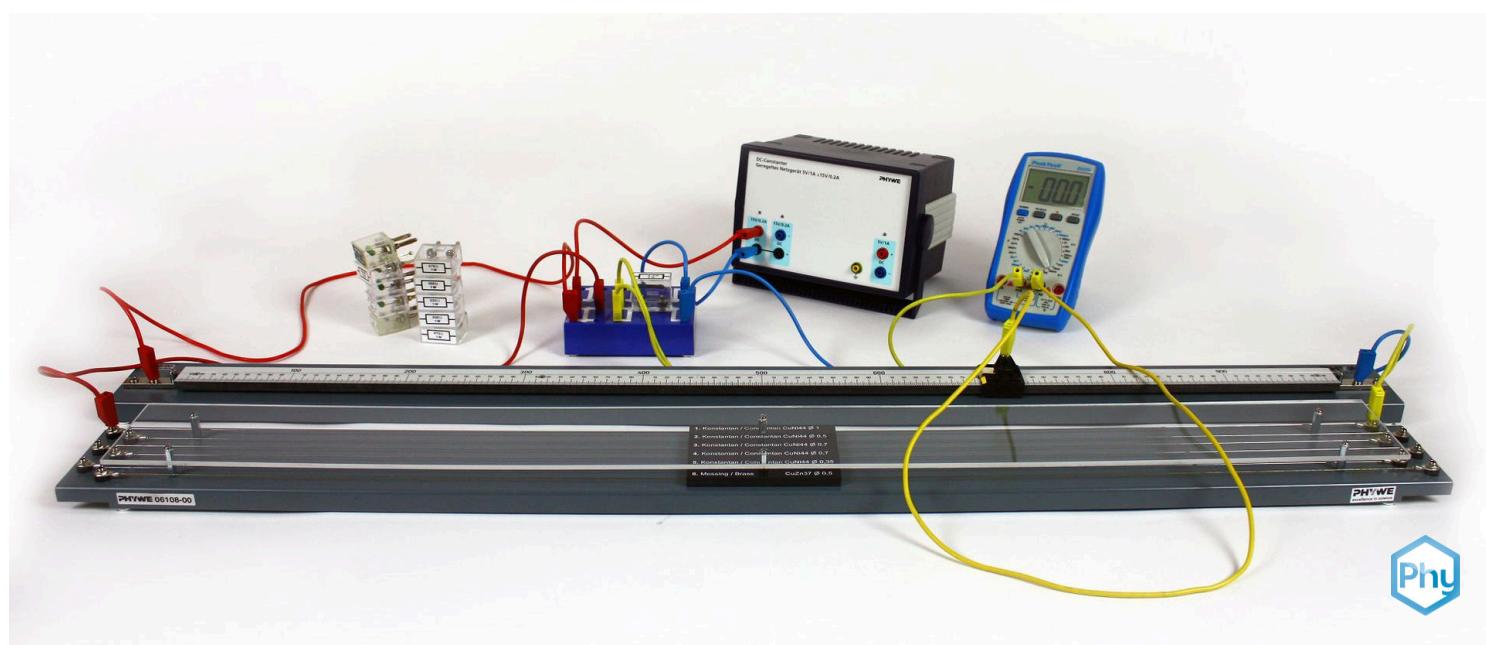


# Мост Уитстоуна



Физика

Электричество и магнетизм

Электрический ток и его эффективность

Физика

Электричество и магнетизм

Простые электрические схемы, резисторы и конденсаторы

Прикладные науки

Инженерные  
специальности

Электротехника

Характеристики электрических цепей



Уровень сложности

средний



Кол-во учеников

2



Время подготовки

45+ Минут



Время выполнения

45+ Минут

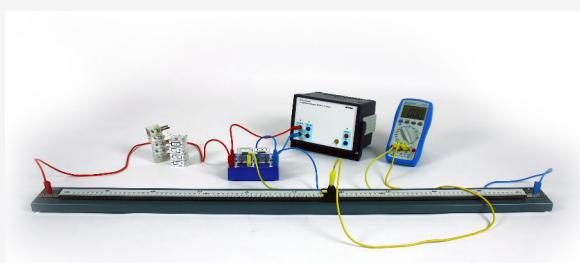
This content can also be found online at:


<http://localhost:1337/c/6344096f5367ca0003332034>



# Общая информация

## Приложение



В электронике и электромагнетизме электрическое сопротивление объекта - это мера его сопротивления протеканию электрического тока. Сопротивления очень важны в электронике и находят широкое применение в вычислительных и других видах схем.

Рис. 1: Экспериментальная установка моста Уитстоуна.

## Прочая информация (1/2)



Предварительные знания для этого эксперимента приведены в разделе "Теория".

**Приор**

**знания**



Мост Уитстоуна используется для определения неизвестного сопротивления с высокой точностью путем регулировки подключенной комбинации известных резисторов.

**Главная**

**принцип**

## Прочая информация (1/2)



Предварительные знания для этого эксперимента приведены в разделе "Теория".

**Приор**

**знания**



Мост Уитстоуна используется для определения неизвестного сопротивления с высокой точностью путем регулировки подключенной комбинации известных резисторов.

**Главная**

**принцип**

## Другая информация (2/2)

PHYWE



### Обучение

#### цель



#### Задачи

Цель этого эксперимента - определить сопротивление с помощью моста Уитстоуна.

1. Определение неизвестных сопротивлений с помощью моста Уитстоуна.
2. Определение общего сопротивления последовательно соединенных резисторов.
3. Определение общего сопротивления параллельно включенных резисторов.
4. Измерение низкого сопротивления и определение удельного электрического сопротивления CuNi (Константан).

## Теория (1/3)

PHYWE

Мост Уитстоуна состоит из четырех резисторов, которые соединены, как показано на рис. 2. Источник напряжения подключен к переходам a и c, в то время как амперметр G измеряет ток, протекающий между спаями b и d.

Второй закон Кирхгофа подразумевает, что приложение определенного напряжения между a и c вызывает одинаковое падение потенциала на ножках a-b-c и a-d-c.

Обе ножки служат определенным делителем напряжения. Потенциалы на стыках b и d зависят от соотношения резисторов на соответствующих ножках

$$V_b = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot V_{\text{source}} \quad \text{и} \quad V_d = \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot V_{\text{source}} \quad (1)$$

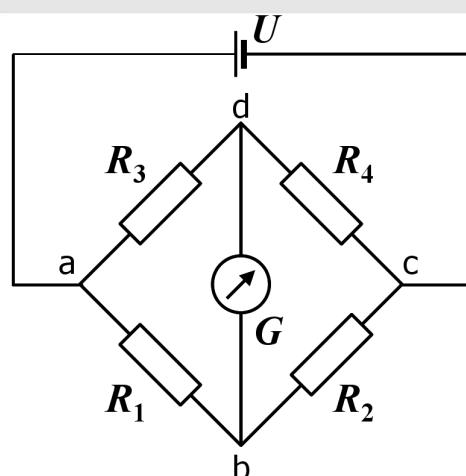


Рис. 2: Мост Уитстоуна, принципиальная схема.

## Теория (2/3)

PHYWE

Если пропорции резисторов отрегулированы таким образом, что потенциалы  $V_b$  и  $V_d$  выравниваются, ток через амперметр исчезает. Обнаружение нулевого тока очень просто и может быть выполнено с помощью простого гальванометра. Это состояние называется точка равновесия моста Уитстоуна. В этом случае уравнение 1 можно объединить:

$$\frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{R_4}{R_3+R_4} \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (3)$$

Если известны три резистора, а четвертый, напр.  $R_3$  необходимо определить, его можно рассчитать после установки моста в точку равновесия

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_4 \quad (4)$$

## Оборудование

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Измерительный мост из скользящей проволоки	07182-00	1
2	Соединительная коробка	06000-00	1
3	Резистор 1 Ом 2%, 2 Вт, G1	06055-10	1
4	Резистор 2 Ом 5%, 2 Вт, G1	06055-20	1
5	Резистор 5 Ом 2%, 2 Вт, G1	06055-50	1
6	Резистор 10 Ом, 1 Вт, G1	39104-01	1
7	Резистор 100 Ом, 1 Вт, G1	39104-63	1
8	Резистор 150 Ом, 1 Вт, G1	39104-18	1
			3910-10

## Оборудование

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	<u>Измерительный мост из скользящей проволоки</u>	07182-00	1
2	<u>Соединительная коробка</u>	06000-00	1
13	<u>Резистор 1 Ом 2%, 2 Вт, G1</u>	06055-10	1
14	<u>Резистор 2 Ом 5%, 2 Вт, G1</u>	06055-20	1



## Настройка и процедура

## Установка (1/2)

PHYWE

Для измерения необходимо заранее подготовить до пяти произвольно выбранных резисторов. Чтобы скрыть информацию о сопротивлении, напечатанные значения и, по желанию, прозрачный корпус выбранных резисторов необходимо оклеить клейкой лентой. Для разделения во время измерения и последующей проверки резисторы должны быть промаркованы следующим образом  $R_{x1} \dots R_{x5}$ . В следующих примерах измерений используется следующее обозначение:

$$\frac{R_{x1} \quad R_{x2} \quad R_{x3} \quad R_{x4} \quad R_{x5}}{220 \Omega \quad 2 \Omega \quad 47 \Omega \quad 5 \Omega \quad 680 \Omega}$$

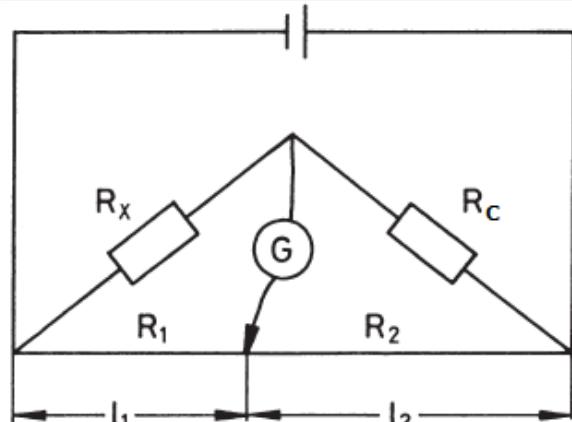


Рис. 3: Схема моста Уитстоуна.

## Настройка (2/2)

PHYWE

Экспериментальная установка показана на рис. 1. Согласно рис. 4, первое неизвестное сопротивление  $R_x$  и известный резистор  $R_C$  (например, 100  $\Omega$ ) расположены на соединительной коробке. Короткий красный шнур соединяет  $R_x$  с красным разъемом выхода постоянного тока, а длинный красный шнур соединяет этот узел с левым разъемом измерительного моста скользящей проволоки. Аналогично, синие шнуры соединены с резистором сравнения  $R_C$  синий разъем выхода постоянного тока, а правый разъем скользящего провода. Между ними желтые шнуры соединяют амперметр G (шкала mA, режим постоянного тока) с переходом между  $R_x$  и  $R_C$  а также движок измерительного моста. Принципиальная схема показана на рис. 3.

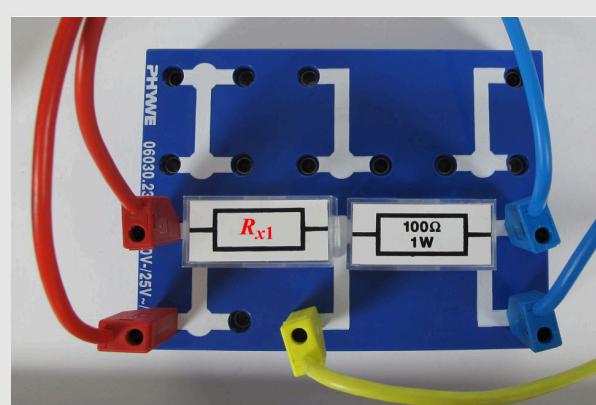


Рис. 4: Настройка верхней ноги моста Уитстоуна с неизвестным сопротивлением.

## Процедура (1/6)

PHYWE

### Определение неизвестного сопротивления $R_x$

- Для получения неизвестного сопротивления  $R_x$  Ползунок измерительного моста должен быть перемещен в такое положение, чтобы амперметр показывал нулевой ток.
- В зависимости от выбранных резисторов, возможно, что вы обнаружите остаточный ток в каждом положении регулятора. В этом случае необходимо заменить резистор сравнения  $R_C$  с другой. Такую же процедуру рекомендуется выполнять, если положение ползунка находится близко к концам проволоки, так как в противном случае точность измерения снизится.
- Определить положение ползунка  $l_1$  на линейке и соответствующее положение  $l_2 = 100 \text{ см} - l_1$
- Заменить  $R_r$  и повторяйте процедуру до тех пор, пока не будут

### Примечание:

Источник питания обеспечивает ток до 2 А при напряжении 12 В. Если ток превысит этот порог, например, из-за небольшого сопротивления в цепи, устройство снизит напряжение, чтобы предотвратить повреждение. На это указывает свечение красного светодиода над селектором тока. Тем не менее, на измерения и результаты не влияет эта

## Процедура (2/6)

PHYWE

### Определение общего сопротивления последовательно соединенных резисторов.

- Чтобы определить сопротивление двух или трех неизвестных резисторов, соединенных последовательно, верхняя ножка моста Уитстоуна должна быть изменена в соответствии с рис. 5 или рис. 6, соответственно. Сопротивление  $R_x$  заменяется различными комбинациями неизвестных резисторов, в то время как один из известных резисторов остается как  $R_C$ .
- Проведите измерения, как и в задании 1, по крайней мере, для двух комбинаций из двух и двух комбинаций из трех резисторов. Определите соответствующие положения ползунков  $l_1$  (а также  $l_2$ ).

## Процедура (3/6)

PHYWE

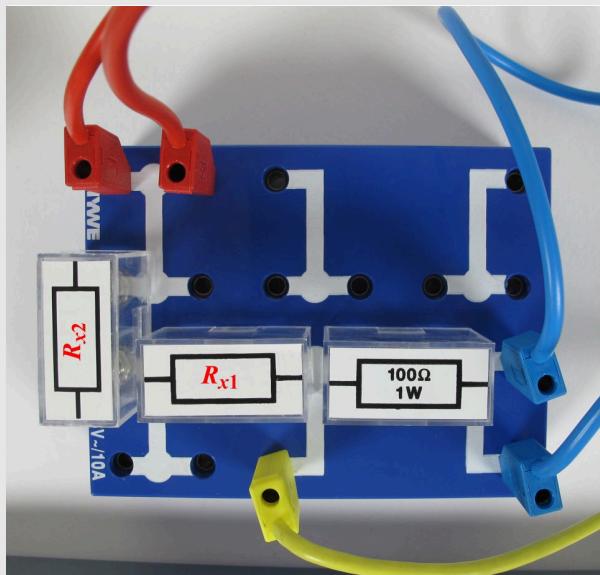
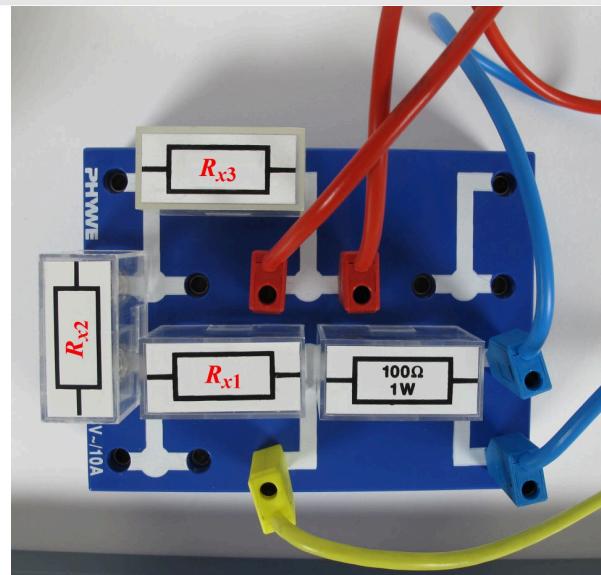


Рис. 5:  
Установка для  
двух  
неизвестных  
резисторов,  
соединенных  
последовательно

Рис. 6:  
Установка для  
трех  
неизвестных  
резисторов,  
соединенных  
последовательно



## Процедура (4/6)

PHYWE

**Определение общего сопротивления параллельно включенных резисторов.**

- Для изучения влияния двух резисторов, соединенных параллельно, установка должна быть отрегулирована, как показано на рис. 7. Сопротивление  $R_x$  заменяется двумя неизвестными резисторами в параллельной цепи, а один из известных резисторов служит в качестве  $R_C$ .
- Повторите шаги задания 1, по крайней мере, для трех различных комбинаций резисторов и определите соответствующие положения ползунков  $l_1$  (а также  $l_2$ ), опять же.

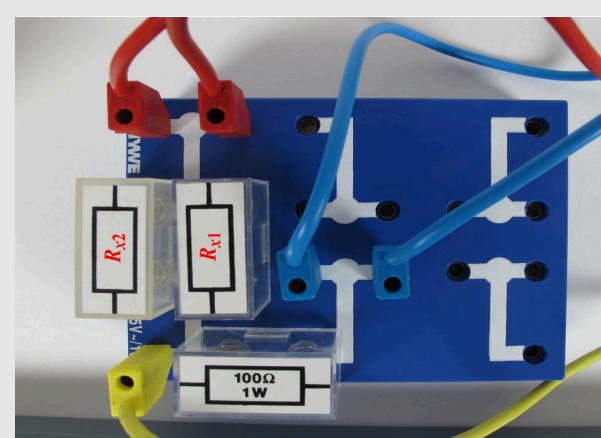


Рис. 7: Установка верхней ноги моста Уитстоуна с двумя неизвестными резисторами, соединенными параллельно.

## Процедура (5/6)

### Определение удельного электрического сопротивления CuNi.

- Одним из преимуществ моста Уитстоуна является возможность точного определения малого сопротивления. Для демонстрации необходимо измерить сопротивление нескольких константановых проводов разного диаметра (и одинаковой длины  $l = 100$  см). Таким образом, можно получить удельное электрическое сопротивление константана.
- Для этого  $R_C$  следует заменить резистором приблизительно  $1\Omega$ , а провод CuNi44 № 1 платы сопротивления должен быть подключен как  $R_x$  (см. рис. 8 и 9).
- Снова нужно провести измерения, как и раньше, пока мост не будет сбалансирован.
- Регистрация положения ползунка  $l_1$  (а также  $l_2$ ) и повторите измерения для оставшихся проводов CuNi44 № 2, 3 и 5.

## Процедура (6/6)

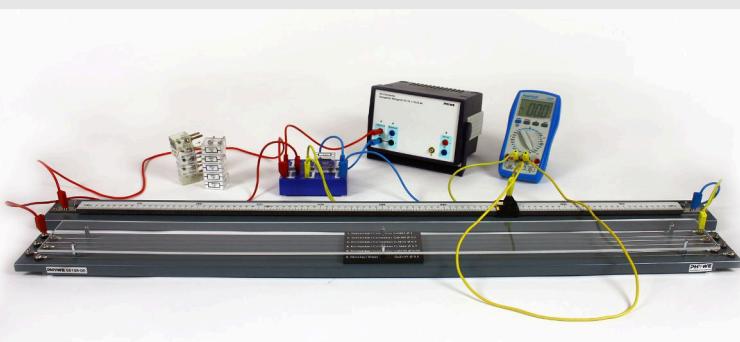


Рис. 8: Экспериментальная установка с использованием платы сопротивления.

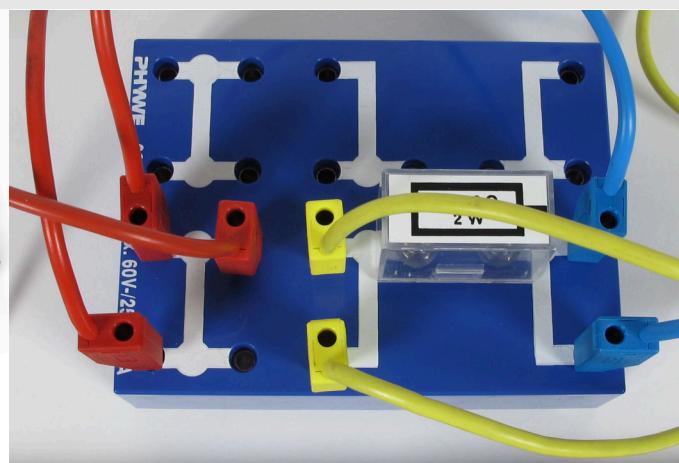


Рис. 9: Установка соединительной коробки для использования платы сопротивления с мостом Уитстоуна.



# Оценка

## Задание 1

PHYWE

Рассчитайте сопротивление неизвестных резисторов, используя уравнение 6 и измеренные длины на скользящей проволоке. Выявите указанные значения используемых резисторов и сравните их с рассчитанными результатами (см. пример в табл. 1).

Вы заметите, что отклонение увеличивается для значений, измеренных вблизи концов проводов. Тем не менее, абсолютные значения измеренного и фактического сопротивления находятся в хорошем согласии. Чтобы уменьшить отклонение, замените резистор сравнения  $R_C$  с резистором, сравнимым по величине с  $R_x$ .

Маркировка	$R_C$ [ $\Omega$ ]	$l_1$ [мм]	$l_2$ [мм]	$R_x$ [ $\Omega$ ]	фактический $R_x$ [ $\Omega$ ]	разделение [%]
$R_{x1}$	100	690	310	223	220	1.4
$R_{x2}$	100	22	978	2.25	2	12.5
$R_{x3}$	100	317	683	46.4	47	-1.3
$R_{x4}$	100	51	949	5.4	5	8.0
$R_{x5}$	100	875	125	700	680	2.9

Таблица 1: Оценка  
неизвестных резисторов с  
помощью моста Уитстоуна.

## Задание 2

Рассчитайте общее сопротивление  $R_x$  неизвестных резисторов в последовательной цепи, используя уравнение 6 и измеренные длины на скользящей проволоке. Выявите указанные значения используемых резисторов и сравните их с рассчитанными результатами (см. пример в табл. 2).

Используемые резисторы	$R_C$ [Ω]	$l_1$ [мм]	$l_2$ [мм]	$R_x$ [Ω]	фактический $R_x$ [Ω]	разделение [%]
$R_{x3}, R_{x5}$	100	882	118	747.5	727	2.8
$R_{x1}, R_{x4}$	100	690	310	222.6	225	-1.1
$R_{x1}, R_{x2}, R_{x3}$	100	732	268	273.1	269	1.5
$R_{x1}, R_{x3}, R_{x5}$	100	909	91	998.9	947	5.5

Таблица 2: Оценка  
резисторов в  
последовательной цепи.

Согласно второму закону Кирхгофа, падение напряжения на каждой ножке моста Уитстоуна суммируется с общим приложенным напряжением в точке равновесия. Из-за постоянного тока, протекающего по каждой ножке, закон Ома дает общее сопротивление, равное сумме значений каждого отдельного сопротивления в последовательной цепи

$$R_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (7)$$

## Задание 3

Рассчитайте общее сопротивление  $R_x$  неизвестных резисторов в параллельной цепи, используя уравнение 6 и измеренные длины на скользящей проволоке. Выявите указанные значения используемых резисторов и сравните их с рассчитанными результатами (см. пример в табл. 3).

Используемые резисторы	$R_C$ [Ω]	$l_1$ [мм]	$l_2$ [мм]	$R_x$ [Ω]	фактический $R_x$ [Ω]	разделение [%]
$R_{x1}, R_{x3}$	100	282	718	39.3	38.7	1.4
$R_{x2}, R_{x3}$	100	17	983	1.7	1.9	-9.9

Таблица 3: Оценка  
резисторов в  
параллельной цепи.

Согласно первому закону Кирхгофа, общий ток в параллельной цепи резисторов равен сумме токов в каждой отдельной ветви, в то время как напряжение одинаково для каждого компонента. Таким образом, общее сопротивление параллельной цепи можно определить, используя закон Ома и складывая взаимные значения сопротивления в каждой ветви в цепь увеличивает протекание тока,

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (8)$$

поскольку имеющееся сопротивление может быть обойдено по дополнительной ветви. Поэтому общее сопротивление параллельной цепи всегда меньше, чем сопротивление наименьшего конкретного резистора (см. табл. 3).

## Задание 4 (1/3)

Рассчитайте полное сопротивление  $R_x$  проводов в параллельной цепи, используя уравнение 6 и измеренные длины на скользящем проводе (см. пример в табл. 4).

d [мм]	$l_1$ [мм]	$l_2$ [мм]	$R_x$ [ $\Omega$ ]
1	392	608	0.645
0.5	717	283	2.53
0.7	564	436	1.29
0.35	840	160	5.25

Таблица 4: Сопротивление различных константановых проводов длиной  $l = 1$  м.

В соответствии с уравнением 5, удельное электрическое сопротивление является внутренним свойством, которое может быть рассчитано на основе измеренного сопротивления провода и его геометрии

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l} \quad (9)$$

## Задание 4 (2/3)

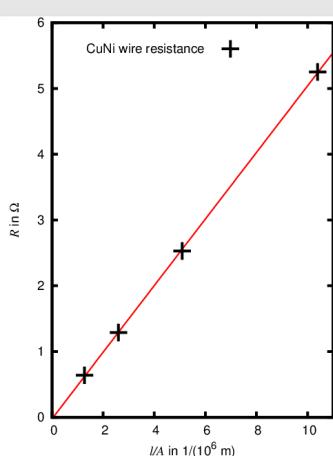


Рис. 10: Сопротивление токопроводящей жилы в зависимости от ее геометрии  $l/A$ .

Учитывая, что сопротивление было получено для нескольких проводов из одного и того же материала, удельное электрическое сопротивление CuNi можно определить с повышенной точностью, построив график зависимости сопротивления  $R$  от  $l/A$ . Коэффициент пропорциональности  $\rho$  соответствует наклону линейной подгонки (как показано на рис. 10)

$$R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{\pi r^2} = \rho \frac{4 \cdot l}{\pi d^2} \quad (10)$$

Наклон подгонки на рис. 10 дает удельное электрическое сопротивление

$$\rho = 5.06 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{м} \quad (11)$$

что находится в очень хорошем согласии с литературным