

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Бородин Артём Валерьевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

Влияние геометрии фарадеевского электрода на точность измерения переданного ему  
заряда

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19312

**Научный руководитель:**

аспирант А. С. Матвеев \_\_\_\_\_

Оценка научного руководителя

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума**

И. А. Иванов \_\_\_\_\_

Оценка преподавателя практикума

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к.т.н. В.Т. Астрелин \_\_\_\_\_

Итоговая оценка

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Аннотация

Целью работы является исследование влияния геометрии фарадеевского электрода на точность измерения переданного ему заряда. Исследования проводились на лабораторной установке электромагнитного практикума. С помощью проводящей пластины заряд, полученный в электрическом поле, передавался фарадеевскому электроду, который представляет собой полый токопроводящий короб. Измерены величины полученного и переданного заряда пластиной. Построен график накопления заряда на фарадеевском электроде. По графику отмечено отклонение линейной зависимости, что говорит о потерях передачи заряда от источника. Выяснены причины потери заряда и оценено влияние геометрии фарадеевского электрода в этих потерях. Оценена погрешность полученных величин. Результаты эксперимента согласуются с известными теоретическими данными.

Ключевые слова: фарадеевский электрод (цилиндр, решетка), электростатическая индукция, электростатический вольтметр, поверхностный заряд проводника, насыщение заряда.

## Оглавление

1. Введение 4
2. Оборудование 5
3. Экспериментальная часть 7
4. Обработка результатов 8
5. Заключение 9
6. Список литературы 10

## 1. Введение

Явление электростатического электричества было известно ещё с древних времен. В настоящее время это явление глубоко изучено, и знания применяются повсеместно. В рамках этой работы рассмотрим взаимодействие проводников с электрическим полем.

Под действием внешнего электростатического поля заряды в проводнике перераспределяются таким образом, что напряженность результирующего поля в любой точке внутри проводника равна нулю. Поверхность проводника эквипотенциальна. В заряженном проводнике некомпенсированные электрические заряды располагаются только на его поверхности.

Электростатической индукцией называется явление, состоящее в электризации незаряженного проводника во внешнем электростатическом поле. Оно заключается в разделении положительных и отрицательных зарядов, имеющих в проводнике в равных количествах. Индуцированные заряды исчезают при удалении проводника из электрического поля. При любом способе электризации проводника электрические заряды распределяются на его поверхности.

В случае проводника удлиненной формы наибольшая плотность оказывается на его концах, а наименьшая — в середине. Какова бы ни была форма наэлектризованного проводника, наибольшая плотность электричества всегда оказывается в местах наибольшей выпуклости поверхности проводника.

Если привести в контакт два заряженных проводника, то заряды будут перераспределяться пока потенциалы не выровняются. Иначе обстоит дело с заряженным проводником, внесенным во внутрь полого проводника. Весь его заряд будет стекать внутрь и перераспределяться на поверхности токопроводящей емкости. Если это делать многократно, то потенциал будет накапливаться бесконечно. На этом принципе основаны высоковольтные электростатические генераторы.

Фарадеевский электрод – это некая емкость из токопроводящего материала, обычно это куб, шар, цилиндр из листового металла или металлической сетки. Внутренняя полость в замкнутом проводнике экранируется от внешних электростатических полей, следовательно поле внешних зарядов внутри отсутствует.

Конструкция фарадеевской клетки используется не только в промышленности для защиты оборудования от воздействия электрических зарядов, но и так же в быту, например в микроволновке металлическая сетка и корпус противодействуют выходу излучения во внешнюю среду.

Целью данной работы является исследование влияния геометрии фарадеевского электрода на точность измерения переданного ему заряда. Исследования проводим на лабораторной установке электромагнитного практикума. С помощью проводящей пластины заряд, полученный в электрическом поле, будем передавать фарадеевскому электроду, который представляет собой полый токопроводящий короб. Измерим величины полученного и переданного заряда пластиной. Построим график накопления заряда на фарадеевском электроде. Если переданный заряд будет полностью переходить на электрод, то потери отсутствуют и будем наблюдать линейную зависимость. Если заряд будет передаваться не весь, то появятся отклонения от линейности. Выясним причины потери заряда и оценим влияние геометрии фарадеевского электрода в этих потерях.

## 2. Оборудование

### Индуктор заряда (Установка №1)

Представляет собой обкладки конденсатора к которым подается напряжение с лабораторного блока питания. Из-за этого внутри создается электрическое поле.

Металлические лопатки в форме круга с диэлектрической ручкой будем вносить внутрь поля индуктора заряда, получать заряд и потом переносить его на фарадеевский электрод (Установка №2).

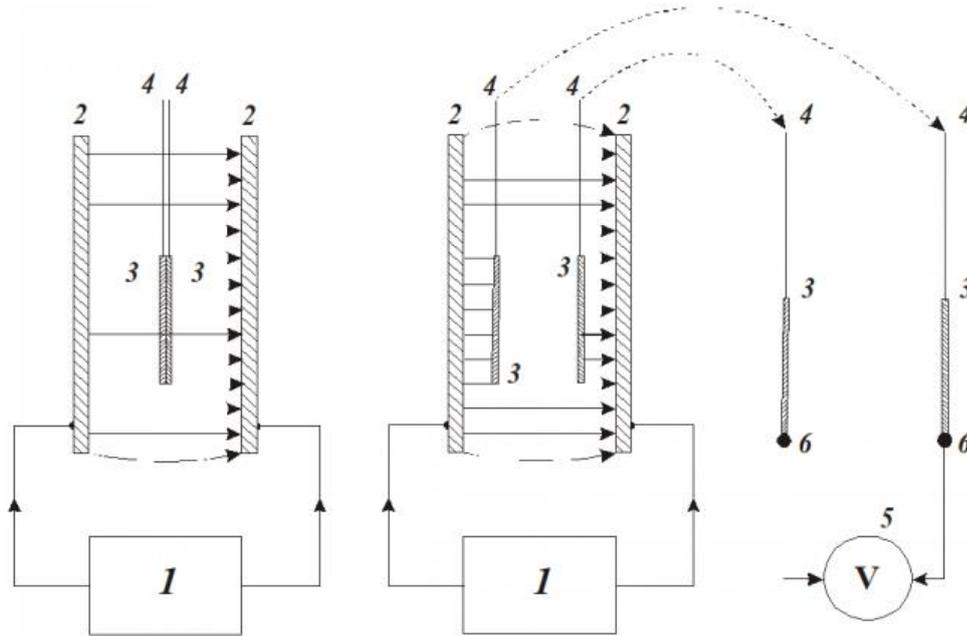


Рис. 1. Установка 1. Индуктор заряда.

1 –источник питания с высоким входным сопротивлением, 2-пластины конденсатора, 3-измерительные пластины, 4-изолирующие ручки, 5-статический вольтметр, 8-клеммы вольтметра

Если прижать друг к другу плоскостями две тонкие одинаковые металлические пластины и внести их в однородное поле  $E$  конденсатора так, чтобы вектор нормали к пластинам совпал с вектором  $E$ , то на боковых плоскостях составной пластины возникнут индуцированные заряды. Заметим, что суммарный заряд составной пластины равен нулю. Теперь, если развести тонкие пластины на небольшое расстояние так, чтобы они не соприкасались, и затем вынести из поля  $E$ , то на каждой пластине останется заряд.

$Q = \sigma S$ , где  $S$  — площадь пластины,  $\sigma$  - поверхностная плотность зарядов

$\sigma = \epsilon \epsilon_0 E$ , где  $E$  - напряженность электрического поля, а  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м — электрическая постоянная,  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость пространства, окружающего проводник. В нашем случае воздух  $\epsilon = 1$ .

Величину этого заряда можно измерить, если прикоснуться вынесенными из поля пластинами к клеммам электростатического вольтметра и измерить напряжение  $U$ . Очевидно, что  $Q = U \cdot (C_v + C_p)$ , где  $C_v$  и  $C_p$  — ёмкость вольтметра и пластин соответственно.

## Фарадеевский электрод (Установка №2)

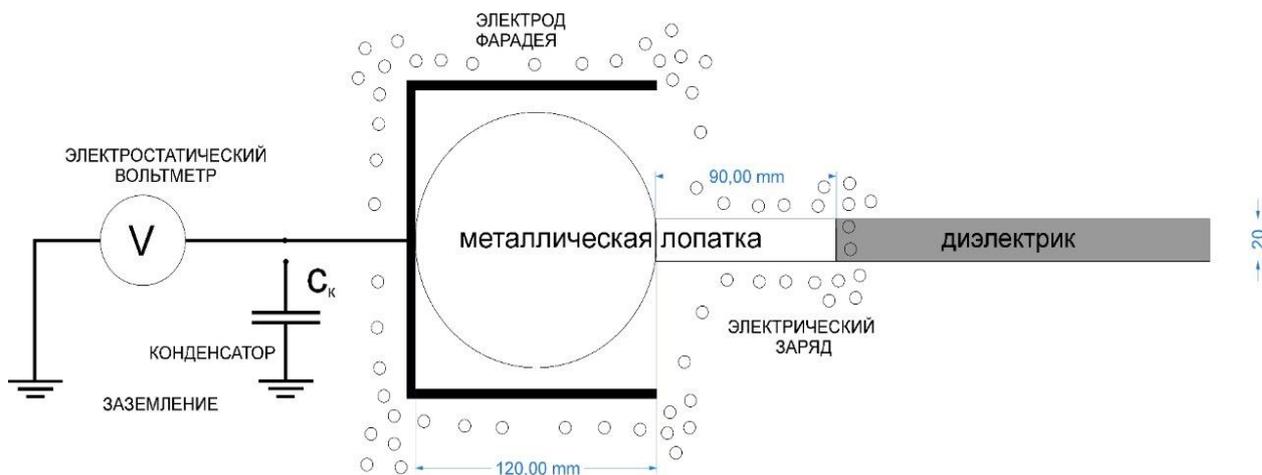


Рис 2. Схема установки фарадеевского электрода

Конструкция фарадеевского электрода представляет собой полую проводящую коробку открытую только с одной стороны, куда и вводится лопатка с зарядом.

Измерив напряжение на электростатическом вольтметре и при известном значении емкости лопатки, фарадеевского электрода и вольтметра, можно определить переданный заряд электроду.

$Q=Uэ*(Cв+Cл+Cэ)$ , где  $Cв$  - ёмкость вольтметра;  $Cл$  — ёмкость лопатки;  $Cэ$  – ёмкость фарадеевского электрода.

Соответственно заряд с лопатки переходит на фарадеевский электрод. Причем внутрь входит только круглая часть лопатки диаметром 120 мм, а прямоугольная проводящая часть размером 90x20 мм остается снаружи. Таким образом сосуд с лопаткой образуют единую токопроводящую конструкцию. Во время вынесения лопатки из фарадеевского электрода, она не должна касаться стенок, в противном случае заряд перераспределится иначе. Очевидно, что заряд внутри емкости не должен сохраняться и он оказывается на внешней поверхности конструкции. Соответственно, на этом токопроводящем «аппендиксе» тоже скапливается заряд. Так как наш фарадеевский электрод это не идеальный шар или цилиндр, то заряд распределяется по поверхности неравномерно. Силовые линии электрического поля направлены по нормали перпендикулярно поверхности проводника. Концентрация электрического поля происходит в наиболее изгибающихся и выступающих частях.

### 3. Экспериментальная часть

При проведении эксперимента будем соблюдать следующие правила: Все поверхности должны быть сухими, без пыли и жира, в помещении должна быть небольшая влажность что бы не допустить быструю утечку электрических зарядов. Измерительные приборы и руки должны быть заземлены.

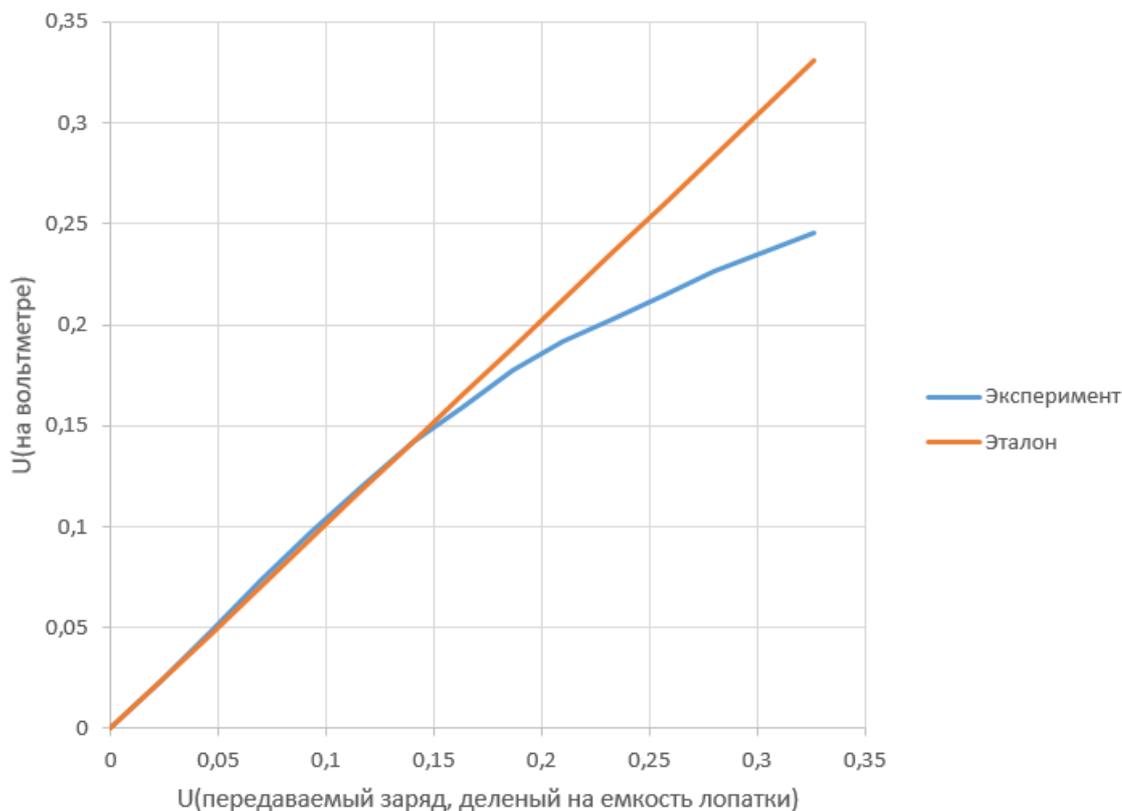
Произведем многократный последовательный заряд лопатки на Установке №1 и последующий её разряд на фарадеевский электрод. Заряд будет постоянно добавляться и, в вследствие чего напряжение на вольтметре будет пропорционально расти. Соответственно будет расти напряженность поля вокруг электрода и плотность заряда на поверхности. Заряд на поверхности будет:  $Q=\sigma(S_{л}+S_{э})$ , где  $\sigma$  – поверхностная плотность заряда  $S_{л}$  – площадь лопатки;  $S_{э}$  – площадь фарадеевского электрода. Теоретически таким образом мы сможем накопить сколь угодно большой заряд. Ёмкость фарадеевского электрода хорошо изолирована и утечки заряда минимальны, но практически величина максимального заряда лимитируется утечкой в окружающую среду из-за ионизации.

При перемещении лопатки из электрода заряд, который был на выступающем прямоугольном участке лопатки, остается. Получается, что с каждым разом при накоплении заряда на емкости, лопатка все меньше и меньше отдает свой заряд. Емкость лопатки  $S_{л}=S_{к}+S_{п}$  складывается из емкости круга и емкости прямоугольника, которые соответственно обеспечиваются площадью круга  $D$  120 мм и площадью прямоугольника 90x20 мм. Площадь лопатки  $S_{л} =S_{к}+S_{п}$  складывается из площади круга  $S_{к}$  и площади прямоугольника  $S_{п}$  Соответственно 14400 мм<sup>2</sup> и 1800 мм<sup>2</sup>. При накоплении достаточно большого заряда на фарадеевском электроде, очередной принесенный заряд на лопатке будет сосредоточен на прямоугольном «аппендиксе». Т.е. произойдет насыщение заряда электрода.

#### 4. Обработка результатов

Полученные данные входящего заряда от Установки №1 и полученного на Установке №2 в виде напряжений электростатического вольтметра представлены на Графике №1.

График №1



Видим, что график в начале имеет прямолинейную зависимость накопленного заряда от подаваемого равными порциями заряда одной и той же величины. В дальнейшем при накоплении большого заряда видим отклонение от прямолинейности. Что говорит о неполном переходе заряда. Лопатка из-за выступающего прямоугольного аппендикса за пределы фарадеевского электрода не полностью отдает свой заряд.

Незначительные отклонения от прямолинейности в начале графика говорит нам о высокой точности полученных значений напряжений вольтметров. По оценке среднеквадратичного отклонения полученных данных эксперимента от теоретической прямой получаем относительную погрешность в пределах  $\pm 2\%$

## 5. Заключение

В ходе эксперимента было выявлено влияние геометрии фарадеевского электрода на точность измерения переданного ему заряда. На выступающей за пределы электрода части лопатки при каждом переносе скапливается все больше и больше заряда. В результате наступает процесс насыщения переноса заряда фарадеевскому электроду.

**Вывод:** Электрический заряд может располагаться только на внешней поверхности проводника. Для повышения точности эксперимента, повышения эффективности передачи заряда и исключения влияния геометрии фарадеевского электрода кроме чистоты окружающих предметов, отсутствия влажности и пыли в воздухе фарадеевский электрод должен иметь форму полого шара или цилиндра. Электрод переноса заряда в идеале должен иметь тоже форму шара и глубоко и полностью погружаться внутрь полости фарадеевского электрода и в идеале закрываться металлической крышкой. Тогда приращение полученного заряда будет равно входящему заряду. Заряд полностью будет переходить на полый электрод и постоянно накапливаться без потерь.

6. *Список литературы*

1. Солоухин Р. И. Методы физических измерений. Лабораторный практикум по физике. Издательство "Наука" Сибирское отделение, Новосибирск, 1975 г.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. т.3, Электричество. Москва, Физматлит МФТИ, 2004.
3. Князев Б. А., Черкасский В. С. *Начала обработки экспериментальных данных.* Новосибирск: НГУ, 2005.