

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей физики

И.Т. Бовин, Н.К. Мартынова

**Технология постановки опытов по электростатике
в 9 классе с применением подручных средств**

Воронеж 2002 г.

Печатается по решению кафедры общей физики ВГПУ

И.Т. Бовин, Н.К. Мартынова. Технология постановки опытов по электростатике в 9 классе с применением подручных средств: Учебное пособие. – Воронеж : Воронежский государственный педагогический университет, 2002. – 34с.

Пособие содержит описание самодельного оборудования и методические рекомендации по организации физического эксперимента по электростатике в основной общеобразовательной школе с применением подручных материалов. Уделяется внимание технологии постановки опытов: даны подробные рекомендации по повышению эффективности демонстрационного, кратковременного фронтального, а также домашнего и индивидуального исследовательского эксперимента в условиях факультатива. Выделены задачи учителя, обсуждены приемы мотивации экспериментальной работы учащихся, сформулированы планируемые результаты их познавательной деятельности. Пособие ориентировано на учебник Ф-9 авторов С.В. Громова и Н.А. Родиной, но может быть использовано в любых условиях обучения физике по программе первого образовательного центра.

Рецензенты: учитель физики сш № 11 г. Воронеж Е.В. Снегова
 старший преподаватель ВГПУ В.И. Попов

Ответственный редактор:
 профессор, кандидат ф.- м. наук В.И. Белявский.

Для постановки большинства опытов по электростатике, особенно на первой ступени, не требуется сложное оборудование. В основном эти опыты можно выполнять, используя подручные материалы и простые самодельные приборы. Из промышленных потребуется лишь электрометр, электрофорная машина или высоковольтный выпрямитель "Разряд-1". Последние два прибора обычно используются для получения больших зарядов, электрического искрового разряда. При отсутствии этих приборов результат можно получить, используя электрофор Вольта и электролитический конденсатор большой емкости с невысоким рабочим напряжением. С помощью электрофора Вольта (оргстеклянная пластинка и металлическая пластинка-диск с изолирующей ручкой) можно хорошо наэлектризовать электрический султан (его легко изготовить своими силами), самодельную сетку Кольбе (вместо сетки - гибкая металлическая пластинка из алюминиевой банки из-под сока и пр.); в индивидуальных опытах учащиеся могут наблюдать "микро - молнию" между заряженным диском электрофора и пальцем и т.д. Для получения "мощного" искрового разряда можно зарядить электролитический конденсатор (до 30 В): касаясь друг друга концами проводников, подключенных к выводам конденсатора, обеспечивают условия для возникновения искрового разряда. Разряд сопровождается яркой вспышкой и громким треском.

Ниже приводится описание техники и методики выполнения опытов по электростатике в основном с использованием самодельного оборудования или подручных (утилизируемых) материалов. В предлагаемой системе экспериментов выделены традиционные виды опытов: демонстрационные, фронтальные, домашние, а также занимательные. Некоторые из предлагаемых демонстрационных опытов могут выполняться учащимися как на уроке после показа учителем "образца" (фронтально), так и без предварительного показа их учителем. Целесообразно рекомендовать учащимся выполнять в домашних условиях опыты по повторному наблюдению (исследованию) явлений, которые воспроизводились в той или иной форме (демонстрационной или фронтальной) на уроках, им аналогичные опыты (по заданию учителя), в частности опыты, описанные в учебнике, но для постановки которых на уроке не хватило времени.

Кроме таких опытов учащиеся должны выполнять и экспериментальные задания, предлагаемые в учебнике.

Необходимо предлагать учащимся задания для самостоятельного изготовления простых приборов (общие для всех или индивидуальные).

Следует отметить, что вопрос о том, как организовать выполнение того или иного опыта - будет ли он демонстрационным, или фронтальным, или домашним, решает учитель. Это, в частности, зависит от наличия в физкабинете оборудования, отвечающего требованиям к демонстрационному эксперименту, от количества однотипных приборов

(материалов). Учитель должен беспокоиться о создании комплектов (наборов) приборов и материалов для обеспечения постановки фронтальных опытов.

Целесообразно приучать учащихся к тому, чтобы они без напоминаний выполняли дома опыты по наблюдению изучаемых явлений, занимались конструированием простых приборов, отработывали технику выполнения индивидуальных (в том числе и занимательных) опытов, с которыми они обязательно должны выступать в классе, на вечерах занимательной физики.

1. Условия, обеспечивающие хорошие результаты опытов по электростатике.

- 1.1 Используемые в опытах предметы должны быть сухими, чистыми, как и воздух в комнате (перед демонстрацией проветрить помещение, на демонстрационном столе или рядом желательно поставить электроплитки, над которыми время от времени просушивать используемые в опытах тела)
- 1.2. Чтобы мех, капрон, бумага хорошо электризовались, точнее, чтобы не было утечки появляющегося на них заряда, необходимо изолировать их от рук, используя чистую целлофановую пленку.
- 1.3. Как правило, до электризации тела не должны быть заряженными. Для нейтрализации имеющихся на них зарядов необходимо помещать эти тела вблизи пламени спички (спиртовки), являющейся ионизатором. Ионы воздуха, оседая на заряженном теле, будут нейтрализовать его.
- 1.4. Перед использованием различных изолирующих подставок (штативов), ручек их необходимо протирать сухой чистой тканью (или мехом, капроном) и нейтрализовать появившийся при этом избыточный заряд способом, указанным выше (см.1.3.).

2. Самодельные приборы и приспособления.

- 2.1. Индикаторы. В опытах по электризации тел в качестве индикаторов могут быть использованы
 - а) мелкие кусочки бумаги,
 - б) узкие полоски бумаги, прикрепленные к верхнему концу металлического стержня, закрепленного в изолирующем штативе ("электрический султан");
 - в) станиолевая или бумажная гильза на длинной шелковой или капроновой нити;
 - г) кусочки сухой ваты (можно подвесить на нити);
 - д) сухая деревянная рейка (линейка), установленная на вертикальной игле (можно использовать подставку с иглой для демонстрационной магнитной стрелки);

е) легкая металлическая баночка из-под соков (например, кока-кола и пр.), расположенная горизонтально на поверхности демонстрационного стола (для улучшения видимости на дне баночки, обращенной к учащимся, приклеить яркую бумажную полоску);
ж) при выполнении индивидуальных (фронтальных) опытов в качестве индикатора учащиеся могут использовать узкую полоску бумаги или сухую шелковую, капроновую нитку, подвешивая их на краю стола, прижав верхний конец каким-либо предметом, например, книгой и т.п.;

2.2. Электроскопы открытого типа могут быть разных конструкций:

а) к бумажной полоске (можно использовать копировальную бумагу) размерами 5x60 мм приклеивается отрезок капроновой нити, которая привязана (приклеена) к верхнему концу металлического стержня, закрепленного в вертикальном положении в изолирующем основании (пластине из диэлектрика). Длина стержня от 100 до 300 мм в зависимости от конструкции. Диаметр стержня 4 - 5 мм. Отрезок капроновой или шелковой нити между местами крепления ее к бумажной полоске и к стержню 4-5 мм.

В качестве изолирующего штатива можно использовать 2 - 3 склеенные (сплавленные) корпуса шариковых ручек.

б) полоска бумаги прикрепляется к верхнему краю металлической баночки из-под напитка с помощью капроновой нити. Баночка в вертикальном положении устанавливается на пластине из диэлектрика, например, на куске оргстекла или целлофана и тому подобное.

ПРИМЕЧАНИЕ: вместо бумажной полоски можно использовать полоску из тонкой алюминиевой фольги (от конденсатора или обертки шоколада, конфет).

2.3. Электростатический маятник.

Вырезают прямоугольник из алюминиевой фольги, размеры которого 40x40 мм. Накладывают на фольгу цилиндрический стержень диаметром 10 мм параллельно одной из сторон прямоугольника так, чтобы край фольги выступал за конец цилиндра примерно на 6 мм. Сворачивают фольгу так, чтобы она плотно прилегала к поверхности цилиндра. На конце тонкой шелковой или капроновой нити длиной 30-40 см делают узелок диаметром 1-2 мм. Конец этой нити с узелком вводят внутрь выступающего края цилиндра и аккуратно загибают края фольги так, чтобы узелок остался в центре под фольгой. После этого гильзу снимают с цилиндрического стержня. Электростатический маятник (гильза) закрепляется соответствующим образом в любом штативе, не обязательно изолирующем. Гильзу

можно изготовить из бумаги. Вместо гильзы можно использовать полоску бумаги или фольги, подвешенные на капроновой нити.

2.4. Демонстрация взаимодействия заряженных тел.

Одну из палочек помещают в проволочном стремени, прикреплённом к бифилярному нитяному подвесу. Вместо этой конструкции можно использовать подставку (штатив) с вертикальной иглой, на которой помещается перевёрнутый стеклянный стакан. На дне стакана внутри него приклеивается диск из плотного картона с малым отверстием в центре. Такое устройство предотвращает скольжение острия иглы, на которое опирается стакан. Исследуемая заряженная палочка помещается на дне опрокинутого стакана в специальном пластилиновом ложе. Палочка должна находиться в горизонтальном положении, чего нетрудно добиться, перемещая её вдоль ложа в ту или другую сторону. На стакан можно помещать и незаряженную массивную металлическую трубу или стержень от штатива, а также пластину (стержень) из диэлектрика (при демонстрации действия поля заряженного тела на массивные тела).

3. Система опытов по электростатике.

(ориентирована на учебник Ф-9 авторов С.В. Громова и Н.А. Родиной).

№	Название опыта	Вид	Задачи учителя	Цели учащихся
§1.Электризация тел и электрический заряд				
1	Электризация при отделении друг от друга соприкасающихся тел.	Дем.	Ознакомить учащихся с условиями и способами электризации тел, взаимодействиями заряженных тел на конкретных примерах. Мотивация к изучению явления электризации (эффективные демонстрации; привлечение учащихся а постановке опытов, изготовлению самодельных приборов).	Овладеть знаниями об условиях и способах электризации тел ; овладеть умениями по самостоятельному выполнению основных опытов по электризации ; конструировать простые приборы.
2	Электризация при трении	Дем., фронт., дом.		
3	Взаимодействие заряженного тела со струей воды, с массивным телом	Дем., дом.		
4	Электризация расчески и экрана телевизора	Дом.		
5	Электризация резины при отделении от металла	Дом.		
6	Электризация резины, пластмассовой линейки при ударе	Дем., дом.		
7	Одновременная электризация тел	Дем., фронт., дом.		
8	Взаимодействие наэлектризованных тел	Дем., фронт., дом.		
§2.Электроскоп. Делимость электрического заряда				
9	Устройство и действие электроскопа и электрометра	Дем., дом. (изготовление)	Ознакомление с устройством и принципом действия приборов; формулирование заданий по из-	Знать, для чего применяют электроскоп и электрометр, уметь пользоваться ими; изготовить электроскоп своей

10	Деление заряда	Дем.	готовлению самодельных электроскопов.	конструкции, комплект (набор) образцов проводников и изоляторов, осуществив исследование на своем оборудовании; освоение опытов по делению заряда.
11	Диэлектрики	Дем.		
§3.Строение атома				
12	Модель опыта Резерфорда	Дем.	Ознакомление учащихся с методом экспериментального моделирования физических процессов в микромире.	Уметь объяснять принцип действия экспериментальных моделей (опыт Резерфорда и камера Вильсона) и продемонстрировать установки.
§4.Атомное ядро				
13	Камера Вильсона (принцип действия)	Дем., дом.	Ознакомление учащихся с методом экспериментального моделирования физических процессов в микромире.	Уметь объяснять принцип действия экспериментальных моделей (опыт Резерфорда и камера Вильсона) и продемонстрировать установки.
14	Действие счетчика Гейгера	Дем.		
§5.Объяснение электризации. Закон сохранения заряда				
15	К объяснению механизма электризации	Дем., дом.	Формирование у учащихся умений применять знания, анализировать, делать	Уметь объяснять сущность процесса электризации тел разными способами; обосновывать свойства
16	Иллюстрация закона сохранения заряда	Дем., дом.		

			выводы.	проводников и диэлектриков; экспериментально подтвердить (иллюстрировать) закон сохранения заряда
§6. Электрическое поле				
17	Электрическое поле как посредник во взаимодействии заряженных тел	Дем., дом.	Ознакомить учащихся с материальным объектом, отличным от вещества (электрическое поле – одна из форм материи), с его свойствами; с графическим представлением и моделированием силовых линий поля (17-19) 21-22 – см. задачи учителя к §5 (15,16)	Знать, что электрическое поле – материальный объект, а силовые линии – таковыми не являются (условное понятие, модель). Знать свойства поля; уметь применять знания для более подробного объяснения сущности явлений, происходящих в проводниках и диэлектриках, помещенных в электрическое поле.
18	Основные свойства электрического поля	Дем.		
19	Силовые линии электрического поля	Дем.		
20	Проводники в электрическом поле	Дем., дом.		
21	Диэлектрики в электрическом поле	Дем., дом.		
22	Притяжение незаряженных тел к заряженному	Дем., дом.		
§7. Громоотвод				
23	Зависимость силы действия электрического поля заряда от значения этого заряда и расстояния до него	Дем., дом.	Ознакомить учащихся с условиями (причинами) возникновения молнии и защиты от нее.	Уметь практически подтвердить зависимость силы взаимодействия между заряженными телами от расстояния между ними и значения зарядов; знать физические основы молнии и защиты от нее (уметь объяснять сущность опытов, демонстрируемых учителем и
24	Опыт с сеткой Кольбе	Дем.		
25	Опыт с полым шаром	Дем.		
26	Опыт с цилиндром и конусом	Дем.		
27	Опыт с шаром и острием	Дем.		
28	Молния в миниатюре	Дем.		

29	«Гроза» и защита от молнии	Дем.		повторить индивидуально).	опыт
§8.Занимательные опыты и экспериментальные задачи					
	8.1.Электрический «клей»		Организация нестандартных ситуаций для частично–поисковой экспериментальной деятельности учащихся.	Уметь объяснить явления, заданные нестандартной экспериментальной ситуацией; собирать отдельные установки самостоятельно и демонстрировать с их помощью занимательные опыты или выполнять экспериментальное исследование (решать экспериментальные задачи).	
1	Электризация листа бумаги	Дем.дом			
2	Электризация грампластинки	Дем.дом			
	8.2.Взаимодействие наэлектризованных тел				
3	Опыт с резиновыми шарами	Дем.дом.			
4	Опыт с лентами бумажного конденсатора	Дем.			
5	«Электрическая пляска»	Дом.			
6	«Пляска на арене»	Дем.			
7	Парение ватки	Дем.дом			
8	Электризация ученика с электрическим султаном	Дем.			
9	Электростатический метроном	Дем.			
	8.3.Проводники и диэлектрики в электрическом поле				
10	«Ленивая (пугливая) гильза»	Дем.дом.			
11	Опыт с двумя электрометрами	Дем.			
12	Электрофор Вольта	Дем.			
13	Опыты с дисками	Дем.			
14	«Дырка от бублика»	Дем.			
15	Опыт-шутка «электризация ладоней при трении»	Дем.			

4 Советы по постановке эксперимента.

4.1. Электризация тел и электрический заряд.

- 4.1.1. Цель экспериментов: показать, что при натирании мехом, бумагой и др. некоторых тел они приобретают свойство притягивать к себе другие тела (электризуются, приобретают электрический заряд);
- к наэлектризованным телам притягиваются не только твердые тела, в том числе и металлические, но и жидкость (вода)
 - явление электризации имеет место в быту (электризация расчески, синтетических тканей, экрана телевизора);
 - электризация осуществляется разными способами: отделение друг от друга соприкасающихся разнородных (хорошо изолированных от рук экспериментатора!) тел; трение тел друг о друга (процесс, обеспечивающий увеличение числа точек соприкосновения отделяемых друг от друга тел, что приводит к хорошей, интенсивной электризации);
 - электризуются оба тела (одним из которых может быть металлическое тело);
 - наэлектризованные тела могут как притягиваться, так и отталкиваться друг от друга.

Примечание: понятие о знаках зарядов (положительном и отрицательном) можно ввести не только указанным в параграфе приемом, но и на основании анализа результатов опыта, алгоритм которого описан ниже

4.1.2. Явление электризации (см. список опытов).

Внимание! Перед демонстрацией опыта поднести поочередно оргстеклянную пластину (тело 1) и мех (капрон, бумагу) (тело 2) к незаряженной гильзе, электрическому султану и пр. для обнаружения отсутствия действия этих тел на индикатор (3). Таким образом, надо поступать и при демонстрации других опытов.

Опыт 1. Коснуться несколько раз телом 2 тела 1, затем поднести 1 к 3, наблюдается слабое притяжение индикатора к телу.

Опыт 2. Плотно прижав 2 к 1, потереть их друг о друга. Наблюдается более интенсивное притяжение.

Опыт 3. Поднести хорошо наэлектризованную пластинку (или эбонитовую палочку) к струе воды, вытекающей из бокового отверстия в 1,5-литровом полиэтиленовом сосуде, закрепленном в штативе. Струйка отклоняется в сторону наэлектризованного тела.

Поднести заряженную палочку к уравновешенной на стакане с подставкой (см.2.3) деревянной метровой линейке (или

железному стержню физического штатива), к ее концу сбоку. Линейка начинает поворачиваться.

Опыт 4. Эксперименты с расческой и т.п., с экраном работающего телевизора учащиеся выполняют дома. (см Ф – 9)

Опыт 5. Растянув резиновую ленту (длиной 25-30 см), плотно прижать ее среднюю часть к лежащей на подставке (демонстрационном столике) оргстеклянной или металлической пластине (можно использовать металлический диск из набора по электростатике с удаленным слоем диэлектрика, который должен быть, закреплен на стержне электрометра, корпус электрометра закрыть экраном, чтобы прежде времени не вникать в суть принципа его действия. Как только учащиеся ознакомятся с электрометром, опыт с отделением резины от диска повторить.) Резко отделить резину от пластины (диска) и поднести ее к индикатору.

Опыт 6. Показать, что при ударе резины по пластинке (диску), резина электризуется. Вместо резиновой ленты можно использовать резиновую, полиэтиленовую трубку, пластмассовую линейку и пр.

Опыт 7. Для того чтобы убедиться, что электризуются оба взаимодействующих тела, достаточно при выполнении любого из опытов по электризации подносить к незаряженному индикатору и то и другое тело: оба будут притягивать к себе нейтральный индикатор.

Опыт 8. Для выяснения характера взаимодействия заряженных тел, кроме описанных в учебнике традиционных опытов, можно поставить один из рассмотренных выше опытов по взаимной электризации и использовать заряженный индикатор (например, гильзу или эбонитовую палочку, потертую о мех или капрон). Поднося к такому индикатору то 1, то 2 из взаимно электризуемых тел, убеждаемся, что одно из наэлектризовавшихся тел притягивается к заряженному индикатору, а другое от того же индикатора отталкивается.

Можно показать, что взаимно наэлектризовавшиеся тела в любом случае притягиваются.

Ниже приводится алгоритм постановки одного из опытов.

Оборудование: эбонитовая палочка, целлофановая пленка, индикаторы:

а) незаряженный электрический султан или подвешенная на стержне в штативе полоска бумаги, гильза; б) заряженный индикатор (гильза).

1. Убедиться, что палочка и пленка не заряжены: поднести их поочередно к незаряженному индикатору.

2. Завернуть палочку в пленку на четверть длины.

3. Поднести палочку с пленкой к незаряженному индикатору, убедиться, что система этих тел не заряжена, т.е. общий заряд равен нулю.
4. Плотно прижимая пленку к палочке, совершить несколько перемещений пленки то в одну, то в другую сторону с амплитудой, равной примерно четверти длины палочки.
5. Не отделяя пленку от палочки, поднести их вместе к незаряженному индикатору. Никакой реакции!
6. Оставляя палочку вблизи индикатора, снять с нее пленку. Индикатор притягивается к палочке (не допускать касания индикатора палочки).
7. Снова надеть пленку на палочку - индикатор не притягивается.
8. Удалить теперь палочку, а пленку оставить вблизи индикатора - убедиться, что пленка тоже заряжена.
9. Поднести палочку к заряженному индикатору - констатировать характер их взаимодействия.
10. То же выполнить с пленкой. (п. 9)
11. Делают выводы: обращают внимание на то, что при взаимодействии двух тел оба электризуются (заряжаются), что интенсивность притяжения индикатора может быть разной (можно говорить о большем или меньшем значении заряда тела), что характер взаимодействия каждого электризующегося тела с заряженным индикатором разный (притяжение и отталкивание, следовательно, можно говорить о двух видах зарядов). Действия наэлектризовавшихся тел при одновременном приближении к незаряженному индикатору компенсируются, то есть общий их заряд равен нулю. Это позволяет ввести понятие о знаках зарядов. Таким образом, появившиеся на телах заряды равны по модулю, но противоположны по знаку. По существу здесь опытным путем подтвержден закон сохранения заряда.

Опыт 9. Электроскоп.

Цели эксперимента:

- ознакомить учащихся со способом электризации тела путем прикосновения к нему заряженного тела;
- ознакомить учащихся с устройством электроскопа и электрометра, их принципом действия;
- ознакомить учащихся с техникой разрядки (нейтрализации) электроскопа и электрометра;
- показать, что вещества делятся на проводники и непроводники (диэлектрики);
- показать делимость электрического заряда тела.

9.1. выполнить опыт по рисунку после первого параграфа учебника (взаимодействие заряженных гильз). Обратит внимание, что заряд гильзе сообщается при касании к ней заряженного тела: эбонитовой

палочки, потертой о мех или капрон (отрицательный заряд) или оргстеклянной пластинки, потертой о бумагу (положительный заряд).

- 9.2. зарядить электрический "султан" прикосновением к металлическому стержню заряженной эбонитовой палочкой. Для передачи большего заряда надо провести несколько раз палочкой по стержню, вращая при этом палочку ("слизать, соскоблить" заряд с большей поверхности палочки). Бумажные полоски, зарядившись одноименными зарядами, разойдутся.
- 9.3. рассмотреть устройство самодельных электроскопов открытого типа (2.2) и зарядить их.
- 9.4. рассмотреть устройство фабричных электроскопа и электрометра, сравнить их между собой и с самодельными. Зарядить электроскоп и электрометр. Дать задание учащимся на дом: изготовить электроскоп своей конструкции или подобный демонстрируемым на занятии.

Опыт 10. Демонстрация деления заряда электрометра на 2, 4, 8 и т.д. равных частей. Демонстрация деления заряда электрометра на неравные части. Заземление.

- а) Выполнить опыт по описанию в учебнике Ф-9 (С.В. Громов) с двумя шарами одинаковых размеров.. (Этот опыт использовать и для введения понятия о проводниках.)
- б) Зарядить электрометр №1 отрицательно и соединить его с помощью проволоки с изолирующей ручкой с металлическим телом больших размеров. В качестве последнего можно использовать сначала два таких же шара, закрепленные на стержне второго электрометра, затем три шара и т.д. При отсутствии такого количества шаров использовать алюминиевую кастрюлю, установленную на диске, закрепленном на стержне электрометра. Сравнить уменьшение угла отклонения стрелки первого электрометра при делении заряда между одинаковыми по размеру шарами (см. предыдущий опыт) и изменение угла отклонения первого электрометра при делении заряда первого шара с телом, гораздо больших размеров.

Более доходчивой на наш взгляд будет следующая **техника выполнения данного эксперимента**, но для этого надо иметь 3-4 электрометра.

1. Зарядить электрометр №1 с шаром и заметить значение угла отклонения стрелки электрометра (по шкале).
2. Соединить электрометр №1 с незаряженным электрометром №2 с таким же по размерам шаром. Снять показание электрометров и сравнить с предыдущим показанием. (п. 1)
3. Не разъединяя электрометры №1 и №2, соединить их с незаряженным электрометром №3 с таким же шаром.

И так далее. Вывод: чем больше объем тела, соединяемого с заряженным шаром, тем большая часть заряда переходит на это тело.

4. Снова зарядить электрометр №1 и соединить его шар с телом экспериментатора, изолированного от Земли, а затем и с Землей. Можно сказать, что объем тела человека равен объему шара, диаметр которого 50-60 см и больше (в зависимости от размеров тела). А радиус земного шара - примерно 6400 км. Заряды между шаром электрометра и телом человека (или земным шаром) распределяются таким образом, что угол отклонения стрелки школьного нечувствительного электрометра практически равен нулю. Следовательно, при заземлении заряженного тела (соединение его с землей) происходит практически нейтрализация заряда.

Дорогой учитель физики ! Представим себе такую ситуацию.

В §2 учебника Ф – 9 (Громов, Родина) говорится, что по изменению угла отклонения стрелки электрометра "... можно судить об увеличении или уменьшении электрического заряда" (1). После введения понятий "проводники" и "диэлектрики" предлагается обратиться к опыту с двумя электрометрами с одинаковыми по размерам шарами, один из которых заряжен. Обращается внимание на то, что при соединении шаров проводником "... первоначальный заряд разделится на две равные части" и далее, в скобках : "Если бы второй шар был больше первого, то на него перешло бы больше половины заряда: чем больше тело, ... тем большая часть заряда на него переходит" (2).

Оба утверждения (1 и 2) верны. Но не вздумайте идти на поводу у учащихся (любителей физики), которые могут предложить проверить практически напрашивающийся вывод (предположение) о том, что во втором случае (2) угол отклонения стрелки второго электрометра будет больше, чем первого.

Пожалуйста, проверяйте эту "гипотезу", но не удивляйтесь вместе с учащимися тому, что углы отклонения стрелок обоих электрометров будут одинаковыми (хотя и меньшими, чем при соединении одинаковых шаров). Значит, заряды распределились поровну ? Разумеется, заряд второго шара будет больше, но объяснить этот результат без опоры на понятия "потенциал" (разность потенциалов) и "емкость" нельзя (об этих понятиях учащиеся узнают в 10 классе).

Все дело в том, что при наступлении равновесия зарядов на проводнике потенциалы всех его точек (и на поверхности и внутри) одинаковы и электрометр об этом и "информирует". (Другими словами: разность потенциалов любых двух точек проводника равна нулю, если движение зарядов прекратилось; заряды движутся в проводнике (идет ток), если разность потенциалов или напряжение на его концах не равно нулю. При введении понятия о напряжении в 9 классе можно сказать учащимся о

существовании в физике понятий потенциал и разность потенциалов, не раскрывая сущности этих понятий и не требуя от учащихся их знания. Хотя пропедевтическое введение этих понятий может иметь место и раньше, а именно, при изучении вопроса о распределении заряда на шарах (§2, с чего мы и начали), и продолжить использовать эти понятия при изучении распределения зарядов на поверхности проводника –сетки Кольбе).

И еще одно замечание (и совет). В описании опытов с электрометрами и электроскопом (§2) и косвенно (к рис. 8) и прямо (к рис. 10) идет речь о перемещении положительных зарядов по металлическому проводнику. Но это не верно ! В дальнейшем (§5 - §8, и §9) уже подчеркивается, что в металлических проводниках могут перемещаться только электроны (что соответствует действительности).

Очевидно, в целях предупреждения ошибок в рассуждениях учащихся по поводу перемещения зарядов в металлическом проводнике, следует заряжать электроскоп и электрометры (§2) отрицательным зарядом. В этом случае утверждение о перемещении зарядов не будет противоречить истине. На обобщающем (заключительном) занятии по электростатике, следует более подробно остановиться на описании механизма явления, имеющего место в опытах с положительно заряженным электрометром, соединяемым с незаряженным, и в опыте с электроскопом (§2).

Полезно рассмотреть процессы, происходящие в нейтральном проводнике, помещенном в электрическое поле, демонстрируя опыты, описанные в данном пособии (опыты 20-22). Эти опыты можно предложить учащимся на факультативных занятиях в качестве исследовательских лабораторных работ (физпрактикум), а также в качестве экспериментальных задач, которые целесообразно предлагать учащимся уже после изучения электростатики (при изучении остальной части раздела "Электрические явления").

Опыт11. Диэлектрики.

Зарядить электрометр №1 с шаром, соединить его с электрометром с таким же шаром, используя незаряженную (подтвердить!) эбонитовую палочку, линейку из пластмассы, стекло и др. Деления заряда не происходит. Эбонит, пластмасса, стекло и др. являются непроводниками (диэлектриками, изоляторами).

Опыт 12. Строение атома.

а) в одной из моделей опыта Резерфорда используется магнитный маятник: на вертикальном металлическом стержне длиной 0,5-0,6 м и диаметром 3-4 мм внизу прикреплен кольцевой керамический магнит диаметром 2-3 см (из набора керамических магнитов). Верхний конец стержня имеет отверстие, перпендикулярное продольной оси стержня. Стержень с

помощью короткого куска прочной нити прикреплен к жесткому горизонтальному стержню длиной 30-40 см, закрепленному в физическом штативе. Под магнитом при вертикальном положении подвеса поместить сильный магнит или стопку из 4-5 кольцевых керамических магнитов. Под магнитами должна находиться массивная железная пластина или железная гиря. Магнит на конце стержня является моделью "снаряда" (альфа-частицы), а нижний магнит - моделью ядра атома. Магниты обращены друг к другу одинаковыми полюсами.

Имитация опыта Резерфорда может быть осуществлена следующим образом: отклоняют магнитный маятник на некоторый угол (подобрать практически) и отпускают его. Если нижний магнит - "ядро" убрать, то маятник будет совершать "свободные" колебания, плоскость которых со временем не меняется. Если же "ядро" установить на соответствующем месте, то плоскость колебания маятника будет меняться. В зависимости от ориентации плоскости, в которой движется подвес с магнитом, маятник будет по разному изменять траекторию дальнейшего движения. Отклонившийся после взаимодействия магнитов маятник следует остановить и, изменив ориентацию плоскости "свободного" колебания, снова отпустить маятник и т.д.

- б) модель опыта Резерфорда с магнитами в горизонтальной плоскости. В центре кадрового окна графопроектора закрепляется кольцевой керамический магнит большого диаметра (лучше закрепить этот магнит с помощью пластилина на стеклянной пластинке, которую помещают на стекло кадрового окна графопроектора). Кольцевой керамический магнит малого диаметра ("снаряд") помещают у края кадрового окна и резким легким ударом с помощью линейки приводят в движение в сторону "ядра". В зависимости от того, будет ли удар прямым (лобовым) или косым, траектория движения "снаряда" после взаимодействия с "ядром" будет иметь тот или иной вид. Оба магнита обращены вверх одинаковыми полюсами. Повторяют опыт несколько раз и изображают на доске рисунок с траекториями снарядов.

Опыт 13. Камера Вильсона.

1. Модель ядер водорода, гелия и других можно изготовить из пластилина: протоны - шарики из красного пластилина, нейтроны - шарики из белого пластилина (такого же размера).
2. Принцип действия камеры Вильсона - конденсация пара жидкости на ионах - можно продемонстрировать следующим образом:
 - а) В прозрачную стеклянную бутылку наливают некоторое количество воды, а затем удаляют ее. После этого в нее впускают дым (можно бросить внутрь горящую спичку). Дым рассеивается по всему объему бутылки и становится невидимым. Закрывают бутылку резиновой

пробкой, сквозь которую пропущена стеклянная трубка. На выступающий конец трубки надет резиновый шланг. Используя насос (в крайнем случае, велосипедный), нагнетают воздух до тех пор, пока пробка не будет выброшена из бутылки. При резком понижении давления воздуха в бутылке температура его понижается (адиабатный процесс) и на частицах дыма (центрах конденсации) конденсируются пары воды: образуется туман, бутылка становится непрозрачной. Опыт следует повторить.

- б) Используя установку предыдущего опыта, можно наблюдать образование тумана внутри бутылки, если к шлангу вместо насоса присоединить резиновую грушу. Следует сильно сжать грушу и через некоторое время резко отпустить ее

Примечание (совет): вместо стеклянной бутылки можно использовать полиэтиленовый сосуд (1,5-2 литра) из-под сока или минеральной воды, лучше не фигурной, а цилиндрической формы. В пробке с помощью паяльника (или другим способом) сделать круглое отверстие, в которое вставляется отрезок стеклянной трубки (для повышения герметичности в отверстие сначала вставляется кусок мягкой резиновой трубки, а затем - стеклянная). В качестве груши можно использовать эластичный полиэтиленовый сосуд овального сечения из-под шампуня и т.п. В пробке этого сосуда также делается отверстие (можно использовать отверстие, которое имеется в пробках некоторых сосудов из-под шампуня). Первый сосуд (модель камеры Вильсона) соединяется со вторым ("грушей") с помощью отрезка резиновой трубки. Для удобства демонстрации опыта бутылку следует закрепить в лапке штатива в вертикальном или горизонтальном положении. Наглядность повышается, если использовать подсвет и черный экран. В простейшем случае можно и не использовать "грушу": адиабатный процесс можно осуществить путем резкого отпускания сжатого ладонями сосуда, плотно закрытого пробкой.

Опыт 14. Счетчик Гейгера.

Использовать фабричный демонстрационный (или лабораторный) счетчик Гейгера с усилителем низкой частоты и громкоговорителем. Радиоактивные препараты не использовать (запрещено!). ограничиться регистрацией космического фона.

Опыт 15. Объяснение электризации. Закон сохранения заряда.

Повторяя опыты по электризации, разъяснить механизм приобретения телами отрицательного и положительного зарядов, а также ответить на вопрос, почему в опытах по электризации (трение, удар) используются диэлектрики, а электризуемые металлические предметы должны быть изолированы.

а) Демонстрация электризации металла трением.

Используется латунная трубка с эбонитовым стержнем. Взяв трубку за изолирующий стержень, коснуться латунной трубкой незаряженного электрометра. Стрелка электрометра не отклоняется: трубка не заряжена. Потереть латунную трубку целлофановой пленкой, свернутой в два слоя, при этом, не касаясь трубки рукой непосредственно. После этого коснуться трубкой шара незаряженного электрометра - стрелка отклоняется. Можно определить знак заряда латунной трубки. Для этого надо приблизить трубку к заряженной положительно или отрицательно гильзе на нити. Затем объяснить механизм электризации трубки (откуда и куда перешли электроны).

б) Ударить несколько раз по поверхности металлического диска резиновой лентой. Используя заряженный индикатор (гильзу или электрический "султан"), определить знак заряда резиновой ленты и металлического диска. Объяснить механизм электризации тел при ударе резины по металлу.

в) Повторить опыты по электризации при отделении резины от металлического диска, закрепленного на стержне электрометра, являющегося в этом опыте индикатором.

Определив знак заряда резины с помощью отрицательно заряженного индикатора, делают вывод о знаке заряда металлического диска: он оказался положительным. Объяснить механизм электризации диска и резины. (Из металла в резину переходит часть свободных электронов, которые слабо связаны с положительно заряженными ядрами атомов металла). Повторяя опыт (все операции при этом надо выполнять без больших пауз между ними), проиллюстрировать закон сохранения электрического заряда.

Приведем алгоритм постановки последнего опыта.

Оборудование: электрометр с электрическим диском (слой диэлектрика на поверхности диска удален); индикатор (заряженная гильза, султан); резиновая лента.

1. Убедиться, что резина и металлический диск не заряжены (начальный заряд системы тел равен нулю).
2. Растянуть резиновую ленту (поверхность ленты становится гладкой, что обеспечит максимальную площадь соприкосновения с поверхностью металлического диска).
3. Приложить ленту (средней ее частью) к поверхности диска и плотно прижать ее к диску (края ленты должны быть ниже уровня диска).
4. Не изменяя натяжения ленты, резко отделить ее от диска. Стрелка электрометра отклоняется.

5. Сразу же поднести резиновую пленку к заряженному индикатору. Определить знак заряда резины.
6. Поместить резину на диск электромметра. Стрелка электромметра возвращается в исходное положение.
7. Делаются заключения о знаках зарядов тел системы после их отделения друг от друга и о модулях зарядов. Поясняется механизм электризации резины и металла.
8. Формулируется закон сохранения электрического заряда.

Примечание: при объяснении механизма электризации резины и металла подчеркнуть, что заряд резиновой ленты равен суммарному заряду перешедших в нее из металла электронов, а заряд металлического диска равен положительному суммарному заряду протонов, оказавшегося некомпенсированным после перехода электронов (закон сохранения электрического заряда системы тел).

Опыт 16. Еще один способ иллюстрации закона сохранения заряда.

Оборудование: два электромметра с дисками, металлический диск с изолирующей ручкой, целлофан, проволока с изолирующей ручкой.

1. Поместить целлофановый лист на диск первого электромметра: лист не заряжен, стрелка на нуле (в противном случае пленку следует нейтрализовать до помещения ее на диск).
2. Поставить на диск с целлофановой пленкой незаряженный диск с изолирующей металлической ручкой и, придерживая левой рукой электромметр за основание потереть пленку верхним диском круговыми движениями. Не допускать заземления ни того, ни другого диска.
3. Снять верхний диск и поставить его на диск второго электромметра.
4. Сравнить показания электромметров (они должны быть одинаковы, если обладают одинаковой чувствительностью).
5. Соединить электромметры проволокой с изолирующей ручкой (стрелки обоих электромметров устанавливаются на нулевые деления).
6. Сделать вывод: модули зарядов равны, знаки противоположны, так как только при этом условии происходит нейтрализация зарядов в используемой системе тел. Дается формулировка закона сохранения электрического заряда.

Опыт 17. Электрическое поле.

1. Действие наэлектризованных тел на другие тела на расстоянии.
Зарядить гильзу (электрический султан) касанием отрицательно заряженной эбонитовой палочки. Обратить внимание на то, что, коснувшись палочки, гильза сразу же отталкивается. При поднесении к гильзе (или листочкам султана) заряженной эбонитовой палочки гильза

(или листочки) отклоняются от палочки, "чувствуя" ее на расстоянии. Проблема: что является посредником во взаимодействии рассматриваемых объектов. Примечание: здесь уместно обратить внимание учащихся на условия, при которых изменяется положение любого тела. Положить заранее, (не привлекая внимания учащихся) лист плотного целлофана на крышку стола и поставить на него легкий брусок. Брусок можно передвинуть разными способами: касаясь бруска рукой, действуя на него линейкой (линейка - посредник между рукой и бруском), подув на него. Таким образом, изменить положение бруска можно непосредственно или при помощи посредника. Прижимая ладонью лист к поверхности стола и, перемещая ладонь в сторону бруска, можно легко вызвать движение последнего, даже, если между рукой и бруском виден зазор. Это сначала вызывает удивление аудитории, но через некоторое время многие догадываются, "в чем тут дело": между бруском и рукой есть посредник - лист (и никакой тут не телекинез!). Так что же является посредником во взаимодействии заряженных тел, разделенных промежутком? Кроме воздуха в этом промежутке, кажется ничего нет!

2. Ставится традиционный опыт: электроскоп под колоколом воздушного насоса (см. параграф №6, но стекла можно не вынимать, учитывая, что они не создают герметичности пространства внутри электроскопа). Можно поставить опыт без колокола воздушного насоса, используя самодельный электроскоп. Он состоит из круглодонной колбы, плотно закрываемой резиновой пробкой. Сквозь пробку пропущен металлический стержень с прикрепленными к нему полосками бумаги или фольги. В другое отверстие в пробке пропущен отрезок стеклянной трубки, на выступающий наружу конец которой надевается шланг. Разрезающий насос соединяется с колбой посредством двух отрезков вакуумного шланга, между которыми помещен металлический манометр. Откачивая воздух, подносят периодически к выступающему концу металлического стержня или к колбе (сбоку) заряженную палочку. Делают вывод: воздух здесь ни при чем: посредником во взаимодействии заряженного тела с другими телами является электрическое поле.

Опыт 18. Основные свойства электрического поля.

На горизонтальной поверхности стола в состоянии покоя лежит на боку металлическая баночка из под напитка. Вывести её из состояния покоя можно, если подействовать на банку в горизонтальном направлении некоторой силой (толкнуть рукой, линейкой, подуть на банку). Поднести к покоящейся банке заряженную эбонитовую палочку: банка приходит в движение – катится по горизонтальной поверхности стола. Вывод: электрическое поле действует на банку с некоторой силой. Опыт можно

поставить иначе: к заряженной гильзе поднести заряженную палочку. Гильза (электростатический маятник) отклоняется. Вывод: на гильзу с некоторой силой действует электрическое поле.

Сила, с которой электрическое поле палочки действует на заряженное тело, тем больше, чем меньше расстояние между заряженными палочкой и гильзой: электрическое поле вблизи палочки (источника поля) сильнее. Это наглядно подтверждается с помощью установок, рассматриваемых выше.

Вокруг любого заряженного тела имеется электрическое поле, реальность существования которого подтверждается его силовым действием на другие заряды. Данное положение достаточно наглядно подтверждается опытом с двумя заряженными гильзами (см. рисунки к заданию в § 1). Важный вывод: заряженные тела действуя друг на друга не через пространство (дальнодействие), а посредством электрических полей (близкодействие). Или: электрическое поле первого заряженного тела действует на второе заряженное тело, а поле второго тела действует в свою очередь на первое заряженное тело, то есть заряженные тела взаимодействуют посредством своих полей.

Опыт 19. Силовые линии электрического поля.

Используя прибор для демонстрации спектров электрического поля, можно с помощью графопроектора показать на экране спектры полей.

При отсутствии такого прибора можно поставить другой опыт. На прозрачный лист оргстекла или чистого оконного стекла поместить мелкие кусочки бумаги, равномерно распределив их по поверхности. Положить на середину листа металлический диск малого диаметра с проволочным отводом. Зарядить диск, используя электрофорную машину или высоковольтный выпрямитель "Разряд-1". Кусочки бумаги располагаются вдоль силовых линий. Помещая на поверхности стекла два диска или две полоски, расположив их параллельно, можно получить спектры соответствующих полей. После отключения дисков и пластин от источников высокого напряжения спроецировать на экран полученные спектры полей, осторожно положив стекло на кадровое окно графопроектора.

Если вблизи одного диска поместить несколько лёгких шариков из алюминиевой фольги (шарики должны касаться диска) и зарядить диск, то шарики, получив такой же по знаку заряд, оттолкнутся от диска. Траектории движения этих шариков представляет собой силовые линии электрического поля.

Моделью спектра электрического поля может служить картина, образующаяся при электризации электрического султана: бумажные полоски располагаются вдоль силовых линий. Следует продемонстрировать три случая:

спектр поля уединённого заряда (один султан) и поля двух зарядов (два султана) разноимённых и одноимённых.

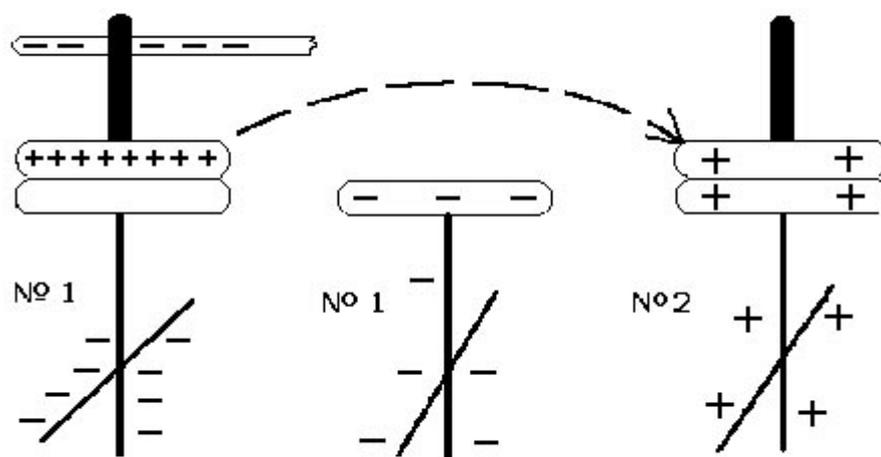
Опыт 20. Проводники в электрическом поле.

1. К диску (шару) незаряженного электрометра сверху приближать отрицательно заряженную эбонитовую палочку, не допуская касания палочки диска. Стрелка электрометра отклоняется и тем на больший угол, чем ближе палочка к диску. Причина наблюдаемого явления может быть объяснена следующим образом.
 - Вокруг отрицательно заряженной палочки имеется электрическое поле (пресекать выражение "отрицательное поле палочки", которое иногда допускается учащимися).
 - Как известно в незаряженных металлических проводниках имеются как отрицательно заряженные частицы (электроны), так и положительно заряженные частицы (протоны в ядре атома). Некоторые электроны покидают атомы и становятся свободными, беспорядочно двигаясь в металле.
 - При приближении заряженного тела к металлу (диску электрометра) поле этого тела действует как на электроны, так и на положительные ионы (атомы, потерявшие хотя бы по одному электрону).
 - Так как свободными частицами в металле являются только электроны, а ионы не могут свободно перемещаться в металле, то под действием электрического поля отрицательно заряженной палочки электроны придут в движение, удаляясь насколько это возможно от палочки. Количество "убегающих" из диска электронов будет тем больше, чем сильнее поле, то есть чем ближе к диску находится заряженная палочка.
 - Нижние концы стержня электрометра и стрелки заряжаются отрицательно и поэтому отталкиваются. Угол отклонения стрелки тем больше, чем больше электронов оказалось на нижних концах стержня и стрелки.
 - На основании вышесказанного можно заключить, что диск заряжается положительно, так как из него "ушли" электроны. И заряд диска по модулю равен заряду стержня и стрелки, в целом заряд электрометра равен нулю (Закон сохранения электрического заряда).
 - Последнее утверждение подтверждается практически: если заряженную палочку удалить от диска электрометра как можно дальше, то под действием поля положительно заряженного диска электроны придут в движение снизу вверх, произойдёт нейтрализация зарядов и стрелка вернётся в нулевое положение.
2. Для более наглядного подтверждения вышеизложенного целесообразно поставить следующий опыт (его можно предложить в качестве основы для экспериментальной задачи).

Оборудование: два электрометра с металлическими дисками, металлический диск с изолирующей ручкой, эбонитовая палочка, мех или капрон, проволока с изолирующей ручкой (изолирующие слои с поверхностей дисков удалены).

Алгоритм выполнения опыта.

- 1) На диск незаряженного электрометра № 1 поставить металлический диск с изолирующей ручкой.
- 2) Приближать отрицательно заряженную палочку к диску сверху (палочка расположена горизонтально), не допуская разряда между палочкой и диском (не ближе 2-3 см.). Стрелка электрометра отклоняется. Объяснить сущность происходящего, изобразить конечный результат схематически.
- 3) Не убирая палочки, разъединить диски и удалить верхний диск одновременно с палочкой, не допуская касания их друг друга.
- 4) Поставить верхний диск на диск электрометра № 2 (случайно не заземлите верхний диск в момент переноса его от одного электрометра к другому !).



(Рис.1.)

- 5) Сравнить углы отклонения стрелок электрометров, они при аккуратном выполнении опыта должны быть одинаковыми.
- 6) Поднести к электрометру № 1 отрицательно заряженную палочку. Угол отклонения стрелки увеличивается. (Под действием поля палочки из диска электроны "бегут" вниз на конец стержня и стрелку. Так как угол отклонения увеличивается, очевидно - там

уже был избыток электронов). Итак, электромметр № 1 заряжен отрицательно.

- 7) Поднести отрицательно заряженную палочку к диску электромметра № 2. Угол отклонения его стрелки будет уменьшаться. Это можно объяснить так: под действием электрического поля палочки из верхнего диска, заряженного положительно, ещё какое-то количество электронов "уходит" вниз; положительный заряд верхнего диска увеличивается. Уменьшение угла отклонения стрелки электромметра № 2 можно объяснить только тем, что концы стержня и стрелки заряжены положительно.
 - 8) При соединении электромметров проволокой с изолирующей ручкой происходит полная нейтрализация зарядов, стрелки обоих электромметров возвращаются в нулевое положение.
 - 9) Таким образом, в проводнике, помещённом в электрическое поле отрицательно заряженной палочки, происходит распределение зарядов: на ближней к палочке стороне проводника наводится положительный заряд, а на отдалённом - отрицательный.
3. Ниже предлагается другой вариант предыдущего опыта. Используется два электромметра, на стержень одного из которых насажен полый шар из набора по электростатике, в боковое отверстие которого следует вставить короткий стержень с изолирующей ручкой.

Опыт выполняется в следующем порядке:

- Поднести к шару сверху отрицательно заряженную палочку, не допуская касания.
- Оставляя расстояние между шаром и палочкой неизменным, отделить шар от стержня электромметра.
- Не допуская случайного заземления шара перенести его к другому электромметру и насадить на его стержень.
- Обратить внимание на значения углов отклонения стрелок обоих электромметров.
- Определить знаки зарядов электромметров.
- Соединить электромметры.
- Сделать выводы.

Примечание: в вышеописанных опытах использовалась отрицательно заряженная палочка. Естественно, можно выполнить эти опыты, используя положительно заряженную пластинку из оргстекла. Все рассуждения в этом случае аналогичны приведённым в описании опытов с отрицательно заряженной палочкой. При этом следует обращать внимание на то, что в металле перемещаются электроны.

Опыт 21. Диэлектрики в электрическом поле.

1. К диску заряженного электромметра поднести сверху нейтральный металлический диск с изолирующей ручкой на небольшое расстояние.

Для предотвращения касания на нижний диск следует положить тонкую незаряженную целлофановую пленку. Обратите внимание на уменьшение угла отклонения стрелки электрометра. (Для наглядности результата верхний диск то удалять, то приближать к диску электрометра: угол отклонения будет при этом то увеличиваться, то уменьшаться).

Объяснить явление можно, рассматривая верхний диск как нейтральный проводник, помещенный в электрическое поле заряженного нижнего диска. Под действием поля последнего в верхнем диске происходит перераспределение зарядов, что приводит к ослаблению поля ниже диска электрометра, и его заряд увеличивается за счет убыли зарядов, находившихся до этого в нижних концах стержня и стрелки (если это был отрицательный заряд, то в данных условиях часть электронов поднимается вверх ввиду ослабления поля).

2. К тому же диску поднести незаряженный диэлектрик - толстую оргстеклянную и т.п. пластину (лучше две сложенных вместе для увеличения толщины диэлектрика; это будет использовано потом в других целях).

Результат будет таким же, как и в опыте с проводником (см. п. 1), только угол отклонения стрелки уменьшается в меньшей степени. Следовательно, под действием электрического поля диска на нижней поверхности диэлектрика наводится заряд, знак которого противоположен знаку заряда диска.

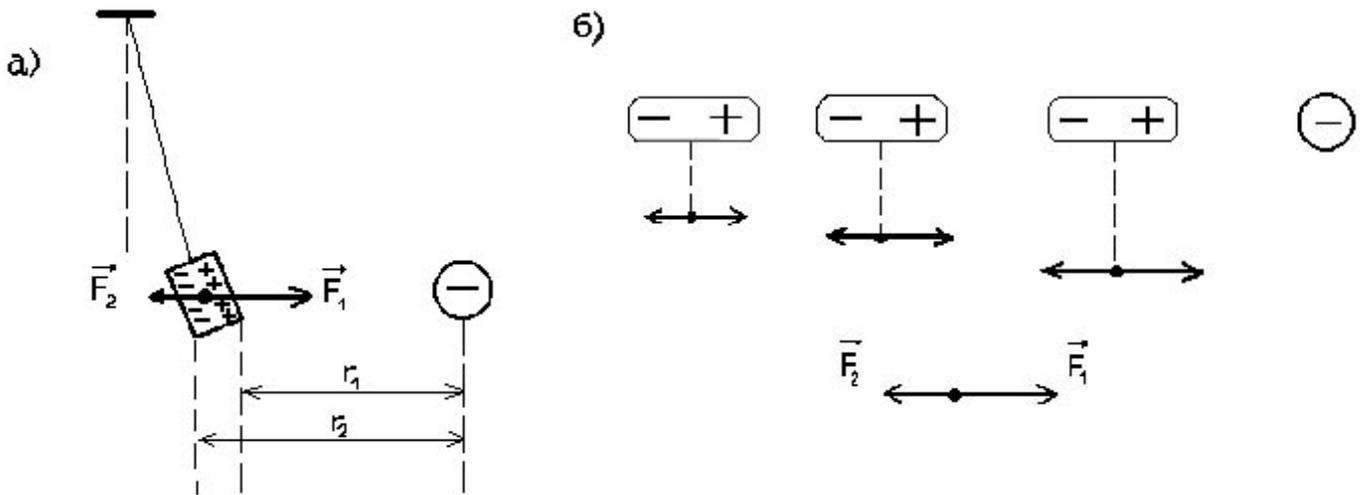
Для подтверждения того, что в диэлектрике происходит поляризация, а не разделение зарядов, как это происходит в металлическом проводнике, нужно снять верхнюю пластинку (нижняя остается на диске) и поднести к контрольному электрометру. Его стрелка не отклоняется, следовательно пластинка не имеет избыточных эл. зарядов. (Целесообразно использовать схематические рисунки, на которых изображены диполи диэлектрика до внесения и при внесении его в электрическое поле).

Опыт 22. Объяснение притяжения незаряженных индикаторов к заряженному телу.

1. При приближении заряженной палочки к металлической гильзе под действием электрического поля в последней происходит перераспределение зарядов: ближняя к палочке сторона гильзы имеет избыточный заряд, знак которого противоположен знаку заряда палочки, а другая сторона гильзы приобретает заряд, одноименный с зарядом палочки. Следовательно, на гильзу будут действовать две силы - сила притяжения F_1 и сила отталкивания F_2 . Сила взаимодействия между зарядами тем больше, чем меньше расстояние между ними.

Таким образом $F_1 > F_2$ и равнодействующая этих сил направлена в сторону палочки (обязательно изобразить рисунок).

Если гильза коснется заряженной палочки, то произойдет частичная нейтрализация зарядов гильзы и палочки. На гильзе будет преобладать заряд одноименный с зарядом палочки и гильза сразу оттолкнется от палочки.



(Рис.2.)

- Бумажная гильза, оказавшись в электрическом поле палочки, поляризуется. При этом на стороне обращенной к палочке, будет заряд, противоположный заряду палочки. За ним следуют чередующиеся слои зарядов (цепочки диполей) и дальняя от палочки сторона гильзы имеет заряд, одноименный с зарядом палочки.

На все заряженные слои (цепочки зарядов) действуют силы притяжения и отталкивания со стороны палочки. Модули этих сил с удалением от палочки уменьшаются, но силы притяжения в любом месте больше сил отталкивания и равнодействующая всех сил будет направлена в сторону палочки (изобразить рисунок).

Аналогично объясняется притяжение к заряженному телу бумажных полосок электрического султана.

Громоотвод.

Ниже даётся описание опытов, раскрывающих сущность явлений, знание которых будет способствовать пониманию условий возникновения электрического разряда в атмосфере и мер защиты от молнии.

Опыт 23. Зависимость силы, с которой поле заряда q_0 действует на другой заряд q , от значения (модуля) q_0

Зарядить шар электрометра как можно сильнее (стрелка должна отклониться на максимальный угол). Вблизи шара на его уровне поместить гильзу на подвесе, имеющую одноимённый заряд с q_0 . Заметить значение угла отклонения электрического маятника. Уменьшить заряд шара вдвое, коснувшись его таким же по размерам незаряженным изолированным шаром (с изолирующей ручкой, в качестве которой может быть изолирующий штатив по электростатике). Затем уменьшить заряд втрое и так далее. Обратить внимание на изменение угла отклонения как стрелки, так и подвеса гильзы.

Можно, наоборот, увеличивать заряд q_0 , подзаряжая шар, касаясь стержня электрометра заряженной палочкой (угол отклонения подвеса гильзы будет при этом увеличиваться).

Используя эту же установку, следует еще раз обратить внимание на зависимость электрической силы от расстояния между заряженными шаром и гильзой (удалять шар от гильзы, а затем приближать к ней). Таким образом, убеждаемся (еще раз) в том что:

1. Электрическое поле заряда q_0 в данном месте (точке) действует на заряд q с тем большей силой, чем больше значение заряда q_0
2. Электрическое поле сильнее вблизи заряда q_0 , «образующего» это поле.

Опыт 24. Распределение заряда на проводнике. Опыт с сеткой Кольбе.

Опыт выполняется в соответствии с его описанием в учебнике Ф-9

Показать, что: а) углы отклонения прикрепленных бумажных полосок одинаковы, если заряженная сетка плоская; б) при неизменном заряде электрическое поле сильнее вблизи выступов сетки и слабее во впадинах; в) внутри цилиндрической поверхности, полученной при изгибе сетки до совмещения ее краев, поле "отсутствует" (точнее, поля зарядов сетки компенсируются внутри цилиндра). Листочки внутри цилиндра опадают. Заряды сетки (например, электроны), отталкиваясь друг от друга, располагаются только на внешней поверхности сетки. В этом можно убедиться, если переносить заряд с поверхности сетки на электрометр с помощью шарика на изолирующей ручке, касаясь поочередно то внешней поверхности сетки, то стержня электрометра. Стрелка последнего отклоняется. Если поочередно касаться шариком то внутренней поверхности сетки, то стержня электрометра, переноса заряда не обнаруживают.

Опыт 25. Распределение заряда на полой металлическом шаре (опыты аналогичны предыдущим).

- а) Заряжают шар на стержне электрометра №1 отрицательно (или положительно, хотя это несколько усложнит рассуждения при объяснении происходящего). Второй электрометр не заряжен. Касаются шариком поочередно то заряженного шара на электрометре №1, то поверхности незаряженного шара на электрометре №2. Стрелка электрометра №2 будет отклоняться.
- б) Касаются поочередно то внутренней поверхности первого заряженного шара, то внешней поверхности второго незаряженного шара. Стрелка электрометра №2 не отклонится.
- в) Продолжить опыт "а", используя контрольный электрометр №3 (незаряженный). При этом соблюдать такую последовательность: Коснуться сначала поверхности первого шара, затем - поверхности второго шара, после этого коснуться шара электрометра №3. Эти операции повторить несколько раз. Результат: и второй и третий шары получают заряд, постепенно увеличивающийся.
- г) Продолжить опыт "в", но касаться не внешней, а внутренней поверхности второго шара и после этого третьего шара. Повторить несколько раз. Результат: второй электрометр заряжается, причем, угол отклонения стрелки электрометра увеличивается с каждым касанием заметнее, чем в предыдущем случае. Стрелка электрометра №3 не отклоняется.

Проанализировав результаты, сделать выводы (заряды распределяются только на внешней поверхности шара; при касании зарядившимся шариком поверхности второго шара заряд с шарика передается частично; для полной передачи заряда шарика полному шару надо коснуться его внутренней поверхности).

Опыт 26. Распределение заряда на проводнике, разные участки которого имеют неодинаковую кривизну.

В качестве такого проводника следует использовать имеющийся в физкабинетах средней школы «цилиндр с конусами». Чтобы убедиться в том, что распределение заряда зависит от кривизны поверхности можно: 1) приклеить к поверхности тела снизу по два листочка (как в электроскопе) как к цилиндрической, так и к конической поверхности; 2) снимать заряды с разных участков цилиндрической и конической поверхности и переносить их полностью на электрометр с полым шаром (используется шарик с изолирующей ручкой). В первом случае (1) углы расхождения пар листочков, прикрепленных к цилиндрической поверхности в разных местах, будут одинаковы. Угол расхождения листочков, прикрепленных к конической поверхности увеличивается с приближением к острию конуса. Листочки, прикрепленные к внутренней поверхности вставленного внутрь

цилиндра конуса, не расходятся. Это говорит о том, что плотность заряда больше там, где кривизна поверхности больше (то есть меньше радиус кривизны). Максимальной плотность будет на острие, следовательно, поле вблизи острия будет "самым сильным". Заряд внутри тела (на внутренней поверхности тела) равен нулю.

При исследовании зависимости поверхностной плотности заряда от кривизны поверхности вторым способом (2), нужно периодически касаться то поверхности цилиндра в одном и том же месте, то внутренней поверхности полого шара, закреплённого на стержне электрометра (4 - 5 раз). Заметив угол отклонения стрелки электрометра, повторить те же операции (4 - 5 раз), касаясь точки поверхности конуса в средней его части, а затем то же, касаясь острия конуса.

Примечание: Поверхностная плотность заряда – это значение заряда на единице поверхности проводника.

Опыт 27. Опыт с шаром, снабжённым остриём.

Оборудование: два электрометра с шарами, один из которых снабжён остриём, вставленным в боковое отверстие, электрофорная машина или высоковольтный выпрямитель "Разряд 1", эбонитовая палочка, капрон.

Ход опыта: Поставить электрометры на некоторое расстояние друг от друга. Соединить шары электрометров с кондукторами электрофорной машины и привести её в действие на короткое время. Как только стрелки электрометров отклонятся, прекратить действие машины и убрать проводники, идущие к обоим шарам. Определить знаки зарядов шаров (они противоположны). Затем соединить шар с острием с кондуктором машины, с которым он был связан при зарядке. Острие направлено в сторону второго шара. Медленно вращая диски электрофорной машины, наблюдать постепенное уменьшение угла отклонения стрелки второго электрометра. Объясняют явление.

Как было доказано ранее, электрическое поле вблизи острия наиболее сильное и оно поддерживается таковым благодаря постоянной подзарядке шара (машина работает). Это поле разгоняет (увеличивает скорость) имеющихся в воздухе отдельных ионов и электронов, которые, приобретя большую кинетическую энергию, способны совершить работу по вырыванию электронов из нейтральных атомов (молекул) воздуха, с которыми они сталкиваются. Происходит ионизация воздуха. Количество образующихся свободных электронов, положительных и отрицательных ионов (отдельные электроны "прилипают" к нейтральным атомам, вследствие чего образуются отрицательные ионы) быстро увеличивается. Воздух из диэлектрика по-существу превращается в проводник (между остриём и вторым шаром) и притягиваемые вторым шаром заряженные частицы нейтрализуют заряд второго шара или, как говорят, происходит разряд. Этот разряд может быть искровым, если поле между шарами будет

особенно сильным, что имеет место в данном опыте, если оба шара соединены с кондукторами машины, (или второй шар заземлен), а она интенсивно работает.

Примечание: Можно шар с острием не подзаряжать. И в этом случае шары будут разряжаться, но гораздо медленнее.

Опыт 28. "Молния" в миниатюре.

Миниатюрную молнию следует показать (как без этого!), между кондукторами машины, установив расстояние между шариками около 5 см. Больше не надо: при большом расстоянии между шарами может произойти электрический пробой диэлектрика лейденской банки, после чего нельзя уже будет получить "длинную" искру. Чтобы пробоя не произошло при работе с машиной учащих, необходимо снабдить машину "предохранителем" - ограничителем длины искры между кондукторами. Для этого следует прикрепить две жёсткие металлические полоски (или фольгу) к планке из диэлектрика, соединяющие "вилки" ("гребёнки") машины. Внешние концы этих полосок должны иметь контакт с металлическими стержнями кондукторов, а расстояния между внутренними концами (зазор) около 6 - 7 см. Если расстояние между шарами превысит указанное, то электрический искровой разряд произойдёт в зазоре предохранителя.

При эксплуатации электрофорной машины нужно помнить:

1. "Гребёнки" не должны касаться дисков машины!
2. Щётки (сниматели зарядов с металлических полосок дисков) обязательно должны касаться дисков.
3. Стержни щёткодержателей должны быть взаимно перпендикулярны между собой и составлять с горизонтом угол в 45° .
4. Диски должны вращаться в противоположные стороны. Ближний к рукоятке диск - по часовой стрелке (при замене ремней помнить об этом)!
5. Поверхности дисков должны быть чистыми и сухими.
6. Если внешне "нормальная" машина не действует, её можно "заставить" работать, например, с помощью эбонитовой палочки. Зарядив палочку, поднести её к верхней части одного из дисков параллельно его плоскости и плавно вращать диски. Можно капрон, сухую бумагу вставить между дисками и вращать их, бумага и капрон при этом должны касаться дисков. Как только машина "заработает" (в маленьком зазоре между кондукторами начнёт проскакивать искра), палочку (бумагу, капрон) можно убрать.
7. Рукоятку машины нужно вращать только по часовой стрелке.
8. Лейденские банки должны быть соединены между собой: винты с клеммами на основании машины должны быть замкнуты металлической

пластиной. (При разрыве цепи заряд не будет накапливаться на обкладках банок и между кондукторами происходит слабый разряд с частыми перерывами и на малом расстоянии между шарами).

Опыт 29. "Гроза" в мириатюре и защита от молнии.

Собрать модель: домик, "облако", молниеотвод.

Контур дома можно изготовить из листа текстолита, фанеры или, в крайнем случае, из плотного картона. На контуре дома нарисовать окно и дверь, раскрасить крышу и стенку в разные цвета. Размеры домика 30 х 20 см. Домик закрепляется на деревянном бруске с помощью двух шурупов или гвоздиков. Размеры бруска: 40 х 20 х 3 см. За домиком к бруску прикрепляется металлический стержень высотой 30 см. (высота дома с учётом высоты трубы). Рядом с домиком на расстоянии 4 - 5 см. крепится "молниеотвод" - металлический стержень с заострённым верхним концом. Оба стержня могут подключаться к металлической пластинке с клеммой, прикреплённой к бруску в горизонтальной плоскости или сбоку к торцу бруска. "Облако" вырезать из металлической пластинки (размер 10 х 25 см.). "Облако" закрепляется на изолирующей стойке, связанной с основанием. "Облако" должно смещаться по вертикали при настройке и установке. На "облаке" закреплена клемма, к которой будет подведён соединительный проводник от одного из кондукторов электрофорной машины (или "Разряд 1").

Сначала подают высокое напряжение на "облако" и первый вертикальный стержень (молниеотвод отключен). Подбирают такое расстояние между "трубой" (концом металлического стержня) и "облаком", при котором происходит искровой разряд. Если на верхний конец стержня у трубы поместить кусочек ваты, слегка смоченный бензином или другим легко испаряющимся горючим, то она может воспламениться при разряде.

Если отключить стержень у трубы от источника высокого напряжения, а подключить стержень с остриём (молниеотвод), то разряд будет происходить между "облаком" и остриём.

Данный опыт можно демонстрировать и на внеклассных занятиях.

5. Некоторые занимательные опыты и задачи по электростатике

Описанные ниже опыты по усмотрению учителя могут быть предложены учащимся не только как занимательные, но и как экспериментальные задачи, а также как задания, которые учащиеся могут выполнять на внеклассных или факультативных занятиях (исследовательские лабораторные работы), а также, при наличии возможностей, в домашних условиях.

Опыт 1. "Электрический клей".

- 1.1. К сухой чистой поверхности классной доски приложить лист сухой бумаги и, придерживая его край рукой, провести по листу одежной щёткой (можно, прижимая бумагу к поверхности доски рукой, потереть доску). Лист "прилипает" к доске.
- 1.2. Прижать рукой гибкую грампластинку к поверхности классной доски и потереть доску пластинкой. Пластинка удерживается на доске электрической силой.
На пяти пластинках приклеить буквы З, А, Р, Я, Д и, поочерёдно электризуя каждую трением о поверхность доски, составьте слово ЗАРЯД - пластинки долго, как приклеенные, будут висеть на доске.
- 1.3. Потереть наполненный воздухом детский воздушный шар мехом, сукном и тому подобным. Шар будет висеть, "приклеившись" к ладони (шар внизу). Наэлектризованный шар можно «приклеить» к потолку, где он может находиться долго, если в помещении сухо.

Опыт 2. Взаимодействие наэлектризованных тел.

- 2.1. Наэлектризовать трением о мех или капрон два резиновых шарика на нитках длиной 40 - 50 см. Нитки держать в руке вместе или привязать к горизонтальному стержню, закреплённому в штативе. Шары отталкиваются и между ними остаётся зазор.
- 2.2. Обкладки (ленты) бумажного конденсатора электризуются при разделении лент. Если закрепить в штативе концы лент, а снизу разделить их так, чтобы в той и другой части были и бумага и фольга, то эти концы будут притягиваться друг к другу (слипаться).
- 2.3. "Электрическая пляска". Положить на крышку стола оргстеклянную пластину, подложив под неё два бруска высотой 3 - 4 см. Размер пластины приблизительно 30 x 20 см. Под пластинкой на поверхность стола поместить нарезанные кусочки бумаги. При натирании пластины сухой бумагой, мехом или капроном кусочки бумаги начинают подпрыгивать.
Поместите на крышку стола металлический лист примерно 30 x 20 см., а на него кусочки бумаги и повторите опыт, используя ту же установку.
- 2.4. "Пляска на металлической арене". Используются диски с изолирующими ручками от демонстрационного разборного конденсатора. Один диск в горизонтальном положении закрепляется в треноге от универсального физического штатива. Над этим диском располагают другой диск, закреплённый в штативе с помощью лапки. Расстояние между дисками подбирается практически, при настройке

установки. Диски с помощью проводников соединяются с кондукторами электрофорной машины (или с высоковольтным выпрямителем "Разряд 1"). Из тонкой бумаги вырезаются 3 - 4 фигурки «танцоров» высотой 4 - 5 см., которые помещаются на середину нижнего диска. Приводят в действие электрофорную машину и наблюдают "пляску".

Внимание! При настройке установки и при демонстрации её в действии соблюдать меры безопасности.

2.5. Парение ватки. Наэлектризовать эбонитовую палочку (или оргстеклянную пластину) и положить на неё небольшой кусочек ваты, предварительно распушив её. Наэлектризовавшуюся вату отделить от палочки резким движением последней. Располагают палочку под ваткой. Ватка отталкивается от палочки, поднимается вверх. Манипулируя палочкой, можно заставить кусочек ваты парить или двигаться в любом направлении.

2.6. Электризация ученика. Ученик стоит на изолирующей пластине, например оргстеклянной. Берётся рукой за конец проводника, соединённого с одним кондуктором электрофорной машины. Другой кондуктор заземляется. Приводят в действие машину. Ученик электризуется и его волосы начинают подниматься, как листочки электрического султана (волосы должны быть чистыми, не очень длинными, мягкими). Ученик может так же держать в свободной руке электрический султан. Для большего эффекта другой не изолированный от земли ученик может приближать ладонь к голове электризуемого (во избежании искрового разряда между учениками не следует подносить слишком близко ладонь к голове).

Из носа "бесстрашного" наэлектризованного ученика другой, не менее "бесстрашный" ученик, может извлекать искры, для чего к носу первого второй должен поднести палец.

Если наэлектризованный ученик отключится от машины и коснётся кого-либо из учащихся ("поздоровается"), то оба испытают кратковременный электрический удар - между ними проскочит искра. Наэлектризованный ученик имея подошвы из хорошего диэлектрика, может перемещаться по классу, не разряжаясь, и "поздороваться" с учеником на значительном удалении от машины.

Внимание! Подобные опыты (и, в частности составление «живой» цепи) вообще ставить не рекомендуется, но если опыты всё же ставятся, то не следует долго заряжать лейденские банки и ученика (см. о физиологическом действии тока в § 8 пункт 4 учебника Громова "Физика 9").

2.7. "Электростатический метроном". Установить два металлических диска в вертикальном положении на расстоянии 8 - 10 см. друг от друга и соединить их с кондукторами электрофорной машины. Между дисками поместить металлический (лучше полый) шарик, подвешенный на нитке длиной 30 - 40 см. При работе машины шарик после толчка приходит в колебательное движение, периодически касаясь дисков и перезаряжаясь при этом. После прекращения работы машины маятник будет колебаться некоторое время, так как диски подзаряжаются от лейденских банок, на обкладках которых накопился достаточный заряд при работе машины. Удары шарика о диски сопровождаются звуками, аналогичными ударам маятника механического метронома, хотя эти звуки могут оказаться и более мелодичными.

Опыт 3. Проводники в электрическом поле.

3.1. "Ленивая гильза" ("пугливая гильза").

К подвешенной на нити незаряженной станиолевой гильзе постепенно приближают хорошо наэлектризованную эбонитовую палочку или металлический шар на изолирующем штативе. Палочку следует закрепить в треноге универсального физического штатива в вертикальном положении. Начальное положение гильзы отметить с помощью какого-либо предмета (например, резиновой пробкой со вставленной в неё вертикальной спичкой с бумажной стрелкой и т.п.). Движение в сторону заряженного тела прекратить, как только подвес с гильзой отклонится на заметный угол. Гильза будет находиться в состоянии покоя: сила тяжести, сила натяжения нити и электрическая сила, действующие на гильзу, уравниваются. Затем осторожно коснуться (лучше сбоку, а не сзади гильзы) концом проволоки без изолирующей ручки, то есть заземлить гильзу. Гильза резко двинется к палочке и, коснувшись её, резко отклонится. (Гильза может прилипнуть к палочке, при недостаточно хорошей электризации палочки. Опыт получается чётче, если вместо палочки использовать заряженный шар.) Предложите объяснение названий опыта. Какое название, по вашему, подходит больше ?

3.2. Имея отрицательно заряженную палочку, зарядить два электрометра с шарами противоположными по знаку зарядами.

Чтобы зарядить электрометр № 1 отрицательно, достаточно провести эбонитовой палочкой по шару или стержню электрометра.

Демонстрацию по зарядке электрометра № 2 положительным зарядом можно выполнить следующим образом (с элементами занимательности):

Отрицательно заряженную палочку поднести к шару (диску) электрметра №2 и при этом той же рукой, в которой держат палочку, незаметно (не подчеркивая этого) коснуться шара (диска), а затем отнять (удалить) руку с палочкой. Все эти операции проделать быстро. Стрелка электрметра отклоняется на достаточно большой угол.

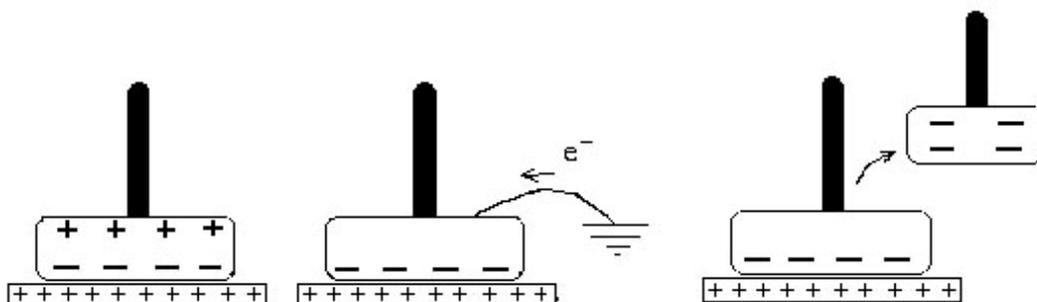
- а) Можно поставить вопрос: как заряжен электрметр? и предложить кому либо из учащихся практически определить знак заряда.
- б) Можно поступить иначе: спросить у учащихся, что произойдет с показанием электрметра, если к шару электрметра приближать отрицательно заряженную палочку?
- в) Или: как вы думаете, что произойдет с показаниями обоих электрметров, если после их электризации соединить шары проводником?

После беседы обязательно показать "в замедленном темпе" процессы зарядки электрметра №1 - отрицательно, и электрметра №2 - положительно.

3.3. Электрофор Вольта (или "неиссякаемый" источник электрических зарядов)

Оборудование: пластина из оргстекла, металлический диск с изолирующей ручкой, лист бумаги, электрметр с диском (или шаром), эбонитовая палочка, мех (капрон).

- Зарядить оргстеклянную пластинку трением о бумагу;
- Зарядить электрметр отрицательно с помощью эбонитовой палочки;
- Определить знак заряда оргстекла (издали, постепенно приближать пластину к диску или шару электрметра; угол отклонения стрелки электрметра уменьшается);



(Рис.3.)

- Разрядить электрметр (заземлить стержень);
- Положить пластину на демонстрационный стол;

- Поднести диск с изолирующей ручкой к диску (шару) электрометра (не заземленному!).
- Убедиться, что первый диск не заряжен;
- Поставить диск на положительно заряженную пластину, держа в руке рукоятку так, чтобы мизинец касался диска;
- Убрать руку (диск остается на пластине).

Далее можно поступить по-разному:

а) Вопрос классу: как вы думаете, получил ли заряд диск, лежащий на положительно заряженной пластинке? Если да, то какого знака этот заряд? Проверьте практически (используя электрометр).

б) Или: взяться за верхний край рукоятки (подчеркивая это - "беру рукоятку за верхний конец") и отделить диск от пластины, а затем коснуться этим диском диска (шара) незаряженного электрометра. Стрелка отклоняется.

Вопрос классу: как зарядился металлический диск, который мы сняли с положительно заряженной пластины? Проверить практически (используя палочку):

Предлагается кому либо из учащихся повторить опыт. Как правило учащиеся не замечают, что учитель (или его помощник из учащихся, специально подготовленный), ставя незаряженный диск на оргстекло, касается диска рукой. А без этой операции металлический диск практически не заряжается (или заряжается слабо).

После неудачного "копирования" демонстрации неподготовленным (невнимательным!) учеником этот опыт повторяет учитель (или демонстратор-ученик) сначала в быстром темпе, а затем в замедленном, так, чтобы учащиеся обратили внимание на момент заземления диска. Если - "никак!", - то учитель комментирует свои действия.

Проводится анализ явления на разных этапах (целесообразно представить процесс в динамике на рисунках).

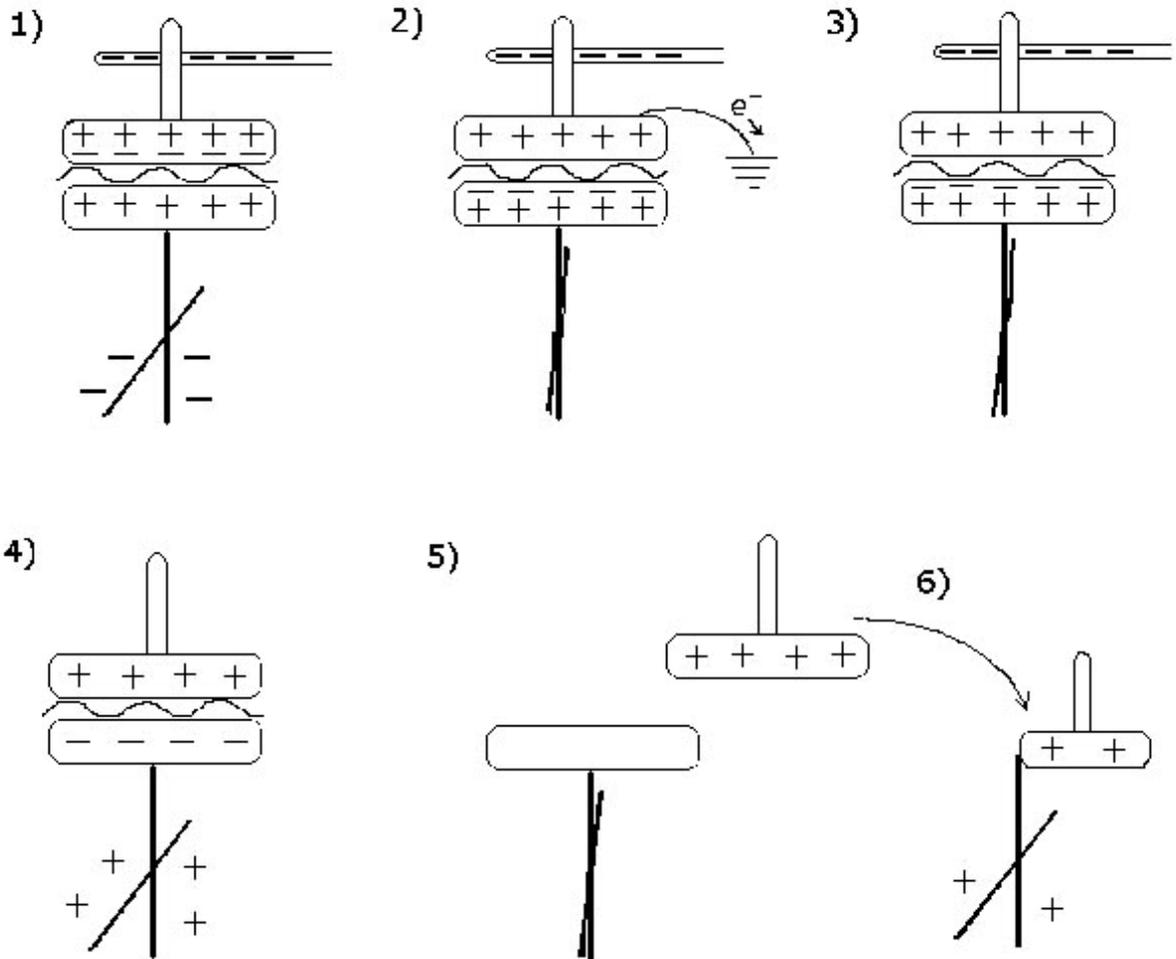
Демонстрируются возможности электрофора Вольта: многократная зарядка диска. Зарядив диск, можно предложить одному из учащихся приблизить палец к диску. При определенном (малом) расстоянии между пальцем и диском проскакивает искра. Ее можно увидеть, а также услышать треск, которым сопровождается разряд. Повторяя зарядку диска, можно предложить всем учащимся по очереди испытать на себе электрический разряд. (Оргстеклянную пластинку электризуют один раз. Естественно, постепенно заряд пластины уменьшается из-за утечки его и для улучшения результата зарядки диска пластину следует периодически подзаряжать).

4.Опыты с дисками

Используются диски из набора по электростатике без слоя диэлектрика на поверхности дисков. Эксперимент может быть

демонстрационным (коллективное решение задачи), а также индивидуальным.

4.1. На диск электromетра №1 положить целлофановую ненаэлектризованную пленку. На пленку поместить диск с изолирующей ручкой.



и т.д.

(Рис.4.)

- а)** Приблизить к диску (сверху) отрицательно заряженную палочку, не касаясь диска. Объяснить результат. Изобразить схематически распределение зарядов в системе.
- б)** заземлить верхний диск (коснуться рукой). Объяснить результат (стрелка - на нуле). Изобразить схематически распределение зарядов в системе в этом состоянии.

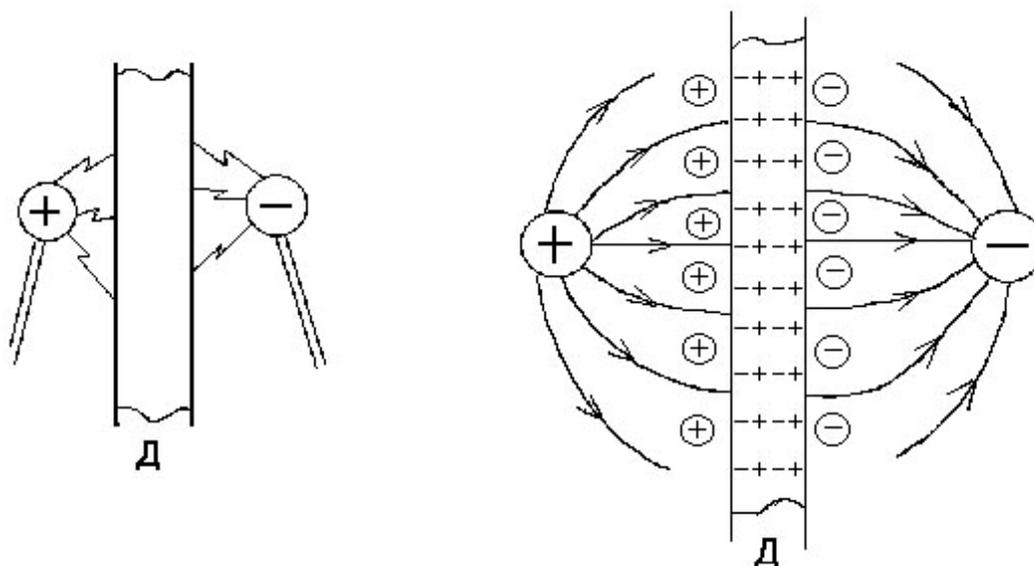
- в) Убрать заземление, а затем снять верхний диск и коснуться им стержня контрольного электрометра. Объяснить результат. Изобразить схемы.
 - г) Снова поставить незаряженный диск на диск с пленкой, поднести отрицательно заряженную палочку к верхнему диску. Заземлить нижний диск (коснуться рукой стержня электрометра). Палочку не удалять. Объяснить результат. Схема (распределение зарядов).
 - д) Убрать заземление, затем - палочку. Объяснить результат. Схема.
 - е) Что произойдет если снять диск с изолирующей ручкой? (сначала учащиеся должны ответить на вопрос, а потом проверить практически.). Снятым диском коснуться стержня контрольного электрометра. Определить знак заряда электрометра №1 (нижнего диска), используя отрицательно заряженную палочку. Изобразить схему (распределение зарядов).
 - ж) Что произойдет, если перед снятием верхнего диска (пункт "е") заземлить на короткое время этот диск? Повторить пункт "е".
- 4.2. Предлагается то же задание, но вместо отрицательной палочки использовать положительно заряженное тело (оргстекло, потертое бумагой)

5. Опыты с целлофановой пленкой ("Дырка от бублика").

- 5.1. Между шариками электрофорной машины (или в искровом промежутке высоковольтного выпрямителя "Разряд 1") поместить лист бумаги (картона) и привести в действие машину. Получить несколько разрядов в искровом промежутке, перемещая лист бумаги так, чтобы молния пронизывала бумагу в разных местах (соблюдать осторожность!).
Можно обнаружить места пробоя (отверстия малого диаметра, видимые на фоне окна днём, или на фоне искусственного источника света). Вспучивания бумаги в местах пробоя можно обнаружить, поместив бумагу между большим и указательным пальцами и перемещая между ними бумагу.
- 5.2. Попытаемся получить электрический пробой тонкой целлофановой плёнки таким же способом (8 - 10 разрядов). Отверстия в плёнке не видны (а может их и нет?). поместите плёнку между пальцами и перемещайте плёнку (см. выше). Никаких вспучиваний не обнаружите, но зато испытаете хо-ро-ший электрический удар! Попробуйте объяснить полученный результат.
Описанный эффект был случайно обнаружен двумя любознательными ученицами 10-го педкласса школы-интерната № 4 г. Воронежа в 1993

году Приведем объяснение эффекта, предложенное учащимися и студентами физмата ВГПУ.

Ионизация воздуха в искровом промежутке является и причиной и следствием разряда (подумайте, почему?). Плёнка поляризуется в сильном электрическом поле между кондукторами машины: на её противоположных сторонах наводятся противоположные по знаку заряды - части диполей. Движущиеся в искровом промежутке ионы и электроны наталкиваются на плёнку и оседают на её поверхности: положительные ионы на отрицательной поверхности (см. выше), а отрицательные частицы - на положительной стороне плёнки.



(Рис.5.)

Следует отметить, что причиной этого является не только взаимодействие ионов с диполями поляризованного диэлектрика (пленки), но и притяжение друг к другу осаждающихся на пленке положительных и отрицательных ионов (и электронов), разделенных диэлектриком. На поверхностях плёнки таким образом, накапливается значительный заряд, как на обкладках конденсатора. Но реальных обкладок нет, есть лишь разделяющий воображаемые обкладки диэлектрик - плёнка. "Бублик съели - что осталось? Дырка!" Таково происхождение названия эффекта, приведённого в качестве заголовка данного опыта. Остальное должно быть понятно: ведь если закоротить обкладки заряженного конденсатора, то происходит разряд, мощность которого может быть очень велика.

Если будет организовано исследование данного эффекта учащимися, не упустите такой момент: после "обстрела" плёнки, взявшись за её менее наэлектризованные края, поднести плёнку к диску (шару) электрометра сверху. Стрелка практически не отклоняется. О чём это говорит? Затем пусть ученик снимет заряд с верхней поверхности плёнки - проведёт по

ней пальцем (неприятных последствий не будет!). стрелка электромметра сразу отклоняется. Определите знак заряда, распределённого на нижней поверхности плёнки. Определив знаки зарядов кондукторов электрофорной машины, сопоставьте результаты ваших исследований с объяснением, приведённым выше. Нет ли противоречий? Будет над чем подумать!

6. Опыт-шутка: "Электризация" ладоней при трении друг о друга.

М.В. Ломоносов приводил пример с нагреванием ладоней при трении их друг о друга как доказательство перехода механической энергии во внутреннюю (теплоту). М.В. занимался вместе со своим другом Рихманом исследованием атмосферного электричества (известно, что Рихман изобрел электромметр своей конструкции; не путайте с электромметром Брауна, который имеется в любом физкабинете. Рихман погиб при изучении разряда молнии. Об этом следует рассказать на вечере занимательной физики подробнее). Но (далее - шутка!) как же Ломоносов не обратил внимания на факт «электризации» ладоней при трении? А вот мы сейчас "убедимся" в том, что ладони при трении их друг о друга электризуются.

До демонстрации опыта-шутки следует зарядить с помощью электрофора Вольта стержень и корпус электромметра. Для большего эффекта опыта нужно передавать заряд диска электромметру несколько раз; стержень и корпус электромметра надо каждый раз соединять тем же диском. Для предупреждения утечки заряда с корпуса на опору обязательно подложить под треногу электромметра целлофановую пленку. Этого не нужно делать, если основание электромметра изготовлено из диэлектрика. Стрелка электромметра находится на нуле, хотя и потому что, стержень с шаром заряжены одноименно!. Дело в том, что электрические поля стержня со стрелкой и корпуса электромметра компенсируются (точнее, этот факт объясняется равенством потенциалов корпуса и стержня со стрелкой - разность их потенциалов равна нулю). Равенство нулю показания электромметра говорит не об отсутствии зарядов на электромметре, а о равенстве нулю разности потенциалов корпуса и стержня.

Обращают внимание учащихся на отсутствие показания электромметра (стрелка на нуле). Затем потирают ладони и разъединив их, касаются правой ладонью стержня (шара). Стрелка резко отклоняется и на нуль не возвращается. Убрав правую руку, ставят вопрос: как нейтрализовать электромметр? Учащиеся обычно предлагают демонстратору коснуться стержня левой рукой. Делаем это. Но стрелка не возвращается на нуль. Можно предложить разрядить электромметр любому ученику (не потерявшему ладони!). Это не удастся никому, если только кто либо не

догадается (или делает это случайно) коснуться одновременно и стержня и корпуса.

Опыт повторить. При этом можно сначала зарядить стержень (стрелка отклонилась), а затем проводником соединить стержень с корпусом электрометра. (По проводнику пойдет ток, который прекратится, как только потенциалы стержня и корпуса станут равными или - для учащих - пока не наступит равновесие зарядов).

После обсуждения результатов опыта еще раз повторить его, комментируя операции.

7. Исследовательская экспериментальная задача.

Используя прибор: « цилиндр с конусом» , убедиться на опыте в том, что электрическое поле вблизи поверхности заряженного прибора тем сильнее, чем больше ее кривизна.

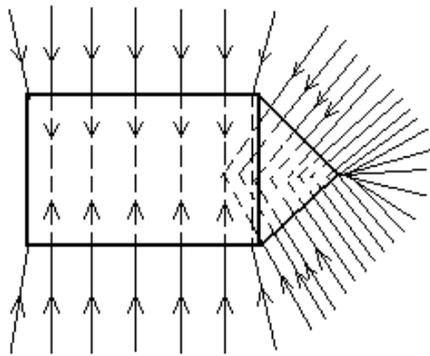
Кроме названного прибора, закрепленного на стержне электрометра, в вашем распоряжении имеется второй электрометр с полым шаром, металлический шарик на изолирующей ручке, эбонитовая палочка, капрон (мех).

Указание: при переносе заряда с поверхности прибора с помощью шарика на изолирующей ручке, касаться шариком внутренней поверхности полого шара (почему?)

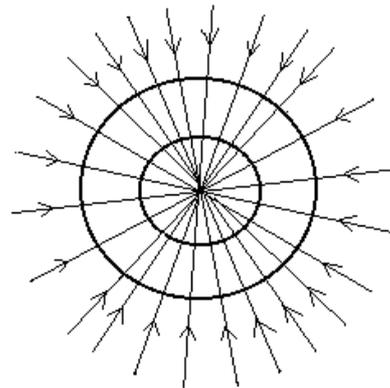
Примерный план исследования – подсказка:

1. Зарядить цилиндр с конусом отрицательно. (Заметить положение стрелки электрометра).
2. Коснуться шариком какой-либо точки цилиндра (например, отстоящей от основания на $1/3$ высоты цилиндра) и передать заряд полному шару на электрометре №2.
3. Повторить перенос заряда еще 3-4 раза, касаясь шариком одной и той же точки цилиндра.
4. Заметить, на какой максимальный угол отклонилась стрелка электрометра.
5. Подзарядить прибор до прежнего состояния (тот же угол отклонения стрелки электрометра, что и в начале исследования – см. п. 1.).
6. Разрядить электрометр с шаром.
7. Осуществить перенос заряда с поверхности цилиндра на полый шар, касаясь другой точки поверхности цилиндра (4 – 5 раз).
8. Сравнить значения максимального угла отклонения стрелки электрометра в обоих случаях (см.п.п.4. и 7.).
9. Осуществить перенос заряда с поверхности конуса на полый шар (по тому же плану – см. п.п.1-4), касаясь шариком точки, находящейся на середине образующей конуса. Сравнить значение

- максимального угла отклонения электрометра в данном случае с соответствующим углом при выполнении опыта с цилиндром (п.8.).
10. Выполнить операции по переносу заряда с вершины конуса на полый шар по тому же плану (п.п. 5-7). Сравнить значения максимальных углов отклонения стрелки электрометра с шаром во всех случаях (п.п.8-10).
 11. Выполнить опыт, касаясь шариком внутренней поверхности конуса.
 12. Объяснить, почему значение заряда получаемого шариком с изолирующей ручкой при касании с заряженным телом, тем больше, чем больше кривизна поверхности тела в месте касания ? Почему заряд внутри конуса отсутствует ?
 13. Подсказка:
 - а) Очевидно, такой результат возможен только потому, что электрическое поле вокруг заряженного тела (проводника) тем сильнее, чем больше кривизна поверхности. Это достаточно наглядно представлено на рисунках:



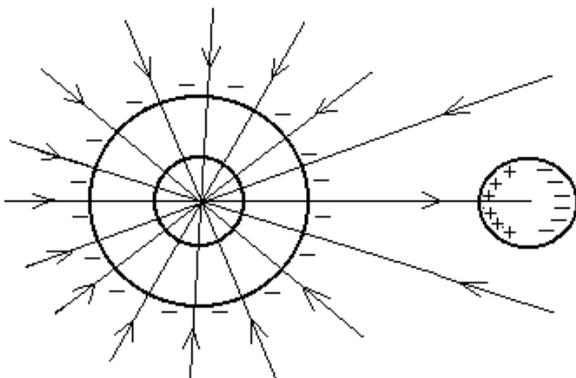
(Рис.6.) Вид сбоку
(перпендикулярно оси)



(Рис.7.) Вид вдоль
оси

Поле сильнее там, где гуще силовые линии.

- б) При помещении в электрическое поле металлического проводника (в нашем случае шарика) в последнем происходит перераспределение зарядов : на ближней к отрицательно заряженному телу (источнику поля) стороне шарика окажется положительный заряд (отсюда под действием поля электроны ушли на обратную сторону шарика) и чем меньше



(Рис.8.)

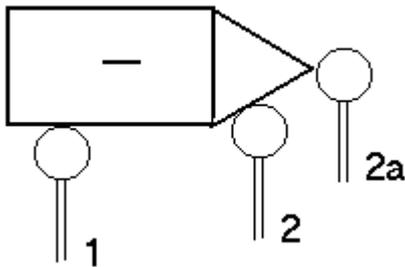
расстояние между телом и шариком, тем больше модули зарядов на противоположных сторонах шарика (рис.8)

При касании шарика с телом электроны из тела переходят на шарик, нейтрализуя его положительный заряд. После удаления шарика электроны распределяются равномерно по его поверхности.

На рисунке 7 видно, что поле сильнее вблизи вершины конуса. Следовательно, заряд наведенный на шарике при касании с вершиной конуса будет максимальным.

Очевидно, электрические поля внутри тела при равновесии зарядов на поверхности, компенсируются (см. рис. 6.). Говорят, что при этом поле внутри проводника «отсутствует», нет и избыточных зарядов.

в) Известно, что при равновесии зарядов на проводнике, его поверхность является эквипотенциальной , т.е. потенциалы всех точек поверхности



(Рис.9.)

проводника (и внутри него) одинаковы. Представим себе такой случай (см. рис.9) : поверхности отрицательно заряженного проводника (цилиндр + конус) в разных местах касаются два одинаковых по размерам шарика. Как только шарики зарядятся, их потенциалы станут такими же, как и

у исследуемого тела.

Итак, потенциалы и емкости шаров соответственно равны.

Известно, что $C = \frac{q}{j}$, откуда $q = Cj$. Будут ли одинаковыми заряды, приобретенные шариками в нашей ситуации ? Напрашивается ответ – да !

Но это противоречит результатам опытов, описанных выше !

Кстати, как практически убедиться в том, что потенциалы всех точек поверхности заряженного тела (цилиндр + конус) одинаковы ? (Очевидно, шарик с изолирующей ручкой надо соединить проводником с электрометром и перемещать шарик вдоль поверхности тела. Угол отклонения стрелки электрометра не меняется.).

г) Надо иметь в виду, что шар обладает емкостью, равной $C = 4\pi\epsilon_0 r$, если он находится в удалении от других тел. Если рядом с шаром расположены другие тела, то имеет смысл говорить об емкости системы тел, которая зависит как от размеров этих тел, так и от расстояния между шаром и окружающими телами. Смысл «емкости шара» теряется, если шар касается другого проводящего тела. В этом

случае (при соприкосновении) можно говорить о емкости единого тела (она будет больше каждого из тел в отдельности).

д) Вывод о зависимости поверхностной плотности заряда $\left(s = \frac{q}{S} \right)$ от кривизны поверхности заряженного проводника в наиболее простом случае можно получить теоретически.

Рассмотрим два металлических шара (сферы) разного радиуса (r_1 и r_2). Шары находятся на большом расстоянии друг от друга, поэтому можно говорить об электроемкости каждого шара, а не системы шаров. Один шар (r_1) заряжен (q_0), а другой (r_2) – нейтрален.

Если шары соединить длинным тонким проводником, емкостью которого можно пренебречь, то заряд q_0 распределяется между обоими шарами, причем, $q_1 + q_2 = q_0$ (1), а $C = C_1 + C_2$ (2), т.е. общая емкость шаров равна сумме емкостей первого и второго шаров. При равновесии зарядов на шарах их потенциалы равны между собой: $\varphi_1 = \varphi_2$.

Т.к. потенциал шара (поверхности шара) равен $j = \frac{kq}{r}$ или

$$j = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}, \text{ то}$$

$$C_1 = \frac{q_1}{j_1} = 4\pi\epsilon_0 r_1, \text{ а } C_2 = \frac{q_2}{j_2} = 4\pi\epsilon_0 r_2; \text{ следовательно, } \frac{C_1}{C_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad (3).$$

$$\text{Т.к. } \varphi_1 = \varphi_2, \text{ то } \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2}, \text{ а } \frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad (4).$$

Если r_1 и r_2 известны, то, пользуясь выражениями (1) – (4), можно определить значения q_1 , q_2 , φ_1 и φ_2 .

Но нам необходимо доказать, что $s \sim \frac{1}{r}$ т.е. плотность заряда пропорциональна кривизне поверхности.

Т.к. $s_1 = \frac{q_1}{S_1}$, а $s_2 = \frac{q_2}{S_2}$, то, учитывая, что $S_1 = 4\pi r_1^2$, $S_2 = 4\pi r_2^2$, получим:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{r_2^2 q_1}{r_1^2 q_2}.$$

Но $\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1}{r_2}$ (см.4.) , следовательно $\frac{S_1}{S_2} = \frac{r_2}{r_1}$, т.е. поверхностная плотность заряда обратно пропорциональна радиусу кривизны поверхности проводника (или прямо пропорциональна кривизне поверхности $\frac{1}{r}$).

Этот вывод приемлем и в случаях, когда заряженное тело имеет произвольной формы выпуклую поверхность.

Описанные в данном пособии опыты систематически выполняются студентами на занятиях по методике и технике школьного физического эксперимента в ВГПУ, а также на уроках физики в педклассах школы-интерната №4 г. Воронежа (1990-2001г.г.). В изготовлении самодельных приборов, а также в разработке новых опытов по электростатике принимали участие студенты и учащиеся.

Читатели (пользователи) данного пособия – выпускники физмата ВГПУ, очевидно, будут узнавать среди описанных в нем опытов и приборов своих «старых знакомых».

Многие, еще будучи студентами физмата, убедились (окончательно ли?), насколько важно при раскрытии сущности физических явлений опираться на эксперимент. Кое-кто может вспомнить о таком эпизоде.

На практическом занятии студенты IV курса затрудняются объяснить явление электростатической индукции. В лабораторию случайно заходит студент 1^{го} курса – выпускник школы-интерната №4 Саша Безрученко. Преподаватель (он же бывший учитель физики Саши) предлагает ему выступить перед студентами с демонстрацией этого трудного для студентов явления. Как четко был продемонстрирован им этот опыт с исчерпывающими комментариями! Даже студенты поняли!

Выпускники последних 7-8 лет сразу представят себе сущность одной интересной демонстрации, стоит только напомнить, что ее результат у нас в лаборатории называют «эффектом Черняевой - Каребиной» («Дырка от бублика» см. стр. 28).

Стоит отметить, что интерес к эксперименту по электростатике явился причиной выбора многими студентами в разные годы темы курсовой работы по методике физики : «Системы эксперимента по электростатике». Работа над этой темой была очень полезной для этих студентов. Среди них (в последние годы) – Данилова Е.

Наиболее полной, содержательной была выпускная квалификационная работа на тему студентки Тогушевой Ю.Н. (2001 г.), принявшей активное участие в создании видеофрагмента – составной части ВКР. Видеофрагмент является частью методического фонда лаборатории по методике физики ВГПУ.

Учитель физики должен заинтересовать учащихся проблемой конструирования физприборов и постановки новых опытов (или модернизации старых приборов и опытов). Это принесет большую пользу и учащимся и школе.

Успехов Вам, физики !

P.S. Спасибо всем, кто в той или иной мере способствовал появлению этого пособия.