

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ УРОК О ЗАКОНЕ СОХРАНЕНИЯ ЗАРЯДА

A FUNDAMENTAL LESSON ABOUT THE LAW OF CONSERVATION OF CHARGE

Научная статья

Scientific article

ББК 74.262.23

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2025_5_3

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ю.А. Сауров , д.п.н., член-корреспондент РАО, профессор кафедры физики и методики обучения физике, Вятский государственный университет, г. Киров; saurov-ya@yandex.ru | Y.A. Saurov , DrSci (Pedagogy), corresponding member of RAO, professor of the Department physics and physics teaching, Vyatka State University, Kirov; saurov-ya@yandex.ru |
| М.П. Уварова , к.п.н., доцент кафедры физики и методики обучения физике, Вятский государственный университет, г. Киров; mpozolotina@mail.ru | M.P. Uvarova , PhD (Pedagogy), Assistant professor of the Department of physics and methods of teaching physics, Vyatka State University, Kirov; mpozolotina@mail.ru |
| Ключевые слова: урок, научный метод познания, методическое мышление, модели уроков | Keywords: content, scientific method of cognition, methodical thinking, lesson models |
| Аннотация. В статье на примере закона сохранения заряда вводится методическое понятие о фундаментальном уроке в рамках технологии «моделей уроков» | Abstract. Using the example of the law of conservation of charge, the article introduces a methodological concept of a fundamental lesson within the framework of the technology of «lesson models» |

© Сауров Ю.А., Уварова М.П., 2025

Введение

С точки зрения методики к фундаментальным урокам мы относим такие уроки, на которых изучаются: а) фундаментальные физические объекты и явления, б) фундаментальные физические законы. Обычно это взаимосвязанные вопросы. С точки зрения процессов учебная деятельность должна строиться с ориентиром на освоение научного метода познания (В.Г. Разумовский и др.). И эти целевые установки принципиальны.

Первым уроком раздела «Электродинамика» является урок по введению понятия и использованию закона сохранения заряда. Нет необходимости говорить о

фундаментальности законов сохранения, которые являются общезначимыми законами. Однако, к сожалению, закону сохранения заряда традиционно уделяется мало внимания — в электростатике его рассматривают бегло. По разным причинам в непрофильном курсе школьной физики опыты не демонстрируют и при решении задач закон сохранения заряда используют явно недостаточно. Все внимание концентрируется на законе Кулона. В электродинамике существует только два фундаментальных объекта — заряд и поле. И фундаментальным законом взаимодействия зарядов является закон сохранения. Важно, что он доступен для освое-

ния, в том числе при хорошей пропедевтике логики познания при сравнительно подробном изучении законов сохранения в механике [1].

Второй урок (и последующие уроки) посвящен применению закона сохранения заряда в случае тех или иных электрических систем. В электростатике это не очень актуально, а вот при изучении электрических цепей полезно. Напомним, что электрические цепи по определению с точки зрения электрических явлений — замкнутые физические системы.

При изучении темы ставится основной вопрос: «Какие физические явления описывает закон сохранения заряда?» Краткий ответ: «Электрические явления в замкнутых системах». Методические трудности ответа на этот вопрос связаны с разнообразием проявления электрических явлений и, конечно, со сложностью количественного описания этих явлений.

Методологически интересной является статья Е. Вигнера «Инвариантность в физической теории», в которой автор показывает получение классических законов сохранения (импульса и др.) из принципов геометрической инвариантности. Но для закона сохранения электрического заряда такого простого решения не находится [2]. Идеи инвариантности можно использовать при углубленном изучении физики.

Вариант методики организации первых уроков. Сначала идет вводный урок темы «Электрическое поле» под названием «Взаимодействие электрических зарядов»: повторение и углубление понятия об электрическом заряде, затем рассказ о взаимодействии с опорой на качественные экспериментальные задачи, в заключение вводится закон Кулона. Второй урок темы в таком варианте изучения должен быть посвящен закону сохранения заряда. Заметим, что в настоящее время этот закон рассматривается в учебниках как малый фрагмент параграфа. Фундаментальность закона обозначается, но не предусмотрена.

Предложенный урок позволит решить данную проблему.

Задачи урока: повторить представления о заряженных телах, ввести понятие о точечной модели заряженного тела, изучить взаимодействие неподвижных заряженных тел (точечных зарядов!); на основе экспериментов с опорой на элементы электронной теории сформулировать закон сохранения заряда; формировать умения объяснять электрические явления на основе закона сохранения заряда и закона Кулона.

План урока. I. Актуализация знаний. II. Изучение нового материала. III. Формирование знаний и умений. IV. Подведение итогов и домашнее задание.

Методический комментарий. План урока по структуре традиционен. В методической разработке еще раз обращается внимание учителя на необходимость организации экспериментальной деятельности на всех этапах урока по изучению закона сохранения заряда.

Ход урока

I. Актуализация знаний организуется в кратком фронтальном повторении по нижеприведенным вопросам. Как происходит электризация тел? Образуются заряды или перераспределяются заряды при электризации? (Повторение опытов сопровождается выполнением модельных рисунков.)

II. Изучение нового материала.

1. Ставится учебная проблема урока при обсуждении следующего. Изменяется ли заряд тела, если с телом ничего не происходит? (Нет.) Могут ли заряды одного тела переходить на другое тело? (Да.) Изменяются ли заряды тел при их взаимодействии? Выясним, изменяется ли общий заряд взаимодействующих тел. (В общем случае — да. Но может быть и нет.)

2. Организация второй и третьей частей урока происходит в диалоге при постановке опытов [3; 4]. При этом обращается внимание как на выделение явления, так и на его понимание при теоретическом описании.

Все эксперименты выполняются в демонстрационном варианте, но для их технического проведения привлекаются учащиеся.

Экспериментальная задача 1 для введения нового знания. Как и почему изменяются заряды двух металлических пластинок при их взаимодействии трением? Оборудование: два одинаковых электрометра, две металлические пластинки (как вариант — из эбонита и оргстекла) на изолирующих ручках, подсобные материалы.

Логика предметных действий следующая. Как экспериментально доказать, что пластинки не заряжены? (Поместить пластинку внутрь кондуктора электрометра, см. рис. 1.) Как можно наэлектризовать пластинки? (Вспомним электризацию трением. Почему при электризации пластинок трением друг от друга их надо разводить (для металлических пластинок — разводить быстро)?) Выполним это действие. (В опытах следует предупредить утечку зарядов, особенно условиях повышенной влажности). Как вновь определить, заряжены ли тела? (Быстро, но аккуратно без соприкосновения помещаем пластинки в кондукторы электрометров.) Вот вопросы для организации фронтальной беседы. Заряжены ли пластинки? Чем это доказывается? Что можно сказать о знаках и величине зарядов? Почему при вынимании пластинок из кондуктора показания электрометра нулевые? (Без соприкосновения пластинок и кондуктора электриза-

ция последнего происходит через влияние.)

Дополняем опыт: друг за другом кладем пластинки в кондуктор одного из электрометров (рис. 2). Как и почему изменяются при этом показания электрометра? (В идеале показания становятся равными нулю.) О чем это говорит? (Поскольку сначала пластинки были заряжены, а сейчас при соприкосновении заряда нет, то это значит, что заряды были равными по величине и противоположны по знаку.) Другой вариант опыта: электрометры можно зарядить от пластинок, а потом кондукторы соединить металлическим стержнем на ручке. Вопросы для диалога. Почему показания электрометров падают? О чем это говорит?

Повторим, что перед опытами необходимо аккуратно разрядить электрометры, заземля стержень и корпус электрометра.

Теоретическое описание явлений. С помощью моделей-рисунков на доске (как вариант — в презентации) выясняются вопросы. Какие электрические явления происходят при электризации трением? (Происходит переход части электронов с одного тела на другое, рис. 3.) Изменяется ли при этом общее число электронов тел, если других внешних действий нет? (См. подробнее [5].)

В итоге сформулируем закон сохранения заряда как некую гипотетическую идею: в замкнутой физической системе тел общий заряд сохраняется при любом взаимодействии тел между собой.

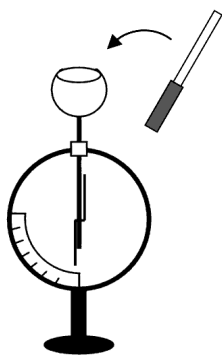


Рис. 1

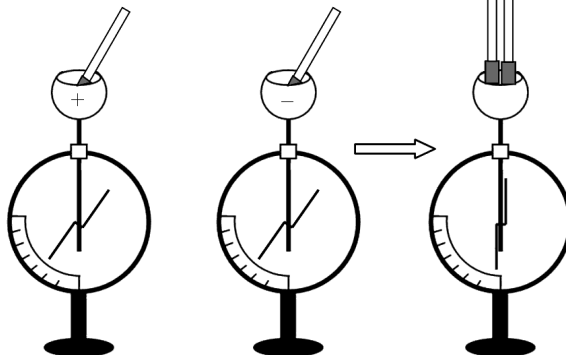


Рис. 2

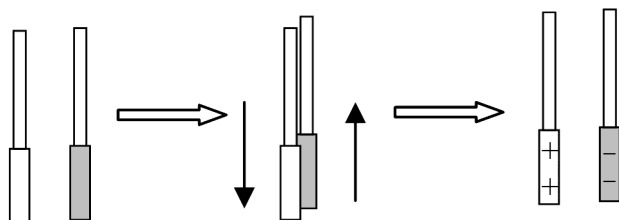


Рис. 3

Теоретическая форма закона на макроуровне такая:

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2',$$

где q_1 и q_2 — величины зарядов тел до взаимодействия, q_1' и q_2' — величины зарядов тел после взаимодействия.

На микроуровне форма закона такая:

$$(n_1e + n_1p) + (n_2e + n_2p) = ((n_1 - a)e + n_1p) + ((n_2 + a)e + n_2p),$$

где p — заряд протона, e — заряд электрона, n_1 — количество частиц в первом теле, n_2 — количество частиц во втором теле, a — количество электронов, перешедших с одного тела на другое во время электризации.

Заряды протона и электрона равны по величине и противоположны по знаку, при равенстве частиц они уравниваются. Как это объяснить теоретически? (Общее число электронов тел сохраняется, но может перераспределяться. Макроскопический заряд тела определяется числом избыточных электронов.) Дискуссия организуется по смыслам формулы: если число протонов и электронов в теле совпадает, то заряд тела нулевой. Интересно, а в реальности для макроскопического тела это всегда совпадает? Изменяется ли в опытах число протонов? И повлияло ли бы это на закон сохранения заряда? (Число протонов в опытах не менялось, они не свободны, находятся в ядрах атомов. Если число частиц любого заряда сохраняется, а это всегда так, то это и доказывает закон сохранения заряда замкнутой системы.) Одинаковое ли у тел число протонов? (Нет, в нашем случае тела — металлические пластинки, разные по размерам,

объему.) Могут ли в замкнутой системе при взаимодействии оба тела зарядиться положительно? (Нет, заряды не возникают, а только перераспределяются.) В целом, эксперименты и теория убеждают, что сохранение заряда замкнутой физической системы — закон.

3. Отработка представлений закрепляется с помощью качественных экспериментальных задач, например, такой: как и почему сохраняется электрический заряд электрометра, если к его кондуктору поднести зажженную спичку? (Заряд не сохраняется, условие замкнутости системы нарушено.)

Еще одна экспериментальная задача: как и почему изменяются показания незаряженного электрометра, если о его кондуктор потереть незаряженной пластинкой из оргстекла [4]? Оборудование: два одинаковых электрометра с кондукторами, пластинка диэлектрика. Вопросы для организации диалога. Какие два физических объекта мы имеем при проведении опыта? (Пластинку и электрометр.) Что с ними происходит? И какое физическое явление мы организуем и наблюдаем? (Взаимодействие двух объектов посредством трения при соприкосновении.) Изменяется ли состояние объектов при этом? (Изменяется: стрелка электрометра отклоняется, он заряжается.) Происходит ли что-то с пластинкой? (Внешне не заметно, но если пластинку осторожно поместить в кондуктор второго электрометра, то он покажет заряд.) Остается определить, что это за заряд. Для этого пластинку помещают в кондуктор первого (заряженного) электрометра. Что происходит с его показаниями? Выскажите предположение, гипотезу, почему это так? (До взаимодействия тел как физической системы их заряды были равны нулю, в сумме тоже ноль. После взаимодействия тела заряжены, причем противоположными и равными по величине зарядами.) Представим в виде формулы эту закономерность. Обсудим, при каких условиях она не выполняется. (Если в ходе

эксперимента по какой-то причине заряды стекают с тел, то возможно следующее: вы неосторожно задели рукой кондуктор, высокая влажность в кабинете...)

Домашнее задание: соответствующий параграф учебника, задача, например, такая: «Можно ли при электризации пластинковой палочки о бумагу сообщить ей заряд $-2 \cdot 10^{-13}$ Кл?» (Макроскопический заряд в принципе меняется дискретно с величиной заряда электрона $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Значит, при электризации в нашем случае должно переходить от тела к телу

$$n = \frac{2 \cdot 10^{-13} \text{ Кл}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 1250000 \text{ электронов,}$$

что в принципе возможно. Почему только «в принципе»?)

(Хорошо бы найти и задать на дом для индивидуального изучения фрагмент хрестоматийного материала о законе сохранения заряда! Например, подготовить доклад на тему «К истории понятия электрического заряда и закона сохранения заряда», URL: <https://www.eduspb.com/node/1850>.)

Другие уроки с использованием закона сохранения электрического заряда.

1. Сначала повторяется теория по вопросам. Что такое конденсатор? Каково его основное свойство? Что измеряет электрометр, если его корпус и стержень подсоединить к двум пластинам конденсатора? Как определяется емкость конденсатора

$$(C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2})?$$

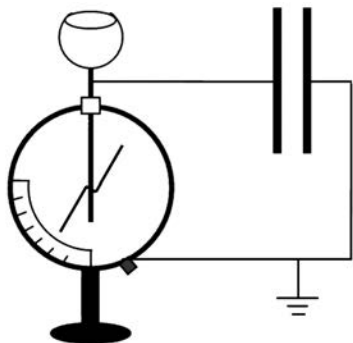


Рис. 4

Собирается простое устройство из электрометра и разборного плоского конденсатора (рис. 4). Пластины аккуратно зажимаются на изолирующих ручках. Одна пластина конденсатора заряжается от пластинки оргстекла, потертого о газетную бумагу.

Организуется беседа. Что показывает электрометр? (Разность потенциалов между пластинами.) Изменяется ли заряд конденсатора, если аккуратно чуть раздвинуть пластины конденсатора? (Выскажем гипотезу: по идее заряд конденсатора не должен изменяться, поскольку мы к нему не прикасаемся.) Но почему показания электрометра изменились? (Из определения емкости $C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2}$ изменение разности потенциалов при условии постоянства заряда

говорит об изменении емкости.) Как изменяется емкость? (Поскольку увеличивается разность потенциалов, то емкость по определению уменьшается. И вывод: емкость уменьшается при увеличении расстояния между пластинами.)

Аналогично рассматривается зависимость величины емкости конденсатора от площади пластин, от среды (диэлектрической проницаемости) между пластинами.

2. При изучении соединений заряженных конденсаторов или при изучении постоянного электрического тока в замкнутой цепи с конденсатором используется закон сохранения заряда. Все эти цепи с точки зрения электрических явлений считаются замкнутыми физическими системами. Следует понимать, что в таких случаях пренебрегают изменениями тока из-за тепловых потерь.

Приведем **простой пример**. Как и почему изменяются заряды конденсаторов при замыкании ключа (рис. 5)? Примечание: первоначально заряды и емкости конденсаторов известны.

Итак, рассматриваем соединение конденсаторов как замкнутую физическую си-

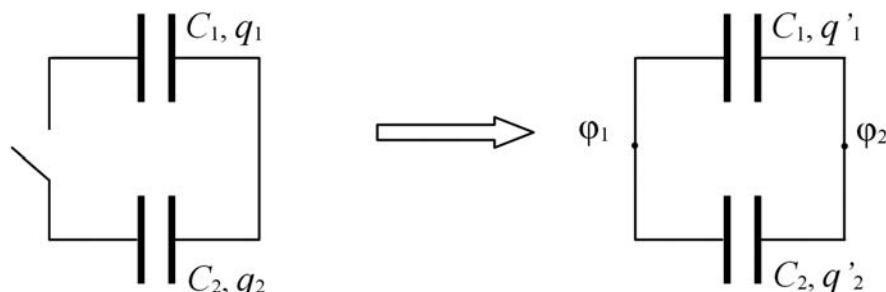


Рис. 5

стему. Какое же физическое явление происходит при замыкании ключа? Предположим, что заряды будут переходить с одного конденсатора на другой. В каком случае это будет происходить? (Если разность потенциалов на конденсаторах будет неодинаковой. Оценим ее по формуле $\phi_1 - \phi_2 = \frac{q_1}{C_1}$.

Взяв конкретные значения физических величин, получаем неодинаковую разность потенциалов на конденсаторах.) Повторим, что же будет происходить в цепи при таком условии? (Заряды с одного конденсатора будут переходить на другой до уравнивания разности потенциалов. Словом, будет проходить кратковременный электрический ток.) При описании любых явлений важное значение имеют сохраняющиеся характеристики, в нашем случае это электроемкость конденсаторов и общий заряд системы. Для описания характеристики конденсатора всегда имеет значение определяющая формула, своего рода закон:

$$C = \frac{Q}{\phi_1 - \phi_2}.$$

В итоге получаем систему уравнений:

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2'$$

(закон сохранения заряда)

$$q_1 = C_1(\phi_1 - \phi_2), \quad q_2 = C_2(\phi_1 - \phi_2)$$

(определение величин зарядов во втором состоянии).

Решая ее, получаем ответ.

(Подобные задачи были на ЕГЭ по физике в 2024 году. Конденсатор известной емкости, заряженный до определенного на-

пряжения, параллельно соединяли с незаряженным конденсатором другой емкости, и требовалось найти величину заряда на незаряженном конденсаторе после соединения. Если не использовать закон сохранения заряда, то решить задачу невозможно.)

3. На последнем уроке при подведении итогов темы необходимо обязательно в числе основных знаний выделять закон сохранения заряда в замкнутой физической системе.

Методическая рефлексия урока. Очевидное фундаментальное величие физики должно сопровождаться совершенством уроков физики. Среди них мы выделяем по содержанию и методу организации учебной деятельности фундаментальные уроки. На наш взгляд, это уроки изучения фундаментальных явлений и фундаментальных законов. С некоторыми оговорками это законы сохранения заряда, импульса, энергии в разных формах, законы Ньютона, законы взаимодействий тел, законы термодинамики, закон Ома для полной цепи электрического тока, закон электромагнитной индукции, закон Эйнштейна для фотоэффекта, закон радиоактивного распада... Вокруг этих явлений и соответствующих законов и должны строиться другие теоретические и прикладные вопросы. А углубленное изучение всегда сконцентрировано на исследование объектов и явлений разными экспериментальными и теоретическими средствами.

Повторим, что при формировании понятий надо различать их познавательный статус: есть понятия, которые обозначают

физическую реальность, по видам это только объекты и явления; есть понятия, которые обозначают и задают характеристики [6; 7]. В случае рассматриваемого урока электрический заряд тела или частицы — это задание реальности, а также называемая физическая величина q — это обозначение характеристики свойства тела. И в каждом случае надо различать, что к чему.

Литература

1. Сауров Ю.А. Физика. 10 класс. Классический курс. поурочные разработки. — М.: Просвещение, 2022. — 277 с.
2. Вигнер Е. Этюды о симметрии. — М.: Мир, 1971. — С. 16–19.
3. Бутырский Г.А., Сауров Ю.А. Экспериментальные задачи по физике: 10–11 классы:

кн. для учителя. — М.: Просвещение, 2000. — 102 с.

4. Бутырский Г.А. Демонстрация закона сохранения электрического заряда // Физика в школе. 1997. № 6. С. 57–58.

5. Сауров Ю.А., Колупаев В.Ф. Проблемы методики изучения физических понятий на примере понятия «Электрический заряд» // Физика в школе. 2020. № 6. С. 10–18.

6. Сауров Ю.А. Вопросы содержания, методов и приемов формирования физического миропонимания // Физика в школе. 2021. № 5. С. 20–29.

7. Сауров Ю.А., Уварова М.П. О методологической культуре учителя физики // Физика в школе. 2023. № 4. С. 3–10.

Дата поступления рукописи (Received): 09.01.2025.

Опубликовано (Published): 16.07.2025.

Это интересно

Изображения поверхности Солнца с беспрецедентной детализацией

Использование адаптивной оптики на современных наземных телескопах позволяет компенсировать атмосферные искажения и получать четкие изображения космических объектов. Однако наблюдение солнечной короны всегда было сложной задачей из-за ее слабого свечения по сравнению с поверхностью Солнца. Раньше ее изучали во время полных солнечных затмений или с помощью космических коронографов, таких как на зонде Parker Solar Probe. Но теперь ученые разработали систему адаптивной оптики для 1,6-метрового телескопа Goode Solar Telescope, позволяющую получать изображения короны с рекордной детализацией. На полученных изображениях видны ранее неизвестные детали, включая корональный дождь — охлажденную плазму, падающую вдоль магнитных линий. Капли такого «дождя» могут быть размером 20 км. Новая система достигла теоретического предела разрешения для упомянутого телескопа — 63 км. Следующим шагом станет внедрение этой технологии на крупнейшем в мире солнечном телескопе DKIST (4 метра) на Гавайях.

Источник: <https://new-science.ru/potryasajushhie-izobrazheniya-pokazyvajut-poverhnost-solnca-s-besprecedentnoj-detalizaciej/>