

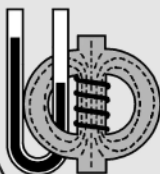
ISSN 2307-5457

*Primum
inter pares*

Материалы XXIX Всероссийской
научно-практической конференции

„Учебный физический эксперимент:
Актуальные проблемы. Современные
решения“

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ



**УЧЕБНАЯ
ФИЗИКА**

Октябрь - декабрь 2024 №4

Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

- В. В. Майер ОПЫТЫ С ЭЛЕКТРОФОРМ КАК СПОСОБ ВВЕДЕНИЯ
Е. И. Вараксина ПОНЯТИЯ СВОБОДНЫХ И СВЯЗАННЫХ ЗАРЯДОВ 3
Ю. А. Корнев

Старшая школа

- Ш. Г. Зиятдинов ЗАДАЧИ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ
НА ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ В КУРСЕ
ШКОЛЬНОЙ ФИЗИКИ..... 12

Высшая школа

- С. В. Барышников ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ЗАРЯДА
ЭЛЕКТРОНА К ЕГО МАССЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА 24

- В. В. Майер ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ:
Е. И. Вараксина СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕМОСТРАЦИОННОГО
И. А. Васильев АНАЛИЗАТОРА ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА ... 31

Исследования

- Е. Л. Казакова АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО
О. В. Сергеева ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ
ФИЗИКИ В ВУЗЕ 51

- С. В. Костарев СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ
Ю. С. Остроумова ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ В ПОДГОТОВКЕ ВОЕННЫХ
С. Д. Ханин СПЕЦИАЛИСТОВ В НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
НАПРАВЛЕНИИ 62

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 70

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ В 2024 ГОДУ 71

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

И. В. Гребенев д.п.н., профессор, Нижний Новгород
М. Д. Даммер д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев д.п.н., профессор, Екатеринбург
О. В. Лебедева д.п.н., доцент, Нижний Новгород
Ю. А. Сауров д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
А. П. Усольцев д.п.н., профессор, Екатеринбург

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков д.п.н., профессор, Тамбов
Г. Г. Никифоров к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ф. А. Сидоренко д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская–Назарова к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Т. Н. Шамало д.п.н., профессор, Екатеринбург

Перечень ВАК: Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.
E-mail: uch-fiz@mail.ru, kropach@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77–69506.

Подписной индекс: 79876.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 02.12.24. Подписано в печать 16.12.24.

Дата выхода в свет: 24.12.24.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 166. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Электромагнитная индукция в разных системах отсчета [Майер В. В., Вараксина Е. И. Демонстрационные опыты перед изучением основ специальной теории относительности // Физика в школе. — 2022. — № 2. — С. 29–35.].

Научная статья

ББК 74.262.23

УДК 372.853

В. В. Майер, Е. И. Вараксина, Ю. А. Корнев
ОПЫТЫ С ЭЛЕКТРОФОРМ КАК СПОСОБ
ВВЕДЕНИЯ ПОНЯТИЯ СВОБОДНЫХ
И СВЯЗАННЫХ ЗАРЯДОВ

Выявлено противоречие между значимостью фундаментальных понятий свободного и связанного зарядов для элементарного курса физики и отсутствием простого и убедительного эксперимента для их введения и формирования. Устранение этого противоречия достигается постановкой в классе серии демонстрационных опытов с электрофором и неоновой лампой.

Ключевые слова: электрофор, принцип действия, неоновая лампа, свободные и связанные заряды.

V. V. Mayer, E. I. Varaksina, Yu. A. Kornev
EXPERIMENTS WITH AN ELECTROPHORE
AS A WAY TO INTRODUCE THE CONCEPT
OF FREE AND BOUND CHARGES

A contradiction has been revealed between the importance of the fundamental concepts of free and bound charges for an elementary physics course and the lack of a simple and convincing experiment to introduce and form them. The elimination of this contradiction is achieved by performing a series of demonstration experiments with an electrophor and a neon lamp in the classroom.

Keywords: electrophor, principle of operation, neon lamp, free and bound charges.

DOI: 10.62957/2307-5457-2024-4-3-11

1. Введение: дидактическая проблема исследования

Понятия свободных и связанных зарядов явно или неявно используются уже в самых первых опытах электростатики [1, 2], в которых изучается взаимодействие заряженных тел и устанавливается факт деления вещества на проводники и диэлектрики. Поэтому в электродинамике они относятся к разряду фундаментальных.

Однако экспериментальное доказательство существования свободных и связанных зарядов обычно не проводится. Причина скорее всего в том, что, во-первых, указанные понятия как бы самоочевидны и не нуждаются в особом обосновании, и, во-вторых, отсутствует простой и убедительный опыт, позволяющий непосредственно на уроке в течение нескольких минут показать, что заряды могут быть как связанными, так и свободными. Таким образом, налицо противоречие между необходимостью экспериментального обоснования существования свободных и связанных зарядов и отсутствием простого и убедительного эксперимента, позволяющего осуществить это обоснование на школьном уроке.

2. Решение проблемы свободных и связанных зарядов в курсе общей физики педагогического вуза

В конечном итоге учитель на уроке рассказывает и показывает обычно то, что содержится в школьном учебнике и чему его научили в педагогическом вузе. Известный курс электродинамики для будущих учителей физики [3] вводит понятия свободных и связанных зарядов с опорой на учебный эксперимент.

«Если диэлектрический стержень небольших размеров, подвешенный на нити (рис. 1.1) внести в однородное электростатическое поле, то он будет поворачиваться, стремясь расположиться параллельно линиям поля. Если же поле неоднородно (рис. 1.2), то стерженек не только поворачивается, но и одновременно втягивается в область сильного поля. Это поведение подобно поведению незаряженного металлического стерженька. Однако есть и существенная разница в характере их электризации. Если проводник разделить в поле на две части, то на них обнаруживаются равные по модулю свободные заряды противоположных знаков; их можно передать другим проводникам, приводя последние в соприкосновение со стерженьком после его разделения.

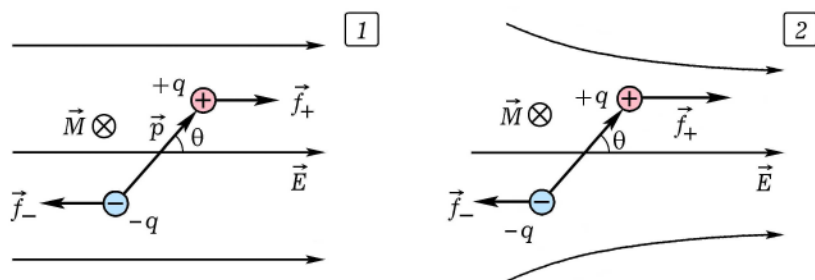


Рис. 1. Диполь в однородном и неоднородном электростатическом поле

Если разделить на две части диэлектрический стерженек, находящийся в электростатическом поле, то каждая из этих частей

будет вести себя подобно целому стерженьку; то же произойдет и при дальнейшем делении стерженька. Такое поведение можно объяснить, допустив, что в диэлектрике также возникают наведенные заряды; но их нельзя снять с диэлектрика, так как они не являются свободными. Их называют *связанными* зарядами. Появление связанных зарядов во всем объеме диэлектрика (что доказывается его поведением при разрезании на части) обусловлено так называемой *поляризацией диэлектрика*» [3, с. 48–49].

В приведенной здесь выписке опыты описаны так, будто они хорошо известны студентам. На самом деле такие опыты в школе никогда не ставятся, так как их трудно осуществить на практике. Понятно, что небольшой стерженек из металла или диэлектрика легко изготовить [4] и за центр масс подвесить на нити между пластинами плоского конденсатора. При подаче напряжения на конденсатор этот стерженек действительно повернется, ориентируясь по полю. Но получится ли, *не нарушая условий эксперимента*, разрезать подвешенный за середину стерженек пополам, чтобы убедиться в наличии свободных или связанных зарядов?

Итак, в вузовском учебнике физики предлагается для экспериментального доказательства существования свободных и связанных зарядов использовать *умозрительный* опыт, на *воображаемых* результатах которого, как на установленных фактах, в дальнейшем строится физическая теория. Что же это такое, как не грубое нарушение принципа научности, лежащего в основе общепринятой теории и методики обучения физике [5]?

3. Неоновая лампа как индикатор движения зарядов и их знака

Для описанных ниже опытов наиболее пригодна неоновая лампа типа ТН-02 (ВМН-2). Она состоит из стеклянного баллона с двумя одинаковыми электродами, который заполнен инертным газом неоном при низком давлении (рис. 2).

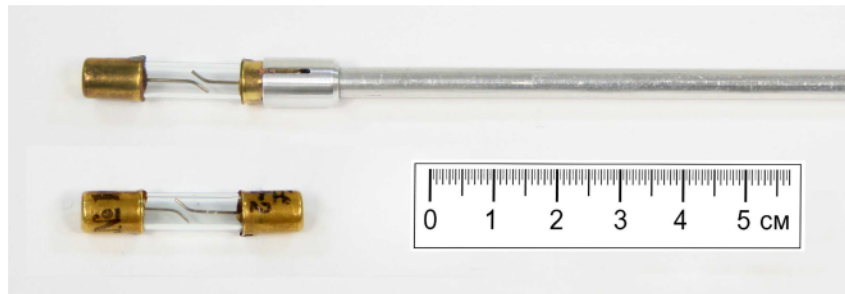


Рис. 2. Неоновая лампа типа ВМН-2 со специальным металлическим держателем и без него

Чтобы показать принцип действия этой лампы, собирают экспериментальную установку в соответствии со схемой, изображенной на рис. 3. В ней используются: источник постоянного напряжения порядка 100 В; переменный резистор R_1 сопротивлением $R_1 = 5 \text{ кОм}$, выполняющий функцию потенциометра; вольтметр $PV1$ и миллиамперметр $PA1$; постоянный резистор R_2 сопротивлением $R_2 = 10 \text{ кОм}$ и неоновая лампа $HL1$ типа ВМН-2.

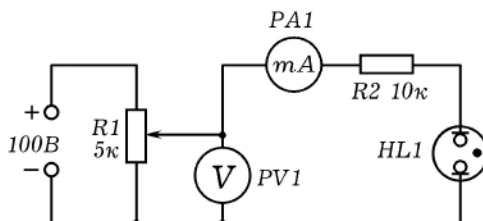


Рис. 3. Принципиальная схема установки для снятия вольтамперной характеристики неоновой лампы

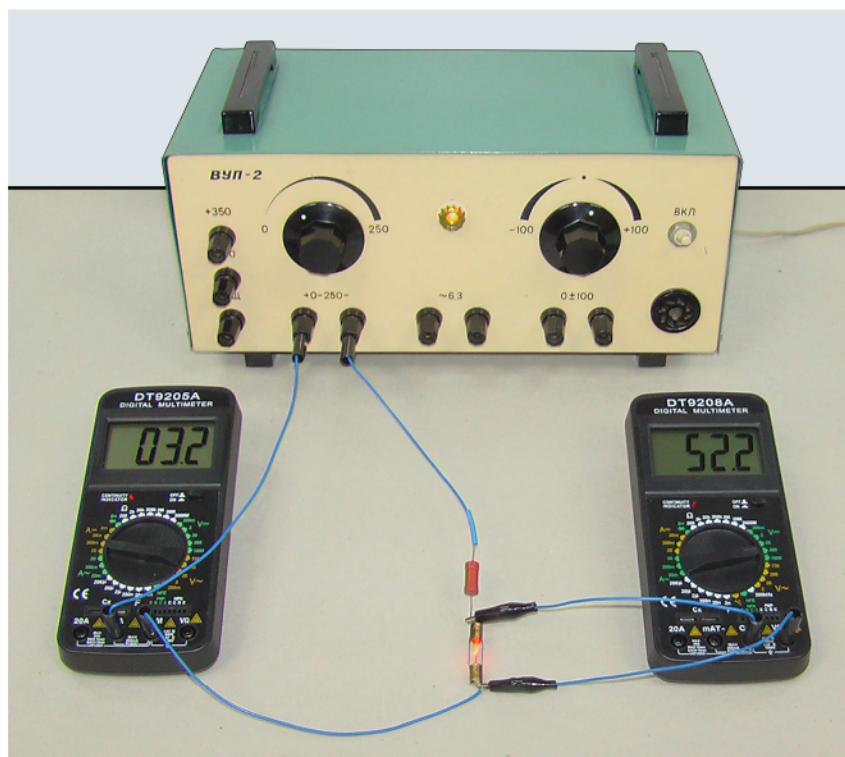


Рис. 4. Экспериментальное изучение принципа действия неоновой лампы

На рис. 4 приведена фотография этой установки. В ней источником является, например, школьный блок питания ВУП–2, который имеет выход, регулируемый по напряжению в пределах от 0 до 250 В, что позволяет исключить из схемы потенциометр R_1 . В качестве вольтметра и миллиамперметра использованы цифровые мультиметры с пределами измерений 200 В и 20 мА соответственно. Ограничивающий ток в неоновой лампе постоянный резистор R_2 имеет сопротивление $R_2 = 10$ кОм.

После сборки установки регулятор выходного напряжения ставят на нуль и включают тумблер питания блока ВУП–2. Плавно увеличивают напряжение на лампе, отслеживая его величину по вольтметру. Наблюдают, что при этом неоновая лампа не горит, и сила тока через нее практически равна нулю. Когда напряжение достигает примерно 60 В, лампа внезапно загорается, и напряжение на ней скачком несколько уменьшается. Замечают, что свечение неона происходит возле того электрода, который соединен с отрицательным полюсом источника. Продолжают постепенное увеличение напряжения и обнаруживают, что возрастают сила тока через лампу и яркость свечения газа. Уменьшают напряжение и замечают, что перед погасанием лампы снижается площадь электрода, охваченная свечением. Переворачивают лампу и убеждаются, что теперь такие же явления происходят возле второго электрода.

Из проделанных опытов делают вывод: неоновая лампа может служить индикатором знака заряда, поскольку свечение газа всегда происходит возле ее катода — электрода, соединенного с отрицательным полюсом источника. Кроме того, свечение газа показывает направление электрического тока в лампе от анода к катоду; электроны при этом движутся в противоположном направлении от катода к аноду.

Экспериментальное изучение неоновой лампы может составить предмет внеурочного проектного исследования школьников. Для этого необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности: исполнители проекта собирают экспериментальную установку; учитель проверяет правильность сборки, включает в сеть блок питания и регулирует постоянное напряжение; обучающиеся наблюдают явления, записывают значения напряжения и силы тока, строят и анализируют вольтамперную характеристику неоновой лампы.

4. Связанные и свободные заряды в опытах с электрофором

Электрофор представляет собой физический прибор, который позволяет многократно получать свободные заряды, пользуясь один раз созданными связанными зарядами. Именно поэтому его удобно использовать для формирования понятий свободных и связанных зарядов.

Для опытов с электрофором готовят круглую металлическую пластину на изолирующей ручке от школьного разборного конденсатора, несколько превышающую ее по площади квадратную пластину из *изолона* (это *вспененный полиуретан*, из которого изготавливают туристические коврики), и кусок чистого сухого меха (его можно заменить шерстяной варежкой).

Опыт 1. Связанные заряды. Изолон кладут на демонстрационный стол и электризуют, натирая верхнюю поверхность его мехом. Неоновую лампу берут за один электрод и вторым электродом прикасаются к наэлектризованной поверхности изолона. При этом наблюдают, что возле электрода, касающегося изолона, возникает кратковременная вспышка неона. Повторяют опыт, касаясь тем же или другим электродом наэлектризованной поверхности в другой точке, и вновь наблюдают вспышку газа возле того электрода лампы, который касался изолона. Фотография описанного опыта приведена на рис. 5.1. Чтобы не загромождать изображение, на ней неоновая лампа снабжена металлическим держателем из дюралевой трубки (рис. 5.2).

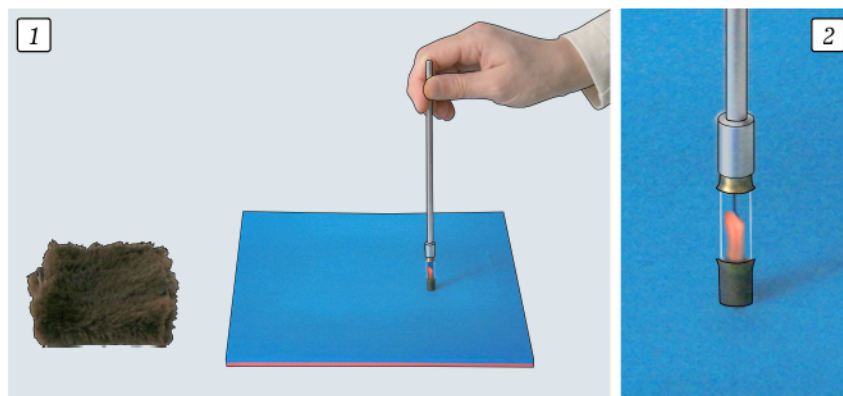


Рис. 5. Обнаружение связанных отрицательных зарядов на поверхности наэлектризованного изолона

Из опыта делают *выводы*: 1) так как неон светится возле нижнего электрода лампы, то через лампу и тело экспериментатора на землю движутся электроны; 2) следовательно, на наэлектризованной поверхности изолона находятся отрицательные заряды; 3) их сразу не удастся удалить со всей поверхности; 4) значит, они не могут перемещаться по изолону. Таким образом, эти заряды логично назвать *связанными* с телом, на котором они находятся.

Опыт 2. Свободный отрицательный заряд. На наэлектризованный изолон, держась за изолирующую ручку, кладут металлический диск и прикасаются одним из электродов неоновой лампы к диску (рис. 6.1). Наблюдают значительно более яркую, чем в предыдущем

опыте, вспышку света возле того электрода, который коснулся диска (рис. 6.2). Но при повторном прикосновении к диску неоновая лампа вообще не вспыхивает или вспыхивает очень слабо. Снимают диск с изолона и, касаясь неоновой лампой поверхности изолона в разных точках, наблюдают вспышки газа в лампе.

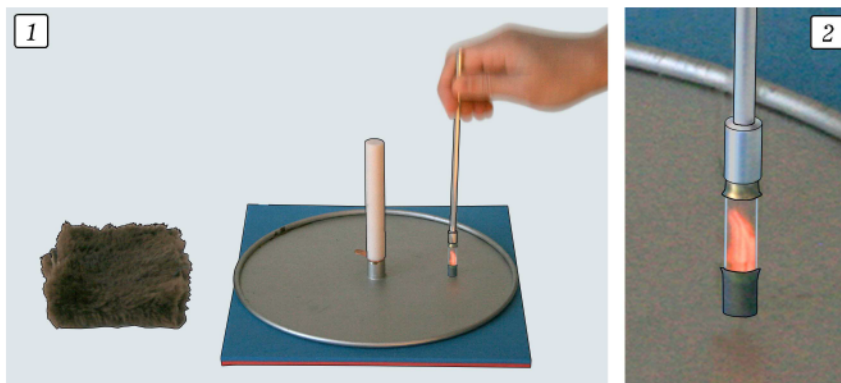


Рис. 6. Демонстрация свободных отрицательных зарядов на металлическом диске

Вывод: 1) на верхней поверхности диска имеется такой же по знаку, как на поверхности изолона, отрицательный заряд; 2) это *свободный* заряд, так как он полностью со всего диска уходит на землю; 3) при этом на поверхности изолона остается отрицательный *связанный* заряд; 4) следовательно, на металлической пластине произошло перераспределение зарядов: отрицательный заряд переместился к верхней поверхности пластины, а возле изолона остался положительный заряд; 5) явление перераспределения зарядов в проводнике, находящемся в электрическом поле, называется *электростатической индукцией*.

Опыт 3. «Свободный» положительный заряд. На наэлектризованный изолон помещают металлический диск и, коснувшись его электродом неоновой лампы, еще раз показывают, что с верхней поверхности диска уходит отрицательный заряд. Поднимают диск над изолоном и, коснувшись его тем же электродом неоновой лампы, показывают, что теперь загорается тот электрод, который через экспериментатора соединен с землей (рис. 7.1). При повторных соединениях лампы с диском вспышка света не возникает. Нередко между положительно заряженным диском и неоновой лампой проскакивает хорошо заметная искра (рис. 7.2).

Вывод: 1) на поднятом над изолоном металлическом диске остается «свободный» положительный заряд; 2) при прикосновении неоновой лампы к диску этот заряд полностью уходит на землю; 3) так как положительные ионы не могут перемещаться по металлу,

то реально электроны с земли перемещаются на диск, компенсируя созданный в опыте 2 недостаток электронов на диске.

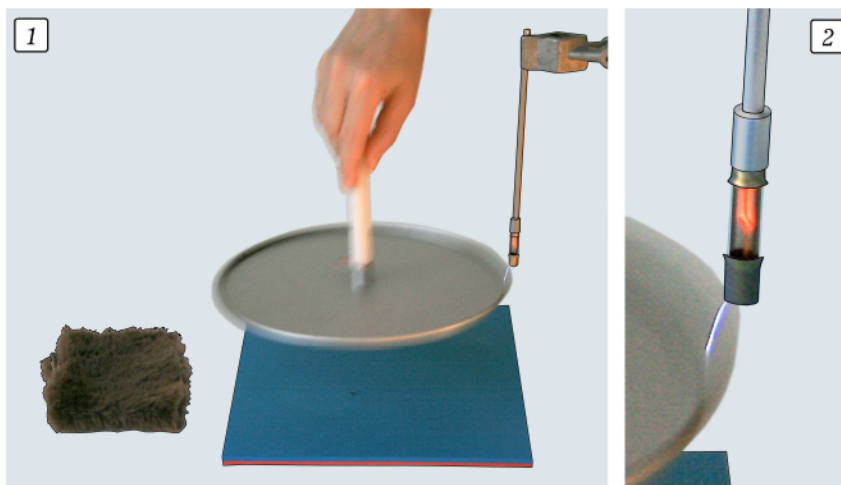


Рис. 7. Наблюдение «свободных» положительных зарядов в металле

5. Заключение: возможное решение проблемы

1. Опыты с электрофором просты, безопасны и убедительны. Они не только позволяют быстро и безупречно ввести понятия свободных и связанных зарядов, но и способствуют развитию физического мышления обучающихся, которые вместе с учителем несколько раз проходят по циклу научного познания Эйнштейна–Разумовского [6, с. 569–570; 7 с. 14, 25–26].

2. Неоновая лампа в этих опытах не обязательна. Индикатором наличия заряда на поверхностях диэлектрика и металла могут служить искровые разряды. Возможно также применение в перечисленном выше оборудовании вместо неоновой лампы эбонитовой палочки и электрометра. Преимущество неоновой лампы в том, что, помимо прочего, она связывает «глубокую древность» эпохи Алессандро Вольта (изобретатель электрофора, 1775 г.) с современностью.

3. Описанные в статье опыты убедительно показывают школьникам, что в физике справедливость любых утверждений должна быть доказана или обоснована натурным экспериментом.

Таким образом, обозначенная во введении проблема исследования получила одно из возможных решений.

Исследование выполнено на базе ФИП «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методология создания и внедрения современных учебных физических приборов и опытов для урочной и внеурочной деятельности по физике в средней

школе и в педагогическом вузе» (ХУА-2024-0030) при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках госзадания, № НИОКТР 1023040600021-1-5.3.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перышкин И. М. Физика: 8–й класс: базовый уровень: учебник / И. М. Перышкин, А. И. Иванов. — Москва: Просвещение, 2023. — 255 с.
2. Мякишев Г. Я. Физика: 10–й класс: базовый и углубленный уровни: учебник / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой. — Москва: Просвещение, 2024. — 432 с.
3. Гершензон Е. М., Малов Н. Н., Мансуров А. Н. Электродинамика: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2002. — 352 с.
4. Песин А. И., Свистунов А. Ю., Валиев Б. М. Модельный эксперимент для изучения электростатического поля в школьном курсе физики // Учебная физика. — 1999. — № 2. — С. 19–28.
5. Теория и методика обучения физике в школе: общие вопросы: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурышева, Н. Е. Важеевская и др.; под ред. С. Е. Каменецкого, Н. С. Пурышевой. — М.: Академия, 2000. — 368 с.
6. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. В 4 т. Т. 4. — М.: Наука, 1967. — 600 с.
7. Разумовский В. Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. Пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1975. — 272 с.

Глазовский государственный
инженерно-педагогический
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 30.09.24.