

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА №3

ОТЧЕТ ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ

У Семь

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

Доцент, к.ф.-м.н., доцент
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

Г.В. Терещенко
инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

по курсу: ОБЩАЯ ФИЗИКА

СТУДЕНТ ГР. № 4514
номер группы

ДВ

27.09.2025
подпись, дата

В. Д. Мухина
инициалы, фамилия

Ванерин

Санкт-Петербург
2025

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ

Лабораторная работа №1

Определение электрического сопротивления

Механика. Колебания и волны. Молекулярная физика: лабораторный практикум / под ред. И. И. Коваленко. – СПб.: ГУАП, 2014 – 132 с. (<https://fizikaguap.ru/lp/metodlr/>)

Студент группы № 4514
№ группы

Мушина В.В.
Фамилия, инициалы

Преподаватель

Тереженко Г.В.
Фамилия, инициалы

Параметры приборов

Прибор	Тип	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность θ
Вольтметр	МК-2	1,5 В	0,05 В	1,5	0,02 В
Миллиамперметр	МК-2	250 мА	5 мА	1,5	0,004 А
Линейка	—	50 см	1 мм	—	1 мм

Систематическая погрешность измерения диаметра проводника $\theta_D = 0,005$ мм.

Электрические сопротивления вольтметра и миллиамперметра: $R_V = 2500$ Ом, $R_A = 0.2$ Ом.

Результаты измерений

Схема А	U, В	0,35	0,4	0,5	0,55	0,65	0,75	0,9	1,05	1,2	1,3
	I, мА	65	75	90	100	120	150	170	200	230	250
Схема В	U, В	0,3	0,35	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	1	1,15	1,25
	I, мА	60	75	90	100	120	150	170	200	230	250

$l = \underline{0,4}$ м., $d = \underline{0,33}$ мм.

Дата « 13 » сентября 2025 г.

Fizikaguap.ru

акв
Подпись студента

Прошкин С
Подпись преподавателя

1. Цель работы:

- ознакомление с методикой обработки результатов измерений
- определение электрического сопротивления провода
- экспериментальная проверка закона Ома
- определение удельного сопротивления нихрома
- сравнение двух электрических схем

2. Описание лабораторной установки

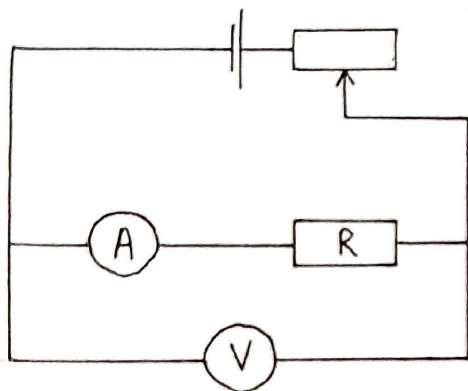


рис. 1 - схема А

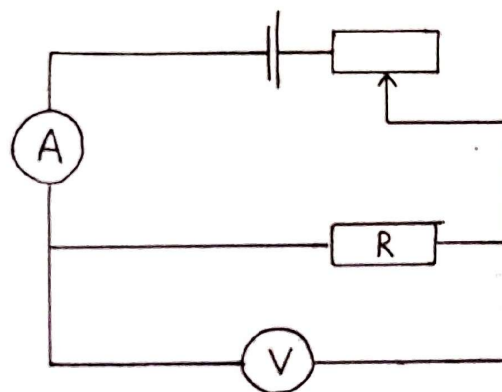


рис. 2 - схема В

Параметры установки

Таблица 1

Прибор	Тип	Цена деления	Класс точности	Предел измерений	Систематич. погрешность	Внутреннее сопротивление
Вольтметр	МК-2	0,05 В	1,5	1,5 В	0,02 В	2500 Ом
Миллиамперметр	МК-2	5 мА	1,5	250 мА	4 мА	0,2 Ом
Линейка	—	1 мм	—	50 см	2 мм	—

3. Рабочие формулы

Вычисление электрического сопротивления:

Закон Ома

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

для схемы А

$$R = \frac{U}{I} - R_A \quad (2)$$

для схемы В

$$R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_V} \right)^{-1} \quad (3)$$

В этих формулах R - электрическое сопротивление проводника, U - падение напряжения на проводнике, I - сила тока в проводнике, R_A - сопротивление амперметра, R_V - сопротивление вольтметра.

$$R_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (4)$$

где $R_{\text{ср}}$ - среднее значение сопротивления, n - число измерений

$$\rho = \frac{R_{\text{ср}} \cdot \pi \cdot D^2}{4l}, \quad (5)$$

где ρ - удельное сопротивление металла, l - длина провода, D - диаметр провода

4. Результаты измерений и вычислений.

Схема А

Таблица 2

$U, \text{ В}$	0,35	0,40	0,50	0,55	0,65	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30
$I, \text{ А}$	0,065	0,075	0,090	0,100	0,120	0,150	0,170	0,200	0,230	0,250
$\frac{U}{I}, \text{ Ом}$	5,4	5,3	5,5	5,5	5,4	5,0	5,3	5,3	5,2	5,2
$R, \text{ Ом}$	5,2	5,1	5,3	5,3	5,2	4,8	5,1	5,1	5,0	5,0
$R_x, \text{ Ом}$	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2

Схема В

Таблица 3

$U, \text{ В}$	0,30	0,35	0,45	0,50	0,60	0,70	0,85	1	1,15	1,25
$I, \text{ А}$	0,060	0,075	0,090	0,100	0,120	0,150	0,170	0,200	0,230	0,260
$\frac{U}{I}, \text{ Ом}$	5,0	4,7	5,0	5,0	5,0	4,7	5,0	5,0	5,0	5,0
$R, \text{ Ом}$	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0
$R_x, \text{ Ом}$	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

$$R_{\text{ср}} = 5 \text{ Ом}$$

$$\rho = 1,07 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

5. Примеры вычислений

По формуле (1): $R = \frac{U}{I} = \frac{0,35}{0,065} = 5,38... \approx 5,4 \text{ (Ом)}$

По формуле (2): $R = \frac{U}{I} - R_A = \frac{0,4}{0,075} - 0,2 = 5,13... \approx 5,1 \text{ (Ом)}$

По формуле (3): $R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_U} \right)^{-1} = \left(\frac{0,06}{0,3} - \frac{1}{2500} \right)^{-1} = (0,2 - 0,0004)^{-1} = \frac{1}{0,1996} = 5,01... \approx 5 \text{ (Ом)}$

По формуле (4): $R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \frac{5,2 + 5,1 + 5,3 + 5,3 + 5,2 + 4,8 + 5,1 + 5,1 + 5 + 5 + 5 + 4,8 + 5 + 5 + 5 + 5}{20} = \frac{100,7}{20} = 5,035 \approx 5,0 \text{ (Ом)}$

По формуле (5): $\rho = \frac{R_{cp} \cdot \pi \cdot D^2}{4l} = \frac{5 \cdot 3,14 \cdot (0,33 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 0,4} = \frac{1,70913 \cdot 10^{-6}}{1,6} = 1,068... \cdot 10^{-6} = 1,07 \cdot 10^{-6} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$

6. Вычисление погрешностей

6.1. Систематические погрешности

$$\theta_I = \frac{I_m \cdot k_I}{100} = \frac{0,25 \cdot 1,5}{100} = \frac{0,375}{100} = 0,00375 \approx 0,004 \text{ (А)} \quad (6)$$

$$\theta_U = \frac{U_m \cdot k_U}{100} = \frac{1,5 \cdot 1,5}{100} = \frac{2,25}{100} = 0,0225 \approx 0,02 \text{ (В)} \quad (7)$$

$$\theta_l = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

$$\theta_D = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$$

Вывод формулы для систематической погрешности косвенного измерения электрического сопротивления

$$R = R(U, I) = \frac{U}{I} \Rightarrow \theta_R = R \cdot \left(\frac{\theta_U}{U} + \frac{\theta_I}{I} \right) \quad (8)$$

Вычисления по выведенной формуле (8):

$$\theta_{R1} = R_1 \cdot \left(\frac{\theta_U}{U_1} + \frac{\theta_I}{I_1} \right) = 5,2 \cdot \left(\frac{0,02}{0,35} + \frac{0,004}{0,065} \right) = 5,2 \cdot \frac{0,027}{0,02275} = \frac{0,1404}{0,02275} = 6,171... \approx 6,2 \text{ (Ом)}$$

$$\theta_{R20} = R_{20} \cdot \left(\frac{\theta_U}{U_{20}} + \frac{\theta_I}{I_{20}} \right) = 5 \cdot \left(\frac{0,02}{1,25} + \frac{0,004}{0,25} \right) = 5 \cdot \frac{0,01}{0,3125} = \frac{0,05}{0,3125} = 0,16... \approx 0,2 \text{ (Ом)}$$

В качестве систематической погрешности итогового результата берём значение, полученное при самом большом токе $\theta_{Rcp} = 0,2 \text{ Ом}$.

Вывод формулы для систематической погрешности удельного сопротивления металла.

$$\rho = \frac{R_{cp} \cdot \pi \cdot D^2}{4l}; \quad \rho = \rho(R_{cp}, l, D); \quad \theta_\rho = \rho \left(\frac{\theta_R}{R} + \frac{\theta_l}{l} + 2 \frac{\theta_D}{D} \right) \quad (9)$$

Вычисления по введенной формуле (9):

$$\theta_p = p \cdot \left(\frac{\theta_R}{R} + \frac{\theta l}{l} + 2 \frac{\theta p}{p} \right) = 1,07 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,2}{5} + \frac{0,002}{0,4} + \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-5}}{0,33 \cdot 10^{-3}} \right) =$$

$$= 1,07 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,09}{2} + \frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{0,33 \cdot 10^{-3}} \right) = 1,07 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,0497}{0,66} = 0,8025 \dots \cdot 10^{-6} \approx 0,8 \cdot 10^{-6} (\text{Ом} \cdot \text{м})$$

6.2. Случайные погрешности

Средняя квадратичная погрешность одного измерения

$$S_R = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \dots + (R_N - R_{cp})^2}{N-1}} \quad (10)$$

Вычисление по формуле (10):

$$S_R = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \dots + (R_{20} - R_{cp})^2}{20-1}} = \sqrt{\frac{(5,2-5,1)^2 + (5,1-5,1)^2 + \dots + (5,0-5,1)^2}{19}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,01 + 0 + 0,04 + 0,04 + 0,01 + 0,09 + 0 + 0 + 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,09 + 0,01 + 0,01 + \dots}{19}}$$

$$\dots + \frac{0,01 + 0,09 + 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,01}{19} = \sqrt{\frac{0,47}{19}} = 0,157 \dots \approx 0,16 (\text{Ом})$$

Среднее квадратичное отклонение

$$S_{Rcp} = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \dots + (R_N - R_{cp})^2}{(N-1) \cdot N}} = \frac{S_R}{\sqrt{N}} \quad (11)$$

Вычисление по формуле (11):

$$S_{Rcp} = \frac{0,16}{\sqrt{20}} = 0,035 \dots \approx 0,04 (\text{Ом})$$

В данной работе проводится измерение неслучайных по своей природе физических величин: электрического сопротивления провода - R и удельного сопротивления нити - p, поэтому проверяем неравенства

$$S_R \leq \theta_R; \quad S_{Rcp} < \theta_R$$

$$0,16 \text{ Ом} < 0,2 \text{ Ом}; \quad \text{т.е. } S_R < \theta_R$$

$$0,04 \text{ Ом} < 0,2 \text{ Ом}; \quad \text{т.е. } S_{Rcp} < \theta_R$$

Получившиеся неравенства говорят о том, что в измерениях, скорее всего, нет грубых ошибок и промахов.

Случайные погрешности удельного сопротивления:

$$p = \frac{R_{cp} \cdot \pi \cdot D^2}{4l} \Rightarrow S_p = S_{Rcp} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4l} = \frac{R_{cp} \cdot \pi \cdot D^2}{4l} \cdot \frac{S_{Rcp}}{R_{cp}} \Rightarrow S_p = \frac{p \cdot S_{Rcp}}{R_{cp}}$$

$$S_p = \frac{p \cdot S_{Rcp}}{R_{cp}} = \frac{1,07 \cdot 10^{-6} \cdot 0,04}{5} = 0,00856 \dots \cdot 10^{-6} \approx 0,009 \cdot 10^{-6} (\text{Ом} \cdot \text{м})$$

6.3. Полная погрешность

В случае, когда измеряются неслучайные по своей природе физические величины, случайные погрешности уже учтены в систематических. Объединять их в полную погрешность не надо. Полная погрешность равна систематической погрешности.

$$\Delta R = \theta_R = 0,2 \text{ Ом.}$$

$$\Delta \rho = \theta_\rho = 0,08 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

7. Выводы

- Знакомилась с методикой обработки результатов косвенных измерений
- Электрическое сопротивление провода $R = 5 \pm 0,2 \text{ Ом.}$ с вероятностью $P = 95\%$.
- Удельное сопротивление никрома $\rho = (1,07 \pm 0,08) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$ с вероятностью $P = 95\%$.
- Экспериментально определённое значение ρ в пределах погрешности совпадает с табличным значением никрома $\rho_{\text{таб}} = 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$
- Из проведённых опытов видно, что каждое сопротивление в таблицах 2, 3 отличается от $R_{\text{сер}}$ меньше, чем на систематическую погрешность θ_R . Это обозначает, что электрическое сопротивление не зависит от протекающего тока и от падения напряжения на нём, т.е. справедлив закон Ома.
- Учёт сопротивления амперметра приводит к поправке $0,2 \text{ Ом}$, учёт сопротивления вольтметра приводит к поправке $0,02 \text{ Ом}$. Поскольку результат приходится округлять до десятых долей ома, поправку на сопротивление вольтметра по формуле (3) можно не делать. Значит, для схемы в электрическое сопротивление можно вычислять по закону Ома без поправок.