

VI Международная конференция учащихся
«НАУЧНО-ТВОРЧЕСКИЙ ФОРУМ»

«Создание модели электростатического генератора Ван де Граафа»

*Автор работы:
ученик 11 «А» класса
МБОУ СОШ № 46 г. Калуги
Ким Руслана Владимировича*

*Научный руководитель:
учитель физики
МБОУ СОШ № 46 г. Калуги
Жандарова Лариса Борисовна*

Калуга, 2025

Введение	4
<i>Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</i>	4
1.1. Принцип работы и конструктивные особенности генератора	4
<i>Глава 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</i>	5
2.1 Социальный опрос	5
2.2 Выбор оборудования и материалов	6
2.3 Проектирование 6	
2.4 Изготовление основных компонентов 7	
2.5 Сборка модели электростатического генератора Ван де Граффа 10	
2.6 Оценка работоспособности	11
2.7 Индикаторы успешности	12
Заключение	13
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	13
Приложение 1. Опрос учащихся	15
Приложение 2. Оборудование	15
Приложение 3. Проектирование	16
Приложение 4. Изготовление основных компонентов	17
Приложение 5. Сборка модели электростатического генератора	18
Приложение 6. Индикаторы успешности	19

ПАСПОРТ ПРОЕКТА

Тема проекта	Демонстрация вращения модели ионного реактивного двигателя посредством генератора Ван де Графа
Исполнитель проекта	Ким Руслан Владимирович, ученик 11 «А» класса
Куратор проекта	Жандарова Лариса Борисовна
Название учреждения	МБОУ «Средняя общеобразовательная общеобразовательного школа №46» г. Калуги
Год разработки учебного проекта	2024-2025
Актуальность	Для более точного понимания протекания того или иного физического процесса нередко возникает необходимость использования различных приборов или их моделей, а их отсутствие в школьном кабинете физике влечет за собой спад интереса к этой науке
Проблема	Отсутствие в школьном арсенале электростатического генератора Ван де Граафа,

позволяющего продемонстрировать работу модели ионного реактивного двигателя

Продукт Модель электростатического генератора Ван де Граафа

Гипотеза Демонстрация вращения модели ионного реактивного двигателя через генератор Ван де Графа позволит визуализировать физические принципы, стоящие за работой современных ионных двигателей. Что повысит интерес учащихся к изучению ионных двигателей в космических кораблях

1. Цель Демонстрация режимов запуска и вращения модели ионного реактивного двигателя с использованием генератора Ван де Граафа, чтобы повысить интерес учащихся к изучению ионных двигателей и к разделу физики «Электростатика»

2. Индикаторы Количественно (просмотры и оценки) и качественно (комментарии) зафиксированная реакция обучающихся на просмотренный видеоролик с демонстрацией действия прибора

3. Тип проекта (ведущая деятельность) Исследовательский
Практико-ориентированный

Введение

Ионные реактивные двигатели - перспективная технология для разгона космических аппаратов в открытом космосе. Доказательством этого является рекорд ускорения, установленный аппаратом "Dawn", который набрал скорость 39 900 км/ч (11,1 км/с). Несмотря на высокую эффективность ионных двигателей, механизм их работы пока не до конца изучен. Тем не менее, их КПД значительно превосходит КПД химических и ядерных ракетных двигателей, что делает их перспективной технологией будущего. Исследование ионных двигателей является актуальной задачей, которая позволит углубить наши знания и развить их потенциал.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Принцип работы и конструктивные особенности генератора

Для запуска ионной вертушки требуется высоковольтный источник постоянного или переменного напряжения. Было решено использовать

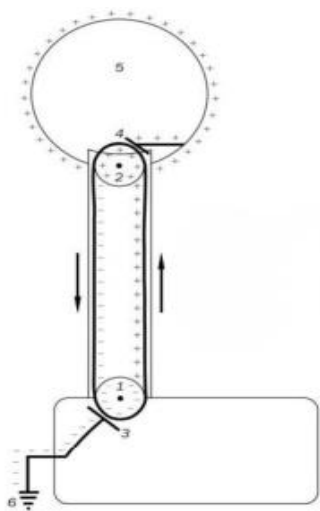


Рис. 7. Электростатический генератор Ван де Граафа.

генератор Ван де Граафа. Его преимущество заключается в том, что он способен создавать достаточно большие значения электростатических потенциалов при относительно простой конструкции. Принцип работы генератора Ван де Граафа основан на трении. Генератор оснащен резиновой лентой (рис. 7.), которая проходит вертикально между двумя роликами. Нижний ролик (1) изготовлен из тefлона, а верхний ролик (2) - из стекла.

Металлическая планка (3, 4) прикреплена близко к ремню. Узел ленты заключен в прозрачную пластиковую колонну, которая соединяет и изолирует основание и купол. Электродвигатель в основании генератора вращает нижний ролик, который заставляет ленту поворачиваться на

роликах. Проще всего представить генератор Ван де Грааффа как разделитель электрического заряда. Когда двигатель поворачивается, то он перемещает резиновую ленту, которая трется о ролики. Когда лента трется о нижний ролик (1), на нижнем ролике образуется отрицательный заряд, а на части ленты, движущейся вверх, образуется положительный заряд. Затем положительно заряженная резиновая лента трется о верхний тефлоновый ролик (2), который создает положительный заряд на верхнем ролике и на части ленты, движущейся вниз, образуется отрицательный заряд. По мере того, как генератор продолжает работать, электроны накапливаются на нижнем валике, увеличивая отрицательный заряд. Затем эти электроны переносятся с нижнего валика на нижнюю гребенку (3) и направляются к соединению заземления (6).

Глава 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Социальный опрос

Для проведения оценки актуальности проектной работы, я решил обратиться к учащимся 10 и 11 классов МБОУ СОШ № 46 г. Калуги с помощью интернет-опроса. Один из главных выводов, сделанных на основе опроса, заключается в том, что значительная **1** часть участников (см. приложение 1) проявили интерес к теме электростатики. Тем не менее, также удалось выявить, что многим **2** учащимся трудно усвоить материал, связанный с электростатикой. После тщательного анализа полученных ответов учащихся на вопросы (см. приложение 1), можно сделать вывод о том, что

1 89,2% от общего числа опрошенных на вопрос «Интересна ли вам тема электростатики?» дают утвердительный ответ (83 участника опроса).

2 76,3% от общего числа опрошенных на вопрос «Понятна вам данная тема?» дают отрицательный ответ (71 участника опроса).

выбранная для проектной деятельности тема о электростатических генераторах и ионных двигателях является актуальной и вызывает интерес среди учеников. Анализ данных опроса подтверждает актуальность выбранной темы для проектной деятельности, а также показывает, что учащиеся готовы активно участвовать в погружении в мир ионных двигателей и электростатических двигателей.

2. Выбор оборудования и материалов

Перед тем как приступить к сборке электростатического генератора Ван де Граафа, я провел детальное исследование основных понятий и законов электростатики и изучил конструктивные особенности самого генератора (см. *Глава 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. 1.1 Принцип работы и конструктивные особенности*). Это позволило мне глубже понять принципы его функционирования и необходимые технические аспекты для успешной сборки. После полученных знаний и теоретической подготовки я приступил к выбору необходимых деталей и оборудования для сборки генератора (см. приложение 2). Этот этап требовал особой внимательности и вдумчивости, поскольку правильный выбор компонентов и их правильная установка влияют на эффективность работы генератора и его безопасность при эксплуатации.

3. Проектирование

Проектирование чертежей — это **процесс создания графических изображений, которые позволяют представить и описать предметы, конструкции или системы**. Чертежи являются важным инструментом для передачи информации. Они содержат детальные размеры, формы, материалы и другую информацию, необходимую для изготовления или построения объекта. Именно поэтому первым шагом к созданию модели электростатического генератора Ван де Граафа стал процесс изучения навыков

3-D проектирования. Использование трехмерной модели позволяет не только визуализировать объект, но и оптимизировать конструкцию и учесть все аспекты перед физическим изготовлением (см. приложение 2).

4. Изготовление основных компонентов

Платформа

После завершения проектирования трехмерной модели электростатического генератора Ван де Граафа, начался важный этап - изготовление компонентов этого устройства. Приняв решение начать с корпуса, то есть с конструкции, на которой будут крепиться остальные детали, я выбрал две доски из оргстекла, как оптимальный материал для данной цели. Для сверления оргстекла была использована специальная дрель с соответствующим диаметром сверла. Также потребовались специальные крепежные элементы для надежного соединения деталей корпуса. Следующим важным шагом было перенесение разметок, которые были сделаны ранее. После, я приступил к следующему этапу - созданию отверстий. Для этого использовалась коронка из твердосплавного материала, совмещенная с шуруповертом.

Ролики

Следующими необходимыми деталями стали верхний и нижний ролик. Они состоят полностью из разных материалов и для их изготовления требовались различные подходы.

План работы:

1. Имея фторопластовый стержень длиной 200 мм., необходимо отметить нужную длину ролика, то есть 35 мм.

2. Используя канцелярский ножик вырезать ролик по отмеченным ранее линиям, обращая особое внимание на то, чтобы срезы были ровными и точными;
3. Применяя линейку, необходимо отметить центр на одном из плоских краев ролика.
4. Приступить к созданию отверстия сверлом диаметром 3,2 мм и шуруповертом;
5. Приклеить с помощью эпоксидного клея получившийся ролик с электрическим двигателем (см. приложение 4, рис. 2.3.13.1).

После успешного изготовления нижнего ролика, переходим к верхнему.

План работы:

1. Необходимо отметить, используя линейку и маркер, на стеклянной пробирке размеры будущего ролика
2. Вырезать с помощью стеклореза по ранее отмеченным линиям каркас ролика (см. приложение 4, рис. 2.3.14);
3. Тщательно намотать электроизоляционную ленту на подшипники таким образом, чтобы диаметр намотки соответствовал диаметру стеклянного каркаса ролика, уделяя особое внимание точности и аккуратности в процессе выполнения данного шага.
4. Вставить один подшипник внутрь каркаса ролика, затем внедрить болт и надежно закрепить его с помощью гаек и эпоксидного клея для обеспечения статичности. Повторить тоже самое с другим подшипником (см. приложение 4, рис. 2.3.16).

Изолирующая колонна

Последующей деталью для изготовления стала изолирующая колонна. Основной которой стал мерный цилиндр.

План работы:

1. Необходимо подготовить рабочее место для использования газовой горелки.
2. Нагревать кончик канцелярского ножа с помощью газовой горелки до $120^{\circ}\text{C} - 135^{\circ}\text{C}$, или до тех пор, пока металл не достигнет красного цвета.
3. Вырезать нижнее дно мерного цилиндра по окружности;
4. Используя все тот же нагретый нож, сделать на верхней части трубы два отверстия для крепления верхнего ролика (см. приложение 4, рис. 2.3.17)
5. С помощью линейки, маркера и ранее сделанной 3-D модели отметить расположение отверстий для крепления трубы с платформой.
6. Используя сначала шуруповерт с сверлом 3,2 мм., проделать отверстия, а после заменив сверло на 6 мм. увеличить их диаметр.

Металлический шар

При работе с металлическим шаром необходимо было просверлить отверстие диаметром 75 мм., что является одной из самых сложных задач при изготовлении модели электростатического генератора Ван де Грааффа.

План работы:

1. Необходимо правильно зафиксировать шар в тисках, то есть учесть оптимальный баланс между надежностью фиксации и минимальным давлением на поверхность шара;

2. Используя шуруповерт с твердосплавной коронкой, просверлить отверстие (см. приложение 4, рис. 2.3.18);
3. С помощью наждачной бумаги и напильника убрать все неровности и заостренные концы.

Гребенки и пластины для их крепления.

Для того, чтобы положительные и отрицательные заряды уходили на шар или на заземление, требовались медные гребенки. А также пластины, которые удерживали бы их.



План работы:

1. Используя 3-D модель необходимо согнуть металлические накладки (см. рис. 2.3.20);
2. Канцелярским ножом обрезать кончики медного провода и сделать подобие гребенки (см. рис. 2.3.21);
3. Закрепить на нижней пластине медный провод с гребенкой



Рис. 2.3.20 Верхняя пластина

Рис. 2.3.21 Нижняя медная гребенка

Рис. 2.3.22 Верхняя медная гребенка

(см. рис. 2.3.19)

1. **Сборка модели электростатического генератора Ван де**

Граффа

После завершения изготовления основных компонентов электростатического генератора, стоит приступить к сборке устройства. Начать решено было с установки платформы, на которую будут закреплены другие компоненты генератора.

План работы:

1. Два оргстекла необходимо соединить с помощью винтовых шпилек;
2. На каждом конце винтовой шпильки закрепить гайку и шайбу, чтобы оргстекла были неподвижны (см. приложение 5, рис. 2.3.23).

Последующим шагом было закрепление на платформе электрического двигателя и изолирующей трубы с роликом и гребенкой, а также с металлическим шаром.

План работы:

1. На ранее сделанных отверстиях колонны и оргстекла закрепить болты с помощью гаек и шайб (см. приложение 5, рис. 2.3.24);
2. Также поступить с электродвигателем (см. приложение 5, рис. 2.3.24);
3. На верхней части трубы необходимо установить ранее сделанный ролик с резиновой лентой вместе с гребенкой (см. рис. 2.3.25);
4. Поверх колонны установить металлический шар (см. приложение 5, рис. 2.3.26)

Финальной частью сборки является присоединение нижней пластины с гребенкой к основанию платформы.

План работы:

1. Необходимо закрепить оргстекло с пластиной, используя болты, гайки и шайбы. Так чтобы конструкция находилась в статичном положении (см. приложение 5, рис. 2.3.27)

1. Оценка работоспособности

Электростатический генератор Ван де Грааффа является устройством, способным накапливать большое количество зарядов на своем металлическом шаре.

Соответственно, для оценки работоспособности моей модели необходимо проверить наличия зарядов на шаре.

Для такой проверки не требуется использование специального оборудования, что делает процесс более доступным и простым. Достаточно просто поднести к

шару руку. Так для проверки работоспособности модели я приблизил палец к металлическому шару (см. рис. 2.4). Мгновенно последовала реакция в виде покалывание и искры.



Рис. 2.4
Электростатический генератор реагирует на пvкv.

Изготовленная мной модель электростатического генератора Ван де Грааффа полностью работоспособна и выполняет основную свою цель – демонстрирует работу модели ионного реактивного двигателя посредством генератора Ван де Графа. Таким образом, я могу сделать вывод о том, что с изготовлением продукта своего проекта я справился.

2. Индикаторы успешности

По окончанию работы над изготовлением модели электростатического генератора Ван Де Грааффа, я записал видеоролик с кратким, но понятным объяснением принципа работы ионных двигателей посредством генератора Ван де Граафа. Для этого мне потребовалась такая программа как: «**CapCut**».

Индикатором успешности моей работы служит не только работающая модель электростатического генератора, но и качественные (см. приложение 6, рис. 2.5.2) и количественные показатели (см. приложение 6, рис. 2.5.1), а именно комментарии и оценки на видеоролике. Так же я провел повторный опрос среди учащихся чтобы узнать их мнение о моём проекте, полученных

знаниях. Результаты были положительные (см. приложение 6, диаграммы 2.5.1 – 2.5.5).

Заключение

Итогом моей проектной деятельности является модель электростатического генератора Ван де Грааффа, которая полностью функционирует – это подтверждается в ходе демонстрации её работы и зафиксировано в обучающем видеоролике, который может быть использован учителями в образовательных целях во время уроков физики.

На основании вышеизложенной информации можно сделать следующие выводы:

– Задачи, сформулированные в начале проекта, были успешно выполнены
– были проведены демонстрации вращения модели ионного реактивного двигателя посредством генератора Ван де Графа.

– Цель проектной работы была достигнута – благодаря обучающему ролику, ученики старших классов приобрели дополнительные знания в области ионных двигателей. Обратная связь в виде комментариев, оценок и опроса свидетельствует о повышении интереса и мотивации учащихся к изучению данной темы. Это говорит о целесообразности проведения подобных проектов для обогащения образовательного процесса и повышения эффективности обучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика 10 класс. Учебник для общеобразовательных организаций: базовый и углубленный уровни / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой. – 7-е изд. – М. : Просвещение, 2020. – 432 с. : ил. – (Классический курс). – ISBN 978-5-09-074278-8.

2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. — М.: Высш. шк., 1984. — 559 с.
3. "Электрик Инфо" - онлайн журнал про электричество. Генератор Ван де Граафа - как устроен и работает <http://elektrik.info/main/fakty/1476-generator-van-de-graafa.html>
4. Менде Ф. Ф. "Новая электродинамика. Революция в современной физике." —<https://elib.pnzgu.ru/files/eb/doc/CDEtJwM2RuaE.pdf>
5. Арсланбеков А. М. Совершенствование демонстрационного эксперимента по разделу «Электродинамика»: Дисс. канд. пед. наук. М., 1984. -216 с.
6. С. Г. Калашников. Электричество. Учебное пособие. — М.: Наука, 1977. — 591 с.
7. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Том 3. Электричество. Учебное пособие. — М.: Наука, 1977. — 687 с.
8. И. В. Савельев. Курс общей физики. Том 2. Учебное пособие. — М.: Наука, 1988. — 496 с.

Приложение 1. Опрос учащихся

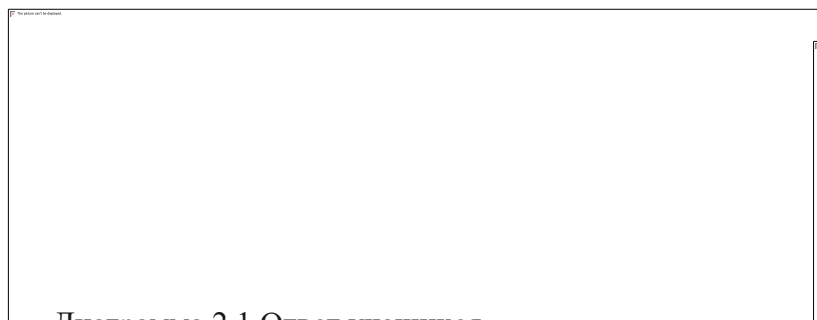


Диаграмма 2.1 Ответ учащихся на вопрос «Интересна ли вам тема электростатики?»

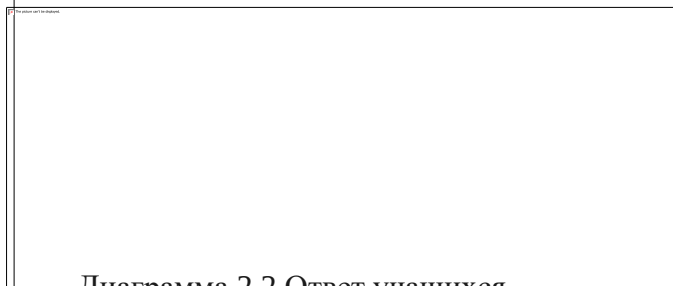


Диаграмма 2.2 Ответ учащихся на вопрос «Понятна вам данная тема?»

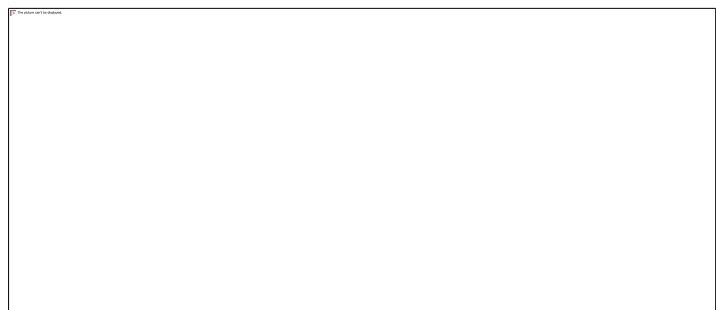


Диаграмма 2.3 Ответ учащихся на вопрос «Как вам удобнее воспринимать информацию?»

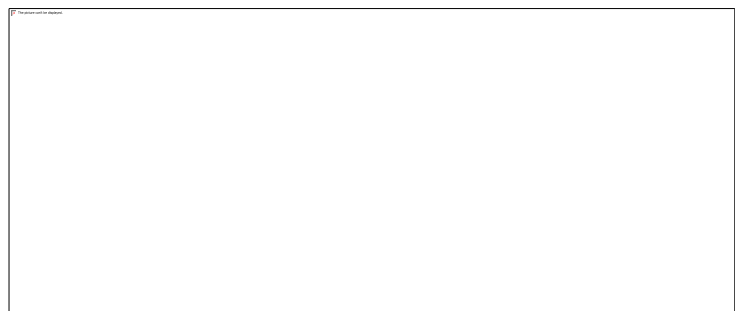


Диаграмма 2.6 Ответ учащихся на вопрос «Хотели бы вы знать, как работают электростатические генераторы?»

Приложение 2. Оборудование

1. Стеклянная пробирка 1 шт. (16 мм. х 120 мм., объем 24 мл.);
2. Электроизоляционная лента;
3. Стержень фторопластовый (10х200 мм.);
4. 1 пара зажимов крокодил L27;
5. R380-2580 12V электродвигатель;
6. Резиновая лента;
7. Цилиндр мерный 1000 мл.;
8. Шар из нержавеющей стали, зеркальный полый 120 мм.;
9. Коронка твердосплавная по металлу 75 мм.;
10. Лобзик по дереву;
11. Лобзик по металлу;
12. Наждачная бумага;
13. Алмазный стеклорез;
14. Оргстекло 2 шт. (200 х 300 мм.);

15. Электрическая дрель;
16. Карандаш, маркер;
17. Линейка;
18. Адаптер питания 12V/2A;
19. Шайба уплотнительная 20 шт.;
20. Гайки шестигранные 30 шт.;
21. Канцелярский ножик;
22. Подшипники 2 шт.;
23. Рулетка;
24. Ножницы;
25. Эпоксидный клей;
26. Сверла (3,2 мм., 6 мм., 8 мм., 10 мм.);
27. Медный провод 20 метров;
28. Витовые шпильки 4 шт.;
29. Газовая горелка.

Приложение 3. Проектирование

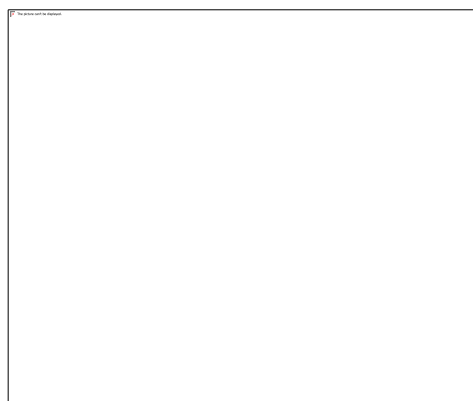


Рис. 2.3.3 Изолирующая труба

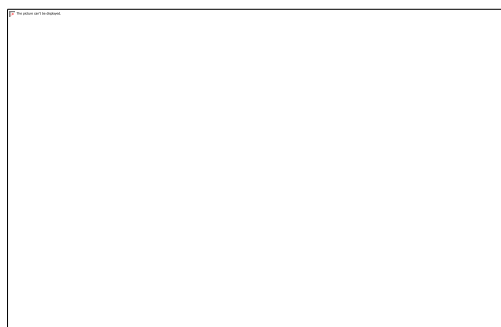


Рис. 2.3.2 Каркас
электростатического
генератора

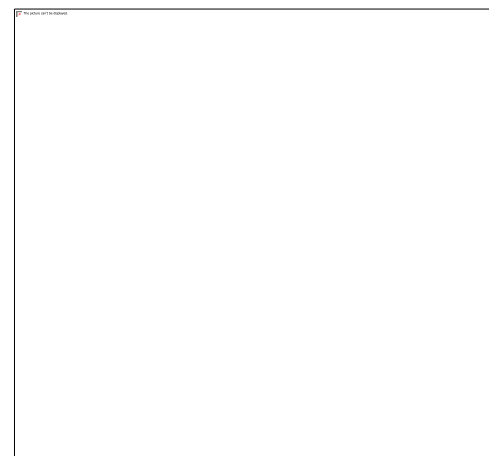


Рис. 2.3.4 Полый
металлический
шар

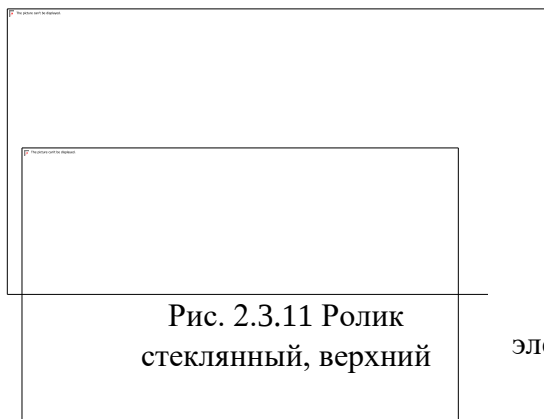


Рис. 2.3.11 Ролик
стеклянный, верхний

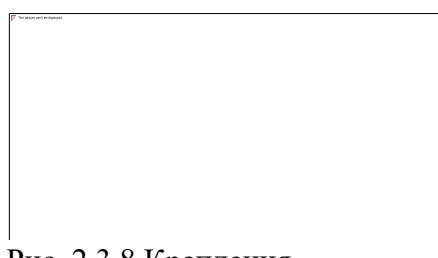


Рис. 2.3.8 Крепления
изолирующего корпуса и
электрического двигателя. Вид
сбоку.

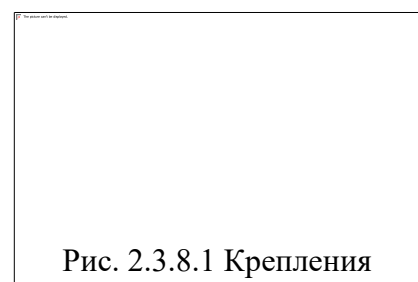


Рис. 2.3.8.1 Крепления
изолирующего корпуса и
электрического двигателя.
Вид сверху.

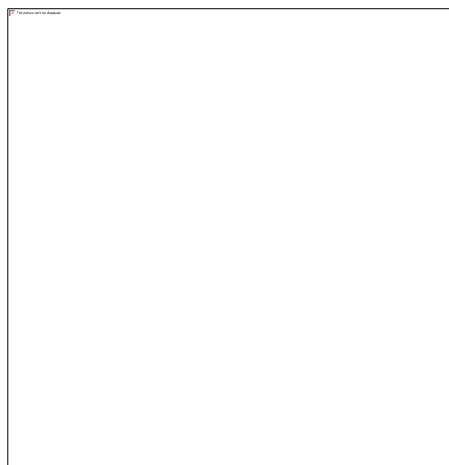
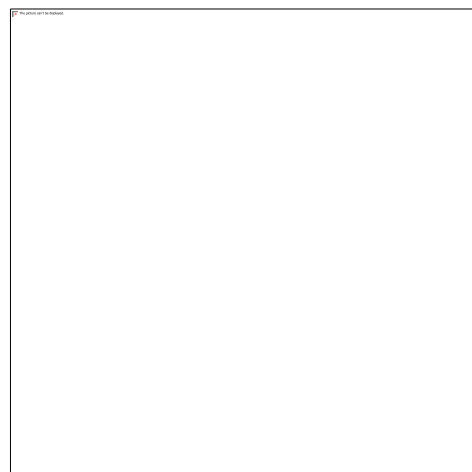


Рис. 2.3.6 Верхняя и нижняя часть пластины для крепления гребенки



Приложение 4. Изготовление основных компонентов

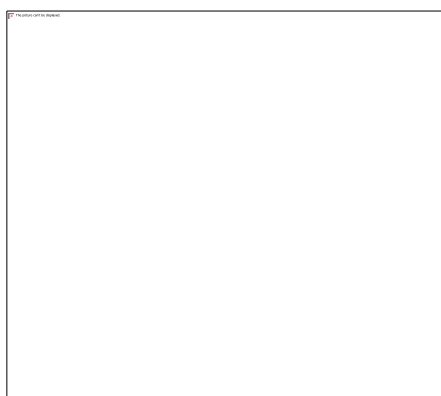


Рис. 2.3.14 Каркас стеклянного ролика

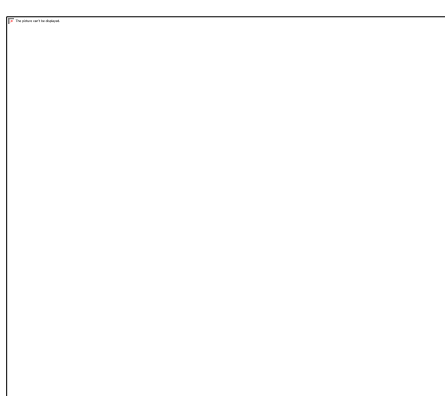


Рис. 2.3.15 Каркас стеклянного ролика и подшипники

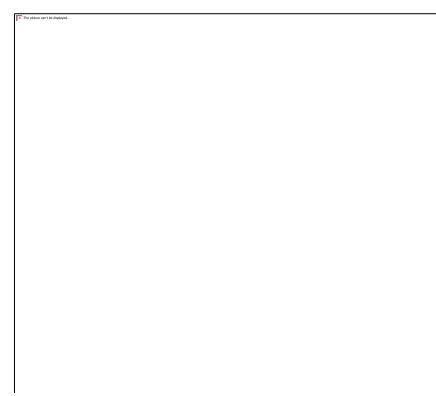


Рис. 2.3.16 Готовый стеклянный ролик

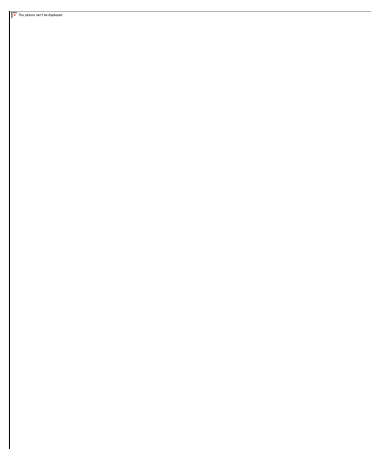


Рис. 2.3.12 Отверстие под изолирующую трубку в оргстекле



Рис. 2.3.13 Две доски оргстекла с отверстиями для крепления

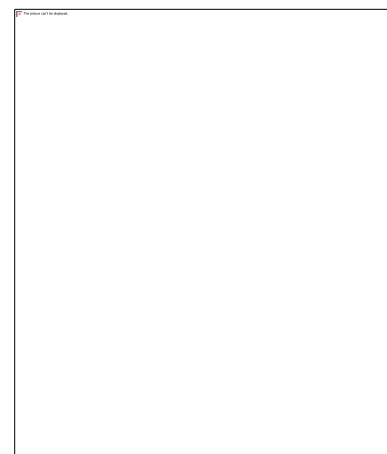


Рис. 2.3.13.1 Нижний ролик

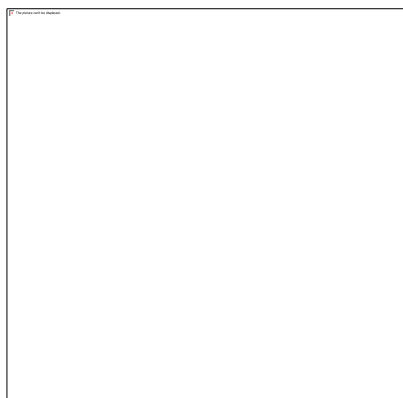


Рис. 2.3.17 Отверстия на
верхней части
изолирующей колонны

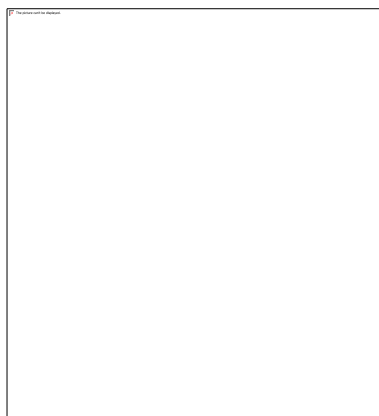


Рис. 2.3.18 Отверстия на
верхней части
изолирующей колонны

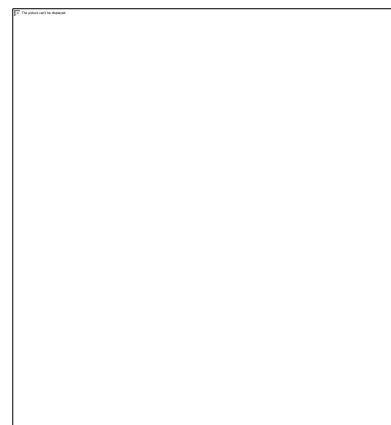


Рис. 2.3.19 Нижняя
пластина

Приложение 5. Сборка модели электростатического генератора

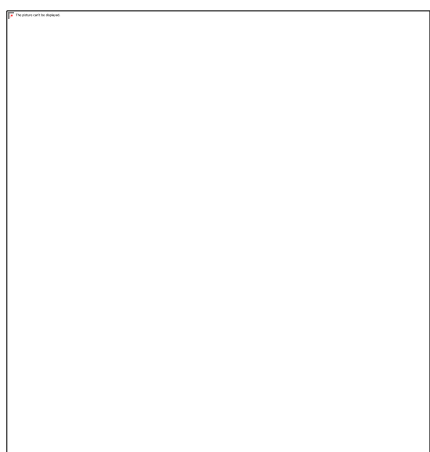


Рис. 2.3.23 Платформа
электростатического
генератора

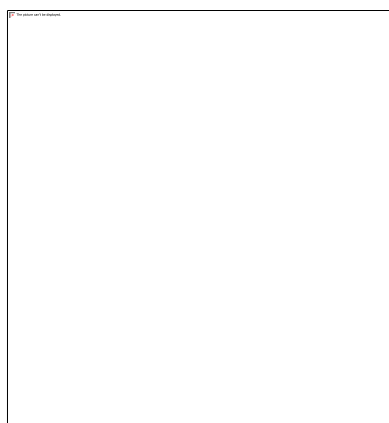


Рис. 2.3.24 Платформа

Рис. 2.3.27 Крепления
пластины с оргстеклом
и

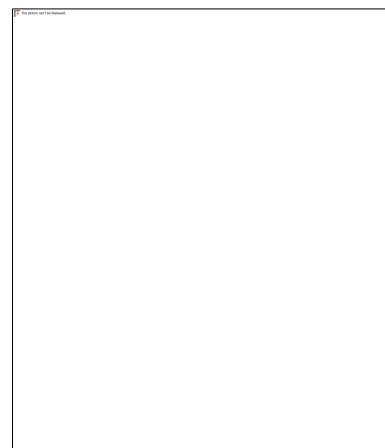


Рис. 2.3.25 Верхний ролик с
гребенкой и лентой

Приложение 6. Индикаторы успешности

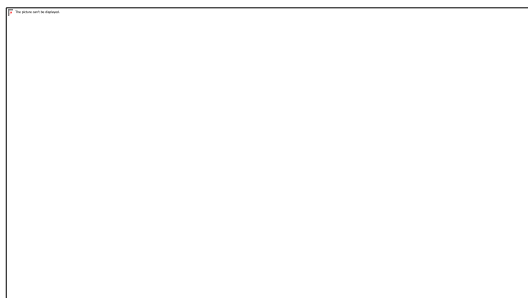


Рис. 2.5.1 Количественные индикаторы успешности проектной

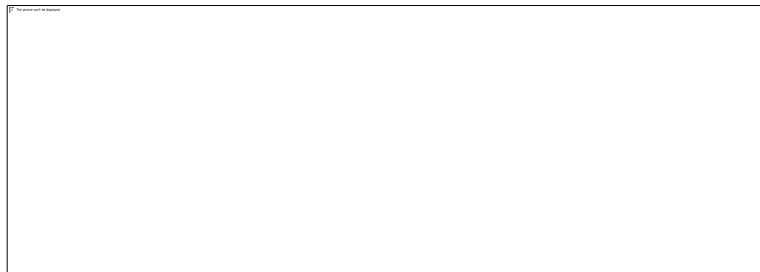


Рис. 2.5.2 Качественные индикаторы успешности проектной деятельности (комментарии)

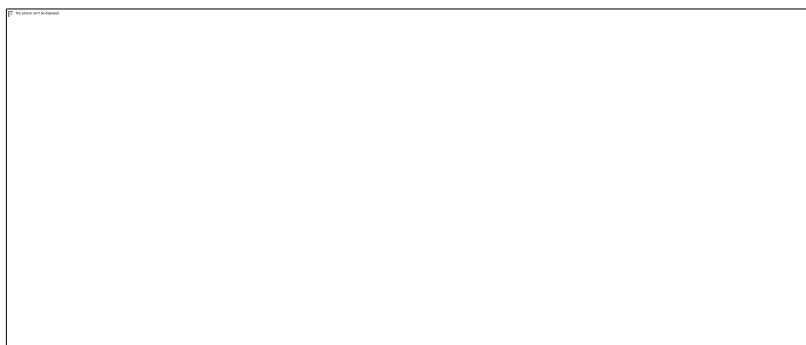


Диаграмма 2.5.1 Ответ учащихся на вопрос «Расширились ли ваши знания в теме "Электростатика"?»

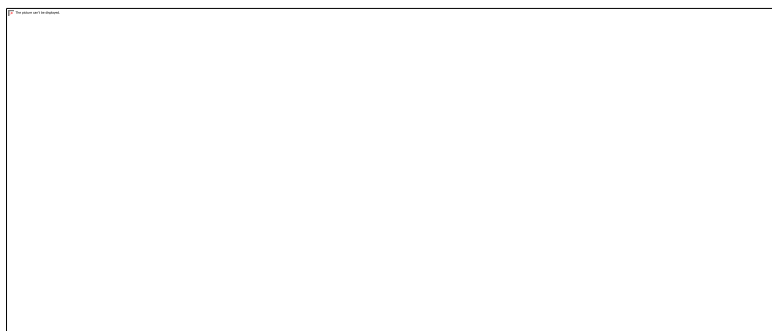


Диаграмма 2.5.2 Ответ учащихся на вопрос «Удобно ли воспринимать информацию с помощью демонстрационной модели?»



Диаграмма 2.5.3 Ответ учащихся на вопрос «Узнали ли вы что-то новое об электростатических генераторах?»

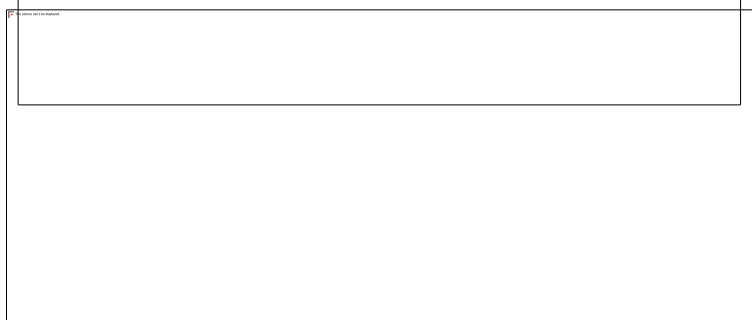


Диаграмма 2.5.4 Ответ учащихся на вопрос «Понятен ли вам принцип работы электростатического генератора Ван де Грааффа?»