

Демонстрационный эксперимент по теме «Электростатика»

Цель: отработать умения и навыки в постановке демонстрационных опытов по теме «Электростатика»

Содержание работы:

К числу основных демонстраций по этой теме относятся опыты, в которых показывают: электризацию тел трением и через влияние, существование двух видов электрических зарядов, взаимодействие электрических зарядов, делимость электрического заряда, картины электрических полей, зависимость емкости конденсатора от расстояния между пластинами, их размеров и рода диэлектрика, находящегося между пластинами.

Описание оборудования

Для выполнения опытов по электростатике учебной промышленностью выпускаются электрофорная машина, высоковольтный преобразователь напряжения «Разряд 1», комплект электрометров маятник электростатический, султаны электрические, прибор для демонстрации картин электрических полей, конденсатор разборный эбонитовая и стеклянная палочки.

Электрофорная машина служит для получения больших зарядов и высоких разностей потенциалов. На рис. 2.111 и 2.112 показаны соответственно ее внешний вид и схема, поясняющая принцип действия машины.

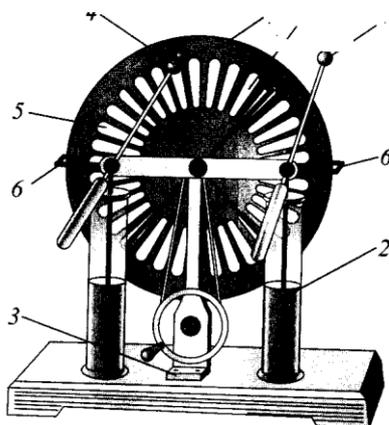


Рис.2.111

Основными частями машины являются два диэлектрических диска 1 (см. рис. 2.111) с нанесенными на их поверхность станиолевыми наклейками, два конденсатора 2 в виде лейденских банок, две пары щеток 5, соединенных между собой попарно проводящими стержнями, и два токосъемника 6, кото-

рые имеют электрический контакт с конденсаторами и разрядниками 4. Внешние обкладки конденсаторов соединены перемычкой 3. Кроме того, имеется механизм, с помощью которого диски можно привести во вращение в противоположных направлениях. Все детали на стойках закреплены на подставке.

Токосъемник представляет собой металлическую дугу, охватывающую оба диска. На поверхности дуги, обращенной к дискам, закреплены пучки тонких проволочек, концы которых располагаются вблизи поверхности дисков, не касаясь их. Действие токосъемника основано на эффекте стекания заряда с острия.

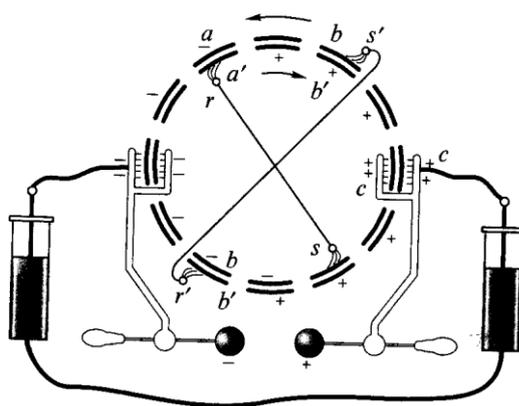


Рис.2.112

Машина работает следующим образом.

Предположим, что на наклейке a (см. рис. 2.112) оказался небольшой отрицательный заряд. Этот заряд, действуя индуктивно на стержень rs , заряжает наклейку a' положительно. Когда наклейка a' , вращаясь, как показывает стрелка, достигает положения b' , эта наклейка, воздействуя индуктивно через щетку на стержень $r's'$, зарядит отрицательно наклейку b . Отсюда ясно, что все наклейки на верхней части внутреннего круга (т. е. верхней части переднего диска), проходя мимо щетки s , получают положительные заряды, а все наклейки верхней части внешнего круга (заднего диска), проходя мимо щетки s' , получают отрицательные заряды. Подобным образом на нижней половине дисков все наклейки внутреннего круга (ближнего диска), проходя мимо щетки s , получают отрицательные заряды, а наклейки внешнего, проходя щетку r' , получают положительные заряды. Когда положительные заряды на наклейках ближнего и дальнего диска оказываются напротив токосъемника c , они переходят на пластину конденсатора L и соединенный с ней разрядник, заряжая их положительно. Такой же процесс идет на противоположной стороне, где снимаются отрицательные заряды.

Когда проскакивает искра, конденсаторы и соединенная с ними система проводников разряжаются, и процесс начинается сначала. Чтобы машина работала нормально, необходимо следить за положением стержней со щетками. Угол между горизонталью и стержнем должен быть

близок к 45° . (Угол наклона стержня отмеряют от горизонтали по направлению вращения диска, по которому скользят его щетки.) Оба стержня при этом будут скрещиваться под углом в 90° .

Если по какой-то причине, на разрядниках приведенной в действие машины заряды не появляются, то бывает достаточно поднести наэлектризованную палочку к верхней части вращающихся дисков и машина заработает в обычном режиме.

Следует помнить, что прикосновение к разрядникам работающей машины оказывает неприятное психофизиологическое воздействие на организм. Поэтому, если по ходу опыта нужно изменить положение разрядников, прикасаться можно только к их изолирующим ручкам, а сразу после демонстрации снять с них оставшийся заряд, замкнув накоротко.

Высоковольтный преобразователь напряжения «Разряд 1» (рис. 2.113) применяют в опытах в тех же целях, что и электрофорную машину.

Принцип действия прибора основан на преобразовании его электронной схемой постоянного

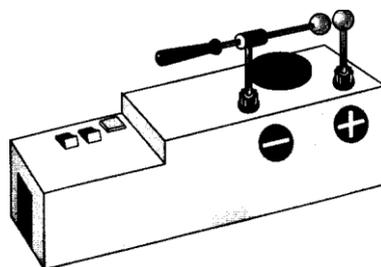


Рис. 2.113

напряжения в несколько вольт в высокое постоянное напряжение до 30 кВ. Прибор имеет два выхода. При изменении напряжения, питающего прибор, в пределах 0... 12В на одном выходе напряжение будет изменяться от 0 до 5 кВ, на другом — от 0 до 30 кВ.

На лицевой панели преобразователя расположены два клавишных тумблера для включения прибора и переключения пределов выходного напряжения, кнопка для ручного запуска работы электронной схемы (используется в том случае, когда прибор после включения не запустился автоматически), дисковый переключатель выходного напряжения и клеммы выхода напряжения 25 кВ. В клеммы вставляются разрядники в виде шаров с держателями.

Для получения требуемого выходного напряжения нужно установить клавишный и дисковый переключатели в соответствующее положение. Чтобы изменить положение дискового переключателя его надо вынуть из гнезда. На боковых поверхностях расположены клеммы для подключения низковольтного источника и клеммы выхода 0... 5 кВ.

Для работы с прибором желательно использовать выпрямитель, выходное напряжение которого можно менять в пределах 0... 12 В.

При использовании прибора необходимо соблюдать те же предосторожности, что и с электрофорной машиной.

Комплект электрометров (рис. 2.114) состоит из двух электрометров, двух полых металлических шаров - кондукторов диаметром 100мм, одного

кондуктора диаметром 50мм, двух кон, торных дисков с проволочными крючками для присоединения проводов, двух остриев, которые могут закрепляться на больших кондукторах, проводника — разрядника с изолирующей ручкой и металлического шарика диаметром 20мм на изолирующей. Каждый электрометр имеет металлический корпус в виде плоского цилиндра, застекленного с обоих торцов и снабженного подставкой. Внутри корпуса через изолирующую втулку проходит металлический стержень, на нижней части которого размещена стрелка. Чтобы стрелка была лучше заметна, заднее стекло сделано матовым. Рядом со втулкой находится проволочный рычажок с зажимным винтом. Рычажок служит для крепления стрелки прибора при его переноске. В нижней части корпуса закреплена клемма для заземления прибора. Внутри корпуса установлена шкала с делениями без оцифровки.

Для комплекта подбирают два электрометра с одинаковой чувствительностью.

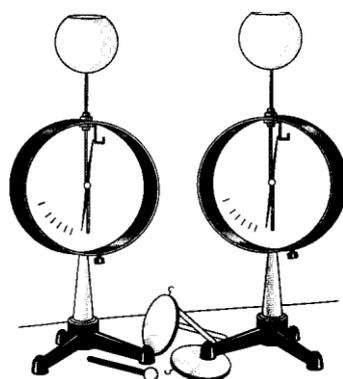


Рис. 2.114

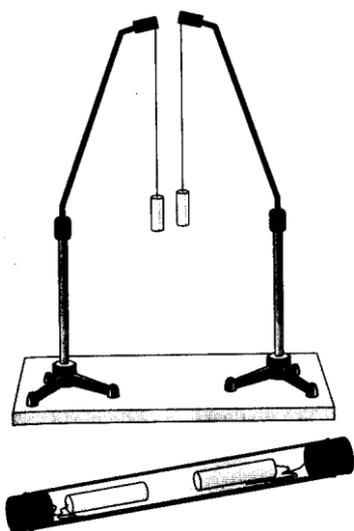


Рис.2.115

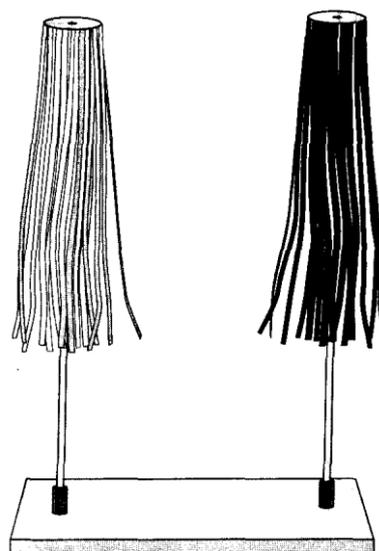


Рис. 2.116

Маятник электростатический (рис. 2.115) служит для обнаружения электрического заряда на теле и демонстрации взаимодействия электрических зарядов. Выполнен он в виде станиолевой гильзы высотой 45 мм. Гильза со-

единена нитью длиной 30 см с резиновой пробкой, которая закрепляется на изогнутом в виде консоли металлическом стержне. Стержень закрепляется в изолирующем штативе. В комплект изделия входят два одинаковых маятника и стеклянная трубка, куда маятники укладываются для хранения.

Султаны электрические используют для демонстрации картины электрического поля (рис. 2.116). Каждый султан представляет собой бумажные полоски длиной около 15 см, которые одним концом закреплены на маленьком диске, насаженном на стержень длиной 23 см. Для установки султана стержень закрепляют в изолирующем штативе. В комплект изделия входят два султана, окрашенные в разные цвета.

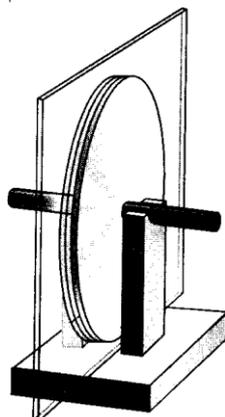


Рис.2.118

Конденсатор разборный (рис. 2.118) назначен для демонстрации устройства и действия конденсатора электрофора.

В комплект прибора входят два металлических диска диаметром 230 мм со съемными изолирующими ручками, пластина из диэлектрика размером 300x300 мм и толщиной 3 мм и деревянная подставка со стойками, в прорези которых вставляют ручки дисков устанавливая прибор на хранение.

Эбонитовую и стеклянную палочки используют в качестве источников электрических зарядов разных знаков, а также для демонстрации электризации трением. Палочки имеют диаметр 18 мм длину около 30 см.

Объяснить возникновение заряда у тела, изготовленного из диэлектрика, при трении о поверхность другого тела можно следующим образом. Диэлектрики, как и другие вещества, состоят из атомов. В каждом атоме число положительных и отрицательных зарядов одинаково. Следовательно, тело, сколько бы атомов в нём не содержалось, в целом должно быть нейтрально, поскольку алгебраическая сумма зарядов всех его атомов равна нулю. Но это идеальный случай. Всякое реальное тело имеет дефекты в своем строении. Подобно кристаллам, в диэлектриках содержится некоторое количество атомов, у которых имеется недостаток или избыток электронов. Причем каждому веществу характерен свой дефект строения атомов. Например, у стекла больше встречается дефектных атомов у которых избыток электронов, у эбонита больше атомов с их недостатком. Поскольку заряды внутри диэлектрика перемещаться не могут, то и исправить этот дефект путем обмена зарядами

атомы не в состоянии. Расчеты показывают, что если в веществе на 10^{12} нормальных атомов приходится один дефектный, то кусочек такого, вещества размером с таблетку создаст вблизи своей поверхности электрическое поле с напряженностью около $1,5 \cdot 10^6$ В/м. Таким образом, диэлектрики, которые электризуются трением, имеют не скомпенсированный электрический заряд уже с момента своего изготовления.

Однако если стеклянную палочку, до того как ее потерли о другой предмет, поднести к электрометру, то ее заряд обнаружен не будет. Объясняется это тем, что как только из диэлектрика будет изготовлено какое-то тело, его поверхность покрывается ионами, присутствующими в окружающем воздухе. К телу будут подходить все новые ионы до тех пор, пока их суммарный заряд не скомпенсирует внутренний заряд тела. При трении диэлектрического тела о другой предмет прилипшие к нему ионы механически удаляются с поверхности, и пока она не покроется новым слоем ионов, это тело будет проявлять свои электрические свойства. Ионы, удаленные с наэлектризованного тела, остаются на том предмете, о который его терли, поэтому этот предмет также окажется электрически заряженным. Например, если стеклянную палочку потереть куском материи, то электрический заряд появится и у палочки и у материи, причем это будут заряды противоположных знаков.

Количество дефектных атомов, приходящихся на единицу объема, в разных веществах может быть различным, поэтому одни материалы хорошо электризуются, другие хуже. Чтобы быстрее «разрядить» палочку, ее необходимо поместить в среду с большой концентрацией ионов, например подержать над открытым пламенем.

При проведении опытов по электростатике следует учитывать, что тела, изготовленные из проводящих материалов, могут терять заряд из-за наличия острых выступов или углов. Дело в том, что электрическое поле, созданное зарядом, который находится на поверхности с большой кривизной, сильно неоднородно. Неоднородное электрическое поле, оказывает ионизирующее действие на молекулы воздуха. Из нейтральных молекул образуются ионы обоих знаков. Те из них, которые имеют заряд, противоположный заряду тела, притягиваются к нему и нейтрализуют заряд тела, а ионы противоположного знака отталкиваются от тела, образуя вблизи острия так называемый ионный ветер.

Отсюда следует, что для проведения опытов, в которых предполагается значительное время удерживать на теле электрический заряд, в качестве заряжаемого тела лучше отбирать предмет сферической формы, а сам опыт проводить в помещении с сухим воздухом, при выключенных приборах, оказывающих на воздух ионизирующее действие, таких, как мониторы, телевизоры, зажженные горелки и т.д.

При расчете параметров экспериментальных установок по электростатике иногда нужно учитывать значение заряда, сообщенного телу. Оценить значение максимального заряда, который можно сообщить металлическому шару, позволяют следующие соображения.

Напряженность электрического поля непосредственно у поверхности заряженного шара определяется по формуле

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon R^2}, \quad (1)$$

где q — заряд, сообщенный шару; R — его радиус, ϵ — диэлектрическая проницаемость воздуха, которую можно считать равной единице (по справочнику $\epsilon = 1,0006$).

Значение напряженности электрического поля, при котором начинается ионизация молекул воздуха, составляет примерно 1кВ/мм. Следовательно, когда заряд шара достигнет значения, при котором напряженность созданного им поля станет равной указанному значению, воздух, окружающий шар, начнет ионизоваться. При этом заряд станет «стекать» с поверхности шара из-за нейтрализации его ионами, образовавшимися в воздухе. Воспользовавшись формулой (1), нетрудно получить значение максимального заряда, который может удерживаться на заряженном шаре в воздухе:

$$q_{\max} = 4\pi\epsilon_0 E_{\text{ион}} R^2. \quad (2)$$

Таким образом, для оценки значения максимального заряда, который может удерживаться шаром, необходимо измерить его радиус и проделать вычисления в соответствии с формулой (2), где $E_{\text{ион}} = 1 \text{ кВ/мм} = 10^6 \text{ В/м}$.

Значение напряженности поля, при которой происходит ионизация воздуха, можно использовать и для оценки напряжения между разрядниками электрофорной машины. При этом учитывают, что напряжение связано с напряженностью поля. Если, например, между разрядниками проскочила искра, а расстояние между их центрами было при этом 30 мм, то напряжение между ними в момент, предшествующий появлению искры, составляло 30кВ.

Практические задания

Задание 1. Изучение характеристик высоковольтных источников напряжения.

1. Подготовьте электрофорную машину к работе. Проверьте правильность установки стержней со щетками.
2. Оцените максимальный заряд, который можно сообщить разрядникам электрофорной машины.
3. Оцените максимальное напряжение, которое способна вырабатывать электрофорная машина.
4. Определите толщину изоляции соединительных проводов, подключенных к разрядникам, при которой не произойдет пробоя при их наложении друг на друга.
5. Определите полярность разрядников электрофорной машины.

Задание 2. Сообщение телам электрических зарядов.

1. Электризация соприкосновением.

Возьмите две одинаковых пары разнородных полосок (бумага- полиэтилен) и покажите, что каждая из полосок не обладает каким-нибудь особым св-вом, не отклоняет стрелки электромметра. Сложите разнородные полоски и приведите их в тесное соприкосновение с помощью карандаша. Потом быстро рассоедините одну пару (бумага- полиэтилен) и наблюдайте взаимное притягивание при их сближении. Поднесите полоски поочередно к электромметру и наблюдайте отклонение стрелки.

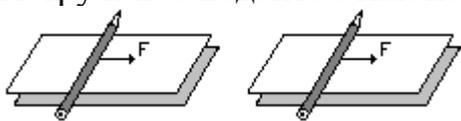


рис. 1

Снова приведите в тесное соприкосновение обе пары полосок и возьмите в руки одинаковые полоски (положительные) и убедитесь, что они отталкиваются.

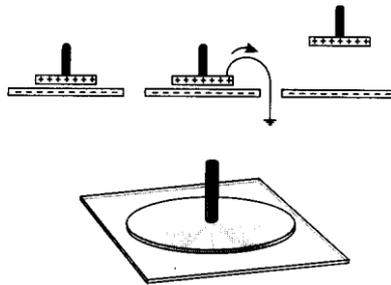
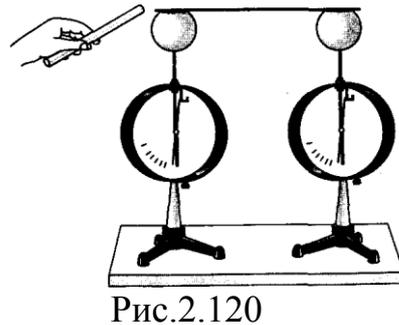
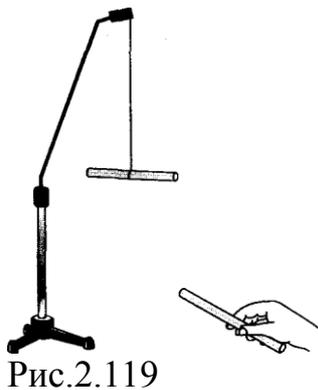
Объясните явления, наблюдаемые в этих опытах.

2. Электризация тел трением:

- 1) прикоснитесь стеклянной палочкой к электромметру и покажите, что в исходном состоянии она не заряжена;
 - 2) потрите палочкой о мех и покажите, что в результате трения о поверхность другого тела она получает электрический заряд;
 - 3) повторите опыт с эбонитовой палочкой;
- подвесьте на штативе кусок пластиковой трубки или еще одну палочку, как показано на рис. 2.119. Приближая к ней поочередно сначала стеклянную палочку, а затем эбонитовую, покажите, что знак заряда, возникающего у тела при трении, зависит от вещества из которого тело изготовлено.

3. Электризация тел посредством электростатической индукции:

- 1) соедините кондукторы двух электромметров разрядником;
- 2) поднесите одной рукой к кондуктору одного из электромметров наэлектризованную палочку, не касаясь его (рис. 2.120). Удерживая палочку вблизи электромметра, другой рукой удалите разрядник, соединявший электромметры. После этого палочку удалите;
- 3) по отклонению стрелок покажите, что электромметры получили одинаковые по модулю заряды без непосредственного контакта с заряженным телом;
- 4) соединив электромметры разрядником, покажите, что электромметры зарядились зарядами противоположных знаков.



4. Действие электрофора принцип получения заряд этим способом раскрыт на рис.2.121:

- 1) положите на стол диэлектрическую пластину из комплекта разборного конденсатора и электризируйте ее трением;
- 2) положите сверху на пластину один из дисков разборного конденсатора, удерживая его пирующую ручку;
- 3) на короткое время прикоснитесь пальцем к верхней поверхности диска, после чего удалите диск с пластины и, коснувшись им (удерживая за изолирующую ручку кондуктора электрометра, покажите, что диск получил электрический заряд;
- 4) разрядите диск и электрометр; повторите действия с диском несколько раз и покажите, что всякий раз пластина заряжается таким же по модулю зарядом, как и в первом опыте;
- 5) покажите, что на диске образуется заряд противоположного знака по отношению к заряду пластины.

Задание 3. Изучение свойств электрических зарядов.

1. Закон сохранения электрического заряда:

Возьмите пару неделимых разнородных полосы, приведите их в тесное соприкосновение (см. рис. 2.119), не разъединяя их, опустите внутрь шара, находящегося на электрометре, затем резко выдерните одну полоску и опустите ее в шар другого электрометра. Оба электрометра зарядятся. Если электрометры соединить проводником на изолирующей ручке, то электрометры разрядятся. Объясните явление!

2. Делимость электрического заряда:

- 1) установите на электрометрах одинаковые кондукторы;

- 2) зарядите один из них так, чтобы стрелка отклонилась на возможно больший угол;
- 3) соедините разрядником кондукторы электрометров и покажите, что заряд при этом распределился между ними поровну;
- 4) разъедините электрометры и разрядите один из них;
- 5) еще раз замкните электрометром кондукторы и покажите, что оставшийся на одном из них заряд вновь разделится поровну.

Задание 4. Демонстрация образования «электрического ветра», действие громоотвода. Отталкивание ионов от острия показывают с помощью «колеса Фракллина».

1. Образование «электрического ветра»:

- 1) закрепите в изолирующем штативе острие из комплекта электрометров или остро отточенный гвоздь и соедините его с кондуктором электрофорной машины, как показано на рис. 2.122;
- 2) рядом с острием расположите зажженную свечу так, чтобы конец острия находился напротив средней части пламени;
- 3) покажите, что при сообщении острию заряда пламя свечи отклоняется в противоположную сторону.

2. Действие громоотвода:

- 1) закрепите диск разборного конденсатора в горизонтальной плоскости;
- 2) на диске разместите металлический шар на проводящей подставке, как показано на рис. 2.123 (между шаром и диском должен быть электрический контакт);
- 3) сверху закрепите второй диск конденсатора параллельно первому;

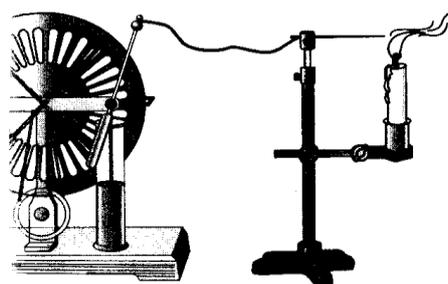


Рис. 2.122

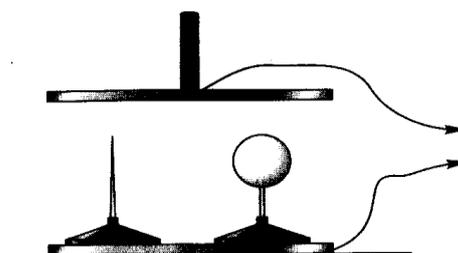


Рис. 2.123

- 4) оба диска подключите к разрядникам электрофорной машины;
- 5) опытным путем подберите такое расстояние между шаром и верхним диском, чтобы при приведении электрофорной машины в действие между ними проскакивала искра;
- 6) на нижний диск установите острие так, чтобы его конец был на одной высоте с верхней точкой поверхности шара (острие так же должно иметь электрический контакт с нижним диском);
- 7) покажите, что при наличии острия при приведении в действие электрофорной машины искрового разряда не происходит.

3. Отталкивание ионов от острия показывают с помощью «колеса Франклина» (рис 159), которая при электризации начинает вращаться в сторону, противоположную направлению стекания ионов.

Для опыта можно использовать и электрофорную машину.

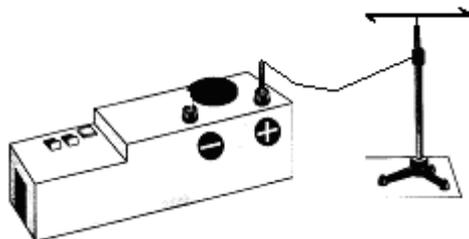


рис. 159

Объясните наблюдаемое явление.

Задание 5. Демонстрация свойств электрических полей.

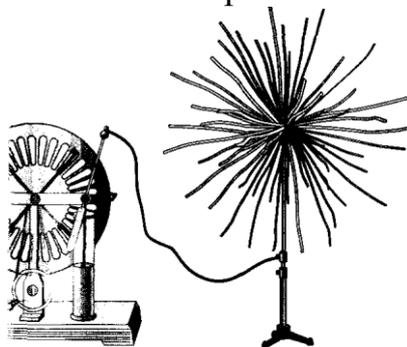


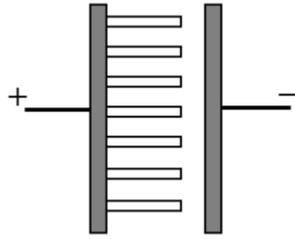
Рис. 2.124

1. Продемонстрируйте картины электростатического поля, используя электрические султаны.

Каждый из двух султанов закрепите в изолирующем штативе, подключите к источнику высокого напряжения, как показано на рис. 2.124, и покажите:

- 1) картину электрического поля вблизи точечного заряда;
- 2) картину электрического поля в пространстве между двумя разноименными зарядами;
- 3) картину электрического поля в пространстве между двумя одноименными зарядами.

2. Продемонстрируйте картину электрического поля между двумя разноименно заряженными пластинами, на одну из которых наклеены тонкие бумажные полоски. В качестве источника используйте электрофорную машину или высоковольтный индуктор.



Задание 6. Измерение потенциала поля, созданного электрическим зарядом.

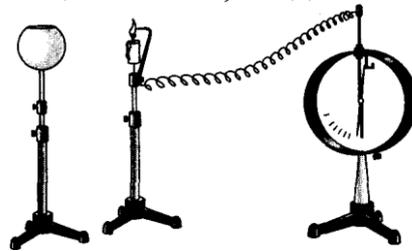


рис 2.125

Один из наиболее простых способов определения потенциала электростатического поля основан на использовании пламенного зонда (рис. 2.125). Это устройство представляет собой короткий кусочек тонкой свечи, закрепленный на изолирующем штативе. В пламя свечи высотой не более 8-10 мм помещают острие — конец провода, соединяющего зонд со стержнем электрометра. Электрометр во время опыта должен находиться как можно дальше от зонда. Пламя зонда позволяет быстро снимать с кончика провода индуцированный полем заряд, что обеспечивает более достоверные результаты измерений.

1. Соберите установку в соответствии с рис. 2.125. Корпус электрометра заземлите.
2. Зарядите кондуктор электрометра.
3. Покажите, что потенциал поля кондуктора убывает с увеличением расстояния.
4. Покажите, что потенциал поля кондуктора остается неизменным во всех точках пространства, удаленных от него на одинаковое расстояние.

Задание 7. Введение понятия электроемкости.

Цель опыта Установить принципиальный способ определения электроемкости конденсатора через ранее введенные понятия заряда и разности потенциалов.

На стержень электрометра надевают малый полый металлический шар (рис. 170). Обращают внимание на то, что шар, стержень и стрелка электрометра образуют одну обкладку конденсатора, а корпус электрометра и земля — другую.

Затем включают высоковольтный выпрямитель. Касаясь наэлектризованным от выпрямителя пробным шариком внутренней поверхности полого шара, передают ему последовательно заряды q . Замечают, что по ме-

ре увеличения заряда на шаре растет разность потенциалов между шаром и землей. В этом случае при зарядах q , $2q$, $3q$ и т. д. разность потенциалов принимает значения U , $2U$, $3U$ и т. д., возрастая пропорционально заряду. но отношение модуля заряда к разности потенциалов для данного конденсатора постоянно.

Надев большой шар, замечают, что и для нового конденсатора отношение заряда к разности потенциалов также постоянно.

Но значение этого отношения иное, чем в первом случае.

Делают вывод о том, что электроемкость данного конденсатора может характеризоваться отношением заряда к разности потенциалов между пластинами, т.е.

$$C=q/U.$$

Полученная формула позволяет установить единицу электроемкости.

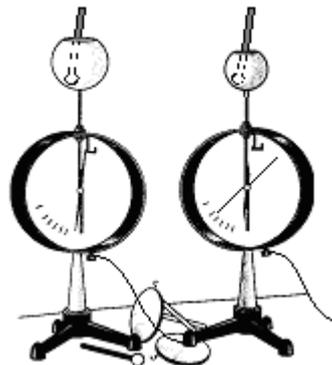


рис. 170

Задание 8. Изучение электроемкости плоского конденсатора.

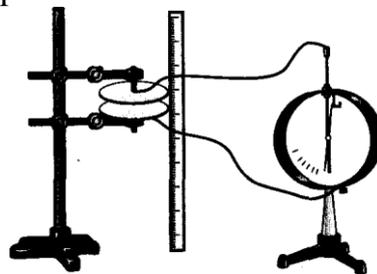


Рис. 2.126

1. Закрепите диски разборного конденсатора на штативе, как показано на рис. 2.126. Верхний диск соедините со стержнем электрометра, нижний — с корпусом. Расстояние между дисками должно составить 2-3 см.
2. Сообщите верхней пластине заряд, при котором стрелка электрометра отклонится до половины шкалы.
3. Покажите зависимость емкости конденсатора от расстояния между пластинами.
4. Покажите зависимость емкости конденсатора от площади перекрытия его пластин (для этого, не меняя расстояния между пластинами, одну из них сдвигают в сторону).
5. Покажите зависимость емкости конденсатора от диэлектрической проницаемости вещества, находящегося между его пластинами. (Вывод об этой за-

висимости делают, наблюдая за показаниями электрометра при внесении между дисками диэлектрической пластины.)

6. Используйте для выше описанных опытов, пластины из комплекта электрометров (рис. 2.114)

Задание 9. Доказательство наличия энергии у заряженного конденсатора.

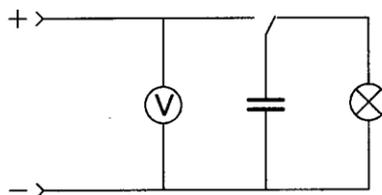


Рис. 2.127

1. Соберите установку, принципиальная схема которой показана на рис. 2.127.

В опыте используется лампа от карманного фонаря, батарея конденсаторов, выпрямитель В-24, переключатель и демонстрационный вольтметр.

2. Установите на батарее максимальную емкость, зарядите ее от выпрямителя и разрядите через лампу, наблюдая за яркостью вспышки.

3. Продемонстрируйте зависимость энергии конденсатора от напряжения на его пластинах. (О значении энергии конденсатора судят по яркости вспышки лампы при его разрядке.)

4. Подберите такое напряжение на выходе выпрямителя, при котором можно наглядно показать зависимость энергии конденсатора от его емкости.