облучении /до 5мин./. Опыт повторяют с медной пластиной и убеждаются в более медленной потере электронов по сравнению с цинковой пластиной. Время разряда пластин в обоих случаях замеряется с помощью секундомера, Если в пазы основания осветителя вставить стекло и осветить цинковую пластину, заряженную отрицательно, то разряда электромметра не происходит. Разряд происходит под влиянием только ультрафиолетовой области спектра.

электромметр            осветитель "Фотон"

14.7. Фотореле.

### 14.8. “Солнечная батарея”.

На рис. изображена батарея из 20 элементов кремниевых преобразователей, соединенных смешанным способом. Если батарею преобразователей присоединить к демонстрационному гальванометру, то достаточно дневного света для того, чтобы наблюдать отклонение стрелки гальванометра на несколько делений.

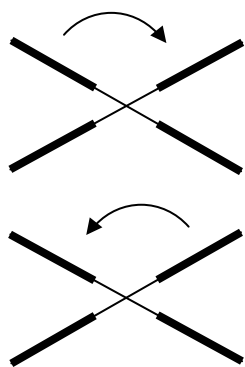


Есть другой вариант опыта. Преобразователь освещают светом электрической лампы.

Сначала делают это с большого расстояния /2-2,5м/, отклонение стрелки небольшое. По мере приближения к преобразователю электрической лампы освещённость пластины увеличивается, что и влечёт за собой увеличение угла отклонения стрелки прибора.

## 14.9. Флуоресценция.

#### 14.10. Радиометр Крукса (тепловое давление).



Чтобы продемонстрировать существование теплового движения газовых частиц и

зависимость скорости этого движения от температуры, используют радиометр Крукса. Он представляет собой полый стеклянный сосуд, из которого откачан

воздух. Основной частью радиометра является мельничка, состоящая из четырех слюдяных пластинок, могущих

вращаться внутри сосуда на острие. Одна сторона слюдяных пластинок закопченная, другая блестящая. Подвергаясь

действию тепловых лучей (горящая спичка), мельничка приходит во вращательное движение. Движение это является

следствием большой отдачи от ударяющихся частиц воздуха

на черную, нагретую вследствие поглощения лучей, поверхность, сравнительно с отдачей, испытываемой холодной блестящей поверхностью.

#### 14.11. Депозитивы линейчатых спектров.

Лаборатория располагает набором диапозитивов линейчатых спектров различных веществ. Показ производится с помощью эпидиаскопа в горизонтальной проекции.

На диапозитив основного спектра накладывают поочередно диапозитивы разных веществ.

Примечание для демонстратора: при показе диапозитивы располагают так, чтобы ярлычок, который есть на всех диапозитивах, находился в верхнем левом углу лицевой поверхности.

**Модель гравитационной линзы:**

14.12. в белом свете;

14.13. в лазерном излучении.

14.14. Линии поглощения раствора марганца.

14.15. Иллюстрация гало.

14.16. Зеркало Ллойда.

14.17. Рентгеновская трубка.

14.18. Эффект Поскельса (интерференционный крест).

14.19. Дифракционные венцы, наблюдаемые в микроскоп без окуляра (подсветка обычной лампой накаливания снизу через зеркало).

14.20. Смещение луча света в толстой стеклянной пластине.