

Министерство образования и науки РФ

Федеральное агентство по образованию

**НГТУ**

Кафедра общей физики

Проектная работа на тему

**Плоская катушка в магнитном поле**

Факультет: ПМИ

Преподаватель: Баранов А.В.

Группы: ПМ-15, ПМИ-11

Студенты: Шахрай Вадим

Зуев Андрей

Мироненко Алиса

Новосибирск 2023

## Содержание

Введение .....	3
Теоретическая часть.....	4
Программная часть .....	6
Руководство по использованию программы .....	7
Окно моделирования.....	8
Окно настроек .....	9
Экспериментальная часть.....	12
Осциллограф .....	12
Источник постоянного тока.....	12
Катушки Гельмгольца.....	13
Плоская катушка.....	13
Вольтметр.....	14
Двигатель .....	14
Провода.....	14
Эксперимент.....	15
Список использованной литературы.....	16

## **Введение**

В проекте реализован расчет электродвижущей силы плоской катушки, приводящейся во вращение двигателем, находящейся в однородном магнитном поле катушек Гельмгольца, для исследования явления электромагнитной индукции.

## Теоретическая часть

В 1831 году Фарадей открыл, что во всяком замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром возникает электрический ток. Это явление называется электромагнитной индукцией.

Для создания тока в цепи необходимо наличие ЭДС. Поэтому явление электромагнитной индукции свидетельствует о том, что при изменениях магнитного потока в контуре возникает электродвижущая сила индукции.

Для экспериментального исследования электромагнитной индукции будем использовать катушку длиной  $l$ , шириной  $b$ , и количеством витков  $n$ .

Катушка будет вращаться с постоянной скоростью  $\omega$  и находиться в однородном магнитном поле.

При вращении в одном витке катушки будет индуцироваться ЭДС равная скорости изменения во времени потока магнитной индукции  $\Phi$ , пронизывающего контур

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Поток магнитной индукции одного витка равен

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где  $S$  – площадь одного витка катушки,  $\alpha$  – угол между нормалью к плоскости и направлением вектора магнитной индукции  $B$

Поскольку все витки катушки соединяются последовательно, и поток пронизывающий каждый виток одинаков, то полный магнитный поток будет равен

$$\psi = n\Phi = nBS \cos \alpha.$$

Катушка вращается с постоянной скоростью  $\omega$ , поэтому  $\alpha = \omega t$ .

Тогда выражение для ЭДС индуцируемой в катушке можно записать в виде

$$\varepsilon = -\frac{d\psi}{dt} = nBS\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t.$$

Так как площадь одного витка катушки равна  $S = lb$ , то выражение примет вид

$$\varepsilon = nBlb\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t$$

Таким образом, в катушке индуцируется ЭДС, которое изменяется со временем по гармоническому закону.

Для того, чтобы получить однородное магнитное поле мы используем катушки Гельмгольца. Катушками Гельмгольца называется система из двух одинаковых катушек расположенных соосна на расстоянии, равном их радиусу. В пространстве между катушками получается поле высокой однородности.

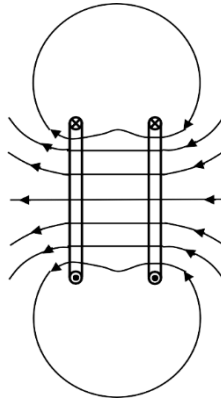
Магнитную индукцию в центре системы можно рассчитать по формуле

$$B = \mu_0 \left( \frac{2}{\sqrt{5}} \right)^3 \frac{IN}{R},$$

где **N** – общее число витков одной катушки, **R** – средний радиус катушки, **I** – сила тока через катушки,  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  магнитная постоянная.

В данном эксперименте катушки подключены последовательно, и на них будет подаваться постоянный ток от источника тока.

На изображении 1. показаны силовые линии магнитного поля катушек Гельмгольца. (Показаны лишь линии, лежащие в одной из плоскостей).



Изображение 1. Силовые линии магнитного поля катушек Гельмгольца

Рассмотрим мгновенное значение силы тока в катушке.

Пусть полный поток изменяется со временем с значения  $\Psi_1$  до  $\Psi_2$ . Мгновенное значение силы тока в катушке будет равно

$$i = \frac{\varepsilon_i}{R} = - \frac{1}{R} \frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{R} \varepsilon_m \sin \omega t.$$

Длина проволоки, необходимой для плоской катушки, рассчитывается по формуле **L = 2n(l+b)**. Тогда сопротивление катушки примет вид

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{8\rho n(l+b)}{\pi d^2}.$$

## Программная часть

Проект представляет из себя web-страницу, доступную по ссылке <https://vadimshahray.github.io/flat-coil-in-magnetic-field/>. Сайт написан на языке [TypeScript](#), с использованием библиотек [React](#) (интерфейс), [React Three Fiber](#) (3d-графика) и [Redux Toolkit](#) (обмен данными внутри сайта) в качестве основных. Библиотека [React Three Fiber](#) в качестве движка использует браузерный [WebGL](#).

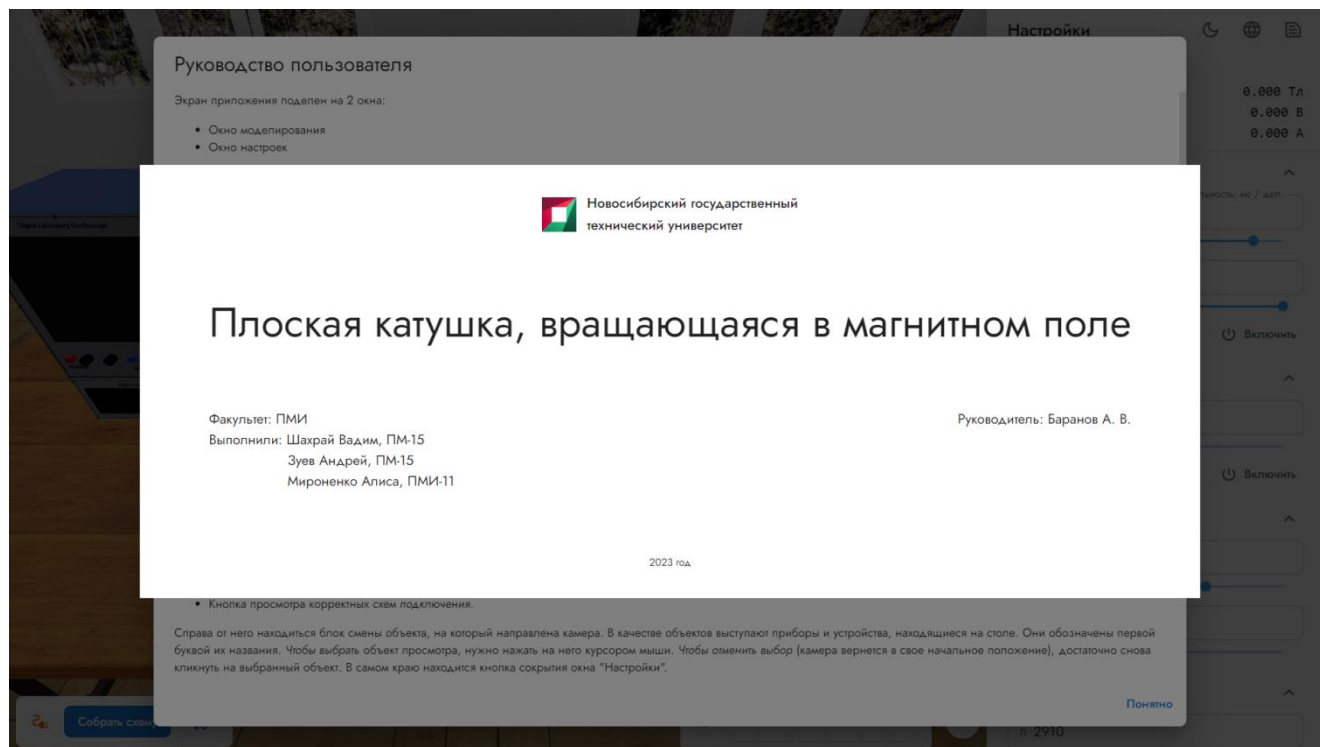
Также были использованы следующие технологии:

- [Material UI](#) - библиотека готовых компонентов пользовательского интерфейса в стиле Material Design 2 от Google;
- [React Three Drei](#) - библиотека вспомогательных функций для работы с [React Three Fiber](#);
- [React Redux](#) - библиотека, связующая между собой [React](#) и [Redux Toolkit](#);
- [camera-controls](#) - библиотека вспомогательных функций для работы с 3D-камерой;
- [Redux Persist](#) - библиотека, для локального сохранения данных программы;
- [Yup](#) - библиотека для проверки данных на корректность;
- И многие другие;

# Руководство по использованию программы

Программа (сайт) доступна по ссылке <https://vadimshahray.github.io/flat-coil-in-magnetic-field/>.

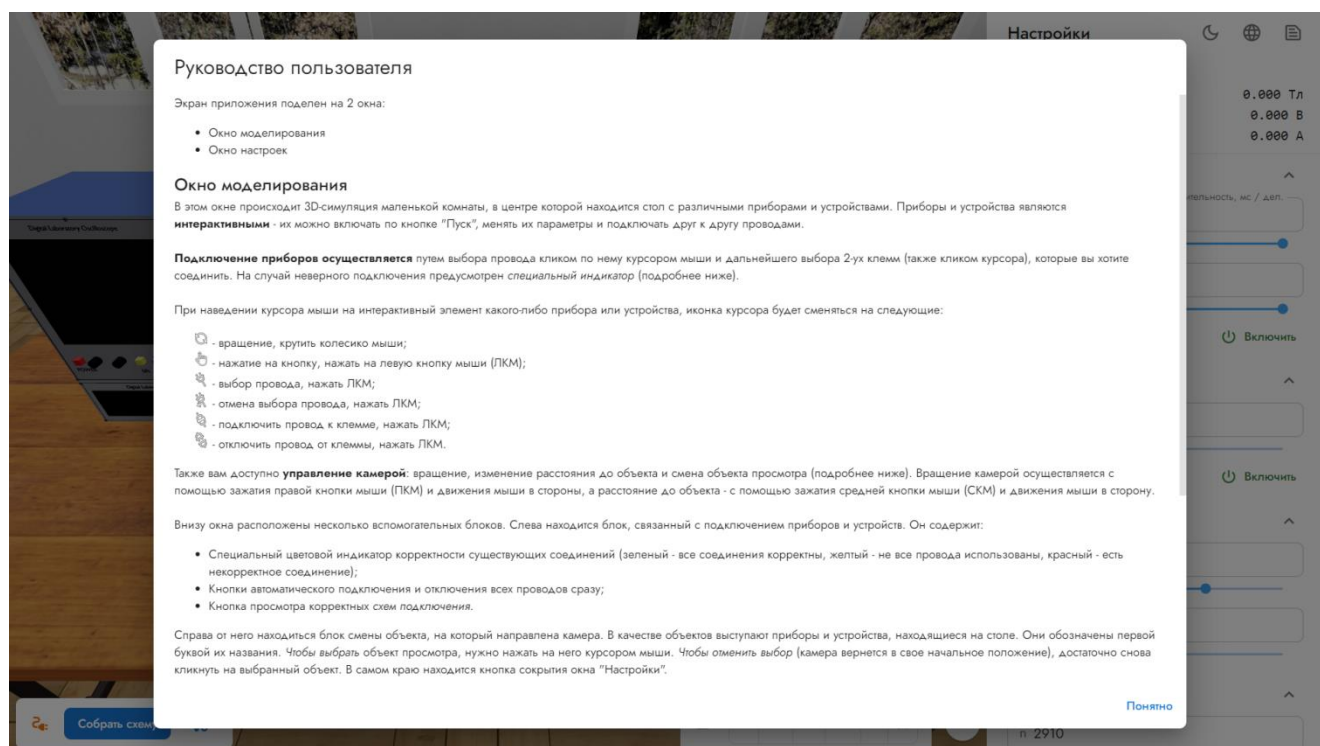
В начале пользователю показывается блок с информацией о создателях проекта:



Изображение 2. Начальный экран программы. Создатели проекта

Его можно быстро скрыть, нажав любую клавишу на клавиатуре или кликнуть курсором мыши в область за блоком.

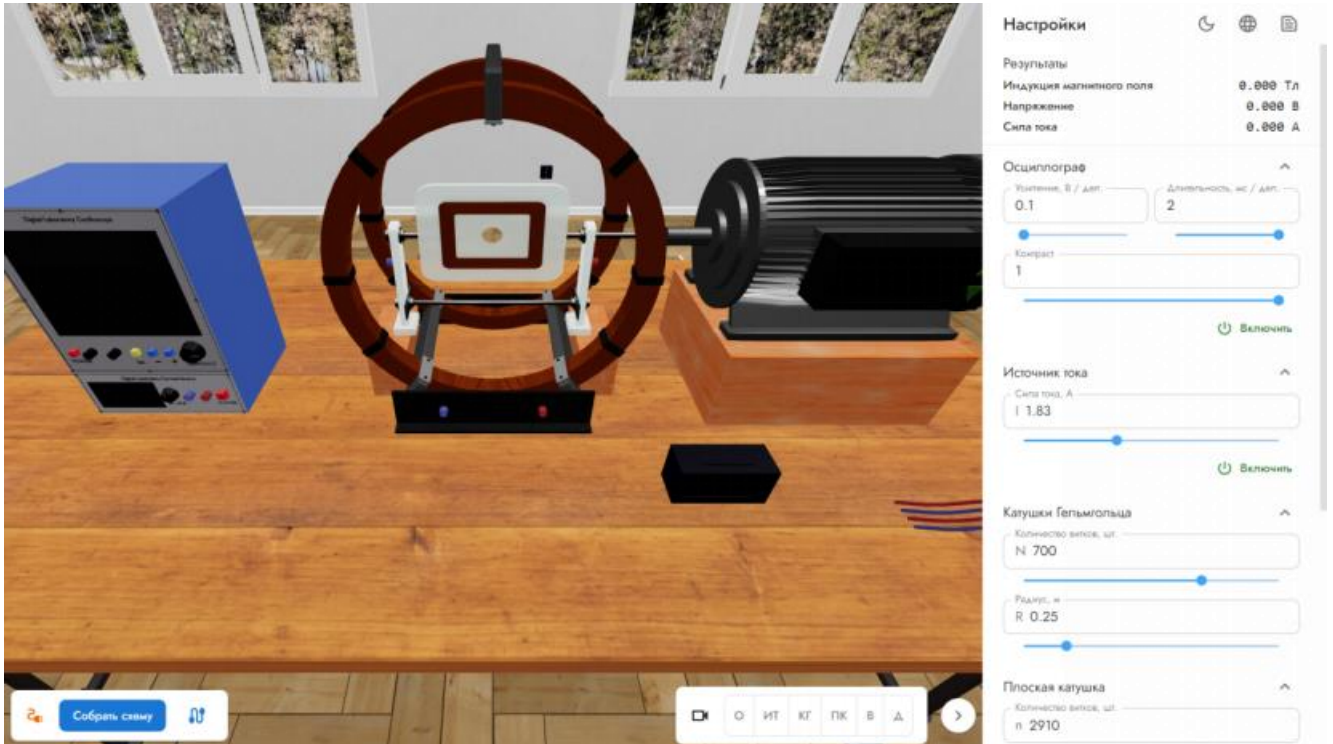
За ним скрывается краткое руководство по использованию программы:



Изображение 3. Руководство пользователя

После прочтения руководства нам становится доступен весь функционал программы, который визуально разделен на 2 окна:

- Окно моделирования (самое большое);
- Окно настроек (справа).



Изображение 4. Интерфейс программы

Рассмотрим функционал каждого окна подробнее.

### Окно моделирования

В данном окне происходит работа с 3D-графикой. Визуально мы находимся внутри маленькой комнаты со столом по середине, на котором расставлены различные приборы и устройства. С каждым из этих приборов и устройств **можно взаимодействовать**: включать, менять параметры и подключать друг к другу проводами. Также на их экранах (если он есть) будет отображаться различная информация, характерная для каждого прибора и устройства.

**Подключение** приборов и устройств осуществляется путем выбора любого провода (провод можно найти в правом нижнем углу стола) и последующего выбора 2-ух клемм, которые нужно соединить между собой.

Чтобы выбрать провод, необходимо навести *курсор мыши* (далее *курсор*) точно на него и кликнуть *левой кнопкой мыши (ЛКМ)*. После этого вам будет доступен выбор 2-ух клемм. Выбор клеммы не отличается от выбора провода - нужно навести *курсор* на клемму и нажать *ЛКМ*. Тоже самое и для 2-ой клеммы.





На случай неверного подключения предусмотрен *специальный индикатор* (подробнее ниже).


При наведении *курсора* на элемент прибора или устройства, который поддерживает взаимодействие, стандартная иконка *курсора* будет сменяться на следующие, в зависимости от правила взаимодействия:


 - вращение, крутить *колесико мыши*;

 - нажатие на кнопку, нажать на *ЛКМ*;

 - выбор провода, нажать *ЛКМ*;

 - отмена выбора провода, нажать *ЛКМ*;

 - подключить провод к клемме, нажать *ЛКМ*;

 - отключить провод от клеммы, нажать *ЛКМ*.

Также вам доступно **управление камерой**: вращение, изменение расстояния до объекта и смена объекта просмотра (подробнее ниже). Вращение камерой осуществляется с помощью зажатия правой кнопки мыши (ПКМ) и движения мыши в стороны, а расстояние до объекта - с помощью зажатия средней кнопки мыши (СКМ) и движения мыши в сторону.

В нижней части окна моделирования расположены несколько вспомогательных блоков.



Изображение 5. Вспомогательные блоки

Слева находится блок, связанный с подключением приборов и устройств. Он содержит:

- *Специальный цветовой индикатор корректности существующих соединений (зеленый - все соединения корректны, желтый - не все провода использованы, красный - есть некорректное соединение);*
- Кнопки **автоматического** подключения и отключения всех проводов сразу;
- Кнопка просмотра **корректных схем** подключения.

Справа от него находится **блок смены объекта, на который направлена камера**. В качестве объектов выступают приборы и устройства, находящиеся на столе. Они обозначены первой буквой их названия. **Чтобы выбрать объект просмотра**, нужно нажать на него *курсором мыши*. **Чтобы отменить выбор** (камера вернется в свое начальное положение), достаточно снова кликнуть на выбранный объект. В самом краю находится кнопка сокрытия окна "Настройки".

## Окно настроек

Данное окно разделено на 3 секции:

- Вспомогательные кнопки;
- Результаты;
- Настройка приборов и устройств.

Вспомогательные кнопки представляют из себя *переключатель темы приложения* (светлая/темная), *переключатель языка интерфейса* (русский/английский) и *кнопку для скачивания отчета по проекту (непосредственно, этого)*, который содержит в себе полное его описание.



Изображение 6. Вспомогательные кнопки

В секции "Результаты" будут выводиться контрольные значения эксперимента.

Результаты	
Индукция магнитного поля	0.000 Тл
Напряжение	0.000 В
Сила тока	0.000 А

Изображение 7. Секция "Результаты"

Последняя секция представляет из себя альтернативную и более точную систему для настройки параметров приборов и устройств. Также она содержит дополнительную информацию: используемые константы и пр.

Почти каждый блок настройки прибора или устройства содержит в себе специальные компоненты для изменения определенных его параметров.

Плоская катушка ^

Количество витков, шт.

n 2910

Ширина, м

b 0.2

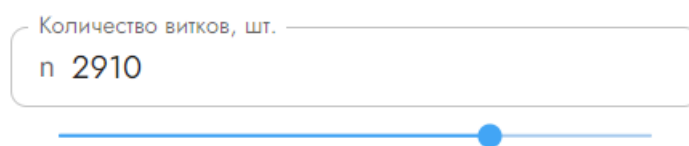
Длина, м

L 0.2

Изображение 8. Блок настройки устройства

Такой компонент состоит из 2-ух элементов, которые связаны между собой - изменение значения в одном, приводит к изменению значения в другом: *текстового поля* и *слайдера*. Таким образом можно устанавливать данные точно, используя *текстовое поле* или быстро,

используя *слайдер*. Какой именно параметр меняет данный блок, написано в *заголовке* его *текстового поля*, вместе с СИ. *Текущее значение параметра* также отображается в *текстовом поле*.

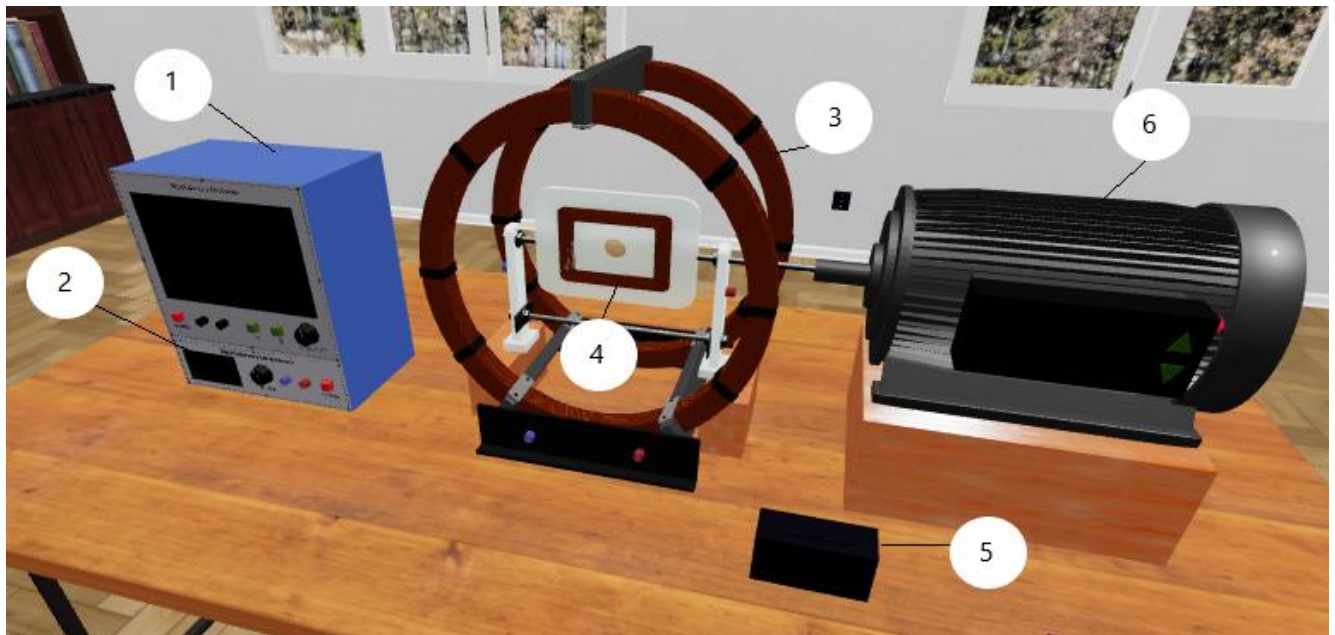


Количество витков, шт.

n 2910

Изображение 9. Компонент изменения параметра устройства

## Экспериментальная часть



Изображение 10. Экспериментальная установка. 1 - осциллограф, 2 - источник постоянного ток, 3 - катушки Гельмгольца, 4 - плоская катушка, 5 - вольтметр, 6 - двигатель

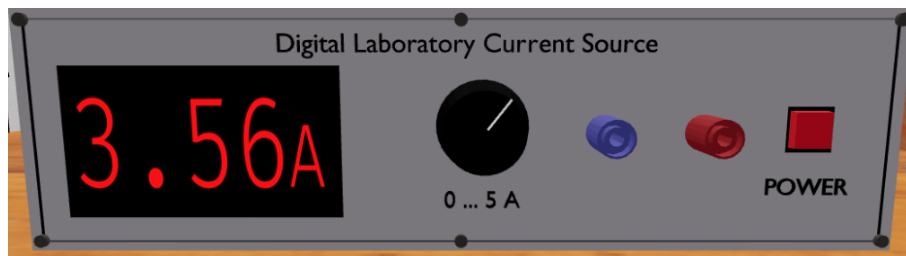
### Осциллограф

На осциллографе, при его подключении, будет отображена осциллограмма протекаемого процесса. Пользователь может настраивать масштаб отображаемой осциллограммы, а также контраст изображения.



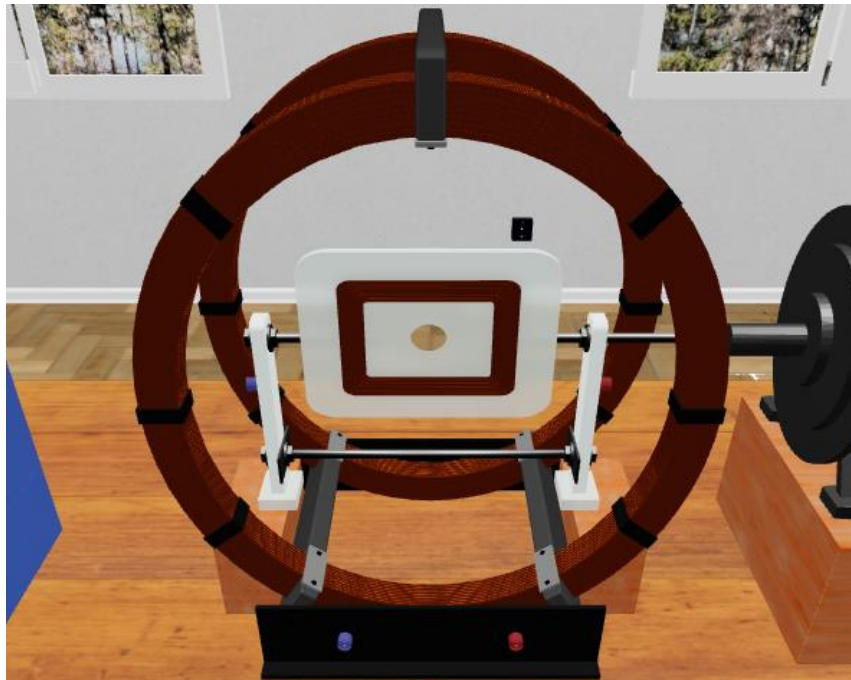
### Источник постоянного тока

Источник постоянного тока подает ток на катушки Гельмгольца в диапазоне от 0 до 5 ампер. Пользователь может регулировать силу подаваемого тока.



### ***Катушки Гельмгольца***

Катушки Гельмгольца создают однородное магнитное поле. Пользователь может регулировать радиус катушек **R**, а также количество витков **N**.



### ***Плоская катушка***

Плоская катушка вращается двигателем. Пользователь может регулировать длину **l** и ширину **b** катушки, а также количество витков в катушке **n**.



## **Вольтметр**

На вольтметре отображается действующее переменное напряжение плоской катушки, которое находится по формуле:

$$U = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}}$$



## **Двигатель**

Двигатель соединен с плоской катушкой и приводит ее в движение. Пользователь может регулировать значения частоты вращения двигателя.



## **Провода**

Для соединения приборов и устройств установки используются провода. Пользователь нажатием на определенные клеммы выполняет соединение приборов.



## Эксперимент

Для того чтобы запустить эксперимент, пользователю необходимо:

- 1) Собрать две из трех схемы, показанные ниже: “Источник тока – Катушки Гельмгольца” и “Плоская катушка – Вольтметр”, либо “Источник тока – Катушки Гельмгольца” и “Плоская катушка – Осциллограф”, в зависимости от задания;
- 2) Включить источник постоянного тока;
- 3) Включить вольтметр или осциллограф в зависимости от схемы подключения;
- 4) Включить двигатель.

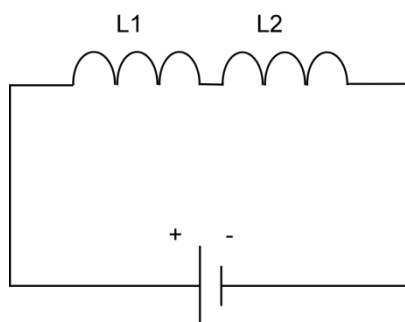


Схема «Источник тока – Катушки Гельмгольца». L1 и L2 - катушки Гельмгольца, + | - - источник тока

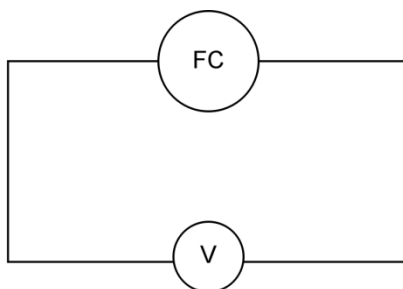


Схема «Плоская катушка – Вольтметр». FC - плоская катушка, V - вольтметр

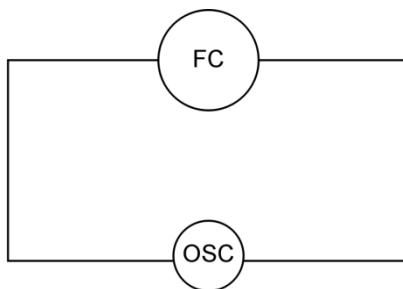


Схема «Плоская катушка – Осциллограф». FC - плоская катушка, OSC - осциллограф

## Список использованной литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. — 3-е изд., испр. — М.: Наука. Гл. Ред. физ.-мат. лит., 1988. — 496 с,
2. Мартинсон Л.К., Морозов А.Н., Смирнов Е.В. Электромагнитное поле: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.
3. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М., Высшая школа, 1983, § 10, примеры 10.2-4, § 35, 38, 40.
4. Калашников С.Г. Электричество. М., Наука.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Электричество.
6. TypeScript is JavaScript with syntax for types. / [Электронный ресурс] // TypeScript : [сайт]. — URL: <https://www.typescriptlang.org/>
7. React A JavaScript library for building user interfaces / [Электронный ресурс] // React : [сайт]. — URL: <https://reactjs.org/>
8. Redux Toolkit The official, opinionated, batteries-included toolset for efficient Redux development / [Электронный ресурс] // Redux Toolkit : [сайт]. — URL: <https://redux-toolkit.js.org/>
9. Introduction / [Электронный ресурс] // Pmdrc.Dosc : [сайт]. — URL: <https://docs.pmnd.rs/react-three-fiber/getting-started/introduction>
10. rt2zz Redux Persist / rt2zz [Электронный ресурс] // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/rt2zz/redux-persist#readme>
11. oliviertassinari Material-ui / oliviertassinari [Электронный ресурс] // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/mui/material-ui#readme>
12. drcmda Drei / drcmda [Электронный ресурс] // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/pmndrs/drei#readm>
13. dsafa Camera-controls / dsafa [Электронный ресурс] // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/yomotsu/camera-controls#readme>
14. ckalika Redux Persist / ckalika [Электронный ресурс] // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/rt2zz/redux-persist#readme>
15. renovate[bot] Yup / renovate[bot] [Электронный ресурс] // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/jquense/yup#readme>
16. Creating a GitHub Pages site / [Электронный ресурс] // GitHub Docs : [сайт]. — URL: <https://docs.github.com/ru/pages/getting-started-with-github-pages/creating-a-github-pages-site>