

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

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ *доцент*
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

В.М. Анурьев
инициалы, фамилия

25 сентября 2025 года

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

по дисциплине: ФИЗИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №

4515

25.09.25
подпись, дата

И.Р. Потков
инициалы, фамилия

Иван

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 №

4515
№ группы

Понков И.Р
Фамилия, инициалы

Преподаватель

Андреев В.М.
Фамилия, инициалы

Параметры приборов

Прибор	Тип	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность θ
Вольтметр	<u>МК-2</u>	<u>1,5В</u>	<u>0,05В</u>	<u>1,5</u>	<u>0,02 В</u>
Миллиамперметр	<u>МК-2</u>	<u>250мА</u>	<u>5мА</u>	<u>1,5</u>	<u>4мА</u>
Линейка	<u>метал.</u>	<u>51см</u>	<u>1мм</u>	<u>—</u>	<u>0,5мм</u>

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	<u>0,60</u>	<u>0,70</u>	<u>0,80</u>	<u>0,90</u>	<u>1,00</u>	<u>1,10</u>	<u>0,75</u>	<u>0,30</u>	<u>0,40</u>	<u>0,50</u>
	I, мА	<u>130</u>	<u>150</u>	<u>170</u>	<u>195</u>	<u>215</u>	<u>240</u>	<u>160</u>	<u>83</u>	<u>85</u>	<u>107</u>
Схема В	U, В	<u>0,30</u>	<u>0,40</u>	<u>0,50</u>	<u>0,60</u>	<u>0,70</u>	<u>0,75</u>	<u>0,80</u>	<u>0,90</u>	<u>1,00</u>	<u>1,10</u>
	I, мА	<u>65</u>	<u>90</u>	<u>110</u>	<u>140</u>	<u>160</u>	<u>170</u>	<u>182</u>	<u>205</u>	<u>225</u>	<u>248</u>

$l =$ 0,355 м., $d =$ 0,33 мм.

Дата « 11 » сентября 2025 г.

И.Р. Понков
Подпись студента

Fizikaguap.ru

В.М. Андреев
Подпись преподавателя

1. Цель работы:

- ознакомление с методикой обработки результатов измерений;
- определение электрического сопротивления провода;
- экспериментальная проверка закона Ома;
- определение удельного сопротивления металла;
- сравнение двух электрических методов.

2. Описание лабораторной установки.

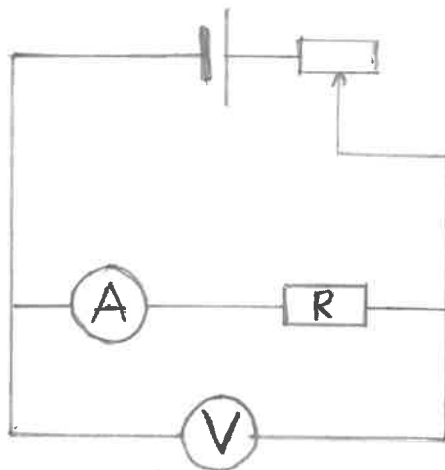


Рис. П2.А

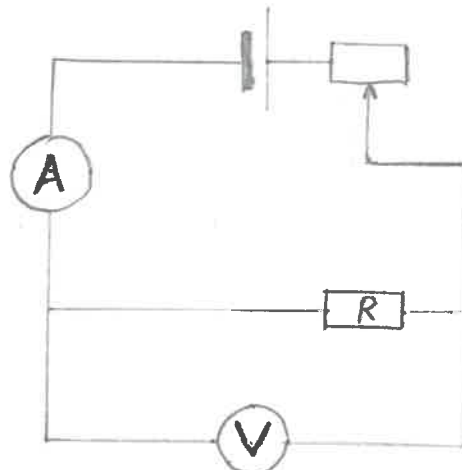


Рис. П2.Б

Параметры установки

Таблица 1.1

Прибор	Тип	Цена деления	Класс точности	Предел измерений	Средняя относительная 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	—	51 см	0,5 мм	—

3. Рабочие формулы.

Внешнее электрическое сопротивление:

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

для схемы А
$$R = \frac{U}{I} - R_A, \quad (2)$$

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

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

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

где $R_{cp.}$ - среднее значение сопротивлений, n - число измерений.

$$\rho = \frac{R_{cp.} \cdot n \cdot D^2}{4l}, \quad (5)$$

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

4. Результаты измерений и вычисления.

Таблица 2

Схема А	U, В	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	0,75
	I, мА	63	85	107	130	150	170	195	215	240	160
	U/I, Ом	4,76	4,70	4,67	4,62	4,67	4,70	4,62	4,65	4,58	4,69
	R, Ом	4,56	4,50	4,47	4,42	4,47	4,50	4,42	4,45	4,38	4,49
	θ_R, Ω	0,59	0,44	0,35	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,23
Схема В	U, В	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	0,75
	I, мА	65	90	110	140	160	182	205	225	248	170
	U/I, Ом	4,62	4,44	4,55	4,29	4,38	4,40	4,39	4,44	4,44	4,41
	R, Ом	4,62	4,45	4,55	4,29	4,38	4,40	4,40	4,45	4,44	4,42
	θ_R, Ω	0,59	0,44	0,35	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,23

$$R_{cp} = 4,45 \text{ Ом}; \rho = 1,07 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

5. Примеры вычислений.

По формуле (1) $R = \frac{U}{I} = \frac{0,30}{0,063} = 4,76 (\text{Ом})$

По формуле (2) $R = \frac{U}{I} - R_A = \frac{0,30}{0,063} - 0,2 = 4,56 (\text{Ом})$

По формуле (3) $R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_0} \right)^{-1} = \left(\frac{0,063}{0,30} - \frac{1}{2500} \right)^{-1} =$
 $= (0,217 - 0,0004)^{-1} = \frac{1}{0,2166} = 4,62 (\text{Ом})$

По формуле (4)

$$R_{cp} = \frac{4,56 + 4,50 + 4,47 + 4,42 + 4,47 + 4,50 + 4,42 + 4,45 + 4,38 + 4,49 + 4,62 + 4,45 + 4,55 + 4,29 + 4,38 + 4,40 + 4,40 + 4,45 + 4,44 + 4,42}{20} =$$

$$\approx 4,45 (\text{Ом})$$

По формуле (5)

$$\rho = \frac{R_{cp} \cdot \pi \cdot D^2}{4l} = \frac{4,45 \cdot 3,14 \cdot (0,33 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 0,355} = 1,07 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}}{\text{м}}$$

6. Вычисление погрешностей.

6.1 Систематические погрешности

$$6.1.1 \Theta_I = \frac{I_m \cdot K_I}{100} = \frac{0,25 \cdot 1,5}{100} = 3,75 \cdot 10^{-3} \approx 0,004 \text{ А}$$

$$6.1.2 \Theta_U = \frac{U_m \cdot K_U}{100} = \frac{1,5 \cdot 1,5}{100} = 0,0225 \approx 0,02 \text{ В}$$

$$6.1.3 \Theta_l = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$6.1.4 \Theta_D = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

6.1.5 Вывод формулы для систематической относительной погрешности электрического сопротивления.

$$R = R(U, I) = \frac{U}{I}; \Rightarrow \Theta_R = R \left(\frac{\Theta_U}{U} + \frac{\Theta_I}{I} \right).$$

Вычисление по введенной формуле:

$$\Theta_{R_1} = R_1 \left(\frac{\Theta_U}{U_1} + \frac{\Theta_I}{I_1} \right) = 4,56 \cdot \left(\frac{0,02}{9,30} + \frac{0,004}{0,063} \right) = 4,56 \cdot (0,67 + 0,06) = 0,59 \text{ (Ом)}$$

$$\Theta_{R_{10}} = R_{10} \left(\frac{\Theta_U}{U_{10}} + \frac{\Theta_I}{I_{10}} \right) = 4,38 \cdot \left(\frac{0,02}{1,10} + \frac{0,004}{0,240} \right) = 4,38 \cdot (0,022 + 0,017) = 0,15 \text{ (Ом)}$$

В качестве систематической погрешности итогового результата берем значение, полученное при самом большом токе $\Theta_{R_{10}} = 0,15 \text{ Ом}$.

6.1.6 Вывод формулы для систематической погрешности удельного сопротивления металла.

$$\rho = \frac{R_{cp} \cdot \pi \cdot D^2}{4l}; \quad \rho = \rho(R, l, D); \quad \Theta_\rho = \rho \left(\frac{\Theta_R}{R} + \frac{\Theta_l}{l} + 2 \frac{\Theta_D}{D} \right)$$

5

Восхищение по введенной формуле:

$$\Theta_p = p \left(\frac{\Theta_R}{R} + \frac{\Theta_e}{e} + 2 \frac{\Theta_0}{D} \right) = 1,07 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,15}{4,45} + \frac{0,002}{0,355} + 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-5}}{0,33 \cdot 10^{-3}} \right) = 1,07 \cdot 10^{-6} \cdot (0,03 + 0,006 + 0,03) = 1,07 \cdot 10^{-6} \cdot 0,066 = 0,07 \cdot 10^{-6} \text{ (см} \cdot \text{с)}$$

6.2 Случайные погрешности.

6.2.1 Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения.

$$\begin{aligned} S_R &= \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \dots + (R_N - R_{cp})^2}{N-1}} \\ S_R &= \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \dots + (R_{11} - R_{cp})^2 + \dots + (R_{20} - R_{cp})^2}{19}} \\ &= \sqrt{\frac{(4,56 - 4,45)^2 + (4,50 - 4,45)^2 + \dots + (4,62 - 4,45)^2 + \dots + (4,42 - 4,45)^2}{19}} \\ &= \sqrt{\frac{0,01 + 0,002 + \dots + 0,029 + \dots + (-0,03)^2}{19}} \\ &= \sqrt{\frac{0,1021}{19}} = 0,07 \text{ (см)} \end{aligned}$$

6.2.2 Средняя квадратичная погрешность

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

$$S_{R_{cp}} = \frac{0,07}{\sqrt{20}} = 0,016 \approx 0,02 \text{ (см)}$$



В данной работе проводятся измерения квантовых по своей природе физических величин: электрического сопротивления проволки - R и удельного сопротивления кванта - ρ , поэтому, проверим неравенства

$$S_R \leq \Theta_R; \quad S_{R_{cp}} \leq \Theta_R.$$

$$0,07 \text{ Ом} < 0,15 \text{ Ом}, \quad \text{т.е.} \quad S_R < \Theta_R$$

$$0,02 \text{ Ом} \ll 0,15 \text{ Ом}, \quad \text{т.е.} \quad S_{R_{cp}} \ll \Theta_R$$

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

6.2.3 Случайные погрешности удельного сопротивления

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

$$\Rightarrow S_p = \frac{p S_{R_{cp}}}{R_{cp}}.$$

$$S_p = \frac{p \cdot S_{R_{cp}}}{R_{cp}} = \frac{1,07 \cdot 10^{-6} \cdot 0,02}{4,45} \approx 0,005 \cdot 10^{-6} (\text{Ом} \cdot \text{м})$$

6.3 Полная погрешность

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

$$\Delta R = \Theta_R = 0,15 \text{ Ом}$$

$$\Delta p = \Theta_p = 0,07 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

7. Выводы

- Ознакомление с методикой обработки результатов косвенных измерений.
- Электрическое сопротивление провода $R = 4,45 \pm 0,15 \text{ Ом}$ с вероятностью $P = 95\%$.
- Удельное сопротивление никрома $\rho = (1,07 \pm 0,07) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ с вероятностью $P = 95\%$.
- Экспериментально определенное значение ρ в пределах погрешности совпадает с табличным значением никрома $\rho_{\text{таб.}} = 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.
- Из проведенных опытов видно, что каждое сопротивление в Табл. 2 отличается от $R_{\text{ср}}$ меньше, чем на систематическую погрешность ΔR . Это означает, что электрическое сопротивление не зависит от протекающего тока и от падения напряжения на нем, т.е. справедлив закон Ома.
- Учет сопротивления амперметра приводит к поправке $0,2 \text{ Ом}$, учет сопротивления вольтметра приводит к поправке $0,02 \text{ Ом}$. Поскольку результат получается округлить до десятых долей Ом , поправку на сопротивление вольтметра по формуле (3) можно не делать. Значит, для закона Ома можно воспользоваться по закону Ома без поправки.

