

## Урок-лекция «Проводники в электростатическом поле»

**Дидактическая цель урока:** приобретение новых знаний и их первичное закрепление.

**Учебные задачи урока:** рассмотреть особенности расположения зарядов и электрического поля в металлических проводниках, продолжить формирование умений объяснять электростатические явления (выделять явление, выяснять причины и т.п.).

### План урока

Этапы урока	Время, мин.	Приемы и методы
I. Постановка проблемы	5	Демонстрация опыта
II. Изучение нового материала	20-25	Рассказ учителя. Беседа. Показ экспериментов. Самостоятельная работа учащихся.
III. Закрепление знаний	10	Решение качественных задач.
IV. Организация домашней работы	1-2	Сообщение учителя.

**Постановка проблемы.** В природе нас окружает множество интересных явлений, которые мы не всегда можем объяснить. Но в той или иной степени все явления объяснимы, более того для таких объяснений обычно достаточно знаний, полученных на уроках физики. Вот такой опыт. Показывается опыт “электрический ветер”. Затем объявляется, что для объяснения этого опыта необходимы знания, которые и будут получены на этом уроке. Выделяется проблема: *металлическая “звездочка” ведет себя так “странно” только при наличии на ней заряда и внешнего электрического поля.* Записывается тема урока «Проводники в электростатическом поле».

**п. 1. Электрическое поле заряженного проводника.** Рассмотрим первоначально электрическое поле заряженного проводника на примере металлического шара.

❖ Имеющиеся внутри шара свободные электроны находятся в равновесии (ведь если бы они даже и пришли в движение по каким-то причинам, то это движение не могло бы происходить бесконечно и в результате электроны бы через некоторое время остановились). Равновесие электронов означает, что силы, действующие на них уравновешены или равны нулю. А так как на электроны в подобной ситуации могут действовать только силы Кулона, то суммарная сила электрического взаимодействия равна нулю и по формуле  $\vec{E} = \vec{F} / q$  получаем, что равна нулю и напряженность суммарного электрического поля. Таким образом, **напряженность электрического поля внутри заряженного проводника равна нулю.**

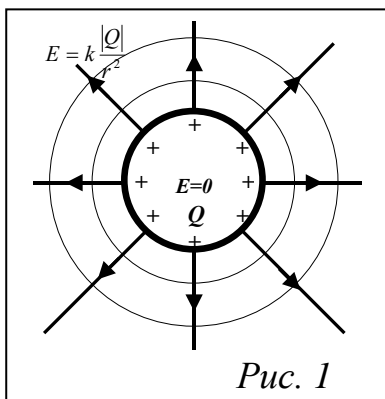
❖ Так как напряженность электрического поля внутри проводника равна нулю, то поток напряженности через любую замкнутую поверхность внутри проводника также равен нулю, и по теореме Остроградского-Гаусса получаем, что равен нулю и заряд внутри этой поверхности. Таким образом, **в случае заряженного проводника заряды собираются на поверхности проводника.** Это не говорит о том, что внутри проводника заряды вообще отсутствуют, они просто скомпенсированы (нулю равен суммарный

электрический заряд). Первым это смог экспериментально доказать Генри Кавендиш еще за 14 лет до открытия Кулоном закона взаимодействия зарядов.

Этим эффектом широко пользуются на практике, когда нужно передать некоторому проводнику весь заряд с другого проводника. Например, если заряженным металлическим шариком касаться кондуктора электроскопа, то заряд шарика распределяется между шариком и кондуктором пропорционально их радиусам, но если заряженным шариком коснуться внутренней поверхности кондуктора, то заряд шарика целиком перейдет на поверхность кондуктора. **Опыт с электроскопом и маленьким шариком.**

❖ Свободные заряды (электроны) перестают двигаться не только внутри проводника, но и на его поверхности. Это означает, что **силовые линии поля** (а соответственно и напряженность) **вблизи проводника** должны быть **направлены перпендикулярно поверхности проводника**.

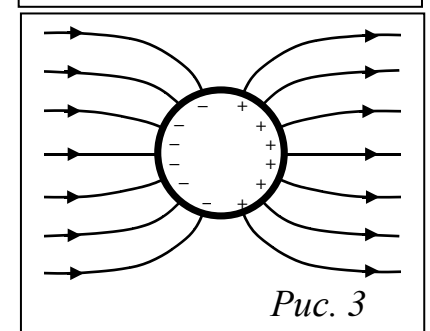
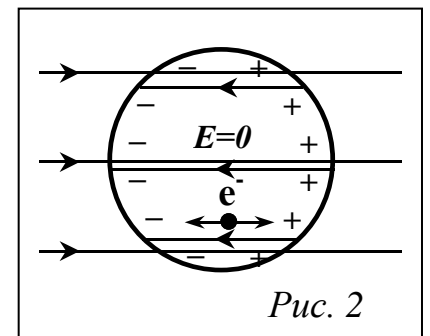
❖ Но нам известно, что поверхности перпендикулярные силовым линиям являются эквипотенциальными поверхностями. Таким образом, **все точки поверхности заряженного проводника всегда имеют одинаковые потенциалы**.



❖ А так как внутри напряженность поля равна нулю, то по формуле  $U = E \cdot d$  получаем, что напряжение между любыми точками не только на поверхности проводника, но и внутри него также равно нулю. Получаем, что **потенциалы всех точек внутри проводника одинаковые и равны потенциалу на поверхности проводника** (см. рис. 1).

## п. 2. Незаряженный проводник в электростатическом

**поле.** Предлагаем учащимся самостоятельно рассмотреть распределение зарядов и электрическое поле незаряженного проводника в электрическом поле. При этом учитель контролирует выполнение задания и через некоторое время объясняет решение, последовательно иллюстрируя его рисунками, которые проецируются через графопроектор (рис. 2 и 3). Обращаем внимание учеников на то, что в проводнике происходит перераспределение зарядов называемое электростатической индукцией.

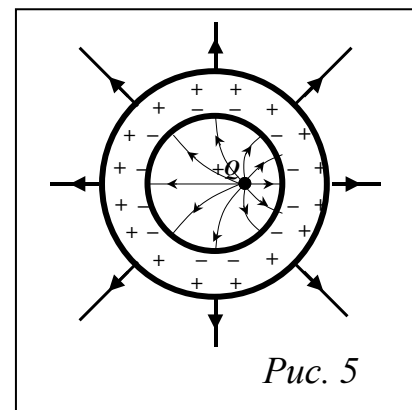
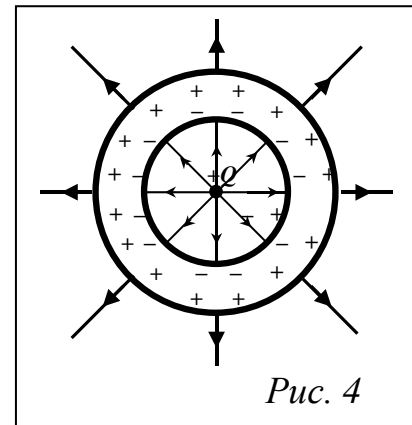


**п. 3. Электростатическая защита.** Электрическое поле внутри металла равно нулю, а значит, если мы создадим полый проводник (металлическая сфера или проводник с полостью), то электрическое поле и в толще металла и внутри полости будет равно нулю. Таким образом, полый металлический проводник экранирует внешнее электрическое поле.

Этим широко пользуются на практике для устройства электростатической защиты. Для того чтобы оградить чувствительные электрические приборы от возмущающего действия внешних электрических полей, их заключают в замкнутые металлические корпуса.

**Опыт.** Демонстрируем на экспериментальной установке (взвешенные мелкие частицы диэлектрика, взвешенные в масле) через графопроектор отсутствие электрического поля внутри полостей.

Перед учениками ставится очередная проблема. *Может ли полый проводник экранировать электрические поля зарядов, находящихся внутри полости?* Предлагается изобразить электрическое поле системы, состоящей из точечного заряда  $Q$ , расположенного внутри металлической полости. Начнем с простого частного случая: заряд расположен в центре полости. Из симметрии ясно, что индуцированные заряды на внутренней и внешней поверхностях распределены равномерно. Поскольку в толщине стенок поля нет, индуцированный на внутренней поверхности заряд равен  $-Q$ . Заряд на наружной поверхности вследствие нейтральности проводника равен  $+Q$ . Таким образом, создаваемое этой системой электрическое поле совпадает с полем точечного заряда, расположенного в центре шара. На дом предлагается вопрос: «*Как изменится картинка поля, если заряд немного сместит от центра?*». Ответ показан на рис.5.



**п. 4. Электрический ветер.** При исследовании распределения зарядов на проводнике сложной формы оказывается, что поверхностная плотность заряда различна в разных точках поверхности: она мала в углублениях и принимает наибольшее значение на остриях. Получается, что поверхностная плотность заряда зависит от радиуса закругления выпуклых поверхностей. Однако так как вблизи поверхности заряженного проводника электрическое поле можно считать однородным, то напряженность оказывается пропорциональной поверхностной плотности заряда. Поэтому напряженность вблизи заряженных тел сложной формы также весьма различна. Она особенно велика возле участков с малым радиусом кривизны, т.е. у заострений. В таких местах напряженность поля может достигать значений достаточных для ионизации окружающего воздуха. Таким образом, молекулы воздуха распадаются на положительные и отрицательные ионы, которые начинают двигаться в электрическом поле, увлекая при этом и нейтральные молекулы, отчего возникает направленное течение воздуха от острия, или “электрический ветер”. Явление “электрического ветра” демонстрируем на эксперименте и объясняем с помощью заготовленных схем.

**п. 5. Заземление.** При заземлении проводящих тел их суммарный потенциал, образованный всеми заряженными телами, становится равным потенциалу Земли, который принимается за ноль. Например, шар с зарядом  $Q$  и радиусом  $R_1$  окружат проводящей сферой радиусом  $R_2$ , которая заземляется. Определить заряд сферы.

**Дополнительные задания.**

1. Почему кондуктор электроскопа и другие проводники для опытов по электростатике делаются полыми?
2. Почему заряженный проводник, покрытый пылью, быстрее теряет свой заряд?
3. Подвешенная металлическая гильза притягивается как к наэлектризованной эбонитовой палочке, так и к стеклянной. Означает ли это, что гильза заряжена зарядом какого-то третьего рода?
4. Если к заряженному “султану” поднести иголку острием, то листочки султана постепенно начинают “опадать”. Почему?
5. К металлическому незаряженному шару радиусом  $R$  подносят точечный заряд  $q$ , который располагается на расстоянии  $d$  от центра шарика. Определите потенциал шарика.

**Домашнее задание.** Дана система, состоящая из трех concentric проводящих сфер радиусами  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . Вторая сфера имеет заряд  $Q$ . Внутреннюю и крайнюю сферы заземлили. Определите заряды сфер. Постройте графики зависимостей напряженности и потенциала электрического поля от расстояния до центра.

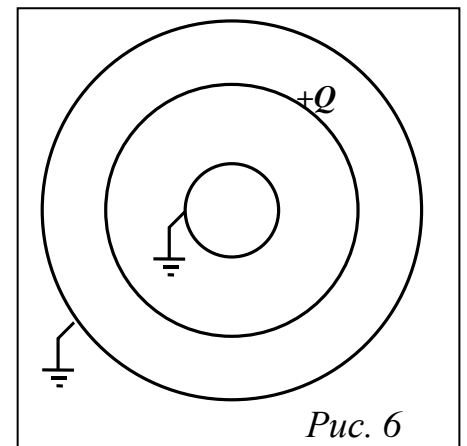
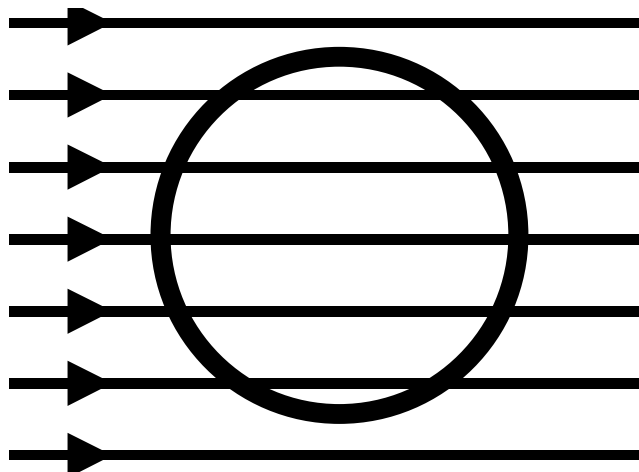
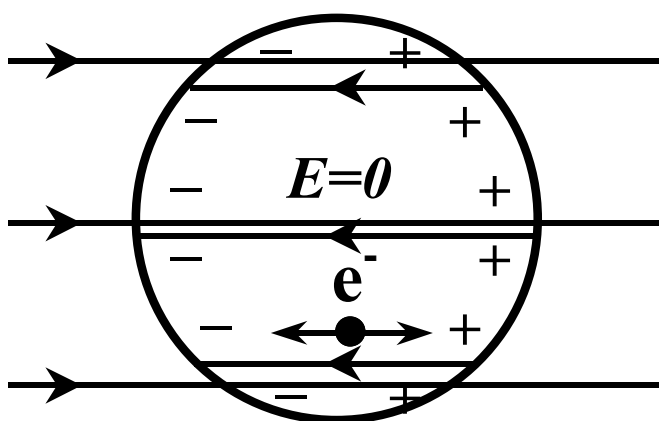
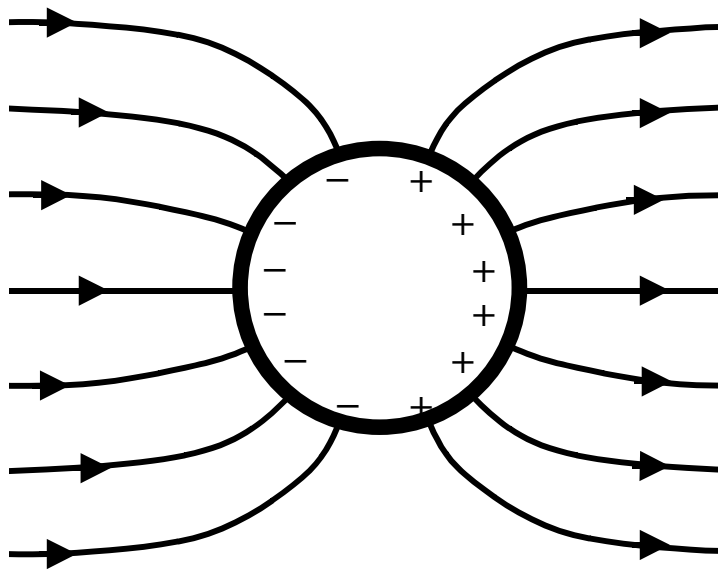
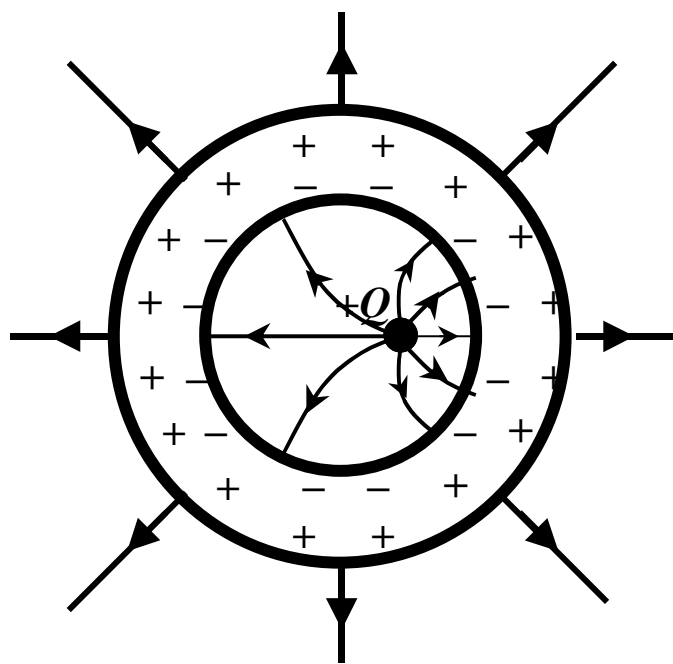
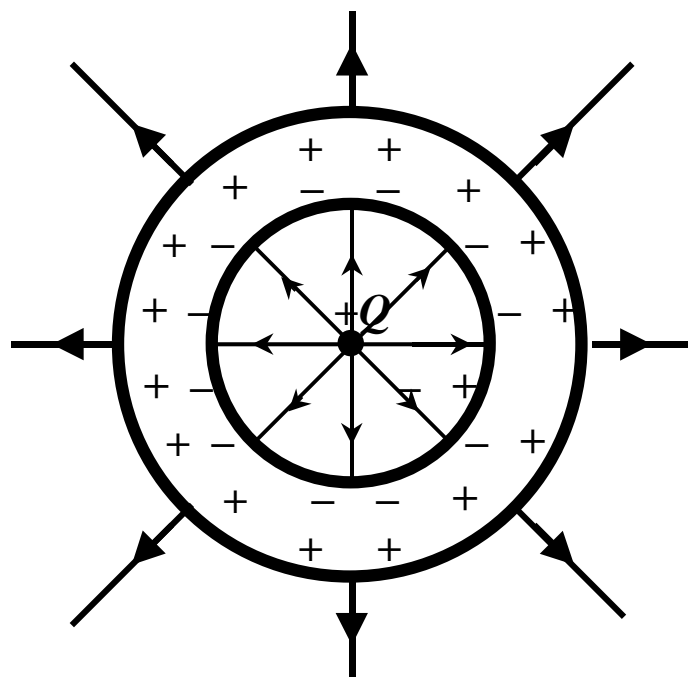
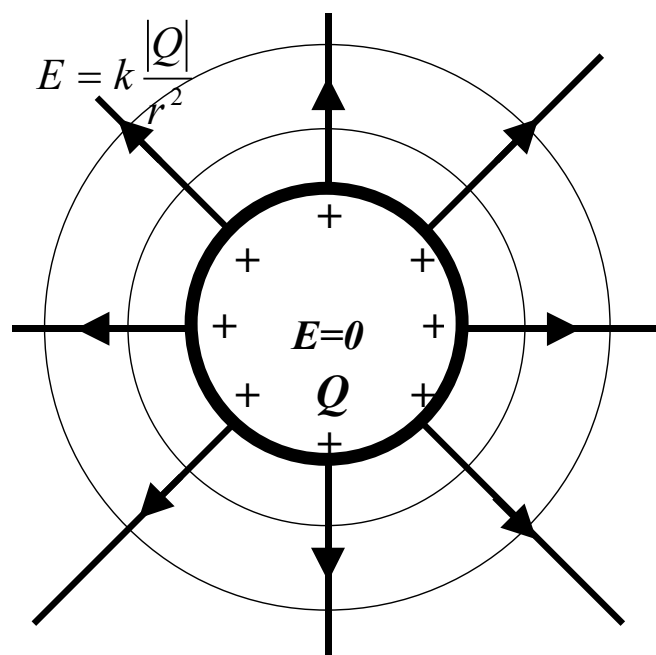


Рис. 6



- ❖ напряженность электрического поля внутри заряженного проводника равна нулю;
- ❖ заряды всегда собираются на поверхности заряженного проводника;
- ❖ силовые линии поля вблизи проводника направлены перпендикулярно поверхности проводника;
- ❖ все точки поверхности заряженного проводника всегда имеют одинаковые потенциалы, потенциалы всех точек внутри проводника также одинаковы и равны потенциалу на поверхности проводника.

