

Электростатический генератор Капельница Кельвина.

Мозгунова Мария М3104

Кожина Екатерина М3101

Факультет информационных технологий и программирования
Университет ИТМО

Проектная работа выполнена в рамках курса «Специальные разделы физики», весенний семестр 2022 г.
Научный руководитель: Тимофеева Эльвира Олеговна

2 июня 2022 г.

Введение

Изобретателем Капельницы Кельвина является Уильям Томсон (лорд Кельвин). Уильям Томсон посещал университетские лекции с 8 лет. В 1892 году королева Виктория пожаловала Томсону наследственный дворянский титул «барона Кельвина» по реке Кельвин, протекающей мимо университета Глазго. Томсон закончил Кембриджский университет, и позже работал в университете в Глазго, Шотландия. Одно из его достижений, известных каждому студенту, – вычисление температуры абсолютного нуля равного $-273,15$ градуса по Цельсию. Именно поэтому в его честь названа одна из семи основных единиц СИ – единица температуры Кельвин. Уильям Томсон участвовал в экспедиции по прокладке телеграфного кабеля между Америкой и Европой и консультировал по теоретической стороне этого вопроса. Важным достижением Томсона является то, что он стал первым британским ученым, получившим право заседать в палате лордов.[3]

Уильям Томсон за всю жизнь написал более 650 научных работ в области физики и математики и подал заявки на 70 патентов. Сама Капельница Кельвина была изобретена Уильямом Томсоном в 1867 году.

Целью проектной работы является создание работающей установки Капельницы Кельвина для демонстрации на занятиях по общей физике.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Изучить теоретические основы электромагнитной индукции.
- Изучить существующие модификации установки Капельницы Кельвина
- Выбрать подходящие материалы для сборки установки.
- Собрать и протестировать работоспособность установки. При необходимости внести изменения в конструкцию для достижения достоверного и максимально возможного в настоящих условиях визуального результата.
- Создать инструкцию для проведения демонстрационного эксперимента.

Известно, что физика – наука экспериментальная. Поэтому, изучение дисциплины предполагает не только решение задач, но и проведение экспериментов. С одной стороны есть множество литературы по общей физике, но без реального физического эксперимента понимание сути явлений будет неполноценным и информация о законах и процессах будет усваиваться плохо. Капельница Кельвина, например, использовалась для демонстрации электростатической индукции в учебных заведениях ещё в конце 19 века.

На рисунке изображена копия установки, продававшейся в образовательных целях.



Рис. 1: Оригинальная Капельница от 1867 года [2]

Уильям Томсон преподавал в университете более полувека и о важности проведения экспериментов он писал: *"In physical science a first essential step in the direction of learning any subject is to find principles of numerical reckoning and practicable methods for measuring some quality connected with it."*, что в переводе означает «Поиск принципов численного расчета и практически применимых методов измерения величин является первым необходимым шагом в направлении изучения любой области физики.»

Говоря об актуальности самой капельницы Кельвина, кажется совершенно неочевидным, что можно генерировать электричество с помощью падающей воды без использования механических устройств и турбин. Например, пока мы работали в Фаблаб, люди интересовались, что конкретно мы собираем. Несколько человек сказали, что капельница просто не может так работать, и тем более вырабатывать 10 кВ.

1 Теоретические сведения

В физике поле – это физическая величина которая имеет значение для каждой точки пространства и времени. Электростатическое поле – поле, созданное неподвижными в пространстве и неизменными во времени электрическими зарядами. Электростатическая индукция – это когда у тела появляется собственное электростатическое поле при воздействии на тело внешнего электростатического поля. Хорошей демонстрацией электростатической индукции является опыт с электроскопом на рисунке 1.

Когда к электроскопу подносят заряженное тело, заряды в электроскопе начинают распределяться. Электроны уходят в лепестки электроскопа, как можно дальше от отрицательно заряженного тела. Так как лепестки электроскопа одноименно заряжены, они начинают отталкиваться. Индукционные заряды создают свое собственное поле которое компенсирует внешнее поле во всем объеме проводника.

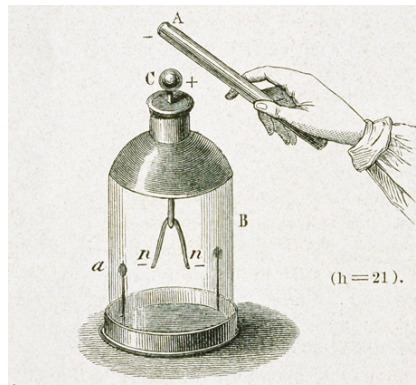


Рис. 2: Электроскоп Вольты [1]

2 Обзор существующих решений

Как уже было упомянуто, установка используется для демонстрации законов электростатической индукции. Есть резервуар с водой, два металлических кольца, две металлических банки. Левое кольцо соединено с правой банкой проводом. Правое кольцо соединено с левой банкой.

Мы сделали обзор существующих решений, и поняли общие элементы установки. Заметим, что банки и кольца должны быть на достаточном расстоянии друг от друга, чтобы предотвратить утечку заряда. Резервуар с водой (материал, из которого он сделан не принципиален). Здесь есть два варианта. Первый - берем два отдельных резервуара с водой и соединяем их проводником. Так ионы воды могут свободно перемещаться между резервуарами. Чтобы не было необходимости соединять банки, можно взять одну вытянутую.

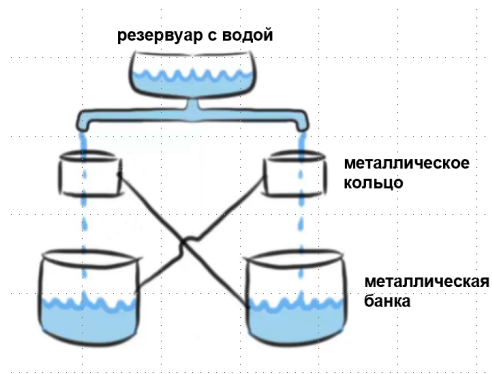


Рис. 3: Принципиальная схема установки [5]

В природе не бывает абсолютно нейтральных тел. Не бывает так, чтобы банки имели одинаковый заряд. Так, предположим, что левое кольцо и правая банка имеют более положительный заряд, чем правое кольцо и левая банка. Тогда из воды к левому кольцу будут притягиваться отрицательно заряженные ионы воды (или анионы). Анионы воды несут в себе отрицательный заряд, который передают левой банке. Так как левая банка соединена проводом с правым кольцом, правое кольцо приобретает отрицательный заряд. Тогда правое кольцо начинает притягивать положительно заряженные ионы воды (или катионы), еще сильнее заряжая правую банку. Важно, чтобы струя воды была сплошной хотя бы до того, как она войдет в кольцо. Почему так? Для того, чтобы ионы воды

противоположного с кольцом заряда успели убежать обратно в резервуар с водой.

Заметим, что капля, движущаяся к банке одноименно заряжена. Капли воды - это ток, который движется против направления электрического поля банок. На каплю воды действует сила тяжести и сила отталкивания от соответствующей банки по закону Кулона. Сила тяжести совершает работу по перемещению ионизированной воды, помогая накапливать заряд в установке и увеличивать потенциальную энергию.

В настоящее время капельница применяется только в демонстрационных целях. Если придумать, как отводить воду из банок, то в целом можно вырабатывать таким образом электричество и превратить капельницу в вечный двигатель. Мечты-мечты, вернемся к реальности.

3 Разработка и тестирование установки

Процесс разработки установки состоит из нескольких этапов, которые описаны далее.

3.1 Выбор материалов

Материал для рамки должен быть диэлектриком, чтобы накопленное в банках электричество не утекало. Вырезали рамку мы из изоляционного материала. Для металлических колец мы взяли банку из под Vorjomi диаметром около 5 см, порезали её пополам. Получились отличные кольца. Провода для соединения банок и колец и крокодилы. Так как капельница вырабатывает достаточно мощный (порядка 10 кВ), но маленький по величине заряд, стоит взять провода, которые выдерживают высокое напряжение. 2 банки. Магазиновые банки из под ананасов стали экономичным решением.

Мультиметр показал, что у нашей установки вырабатывается заряд порядка 4 кв. Так же теперь капли стали разлетаться в стороны и струя воды приблизилась к кольцам, что говорит о правильности сборки. Эту установку можно еще улучшить, добавив дисплей, который сразу будет показывать накопившийся заряд, тогда установка станет удобнее в пользовании и понятнее окружающим. Но мы этого сделать не успели, поэтому оставим на доработку в будущем.

Стоит отдельно отметить, что капельница собирается практически из подручных материалов, на неё не нужно много средств. Наша установка обошлась нам в 1800 рублей, что может позволить себе каждый студент. Материалы шли во вторичное пользование, например, купив консервированные ананасы и воду, вы можете перекусить, а затем использовать банки в установке.

3.2 Сборка установки

Сперва мы сделали капельницу Кельвина без рамки, чтобы экспериментальным путем выяснить необходимые условия корректной работы установки. Мы подготовили материалы: для создания колец распилили консервные банки, припаяли крокодильчики к проводам, проделали отверстия в лотке для воды. Затем на деревянные доски установили металлические банки и резервуар с водой, и соединили кольца проводами с противоположными банками. Потом наполнили резервуар водой и с помощью мультиметра измерили электрический заряд. Обнаружив, что мультиметр показывает очень маленькое значение, мы стали думать что не так.

3.3 Решение проблемы малого заряда

У нас возникло несколько идей улучшения капельницы:



Рис. 4: Первый опыт сборки установки

- Сделать кольца уже
- Припаять провода к банкам (возможно, заряд, который создается слишком маленький и не пробивается через крокодильчики)
- Добавить соль в воду для увеличения водородного показателя.

Затем мы снова пошли в фаблаб и стали переделывать капельницу:

- Взяли банку из под воды с меньшим диаметром, чем у колец, распилили её и заменили кольца.
- Сделали раствор из воды и соли и стали использовать его, после чего с помощью электрометра убедились, что заряд появился.

3.4 Методика демонстрационного эксперимента

Перед использованием установки нужно убедиться, что банки стоят ровно под отверстиями в рамке и капли будут падать, куда нужно. После чего нужно крест-накрест соединить проводами кольца и банки. Затем нужно поставить резервуар на рамку так, чтобы отверстия в резервуаре совпадали с отверстиями в рамке. Теперь можно наливать раствор в резервуар и наблюдать за работой капельницы. После окончания работы следует отсоединить банки от проводов и вылить накопившуюся в них воду. Капельница снова готова к использованию.[4]

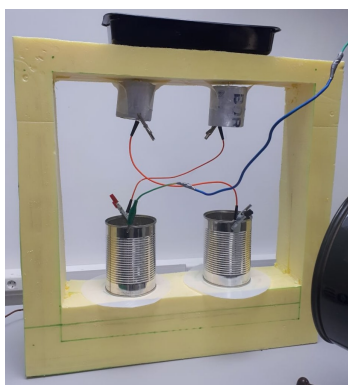


Рис. 5: Итоговая установка для демонстрации

4 Применение явления электростатической индукции в генераторах напряжения

Подобные капельнице Кельвина есть электростатические генераторы такие, как электрофорная машина и генератор Ван де Граафа. Генератор Ван де Граафа позволяет получать напряжения в несколько миллионов вольт, раньше использовался в ядерной физике для ускорения частиц, но сейчас эти обе установки используют в учебных целях.

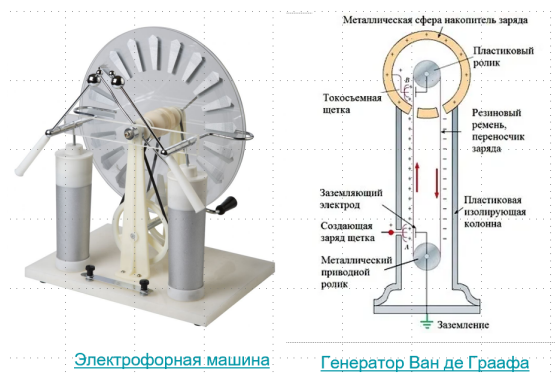


Рис. 6: Электростатические генераторы [7] [8]

5 Результаты

После сборки установки и получения достаточного заряда на установке для демонстрации явления электростатической индукции можно сделать выводы о наших выполнении проектных и личных задач.

Проектные:

- Изучили теоретическую основу явления электростатической индукции
- Нашли и проанализировали существующие экспериментальные установки Капельницы Кельвина и других генераторов напряжения на основе электростатической индукции.
- Сконструировали и собрали свою установку, которая может генерировать 4кВ.

Личные:

- Были получены новые знания и опыт работы в лаборатории Фаблаб с реальным оборудованием.
- Получены навыки анализа и систематизации научной и научно-популярной литературы.
- Освоен навык получения информации из экспериментальных результатов.

Можно считать, что все поставленные задачи для достижения цели проекта, были выполнены.

6 Благодарности

Хотим выразить благодарность людям, которые помогали в течение семестра:

- Тимофеевой Эльвире Олеговне за помощь в оформлении отчёта и предоставлении приборов для измерения
- Музыченко Яне Борисовне за информативные лекции и пробуждение интереса к физике
- Лекшину Павлу Александровичу в лаборатории Фаблаб за помощь в сборке установки и ценные советы по её работе

Список литературы

- [1] [Алессандро Вольты — изобретатель первого источника постоянного тока](#)
- [2] [Капельница Кельвина – Википедия](#)
- [3] [Биография Уильяма Томсона](#)
- [4] Основы методики преподавания физики. / Под ред А.В.Перышкина , В.Г. Разумовского и В.А. Фабриканта. - М.: Просвещение, 1983. - 398 с.
- [5] [Как работает капельница? – видео YouTube](#)
- [6] [Принцип работы капельницы Кельвина и рекомендации по сборке](#)
- [7] [Как устроена электрофорная машина](#)
- [8] [Генератор Ван де Граафа](#)