

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

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

**Исследовательская работа по теме:  
«Особенности электрической проводимости графитовых  
линий, нанесенных на бумагу».**

***Выполнила учащаяся 11 класса:***

Гайдукова Елизавета Вадимовна

***Научный руководитель:***

Валуйская Ольга Александровна

2022 - 2023 г.

## Содержание

1. Введение _____	3
2. Цель и задачи _____	3
3. Теоретическая часть _____	4-6
3.1. Строение и свойства графита _____	4-5
3.2. Особенности электрической проводимости графита _____	5
4. Электрические характеристики _____	5-6
4.1. Гипотезы _____	6-7
5. Экспериментальная часть _____	8-16
5.1. Параметры для исследования _____	8
5.2. Методика проведения эксперимента _____	8
5.3. Полученные результаты _____	9-16
5.3.1. Зависимость электрического сопротивления от длины _____	9
5.3.2. Зависимость электрического сопротивления от ширины _____	10
5.3.3. Зависимость электрического сопротивления от деформации _____	11
5.3.4. Зависимость электрического сопротивления от густоты покрытия линий _____	12
5.3.5. Зависимость электрического сопротивления от направления штрихов в линии _____	12
5.3.6. Зависимость электрического сопротивления от температуры образца _____	13
5.3.7. Зависимость электрического сопротивления от освещенности образца _____	13-14
5.3.8. Зависимость силы электрического тока от электрического напряжения _____	14-15
5.3.9. Зависимость силы электрического тока от электрического сопротивления _____	15-16
6. Заключение _____	17
7. Список используемой литературы _____	18

## 1. Введение

В настоящее время человека окружает достаточно большое количество простых веществ и сложных химических соединений. Эти вещества могут быть получены как в современных лабораториях, так и обнаружены в естественной среде. В качестве примера можно привести различные аллотропные модификации углерода: графит – распространенная модификация углерода в природе; графен (слой графита толщиной в один атом) – модификация, полученная уже в современных лабораторных условиях.

Эти вещества обладают особыми уникальными свойствами. При конструировании и создании различных устройств обязательно учитывают все свойства вещества.

В лабораториях школьного уровня нельзя провести исследования графена, из-за сложности его получения, но исследовать свойства графита возможно.

В ходе выполнения работы попытаемся найти компромисс и будет проведено исследование именно тонкого слоя графита в виде линий, нанесенных на лист бумаги.

## 2. Цели и задачи

**Цель:** исследование электрической проводимости графитовых линий, нанесенных на бумагу.

### **Задачи:**

1. Построить план проведения исследования.
2. Сделать обзор научной литературы, отражающей особенности электропроводности графита.
3. Выявить параметры для исследования.
4. Подобрать оборудование для проведения эксперимента.
5. Выполнить параметрическое исследование графитовых линий, нанесенных на бумагу.
6. Объяснить полученные результаты.
7. Сравнить экспериментальные данные с теорией.

### 3. Теоретическая часть

#### 3.1. Строение и свойства графита

Графит – распространенный природный материал, являющийся аллотропной модификацией углерода, устойчивый при нормальных условиях. В узлах кристаллической решётки графита находятся атомы углерода, которые образуют правильные шестиугольники в слоях. Решётка имеет слоистое строение.

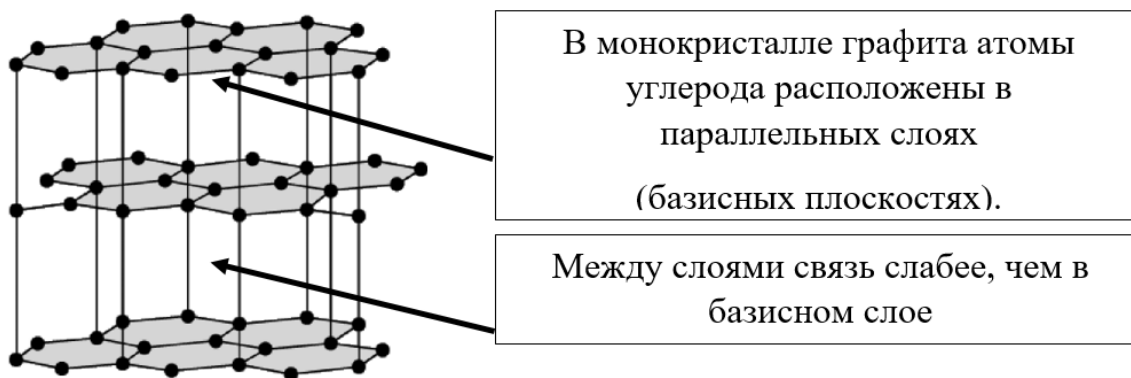


Рис.1

Углеродные атомы каждого слоя расположены против центров шестиугольников, находящихся в соседних слоях (нижнем и верхнем); положение слоев повторяется через один, а каждый слой сдвинут относительно другого в горизонтальном направлении.

Энергия связи между атомами в базисных слоях выше, чем между слоями, следовательно, отдельные слои могут откалываться (отслаиваться) от кристалла при определенном воздействии.

Рассмотрим основные физические свойства графита:

- мягкий и мяслянистый минерал серо-черного цвета с характерным блеском;
- непрозрачный для видимого света;
- строение кристаллической решетки обуславливает анизотропные свойства монокристаллов;
- жаропрочный;
- проводник электрического тока и тепла.

Поскольку целью работы является исследование электрической проводимости графитовых линий, нанесенных на бумагу, то нужно учесть особенности строения графитовых стержней:

- Степень твердости (градация) карандаша от зависит от соотношения глины, температуры, продолжительности обжига и состава жирующей ванны.
- После обжига (от 800 до 1200°C) проводится операция жировки: поры, образовавшиеся после выжиг связующего, под давлением при определенной температуре заполняются жиром, воском или стеарином.

Возможно примеси могут повлиять на электропроводимость графитовых линий.

Свойства материала определяют области практического применения в качестве эрозийноустойчивых покрытий для сопел ракетных двигателей, камер сгорания, в электротехнике и химической промышленности, в качестве смазочных материалов, в ядерных реакторах как замедлитель нейтронов.

### **3.2. Особенности электрической проводимости графита**

Кристалл графита представляет собой слоистый полуметалл, в котором три валентных электрона создают прочные связи в базисных слоях, а между базисными слоями находится четвертый валентный электрон. Поэтому электрическая проводимость графита близка к электропроводности металлов, тип проводимости в графите электронный.

Важно отметить, что особенности строения кристаллической решетки определяют различную электропроводность по различным направлениям. Вдоль базисных слоев электрическая проводимость лучше, при нагревании образца электрическое сопротивление в этом направлении увеличивается, больше проявляются свойства металла. В перпендикулярном направлении относительно базисных слоев электропроводность значительно хуже, при нагревании кристалла электрическое сопротивление уменьшается, и уже в большей степени проявляются свойства полупроводника. Электрическая проводимость п/п в отличие от металлов зависит от: температуры, освещенности и наличия примесей.

#### 4. Электрические характеристики

Рассмотрим основные электрические характеристики, которые будут исследованы в ходе выполнения работы: электрическое сопротивление, электрическое напряжение и сила тока.

Физические величины (параметры)	<b>R</b> , электрическое сопротивление, Ом	<b>U</b> , электрическое напряжение, В	<b>I</b> , сила тока, А
Что характеризует	Характеристика проводника	Характеристика электрического поля	Характеристика электрического тока
Формула	$R = \rho \frac{l}{S}$	$U = \frac{A \text{ э/п}}{q}$	$I = \frac{q}{t}$
Прибор для измерения	Омметр	Вольтметр	Амперметр

Рассмотрим геометрические и физические параметры образцов, которые могут быть исследованы в ходе работы.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$S = dh$$

$$R = \rho \frac{l}{dh}$$

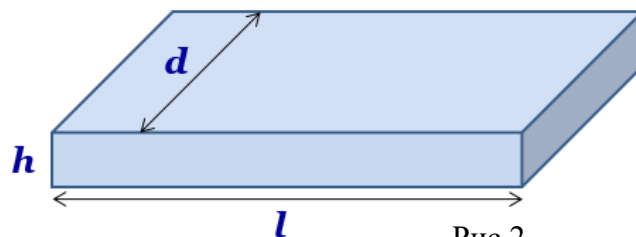


Рис.2

**R** - электрическое сопротивление проводника

**$\rho$**  - удельное сопротивление

**l** - длина проводника

**S** – площадь поперечного сечения проводника

**d** - ширина проводника (линии)

**h** - высота

Важно вспомнить о законе Ома для участка цепи, в котором отражена прямая зависимость силы тока от напряжения и обратная от сопротивления:  $I = \frac{U}{R}$

#### 4.1. Гипотезы:

Анализируя теоретический материал можно предположить, что если в ходе проведения эксперимента мы будем исследовать проводник электрического тока по типу металлического, то ожидаемый результат будет таким:

- 1) При увеличении длины образца сопротивление увеличится, будет наблюдаться прямая зависимость;
- 2) При увеличении ширины и толщины образца, увеличится площадь поперечного сечения и сопротивление образца уменьшится, будет наблюдаться обратная зависимость.
- 3) Если зависимость силы тока от напряжения будет прямой, а от сопротивления обратной.
- 4) При увеличении температуры образцов, электрическое сопротивление будет увеличиваться.
- 5) Различная освещенность образцов не отразится на сопротивлении образцов.

Если мы имеем дело с п/п, то могут быть выявлены следующие свойства:

- 6) При увеличении температуры образцов, электрическое сопротивление будет уменьшаться.
- 7) При увеличении освещенности образцов их сопротивлению уменьшится.

## 5. Экспериментальная часть

### 5.1. Параметры для исследования

На основе теоретического обзора и согласно цели работы определим ключевые параметры для исследования. Считаю, что важно выявить зависимости:

1. Сопротивление линии графита на бумаге от ее длины ( $l$ ) для разных образцов.
2. Сопротивления от ширины ( $d$ ) линии.
3. Сопротивления от деформации.
4. Сопротивления от густоты покрытия.
5. Сопротивления от направления штрихов.
6. Сопротивления от температуры.
7. Сопротивления от освещенности.
8. Силы тока от напряжения.
9. Силы тока от сопротивления.

### 5.2. Методика проведения эксперимента

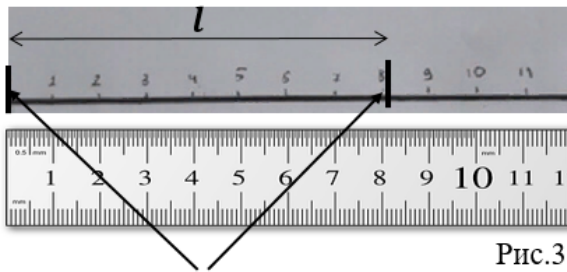


Рис.3

Положение щупов омметра (мультиметра) для измерения электрического сопротивления

1. На ровном листе бумаги при помощи линейки проведем линии графитовым стержнем.
2. Ширина линий: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм.
3. Для этого используем два образца графитового стержня различной твердости: 8В, НВ.
4. Линию по длине градуируем, нанесем деления через 1 см.
5. При помощи омметра измерим сопротивление.



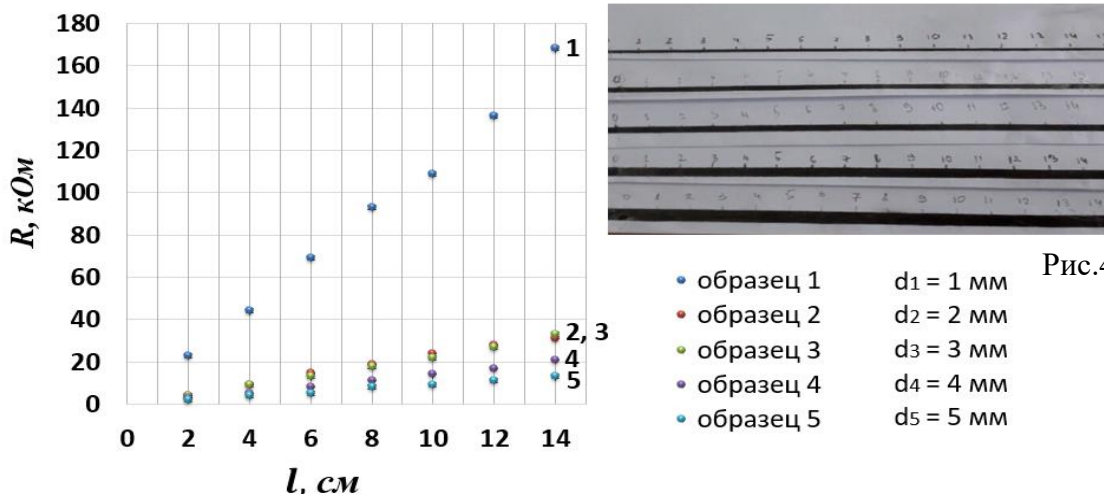
### 5.3. Полученные результаты

#### 5.3.1. Зависимость электрического сопротивления от длины образца.

Условия проведения эксперимента: стержень **8В**, густота закрашивания – темные линии,  $\Delta l = 1$  см,  $t = 23^\circ\text{C}$ .

Измерение проведены для 5 образцов различной ширины: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм и 5 мм.

Диаграмма 1

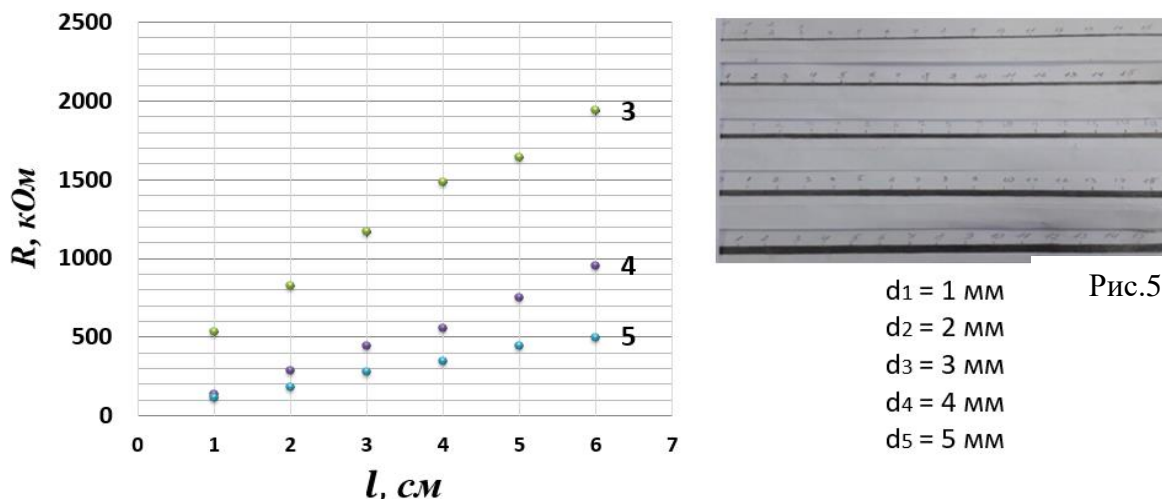


**Вывод:** зависимость  $R$  от  $l$  прямая для всех образцов.

Условия проведения эксперимента: стержень **НВ**, густота закрашивания – темные линии,  $\Delta l = 1$  см,  $t = 23^\circ\text{C}$ .

Измерение проведены для 5 образцов различной ширины: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм и 5 мм.

Диаграмма 2



**Вывод:** для всех образцов  $R$  от  $l$  зависит прямо пропорционально; сопротивление образцов **НВ** существенно выше, чем сопротивление образцов **8В**; сопротивление образцов велико при ширине 1 мм и 2 мм и его измерить не удалось из-за предела измерения омметра.

В ходе исследования первой зависимости выяснилось: чем больше жёсткость карандаша, тем хуже он проводит электрических ток. Количество примесей повлияли на результат (так как сам по себе графит-мягкое вещество, примеси в грифеле его уплотняют). В последующих опытах будут использованы образцы с меньшим сопротивлением – модель графитового стержня **8В**.

### 5.3.2. Зависимость электрического сопротивления от ширины образца.

Условия проведения эксперимента: стержень **8В**, густота закрашивания – темные линии,  $\Delta l = 1$  см,  $t = 23^\circ\text{C}$ .

Измерение проведены для 5 образцов различной ширины: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм и 5 мм.

Сначала установим, как изменяется сопротивление образцов шириной 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, (для стержня 8В, при длине образца 4 см), затем выясним динамику изменения сопротивления образцов при увеличении длины образцов на  $\Delta l = 2$  см.

Диаграмма 3

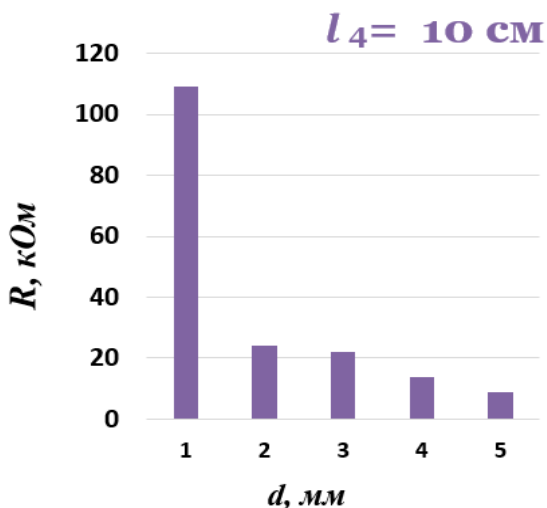
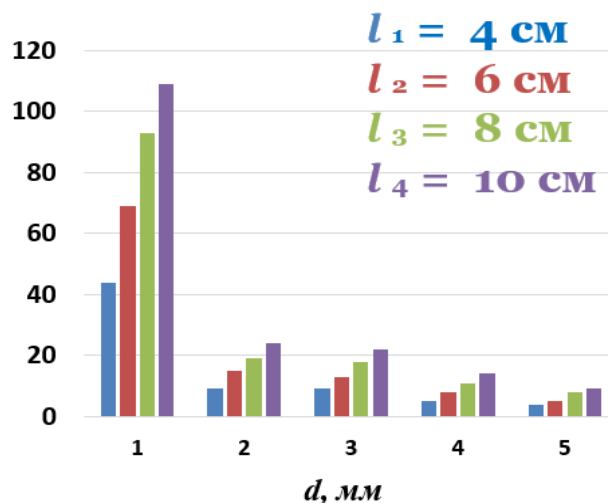


Диаграмма 4



**Вывод:** На данной диаграмме представлены экспериментально-установленные значения сопротивления графитовой линии. Можно увидеть, что для линий разной ширины, но одинаковой длины прослеживается одна и та же закономерность: при увеличении  $d$  (ширины образца)  $R$  (электрическое сопротивление) уменьшается.

### 5.3.3. Зависимость электрического сопротивления от деформации образца.

Условия проведения эксперимента: стержень 8В, густота закрашивания – темные линии,  $\Delta l = 1$  см,  $t = 23^\circ\text{C}$ ,  $d = 5$  мм.

Ранее выполненные образцы деформируем так, чтобы на бумаге и линиях образовались характерные изломы с незначительной и сильной деформацией.

Диаграмма 5

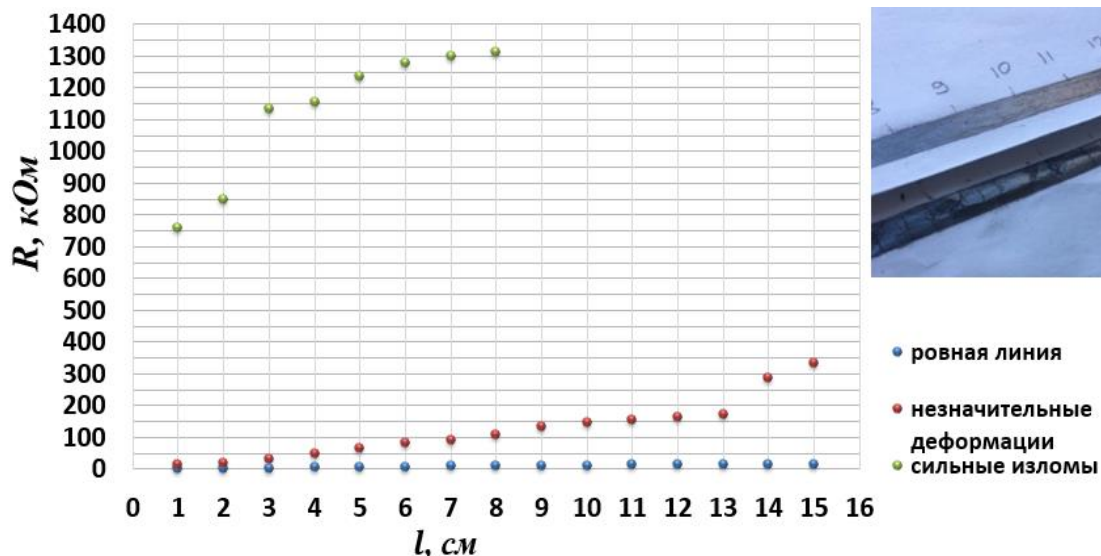


Рис.6

#### Выводы:

- 1)  $R$  существенно зависит от неровности поверхности; сильнее изломы - большее  $R$ .
- 2) Резкие скачки  $R$  из-за изломов.
- 3) При деформации бумаги вместе с графитовыми линиями происходит расслоение базисных слоев, сопротивление линий в местах изломов увеличивается.

### 5.3.4. Зависимость электрического сопротивления от густоты покрытия линий.

Условия проведения эксперимента: стержень 8В, различная густота закрашивания (светлая линия, средняя, темная),  $\Delta l = 1$  см.

Диаграмма 6

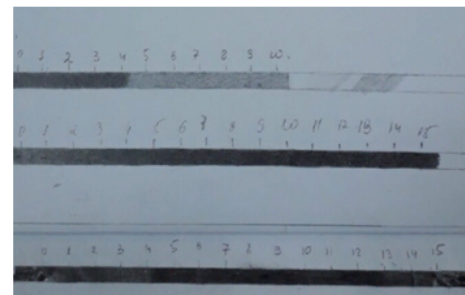
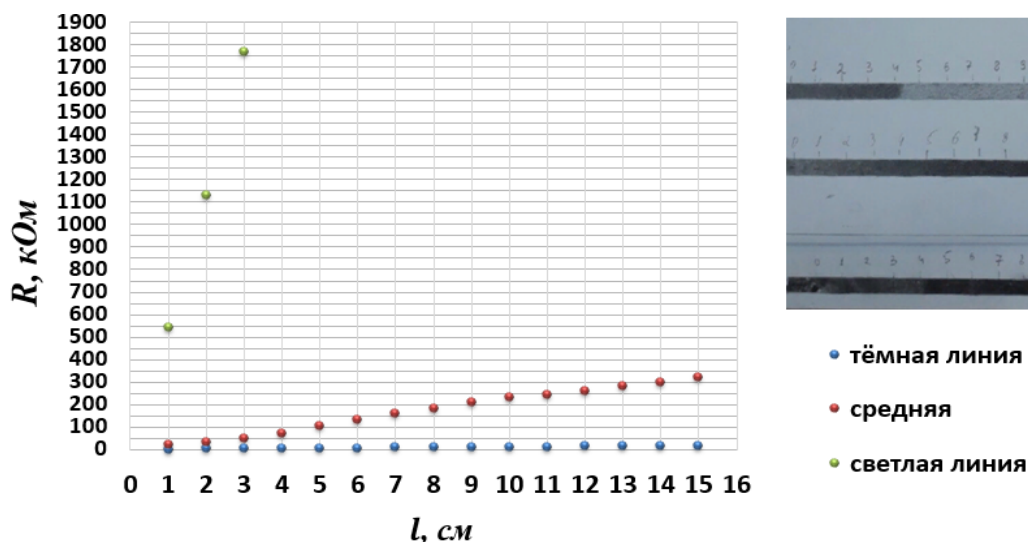


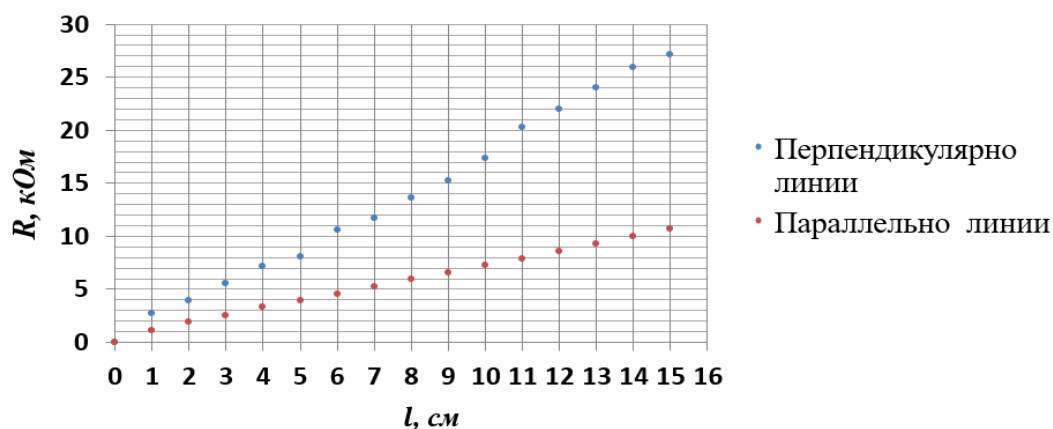
Рис.7

**Вывод:**  $R$  образца тем меньше, чем больше густота покрытия.

### 5.3.5. Зависимость электрического сопротивления от направления штрихов в линиях.

Условия проведения эксперимента: стержень 8В, густота закрашивания – темные линии (параллельно линиям, перпендикулярно линиям),  $\Delta l = 1$  см,  $t = 23^\circ\text{C}$ ,  $d = 5$  мм.

Диаграмма 7

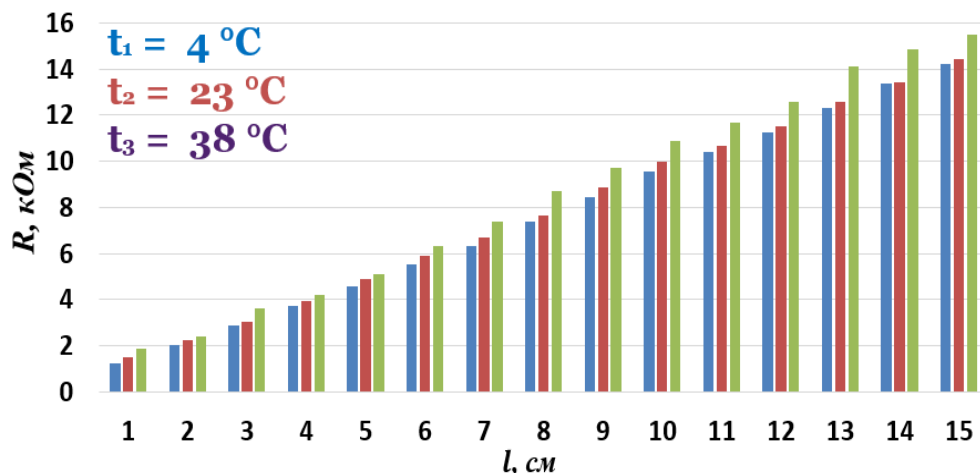


**Вывод:** при параллельном нанесении штриховки сопротивление линий меньше, так как в этом случае базисные слои располагаются также вдоль линии; проявляется анизотропные свойства линии.

### 5.3.6. Зависимость электрического сопротивления от температуры линий.

Условия проведения эксперимента: стержень 8В, густота закрашивания – темные линии, различная температура линий (4°C, 23°C, 38°C),  $\Delta l = 1$  см,  $d = 5$  мм.

Диаграмма 8



**Вывод:** при повышении температуры сопротивление образца увеличивалось, это характеризует графит как проводник электричества по типу металла.

### 5.3.7. Зависимость электрического сопротивления от освещенности линий.

Условия проведения эксперимента: стержень 8В, густота закрашивания – темные линии,  $t = 23^\circ\text{C}$ ,  $\Delta l = 1$  см,  $d = 5$  мм, различная освещенность.

Диаграмма 9



**Вывод:** при изменении освещенности образца (от дневного света до сумеречного) его сопротивление практически не изменялось. В каких-то точках сопротивление увеличивалось, в каких-то уменьшалось. Этот факт можно объяснить

погрешностью измерения. В целом видим, что графит при таких условиях ведет себя как проводник электричества по типу металла и свойства п/п не были выявлены.

### 5.3.8. Зависимость силы тока от напряжения

Для исследования применимости закона Ома для участка цепи используем экспериментальную установку, которая имеет следующую структуру



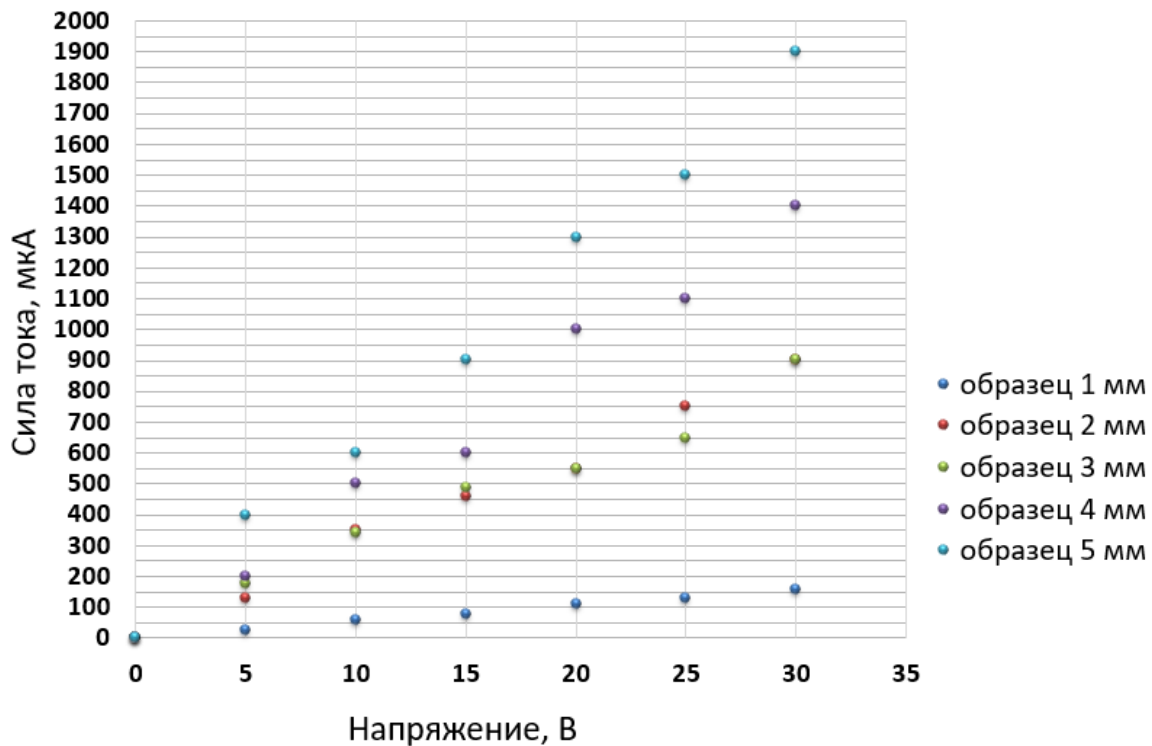
Рис.8

Соберем электрическую цепь, в которой последовательно соединенные микроамперметр и графитовая линия, замкнуты на источник постоянного питания. Напряжение можно изменять при помощи источника питания в пределах 30 В.

Условия проведения эксперимента: стержень 8В, густота закрашивания – темные линии,  $t = 23^\circ\text{C}$ ,  $l = 2$  см,  $\Delta U = 5\text{В}$ .

Измерение проведены для 5 образцов различной ширины: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм и 5 мм.

Сначала установим, как изменяется сила тока в образцах шириной 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, (для стержня 8В, при длине образца 2 см), затем выясним динамику изменения силы тока при увеличении напряжения на  $\Delta U = 5\text{В}$ .



**Вывод:** Согласно закону Ома для участка цепи: с возрастанием напряжения увеличивается и сила тока в проводнике.

$$\uparrow I = \frac{\uparrow U}{R}$$

**I** от **U** зависит прямо пропорционально.

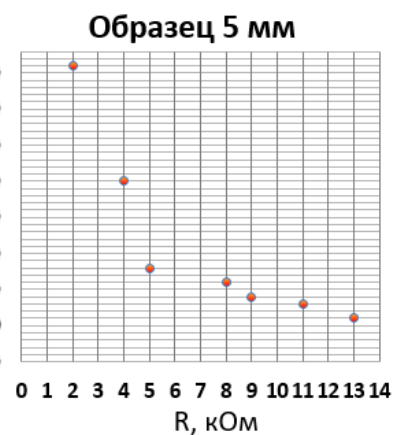
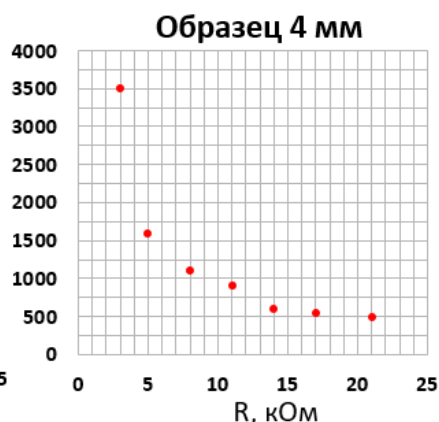
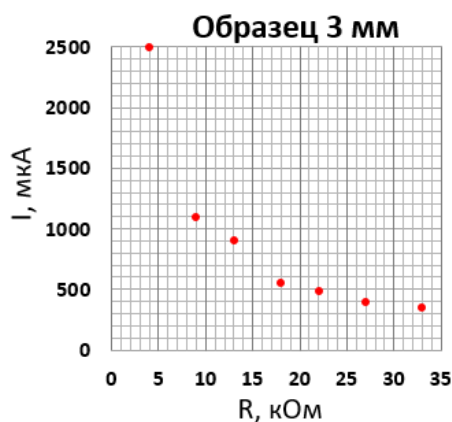
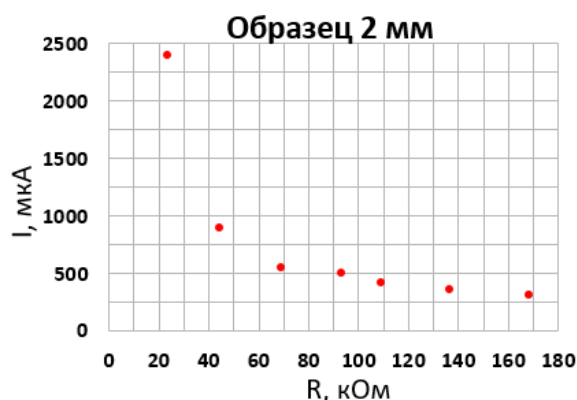
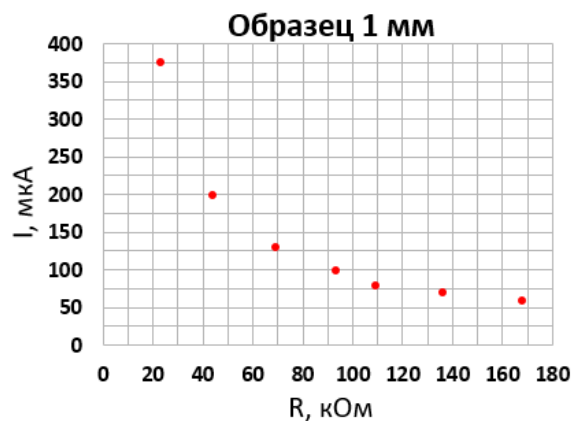
### 5.3.9. Зависимость силы тока от сопротивления

Условия проведения эксперимента: стержень 8В, густота окрашивания – темные линии,  $t = 23^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta l = 2 \text{ см}$ ,  $U = 10 \text{ В}$ .

Измерение проведены для 5 образцов различной ширины: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм и 5 мм.

В ходе измерений выясним, как изменяется сила тока в образцах при изменении шага длины 2 см, затем на основе предыдущих опытов сопоставим какое сопротивление соответствует образцу определенной длины.

Представим полученные данные на диаграммах.



**Вывод:** зависимость **I** от **R** обратная для всех образцов, что соответствует проводнику с электронным типом проводимости; электрическая проводимость больше всего для образца с шириной линии 5 мм.



## 6. Заключение

В ходе выполнения работы: был построен план проведения исследования; сделан обзор научной литературы, которая отражает особенности электропроводности графита и графитовых стержней; подобрано оборудование для проведения эксперимента и воспроизведено явление протекания электрического тока через графитовые линии; выявлены, исследованы и проанализированы электрические параметры графитовых линий, нанесенных на бумагу.

Экспериментально установлены зависимости:

1) электрическое сопротивление линии прямо пропорционально её длине и обратно пропорционально её ширине;

2) электрическое сопротивление проводника существенно зависит от деформации образца; чем большее количество изломов, тем больше сопротивление;

3) электрическое сопротивление уменьшается при увеличении густоты покрытия графитом;

4) электрическое сопротивление линий меньше, если при покрытии линий штрихи нанести вдоль линий;

5) электрическое сопротивление увеличивается с увеличением температуры и не изменялось при различной освещенности;

6) сила тока в линиях зависит прямо пропорционально от напряжения и обратно пропорционально от сопротивления графитовых линий.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что лучшей электрической проводимостью обладает графитовая линия (образец 8В), которая имеет меньшую длину и температуру, большую ширину и находится под большим напряжением; с большой густотой покрытия, с продольными штрихами и без изломов.

Полученные зависимости согласуются с теоретическими данными и подтверждают гипотезу о том, что были исследованы образцы с электрической проводимостью по металлическому типу. При тех условиях, в которых проведено было исследование полупроводниковые свойства образцов не выявлены.

## 7.Список литературы

- 1.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.
- 2.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.
- 3.Яворский Б.М., Детлаф А.А., Справочник по физике: / Б.М. Яворский - М.: «Наука», 1990.- 624 с.: ил.
- 4.Алексеев Д.М., Гусев А.А., Прохоров А.М., Физический энциклопедический словарь: / под редакцией А.М. Прохорова – М.: «Советская энциклопедия», 1983.- 928 с.: ил.
- 5.Левашова А.И., Кравцов А.В., Химическая технология углеродных материалов: Учебное пособие / А.В. Кравцов – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 112 с.

### Интернет-источники:

- 1.Большая российская энциклопедия, URL: <https://bigenc.ru/geology/text/2376632>
- 2.Химическая энциклопедия, URL: <https://xumuk.ru/encyklopedia/1145.html>
- 3.О нанотехнологиях, URL: <https://www.nanonewsnet.ru/news/2009/grafit-vedet-sebya-kak-poluprovodnik-pri-vozbuzhdenii-elektronov-ugleroda>
- 4.МинералПро, URL: <https://mineralpro.ru/minerals/graphite/>
- 5.Новости о графене, URL:<https://www.rusgraphene.ru/svoystva-grafena>
- 6.Евразийский журнальный портал, URL : <https://promegalit.ru/magazines/grafit.html>
- 7.О технологии изготовления карандашей, URL: <http://www.cosyma.ru/page/page15.html4>