

**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Лицей №15» города Воронежа**

*Профильное направление:
естественно-научные дисциплины (физика)*

**Исследовательская работа по теме:
«Счётчик электрического заряда».**

Выполнили учащиеся 11 класса:

Вострикова Злата Андреевна,
Романченко Анастасия Петровна

Научный руководитель:

Валуйская Ольга Александровна

2024 - 2025 г.

Содержание

1. Введение.	3
2. Условие, цель и задачи.....	3
3. Проблема и методика исследования.....	3-4
4. Теоретическая часть.....	4-7
4.1. Электростатическое взаимодействие	4
4.2. Физическая модель явления	5
4.3. Математическая модель	5-6
4.4. Выявленные параметры для исследования	6
4.5. Описание физических параметров	6-7
5. Экспериментальная часть	7-10
5.1. Экспериментальная установка	7
5.2. Методика проведения эксперимента	8
5.3. Проведение параметрического исследования	8-10
5.3.1. Исследование параметров при колебаниях гильзы от расстояния между пластинами.....	8
5.3.2. Измерение заряда пластины.....	9
5.3.3. Исследование параметров при колебаниях гильзы от величины заряда пластины.....	9
5.3.4. Зависимость частоты колебаний от массы гильзы	10
5.3.5. Зависимость периода и частоты колебаний от времени колебаний	10
6. Сравнительный анализ	11
7. Заключение	11-12
8. Список используемой литературы	12

1. Введение

Явление электризации тел описано более 2500 лет назад известным философом Фалесом Милетским. Уже тогда он пытался объяснить причину притяжения малых тел натертым янтарем. И только лишь в конце 19 века опытным путем удалось установить сложное строение атома, что помогло понять почему тела электризуются. Введено множество физических величин, которые описывают поведение наэлектризованных тел в электрическом поле.

Явление электризации в современной технике используют в копировальной технике и электрической защите от электростатического разряда. В медицине применяется электростатическая терапия, где электрические поля используются для лечения различных заболеваний и ран. Как видим, данный вопрос является актуальным и на сегодняшний день.

Одна из задач Турнира Юного Физика предлагает довольно сложную и интересную задачу по созданию счетчика электрического заряда. Для нас представляет эта задача интерес, т. к. явления электростатики уже изучены в 10 классе, но в 11 классе нам представилась возможность рассмотреть гармонические колебания заряда в электрическом поле. Интеграция различных тем физики и математики позволит нам более глубоко исследовать явления лежащие в основе работы «Счетчика электрического заряда».

2. Условие, цель и задачи

Условие задачи: подвесьте лёгкий шарик на нити между двумя заряженными пластинами. Если шарик зарядить, он отклонится в сторону на некоторый угол. С какой точностью это устройство позволяет измерять величину заряда шарика? Оптимизируйте устройство для измерения как можно меньшего заряда.

Цель: получить «Счетчик электрического заряда», позволяющий измерить величину заряда шарика с последующей оптимизацией устройства для измерения как можно меньшего заряда.

Задачи:

1. Построить физическую и математическую модель наблюдаемого явления.
2. Выявить параметры для исследования.
3. Собрать экспериментальную установку для наблюдения колебания металлической гильзы в электрическом поле конденсатора.
4. Провести параметрическое исследование.
5. Объяснить полученные результаты.

3. Проблема и методика исследования

Проблема исследования: создать «Счетчик электрического заряда»; выявить условия, при которых будет измерен минимальный электрический заряд.

Объект исследования: металлическая гильза, колеблющаяся в электрическом поле конденсатора.

Предмет исследования: физические параметры (смещение образца, масса образца, величина заряда пластины конденсатора и образца, период и частота колебаний).

Методика исследования

Теоретические методы: анализ, синтез, сравнение.

Эмпирические методы: изучение источников информации, эксперимент, графическое представление и интерпретация полученных результатов, сравнение теоретических и экспериментальных данных.

Фото и видео-фиксация в ходе исследования для определения важных параметров исследования.

4. Теоретическая часть

4.1. Электростатическое взаимодействие

Взаимодействие тел, возникающее только после их соприкосновения и не зависящее от их масс, называется электростатическим взаимодействием.

Электростатическое взаимодействие тел объясняется существованием электрических зарядов. Тело можно наэлектризовать разными способами: касание, трение, деформация и через влияние (посредством электростатического поля).

Также нужно обратить внимание на то, что между электрическими зарядами одинакового знака действуют силы отталкивания. Между электрическими зарядами противоположных знаков действуют силы притяжения.

Взаимодействие статических электрических зарядов осуществляется посредством электростатического поля, свойства которого следующие:

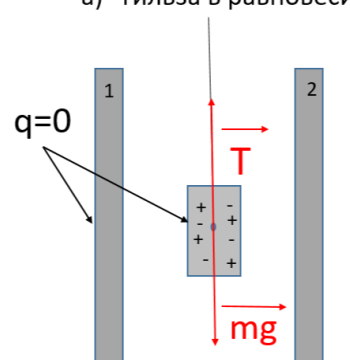
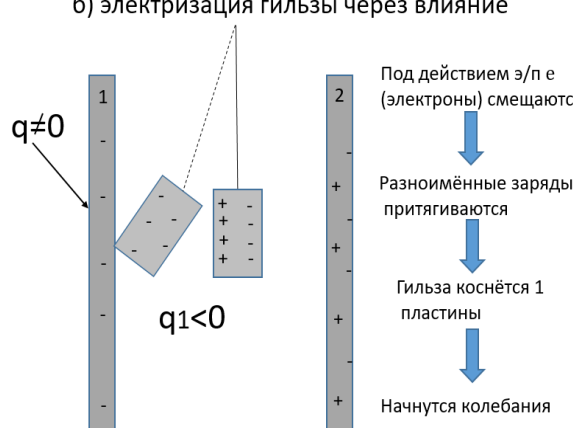
- материально;
- в вакууме распространяется со скоростью света;
- источником поля является статический заряд;
- обнаруживается поле по действию на заряд с некоторой силой.

Силовой характеристикой поля является напряженность.

Характер движения заряженного тела в э/поле может быть различным: состояние покоя и движение прямолинейное равномерное, прямолинейное равноускоренное движение, движение по параболе с изменением скорости, колебательное движение.

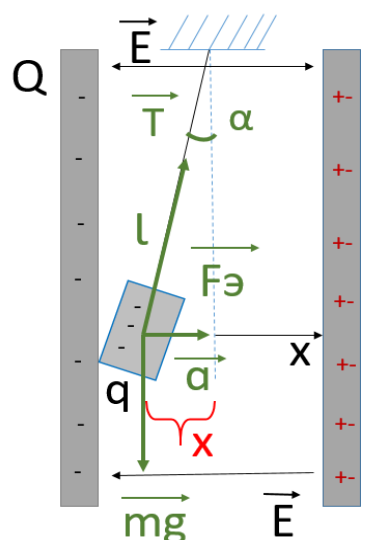
4.2. Физическая модель явления

Рассмотрим физические явления и законы, лежащие в основе «Счетчика электрического заряда».

<p>а) гильза в равновесии</p>  <p>Рис. 1</p>	<p>Пусть изначально металлическая легкая гильза и пластины конденсатора не имеют электрического заряда (Рис. 1).</p> <p>Для объяснения состояния равновесия применим I закон Ньютона, согласно которому силы, действующие на гильзу скомпенсированы:</p> $\vec{T} + \vec{mg} = 0$ <p>Если одной из пластин (левой) конденсатора сообщить электрический заряд, то в результате явления электростатической индукции заряды (электроны) внутри гильзы и внутри второй (правой) пластины перераспределятся, и гильза притянется левой пластиной, получит от нее отрицательный заряд. Одноименные заряды взаимно отталкиваются, значит гильза оттолкнется к правой пластине, отдавая ей часть своего избыточного заряда. Таким образом гильза придет в колебательное движение.</p> <p>Поведение заряженной гильзы можно описать II законом Ньютона:</p> $\vec{F}_э + \vec{T} + \vec{mg} = m\vec{a}$
<p>б) электризация гильзы через влияние</p>  <p>Рис. 2</p>	

4.3. Математическая модель

Перейдем к количественному описанию «счетчика заряда».

 <p>Рис. 3</p>	<p>Итак, для объяснения движения гильзы применим II закон Ньютона:</p> $\vec{F}_э + \vec{T} + \vec{mg} = m\vec{a}$ <p>Запишем это выражение в проекциях на оси OX: $F_э + T \sin \alpha = ma$</p> <p>α - угол малый, тогда можно пренебречь слагаемым $T \sin \alpha$.</p> $\begin{cases} F_э = ma \\ F_э = qE \end{cases}$ $ma = qE$ <p>Т.к. колебания гармонические, то</p> $a = \omega^2 x , \text{ и } \omega = 2\pi\nu$ $m4\pi^2\nu^2 x = qE$
---	---

Тогда:

$$q = \frac{4\pi^2 m v^2 |x|}{E}$$

Напряженность поля плоской пластины: $E = \frac{Q}{2\epsilon_0 S}$

Следовательно

Величина заряда	Частота колебаний
$q = \frac{4\pi^2 m v^2 x 2\epsilon_0 S}{Q}$	$\nu = \frac{1}{2\pi} \frac{\sqrt{qQ}}{\sqrt{m x 2\epsilon_0 S}}$

где

q- заряд гильзы,

\vec{E} - напряжённость электрического поля пластины,

m – масса гильзы,

x - смещение гильзы от положения равновесия,

ν - частота колебания гильзы,

ϵ_0 – электрическая постоянная,

S – площадь пластины,

Q – заряд пластины.

4.4. Выявленные параметры для исследования

Исходя из анализа теории можем сделать вывод о ключевых параметрах, которые нужно измерить и исследовать в работе, согласно цели и проблеме работы.

- заряд гильзы,
- масса гильзы,
- смещение гильзы от положения равновесия (расстояние между пластинами),
- период и частота колебания гильзы,
- заряд пластины.

4.5. Описание физических параметров

В ходе выполнения исследования будем опираться на следующие выявленные физические параметры.

Физические величины (параметры)	Что характеризует	Формула	Прибор для измерения
m , масса гильзы, мг	Мера инертности тела	-	весы (прямые измерения)
x , смещение образца, см	Положение тела в пространстве	-	линейка (прямые измерения)
Q , величина заряда, нКл	Мера электростатического взаимодействия	-	датчик заряда (прямые измерения)

t , время колебаний, с	Длительность процесса	-	при помощи видео редактора <i>Clideo</i> (прямые измерения)
T , период колебаний, мс	Время одного колебания	$T = \frac{t}{N}$	
ν , частота колебаний, Гц	Количество колебаний в единицу времени	$\nu = \frac{1}{T}$ или $\nu = \frac{1}{2\pi} \frac{\sqrt{qQ}}{\sqrt{m x 2\epsilon_0 S}}$	косвенные измерения

5. Экспериментальная часть

5.1. Экспериментальная установка.

Оборудование: пластины конденсатора, шелковая нить, легкая металлическая гильза, штативы, весы, датчик измерителя заряда.



Фото 1. Экспериментальная установка.



Фото 2. Измерение массы гильзы.

5.2. Методика проведения эксперимента

- 1) Из фольги тонкого алюминия свернем гильзу.
- 2) Измерим параметры гильзы: массу при помощи весов, высоту при помощи линейки.
- 3) Между пластинами плоского конденсатора на шелковой нити подвесили легкую гильзу.
- 4) Заряжаем эбонитовую палочку при помощи шерстяного лоскута, заряд с этой палочки передаем левой пластине конденсатора.
- 5) Далее процесс колебаний записываем на видео.
- 6) При помощи видео редактора *Clideo* определяем количество колебаний; период колебаний гильзы.

5.3. Проведение параметрического исследования

5.3.1. Исследование параметров при колебаниях гильзы от расстояния между пластинами.

Условия наблюдения: $m = 30$ мг; $L = 20$ см; $l = 1,5$ см

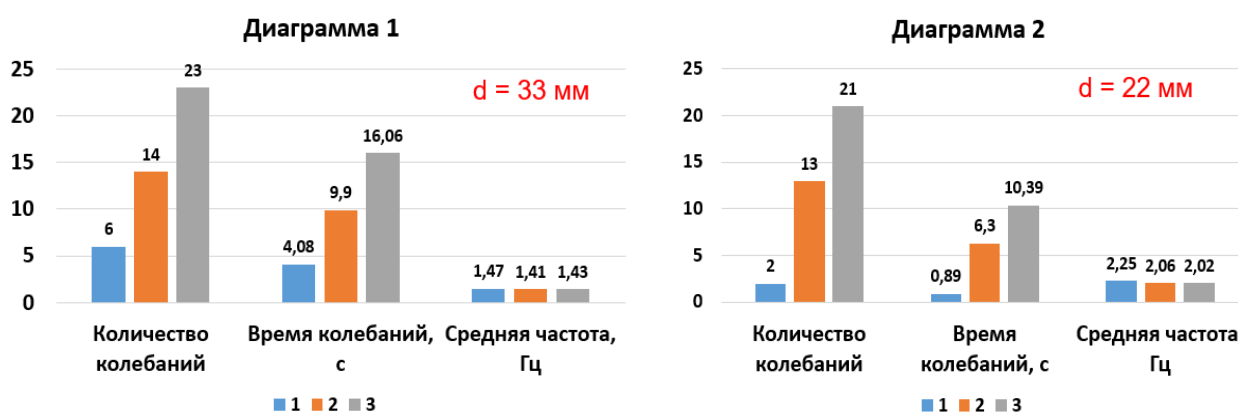
Где m - масса гильзы

L - длина нити

l - высота гильзы

d - расстояние между пластинами конденсатора (считать, что $d = 2x$)

Результаты исследования:



Вывод: при уменьшении расстояния между пластинами конденсатора в 1,5 раза, время колебаний уменьшается примерно в 1,5 раза, а частота колебаний в 1,5 раза увеличивается.

5.3.2. Измерение заряда пластины

При помощи датчика заряда определим начальный заряд левой пластины, которую изначально зарядили при помощи наэлектризованной эбонитовой палочки.

Результаты исследования:

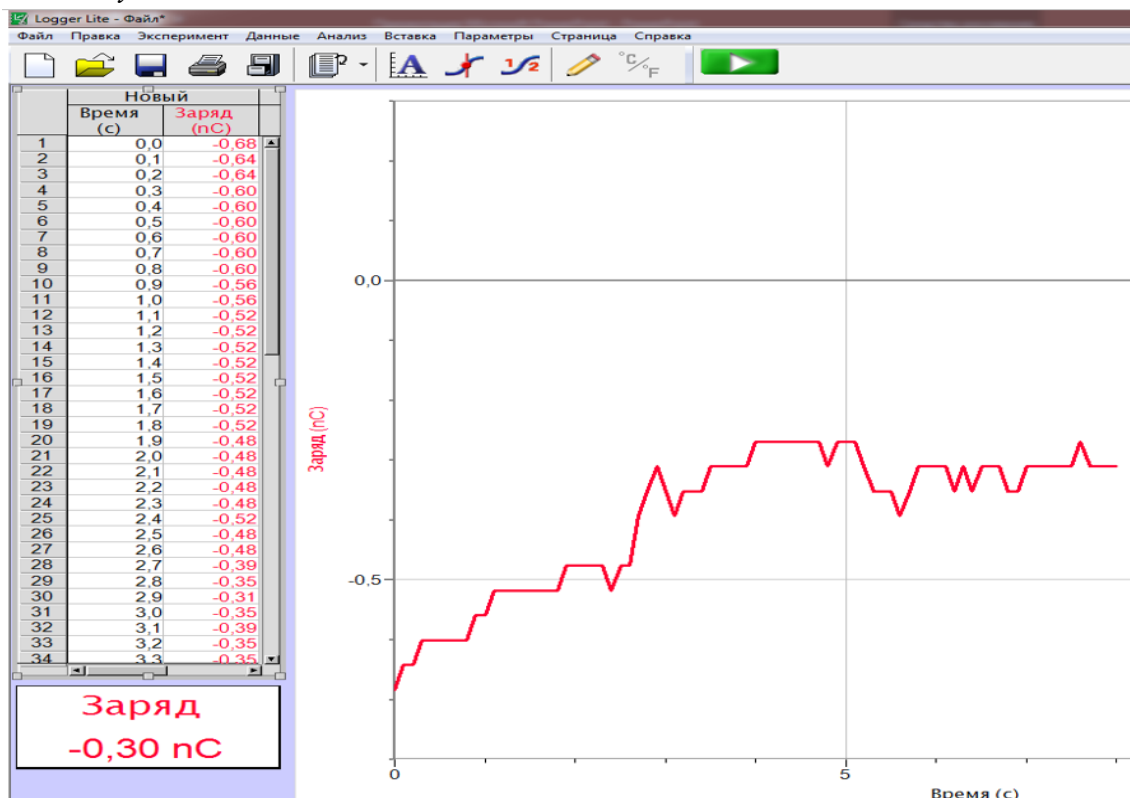


Фото 3. Измерение заряда пластины

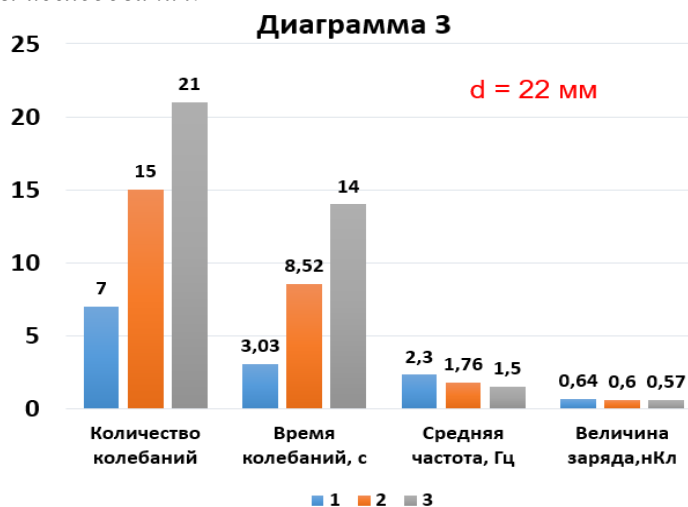
Вывод: начальный заряд на пластине отрицательный; в течение времени величина заряда уменьшалась.

5.3.3. Исследование параметров при колебаниях гильзы от величины заряда пластины.

Условия наблюдения: $m = 30$ мг; $d = 22$ мм; $L = 20$ см; $l = 1,5$ см.

При помощи датчика заряда измерим величину заряда левой пластины.

Результаты исследования:



Вывод: при уменьшении величины заряда пластины конденсатора в 1,12 раза, средняя частота колебаний уменьшается в 1,53 раза.

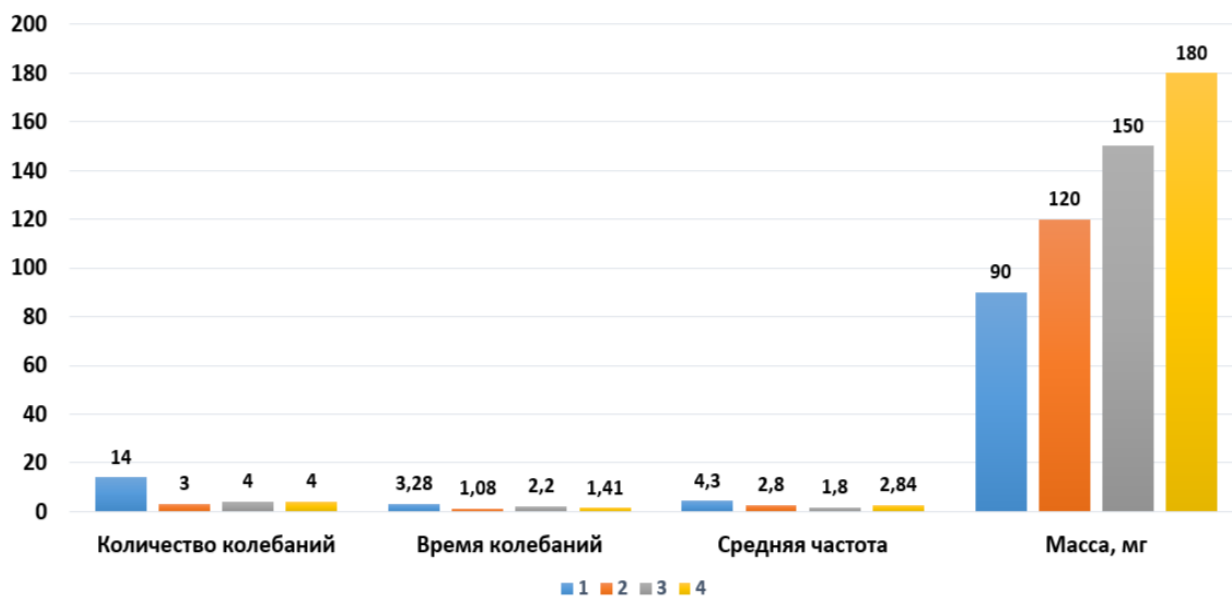
5.3.4. Зависимость частоты колебаний от массы гильзы.

Условия наблюдения: $\Delta m = 30$ мг; $d = 22$ мм; $L = 20$ см; $l = 1,5$ см; $Q = 0,31$ нКл

! Металлическая часть гильзы неизменна, масса меняется за счет нагрузки в виде кусочка пластилина, прикрепляемого в месте соединения гильзы и нити.

Результаты исследования:

Диаграмма 4



Вывод: при увеличении массы гильзы в 2 раза, частота колебаний уменьшается в примерно в 1,5 раза.

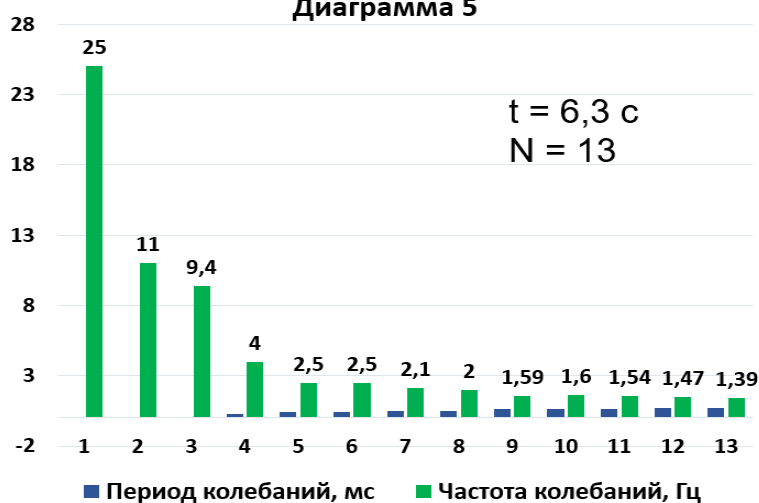
5.3.5. Зависимость периода и частоты колебания от всего времени колебания.

Условия наблюдения: $m = 30$ мг; $d = 22$ мм; $L = 20$ см; $l = 1,5$ см

Исследуем время одного колебания (период) и частоту на протяжении всего времени колебаний гильзы.

Результаты исследования:

Диаграмма 5



Вывод: при колебаниях период (время каждого колебания) увеличивается с уменьшением частоты.

6. Сравнительный анализ

При построении физической и математической модели получена была формула частоты колебаний гильзы:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \frac{\sqrt{qQ}}{\sqrt{m|x|2\epsilon_0 S}}$$

Анализ формулы и данные эксперимента показали следующие результаты

№ п/п	Физический параметр	Теоретический выход	Экспериментальные данные
1	x, смещение образца	При уменьшении (x) смещения образца в 1,5 раза частота колебаний должна увеличиваться в 1,22 раза	При уменьшении (x) смещения образца в 1,5 раза частота колебаний увеличилась в 1,5 раза
2	Q, заряд пластины	При уменьшении (Q) заряда пластины в 1,12 раза частота колебаний должна уменьшаться в 1,10 раза	При уменьшении (Q) заряда пластины в 1,12 раза частота колебаний уменьшилась в 1,53 раза
3	m, масса образца	При уменьшении (m) масса образца в 2 раза частота колебаний должна увеличиваться в 1,41 раза	При уменьшении (m) масса образца в 2 раза частота колебаний увеличилась в 1,5 раза

Вывод: сравнительный анализ позволяет сделать вывод о том, что экспериментальные данные подтверждают полученную формулу при учете того, что:

- были допущены погрешности при проведении прямых измерений;
- при математической обработке эксперимента учитывались средние значения периода и частоты колебаний;
- в математической модели не учитывалась сила сопротивления движению.

7. Заключение

В ходе выполнения работы:

- был продуман план проведения исследования;
- сделан обзор научной литературы, которая отражает особенности движения заряженного тела в электрическом поле плоского конденсатора;
- построены физическая и математическая модель «Счетчика электрического заряда».
- подобрано оборудование для проведения эксперимента;
- собрали экспериментальную установку для наблюдения колебания металлической гильзы в электрическом поле конденсатора;
- выявлены, исследованы и проанализированы параметры модели;
- объяснены полученные результаты.

Смогли получить «Счетчик электрического заряда», позволяющий косвенно измерить величину заряда шарика по формуле на основе математической модели:

$$q = \frac{4\pi^2 m \nu^2 |x| 2\epsilon_0 S}{Q}$$

В ходе проведения экспериментов оптимизировали устройство и получили такие параметры установки, которые позволили определить наименьший заряд гильзы:

$$q_{\text{мин}} = -1,4 \text{ нКл}$$

Исследовательская деятельность помогла нам: усовершенствовать навыки планирования и реализации физического эксперимента; получили комплексный взгляд на проблему при решении задач Турнира Юного Физика.

8. Список используемой литературы

- 1.Кабардин О.Ф., Орлов В.А., Эвенчик Э.Э., Физика. 10 класс.: учебник для общеобразоват. учреждений (углубленный уровни)/ под редакцией А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина - М.: Просвещение, 2014.- 416 с.: ил.
- 2.Кабардин О.Ф., Глазунов А. Т., Орлов В.А., Физика. 11 класс.: учебник для общеобразоват. учреждений (углубленный уровни)/ под редакцией А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина - М.: Просвещение, 2014.- 416 с.: ил.
- 3.Тихомирова С.А., Яворский Б.М., Физика. 10 класс.: учебник для общеобразоват. учреждений (базовый и профильный уровни)/ С.А. Тихомирова - М.: «Мнемозина», 2010. - 304 с.: ил.
- 4.Яворский Б.М., Детлаф А.А., Справочник по физике: / Б.М. Яворский - М.: «Наука», 1990.- 6244 с.: ил.

Интернет-источники:

- 1.Сайт Турнира Юного Физика,
<https://iypt.ru/category/%d0%b7%d0%b0%d0%b4%d0%b0%d1%87%d0%b8/2024/>