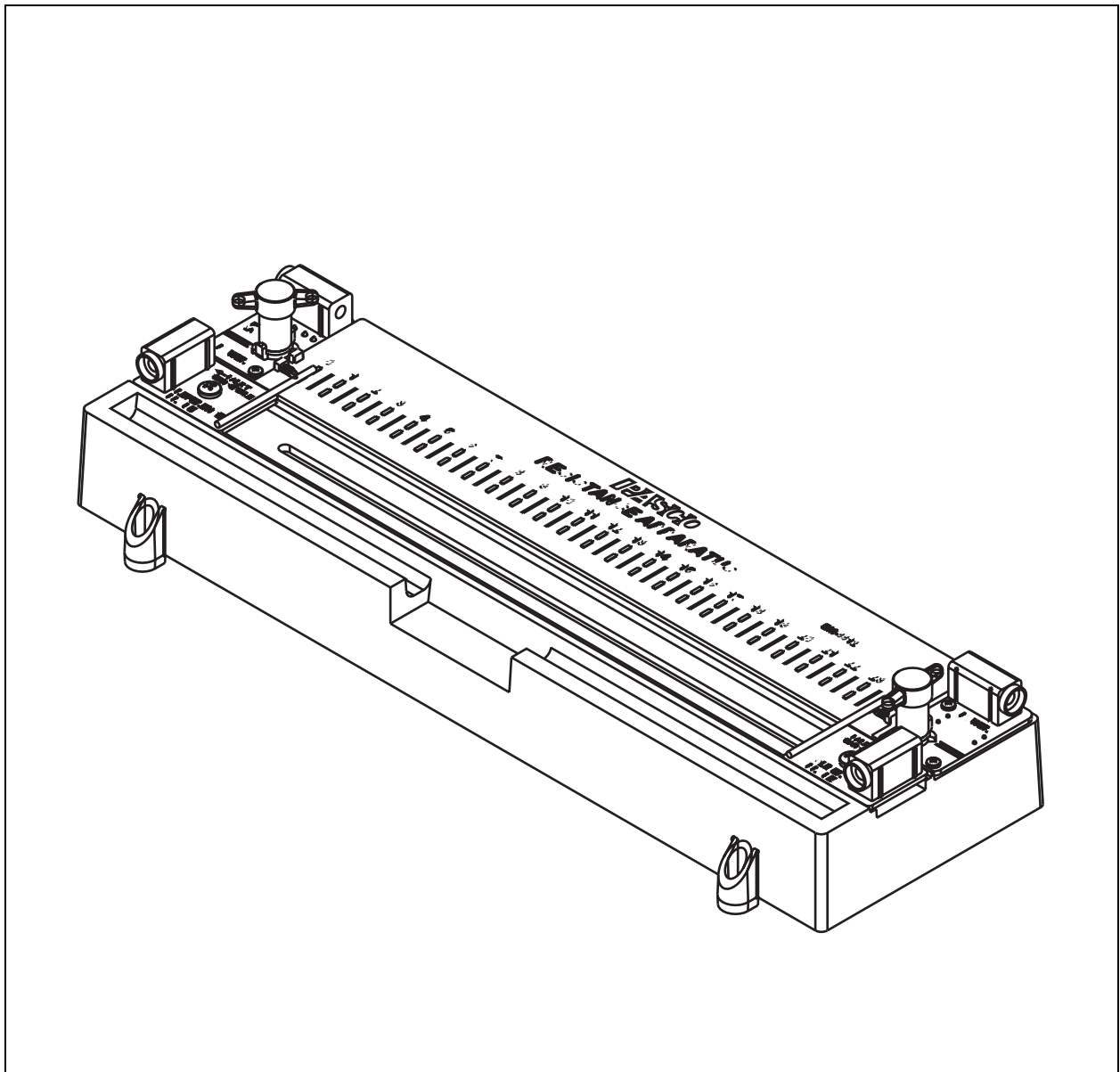


# Аппарат удельного электрического сопротивления

EM-8812

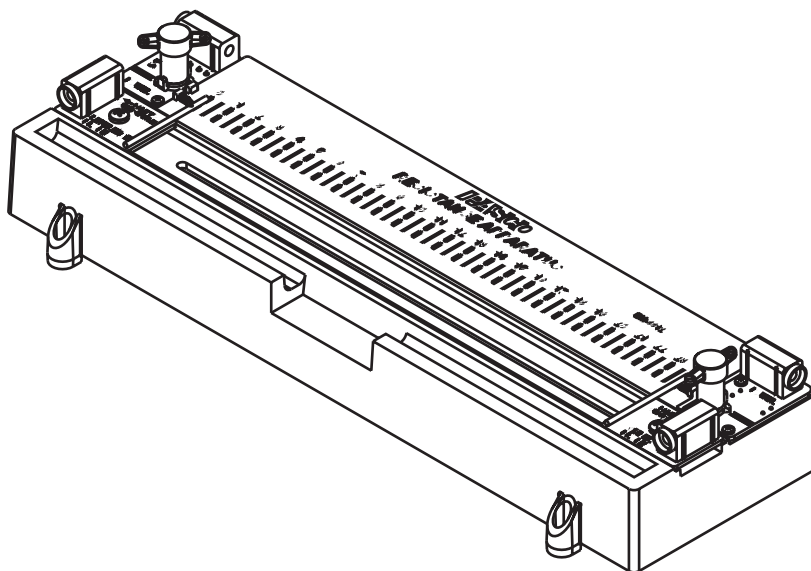


## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение . . . . .  | 3  |
| Провода . . . . .   | 4  |
| Измерение напряжения . . . . .                              | 4  |
| Подача и измерение тока. . . . .                            | 4  |
| Четырёхпроводное измерение. . . . .                         | 4  |
| Настройка аппарата . . . . .                                | 5  |
| Порядок действий при измерении . . . . .                    | 6  |
| Плавкий предохранитель . . . . .                            | 6  |
| Хранение . . . . .  | 6  |
| Информация об экспериментах. . . . .                        | 6  |
| Эксперимент 1. Исследование сопротивления. . . . .          | 7  |
| Эксперимент 2. Зависимость сопротивления от длины . . . . . | 9  |
| Эксперимент 3. Зависимость напряжения от длины . . . . .    | 12 |
| Заметки учителя и типичные данные. . . . .                  | 15 |
| Техническая поддержка . . . . .                             | 18 |

# Аппарат удельного электрического сопротивления

EM-8812



| Комплектуемое оборудование   | Номер компонента |
|--|------------------|
| Аппарат удельного электрического сопротивления                               | EM-8812          |
| Два комплекта проводов (8 проводов в каждом комплекте) в трубке для хранения | EM-8813          |
| Плавкие предохранители (один установленный и один запасной), плоские, 2 А    | 530-045          |

## Рекомендуемое дополнительное оборудование

Измерение напряжения:

|                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| Датчик-гальванометр <sup>1</sup> | PS-2160                  |
| или мультиметр                   | SE-9786A или аналогичный |

Измерение тока:

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Датчик-гальванометр <sup>1,2</sup> ,  | PS-2160                  |
| мультиметр                            | SE-9786A или аналогичный |
| или измеритель тока источника питания |                          |

Источник питания (не менее 1 А) PI-9877 или SE-9720A

Коммутационные шнуры (4 мм, заглушка типа «банан») SE-7123

<sup>1</sup> Для датчика требуется интерфейс PASPORT, например Xplorer GLX (PS-2002).

<sup>2</sup> Два датчика-гальванометра могут использоваться одновременно для измерения напряжения и тока. Для второго датчика требуется многопортовый интерфейс или два однопортовых интерфейса.

## Введение

В аппарате удельного электрического сопротивления ток устанавливается в проводе с известным диаметром, и измеряется падение напряжения на участке провода. Ученики смогут рассчитать сопротивление провода и удельное сопротивление материала.

## Провода

Набор проводов, поставляемый в комплекте с аппаратом, включает по два провода каждого образца. Поместите по одному образцу в лоток для хранения на аппарате для использования. Отложите запасные провода и используйте их для замены потерянных или поврежденных проводов. Вы можете заказать комплект EM-8813, чтобы получить новый набор проводов (по два провода каждого образца).

В комплект входят провода одного диаметра из пяти разных материалов и четырёх диаметров одного материала (латуни). Для определения типа проводов см. таблицу.

| Материал          | Цвет         | Притягивается магнитом? | Приблизительное удельное сопротивление <sup>1</sup> (мкОм·см) | Диаметр(ы) (мм)       | Максимальный <sup>2</sup> постоянный ток (А) |
|-------------------|--------------|-------------------------|---|-----------------------|--|
| Медь              | Красный      | Нет                     | 1,8 ± 0,1   | 1,0                   | 2  |
| Алюминий          | Светло-серый | Нет                     | 4,9 ± 0,1   | 1,0                   | 2  |
| Латунь            | Жёлтый       | Нет                     | 7,0 ± 0,5   | 0,51; 0,81; 1,0 и 1,3 | 2  |
| Нихром            | Тёмно-серый  | Нет                     | 105 ± 5   | 1,0                   | 0,5  |
| Нержавеющая сталь | Тёмно-серый  | Да                      | 79 ± 1  | 1,0                   | 1  |

<sup>1</sup> Все образцы проводов сделаны из сплавов. Фактическое удельное сопротивление образца зависит от его состава.

<sup>2</sup> По причине избыточного постоянного тока провода нагреваются и меняется удельное сопротивление. Провода допускают кратковременный ток до 2 А.

## Измерение напряжения

Измерьте падение напряжения на проводе с помощью датчика гальванометра модели PS-2160 или мультиметра с разрешением не менее 0,1 мВ. Максимальное измеренное напряжение будет менее 1 В.

## Подача и измерение тока

Ток, устанавливаемый в проводе, подаётся внешним источником питания. Выберите источник питания с параметрами не менее 1 А при 1 В. Аппарат оснащён плавким предохранителем на 2 А для защиты от избыточного тока (см. инструкцию по замене плавкого предохранителя на стр. 6). При использовании источника питания с регулируемым током более 2 А (например, модель SE-9720A) установите регулятор тока на 2 А до подключения к аппарату. Последовательное сопротивление аппарата — 0,5 Ом. Это упростит изменение тока на проводе с помощью приложенного напряжения.

Для измерения тока используйте датчик напряжения и тока модели PS-2115 или мультиметр. При использовании источника питания с точным встроенным измерителем тока (например, модель PI-9877) отдельный измеритель не требуется.

## Четырёхпроводное измерение

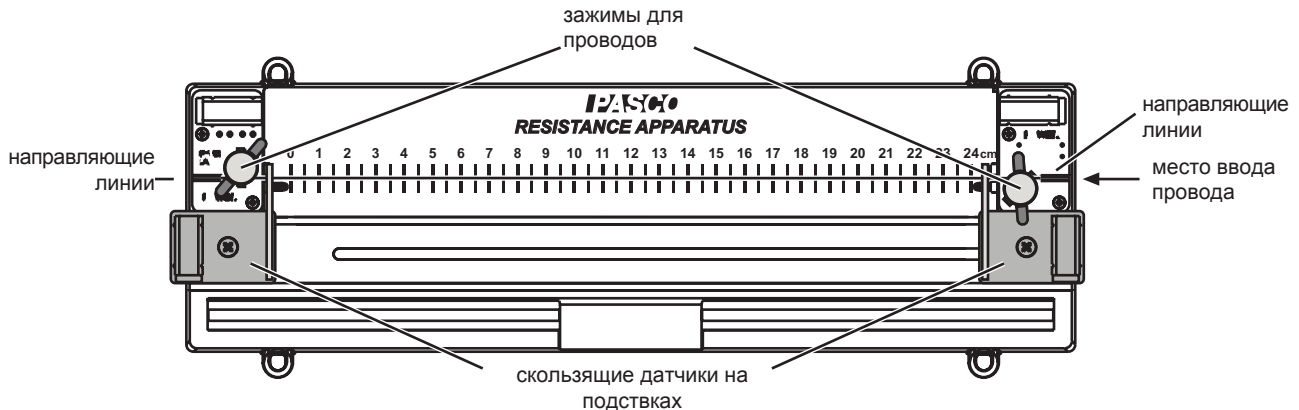
В аппарате сопротивление длины провода определяется с помощью подачи известного значения тока и измерения напряжения. Данная техника называется четырёхпроводным измерением (четырёхпроводное, т. к. в схеме присутствуют два вывода, через которые подаётся ток, и два щупа вольтметра). Напряжение измеряется только вдоль исследуемого участка провода (исключая выводы источника питания) — ток практически не идёт через выводы вольтметра (поэтому в них нет падения напряжения).

Этот метод позволяет измерить очень малое сопротивление, даже если сопротивление четырёх измерительных проводов более высокое, неизвестное или переменное.

## Настройка аппарата

### Установка проводов

1. Переместите контрольный и скользящий датчики в крайнее левое и правое положения, чтобы они находились на подставках вдали от провода.



2. Ослабьте зажимы для проводов.
3. Вставьте провод через зажимы под датчики, как показано на рисунке. Линии, расположенные рядом с зажимами для проводов, показывают, как необходимо вставлять провод. Обратите внимание, что провод проходит через *переднюю часть* левого зажима и через *заднюю часть* правого зажима. Такая конфигурация обеспечивает натяжение провода при затягивании зажимов.
4. Затяните зажимы, чтобы закрепить провод.
5. Чтобы вынуть провод, разместите датчики на подставках и ослабьте зажимы.

### Подключение внешних устройств

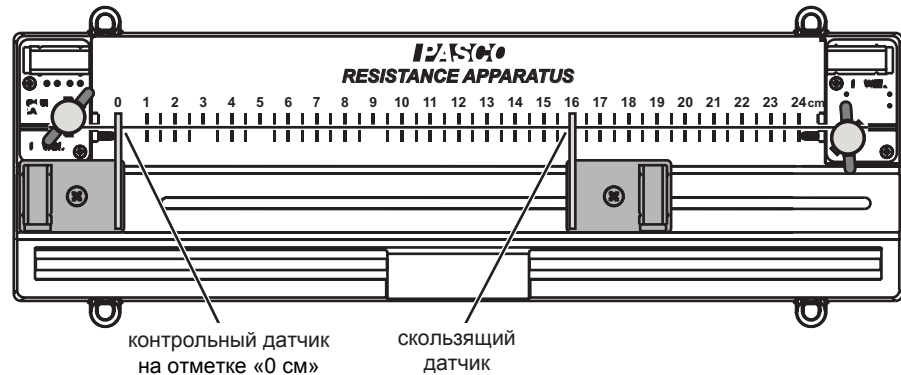
1. **Источник питания:** установите напряжение источника питания на ноль. Подключите его к разъёмам питания аппарата (см. рисунок) так, чтобы ток проходил справа налево по проводу.



2. **Измеритель тока:** при использовании датчика или измерителя тока подключите его последовательно к аппарату.
3. **Измеритель напряжения:** подключите датчик гальванометра или вольтметр к разъёмам контрольного (-) и скользящего датчика (+).

## Порядок действий при измерении

1. Включите питание и отрегулируйте подаваемое напряжение, чтобы установить необходимый ток  $I$  в проводе.



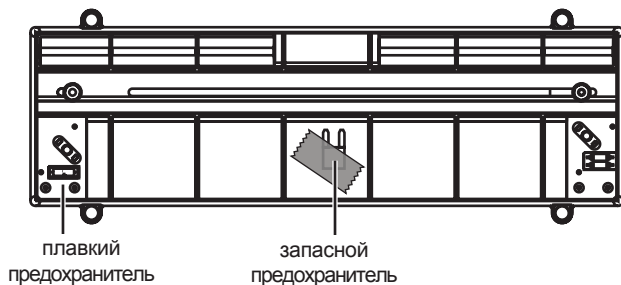
2. Поместите контрольный датчик на отметку «0 см».
3. Переместите скользящий датчик на любую точку провода. Прочитайте значение длины ( $\ell$ ) в сантиметрах на шкале аппарата. Это длина участка провода, где измеряется напряжение.
4. Прочитайте значение напряжения  $U$ .

В стандартном эксперименте будет несколько измерений  $U$  при изменении другого параметра (например,  $I$ ,  $\ell$ , диаметра провода, материала провода).

## Плавкий предохранитель

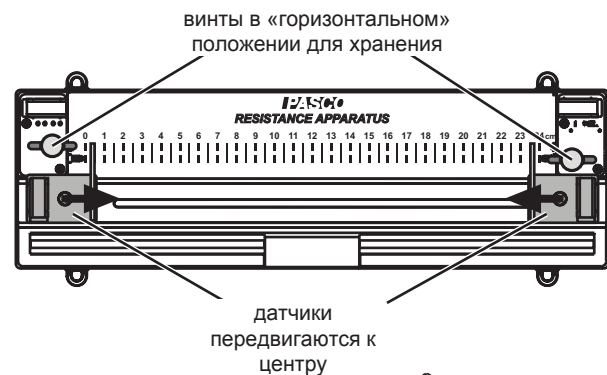
Если на аппарат подается ток более 2 А, то предохранитель перегорит и потребует его замена. Предохранитель расположен в под основной аппарата. Потяните предохранитель, чтобы снять его. В комплекте с аппаратом поставляется запасной предохранитель, закреплённый под основной аппарата.

Запасной предохранитель — это плавкий плоский предохранитель на 2 А, который можно приобрести в магазинах автомобильной техники.



## Хранение

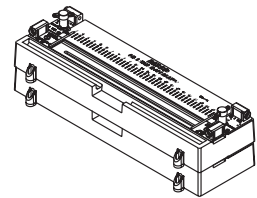
Для складирования нескольких аппаратов поверните зажимные винты в «горизонтальное» положение, как показано на рисунке. Переместите контрольный датчик до упора вправо (чуть правее отметки «0 см»), а скользящий датчик — левее отметки «24 см».



## Информация об экспериментах

В руководстве в виде экспериментов представлены три примера использования аппарата: от простого лабораторной работы (эксперимент 1) до более сложной (эксперимент 3). Заметки учителя и примеры данных для всех трёх экспериментов приведены на стр. 15–17.

В экспериментах 2 и 3 используются конкретные источники питания, датчики и программное обеспечение. Однако эти эксперименты также можно проводить с использованием оборудования, доступного в большинстве учебных физических лабораториях.



## Эксперимент 1. Исследование сопротивления

### Требуемое оборудование

| Требуемое оборудование   | Номер компонента                  |
|--|-----------------------------------|
| Аппарат удельного электрического сопротивления и комплект проводов | EM-8812                           |
| Источник питания   | PI-9877 или аналогичный           |
| Коммутационные шнуры (4 мм, заглушка типа «банан»)                 | SE-7123                           |
| Датчик-гальванометр или вольтметр (для измерения напряжения)       | PS-2160, SE-9786A или аналогичный |
| Измеритель тока (может быть встроен в источник питания)            | SE-9786A или аналогичный          |
| Микрометр (опционально)  | SE-7337                           |

### Теоретическая информация

Закон Ома описывает соотношение сопротивления  $R$  провода, падения напряжения  $U$  на нём и проходящего через него тока  $I$ :

(формула 1-1) 
$$R = U / I$$

В этом эксперименте вы подадите определённое значение тока и измерите  $U$ , чтобы определить  $R$  сделанных из разного материала проводов разной длины и диаметра.

### Настройка

1. Возьмите латунный провод (следующий после самого маленького; приблизительно 0,081 см в диаметре). Если есть микрометр, то вы сможете точно измерить диаметр провода.
2. Установите провод в аппарат (см. стр. 5, «Установка проводов»).
3. Подключите датчик-гальванометр или вольтметр к разъёмам контрольного (-) и скользящего (+) датчиков аппарата.
4. Поместите контрольный датчик на отметку «0 см», а скользящий датчик — на «24 см».
5. Подключите источник питания к разъёмам питания аппарата так, чтобы ток проходил справа налево через провод.
6. При использовании отдельного измерителя тока подключите его последовательно к источнику питания и аппарату.
7. Поднимите напряжение источника питания до 1 А.

### Часть А. Зависимость сопротивления от длины

1. Измерьте  $U$  и  $I$ . Используйте формулу 1-1, чтобы вычислить  $R$ .
2. Запишите  $R$  и длину провода  $\ell$  (или расстояние между датчиками) в таблицу.
3. Повторите шаги 1 и 2 для проводов длиной ( $\ell$ ) 20, 16, 12, 8, и 4 см.

Составьте график зависимости  $R$  от  $\ell$ . Получилась ли зависимость линейной? Проходит ли линия наилучшего соответствия (приблизительно) через начало координат? Что это говорит о зависимости между  $R$  и  $\ell$ ?

## Часть В. Зависимость сопротивления от длины

Повторите шаг 1 для других диаметров\* латунных проводов с  $\ell = 24$  см.

Составьте график зависимости  $R$  от диаметра  $d$ . Получилась ли зависимость линейной? Попробуйте построить обратную кривую. Попробуйте построить кривую обратных квадратов. В каком случае кривая точнее? Что это говорит о зависимости  $R$  от  $d$ ?

\*Если есть микрометр, то точно измерьте диаметры изучаемых проводов. В противном случае используйте следующие значения:  
0,13 см;  
0,10 см;  
0,081 см;  
0,051 см.

## Часть С. Удельное сопротивление латуни

Сопротивление любого провода определяется следующим образом:

(формула 1-2)

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

где  $S$  — площадь поперечного сечения провода, а  $\rho$  — удельное сопротивление материала. Сопротивление зависит от  $\ell$  и  $S$ , но при этом  $\rho$  является параметром самого материала.

Вычислите  $A$  для каждого латунного провода. Используйте формулу 1-2 и значения  $R$  и  $\ell$  из части В, чтобы вычислить  $\rho$  для каждого латунного провода. Получились ли *примерно* одинаковые значения? Какова погрешность вычисленных значений? Сравните результаты с принятым значением.

## Часть D. Удельное сопротивление других металлов

Изучите провода из меди, алюминия, никрома и нержавеющей стали. Для каждого провода измерьте  $D$ ,  $\ell$ ,  $U$  и  $I$ . Вычислите  $R$ ,  $A$ , и  $\rho$ . Сравните ваши значения удельного сопротивления с принятыми значениями.



## Эксперимент 2. Зависимость сопротивления от длины

| Требуемое оборудование   | Номер компонента  |
|--|-------------------|
| Аппарат удельного электрического сопротивления и комплект проводов | EM-8812           |
| Блок питания постоянного тока                                      | PI-9877           |
| Коммутационные шнуры (4 мм, заглушка типа «банан»)                 | SE-7123           |
| Два датчика гальванометра  | PS-2160           |
| Резистор, 0,1 Ом , 3 Вт (в комплекте с гальванометром)             |                   |
| Переходник BNC-«банан» (в комплекте с гальванометром)              |                   |
| Интерфес(ы) PASPORT  | см. каталог PASCO |
| Микрометр (опционально)  | SE-7337           |

### Теоретическая информация

Если ток  $I$  проходит через провод, то падение напряжения  $U$  на определённом участке провода с сопротивлением  $R$  определяется законом Ома:

(формула 2-1) 
$$U = IR$$

На графике зависимости  $U$  от  $I$  значение углового коэффициента равно  $R$ . В данном эксперименте вы определите зависимость  $U$  от  $I$ , чтобы измерить  $R$  для проводов разной длины. Затем составьте график зависимости  $R$  от длины ( $\ell$ ).

Сопротивление провода зависит от  $\ell$ , площади поперечного сечения  $S$  и удельного сопротивления  $\rho$  материала:

(формула 2-2) 
$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$


Таким образом, значение углового коэффициента графика зависимости  $R$  от  $\ell$  равно  $\rho/S$ .

### Настройка

1. Измерьте\* диаметр четырёх латунных проводов и вычислите площади их поперечного сечения.
2. Установите самый большой латунный провод в аппарат (см. стр. 5, «Установка проводов»).
3. Поместите контрольный датчик на отметку «0 см», а скользящий датчик — на «24 см».
4. Подключите источник питания к разъёмам питания аппарата так, чтобы ток проходил справа налево через провод.
5. Подключите оба гальванометра к интерфейсу (интерфейсам) PASPORT. При использовании компьютера подключите интерфейсы к компьютеру и запустите DataStudio.
6. Настройте один из гальванометров на измерение напряжения ( $U$ ): подключите его к контрольному (-) и скользящему (+) датчикам аппарата.

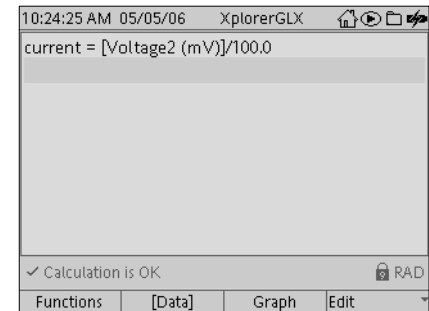
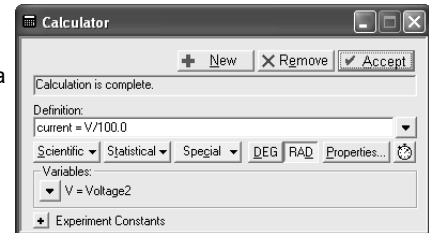
\*При отсутствии микрометра используйте следующие значения диаметра:  
0,13 см;  
0,10 см;  
0,081 см;  
0,051 см.

7. Настройте второй гальванометр на измерение тока  $I$ :

- a. Используйте переходник BNC-«банан» для подключения резистора на 0,1 Ом к клеммам гальванометра.
- b. Нажмите кнопку обнуления на гальванометре.
- c. Вставьте резистор в цепь *последовательно* с источником питания и аппаратом.
- d. Поверните ручку выбора функции источника питания в положение постоянного тока (.....).
- e. На источнике питания нажмите , чтобы отобразить ток. Медленно поворачивайте ручку точной регулировки, чтобы установить ток на значение около 1 А. Обратите внимание на точное значение тока на дисплее.
- f. В течение нескольких секунд собирайте данные. Обратите внимание на среднее напряжение, измеренное гальванометром (убедитесь, что следите за гальванометром, измеряющим ток: он должен зафиксировать около 100 мВ).
- g. Используйте ток (отображается на источнике питания), напряжение (измеряется гальванометром) и закон Ома для расчета сопротивления резистора (значение будет близко к 100 мОм).
- h. Введите вычисления в DataStudio или калькулятор GLX:



$$\text{ток} = \text{напряжение} / 100,0$$

Для этого введите расчётное сопротивление (мОм) вместо «100,0». Voltage («Напряжение») — напряжение (в мВ), измеренное гальванометром (убедитесь, что используете гальванометр, измеряющий ток). Ток будет измеряться в амперах.



**Расчёт тока в DataStudio (вверху) и GLX (внизу)**

8. Запрограммируйте источник питания на линейное изменение тока от 0 до 1 А:





- a. Поверните ручку выбора функции источника питания в положение постоянного тока (.....).
- b. Нажмите , чтобы отобразить ток (если значение ещё не отображается). Медленно поверните ручку точной регулировки, чтобы установить ток на значение около 1 А.
- c. Нажмите  повторно, чтобы отобразить напряжение. Обратите внимание на это значение.
- d. Поверните ручку выбора функции в положение линейного изменения (.....). С помощью ручки грубой и точной регулировки увеличьте значение линейного изменения (показано на дисплее) на напряжение, отмеченное на шаге c.

Обратите внимание, что напряжение  $U$ , измеренное гальванометром, — это напряжение между контрольным и скользящим датчиками, а не напряжение на выходе источника питания. Также длина ( $\ell$ ) — это расстояние между датчиками, а не полная длина провода.

## Измерение сопротивления

В этом эксперименте вы произведете несколько измерений сопротивления для различных длин и диаметров провода. Используйте данный способ для измерения  $R$ :

*Примечание: в данных пошаговых инструкциях предполагается, что гальванометры и источник питания настроены, как описано выше.*

1. Установите контрольный и скользящий датчики на желаемое значение  $\ell$ .
2. На источнике питания нажмите , чтобы начать линейно изменять подаваемое напряжение. Сразу же нажмите **Start** («Пуск») в DataStudio (или нажмите  на GLX), чтобы начать сбор данных.
3. Следите за показаниями напряжения на источнике питания. Незадолго до достижения максимального значения (устанавливаемого в шаге 8) нажмите **Stop** («Стоп») в DataStudio (или нажмите  на GLX), чтобы остановить сбор данных.
4. На источнике питания нажмите и *удерживайте* , чтобы прекратить изменение подаваемого напряжения.
5. В DataStudio (или на GLX) откройте графический дисплей Graph. Для вертикальной оси выберите **Voltage** (напряжение) в мВ. Убедитесь, что это напряжение, измеряется гальванометром, подключенным к контрольному и скользящему датчикам, а не гальванометром, измеряющим ток. Для горизонтальной оси выберите **current** («ток»), рассчитанный на шаге 7.
6. Примените аппроксимацию прямой линией к данным зависимости  $U$  от  $I$ . Угловой коэффициент равен значению  $R$ , измеряемому в мОм.

Чтобы сделать ещё одно измерение  $R$  (например, для другой длины или другого провода), повторите шаги, описанные выше. При этом не нужно повторять шаг 5, так как новые данные появятся на графике, настроенном ранее.

## Порядок действий

1. Возьмите самый большой латунный провод и измерьте сопротивление для длин 24, 20, 16, 12, 8 и 4 см (см. раздел «Как измерять сопротивление» выше.)
2. Составьте график зависимости  $R$  от  $\ell$ .
3. Примените аппроксимацию прямой линией к графику.
4. Используйте угловой коэффициент линии, площадь поперечного сечения провода и формулу 2-2 для вычисления  $\rho$ .
5. Повторите шаги 1–4 для трёх других диаметров латунного провода.

## Вопросы

Как соотносятся значения  $\rho$  четырёх латунных проводов? Как соотносится среднее значение  $\rho$  к принятому значению?

## Дальнейшее исследование

Повторите процедуру для определения удельных сопротивлений проводов из меди, алюминия, никрома и нержавеющей стали.

## Эксперимент 3. Зависимость напряжения от длины

| Требуемое оборудование   | Номер компонента  |
|--|-------------------|
| Аппарат удельного электрического сопротивления и комплект проводов | EM-8812           |
| Источник питания с регулируемым током                              | SE-9720A          |
| Коммутационные шнуры (4 мм, заглушка типа «банан»)                 | SE-7123           |
| Датчик-гальванометр  | PS-2160           |
| Интерфейс PASPORT  | см. каталог PASCO |
| Мультиметр (для измерения тока)                                    | SE-9786A          |
| Микрометр (опционально)  | SE-7337           |

### Теоретическая информация

Сопротивление  $R$  провода зависит от размеров и удельного сопротивления  $\rho$  материала. Для провода с поперечным сечением  $S$  и длиной  $\ell$ :

(формула 3-1) 
$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Если ток  $I$  течёт через провод, падение напряжения (на определённом участке) определяется законом Ома:

(формула 3-2) 
$$U = IR$$

Объединение двух уравнений даёт:

(формула 3-3) 
$$U = \frac{\rho I}{S} \ell$$

Таким образом, угловой коэффициент графика зависимости  $U$  от  $\ell$  равен  $\rho I / S$ .

### Настройка





1. Измерьте\* диаметр четырёх латунных проводов и вычислите площади их поперечного сечения.
2. Установите самый малый латунный провод в аппарат (см. стр. 5, «Установка проводов»).
3. Поместите контрольный датчик на отметку «0 см», а скользящий датчик — на «24 см».
4. Подключите источник питания к разъёмам питания аппарата так, чтобы ток проходил справа налево через провод. Подключите мультиметр последовательно с источником питания для измерения тока. Установите значение регулируемого тока примерно на 1 А. Источник питания с регулируемым током обеспечивает постоянный ток.
5. Подключите гальванометр к разъёмам контрольного (-) и скользящего (+) датчиков аппарата.
6. Подключите гальванометр к интерфейсу PASPORT. Если вы используете компьютер, то запустите DataStudio.

\*При отсутствии микрометра используйте следующие значения диаметра:  
0,13 см;  
0,10 см;  
0,081 см;  
0,051 см.

7. Установите ручной режим измерения в DataStudio (или на GLX), чтобы создать график зависимости  $U$  (измеренный гальванометром) от  $\ell$  (вводится вручную). Для получения подробной информации см. «Приложение. Ручной режим измерения» далее в руководстве.

Обратите внимание, что напряжение  $U$ , измеренное гальванометром, — это напряжение между контрольным и скользящим датчиками, а не напряжение на выходе источника питания. Также длина ( $\ell$ ) — это расстояние между датчиками, а не полная длина провода.

### Порядок действий

1. Обратите внимание на значение тока. Периодически проверяйте, чтобы значение тока оставалось постоянным.
2. Нажмите **Start** («Пуск») в DataStudio (или нажмите  на GLX) для начала отслеживания данных.
3. Установите датчики в желаемом положении  $\ell$  (24 см — для первой точки).
4. Нажмите **Keep** («Сохранить») в DataStudio (или нажмите  на GLX), чтобы записать данные точки.
5. При появлении запроса, вручную введите значение  $\ell$ .
6. Повторите шаги 3–5 для длин 20, 16, 12, 8 и 4 см.
7. После завершения сбора данных нажмите «Стоп» () в DataStudio (или нажмите  на GLX).
8. Примените аппроксимацию прямой линией к графику зависимости  $U$  от  $\ell$ .
9. Используйте угловой коэффициент линии, площадь поперечного сечения провода, ток и формулу 3-3 для вычисления  $\rho$ .
10. Повторите данную процедуру для латунных проводов других диаметров. Ток не обязательно должен быть одинаковым для каждого провода. Более высокий ток (но не более 2 А) обеспечит получение более точных данных — особенно для провода самого большого диаметра.

### Вопросы

Как соотносятся значения  $\rho$  четырёх проводов? Как соотносится среднее значение  $\rho$  к принятому значению?

### Дальнейшее исследование

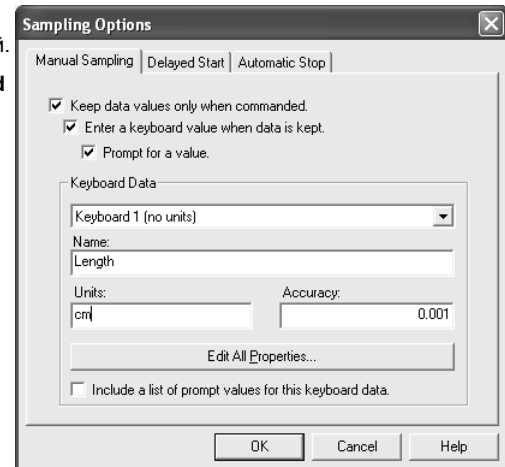
Повторите процедуру для определения удельных сопротивлений проводов из меди, алюминия, нихрома и нержавеющей стали. Не используйте ток более 1 А для провода из нержавеющей стали и ток более 0,5 А для провода из нихрома. Более высокое значение тока вызовет нагрев проводов, что изменит их удельное сопротивление.

### Приложение. Ручной режим измерения

Для данного эксперимента требуется ручной режим измерения, в котором программное обеспечение или интерфейс записывает одно значение напряжения по команде пользователя и запрашивают ввод соответствующего длины, измеренной пользователем. После подключения гальванометра к интерфейсу следуйте приведенным ниже инструкциям для того, чтобы включить ручной режим измерения в программном обеспечении DataStudio или Xplorer GLX (используется без компьютера) и настроить график зависимости напряжения от длины.

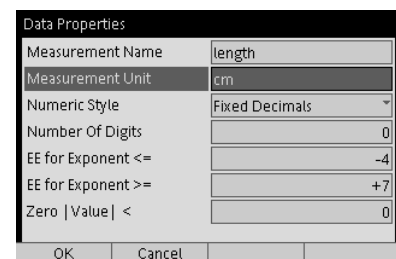
## DataStudio

1. Нажмите кнопку **Setup** («Настройка»; в верхней части экрана) для того, чтобы открыть окно Experiment Setup («Настройки эксперимента»).
2. В появившемся окне нажмите кнопку **Sampling Options** («Режимы измерения»), чтобы открыть окно режимов измерений.
3. Установите флажок на **Keep data values only when commanded** («Сохранять значения по команде»).
4. В поле **Name** («Имя») введите «Length» («Длина»).
5. В поле **Units** («Единицы измерения») введите «см» («см»).
6. Теперь окно на компьютере будет выглядеть так, как показано на рисунке справа. Если вид совпадает, то нажмите **OK**.
7. В списке Displays («Типы отображения»; в левой части экрана) сделайте двойной щелчок мышью на **Graph** («График»), чтобы открыть графический дисплей. Если будет предложено выбрать данные, выберите **Voltage (mV)** («Напряжение (мВ)»).
8. Графический дисплей обычно отображает **напряжение (мВ)** на вертикальной оси. Если будет по-другому, то нажмите на метку вертикальной оси и выберите **Voltage (mV)** («Напряжение (мВ)») в появившемся меню.
9. Нажмите на метку горизонтальной оси. Выберите Length («Длина») в появившемся меню.



## Xplorer GLX (без компьютера)

1. Нажмите , **F4** , чтобы открыть экран Sensors («Датчики»).
2. Нажмите **F1** , чтобы открыть меню Mode («Режим»). Выберите **Manual** («Ручной»). Для этого нажмите стрелку вниз для выделения режима, а затем нажмите . Появится диалоговое окно Data Properties («Свойства данных»).
3. Выделите **Measurement Name** («Измеряемая величина») и нажмите для изменения измеряемой величины. Введите «length» («длина»). Нажмите .
4. Нажмите стрелку вниз, чтобы выделить **Measurement Unit** («Единицы измерения»). Нажмите для изменения единицы измерения. Введите «см» («см»). Нажмите .
5. Теперь окно GLX должно иметь вид, как на рисунке справа. Если это так, то нажмите **OK**.
6. Нажмите + **F1** , чтобы открыть экран Graph («График»).
7. Нажмите для активации полей графика. Нажмите повторно, чтобы открыть меню данных о вертикальной оси.
8. В меню используйте стрелки, чтобы выделить **Voltage** («напряжение»). Нажмите .
9. Нажмите для повторной активации полей графика. Нажмите стрелку вниз, чтобы выделить метку данных о горизонтальной оси. Нажмите повторно, чтобы открыть меню данных о горизонтальной оси.
10. В меню используйте стрелки, чтобы выделить **length** («длина»). Нажмите .



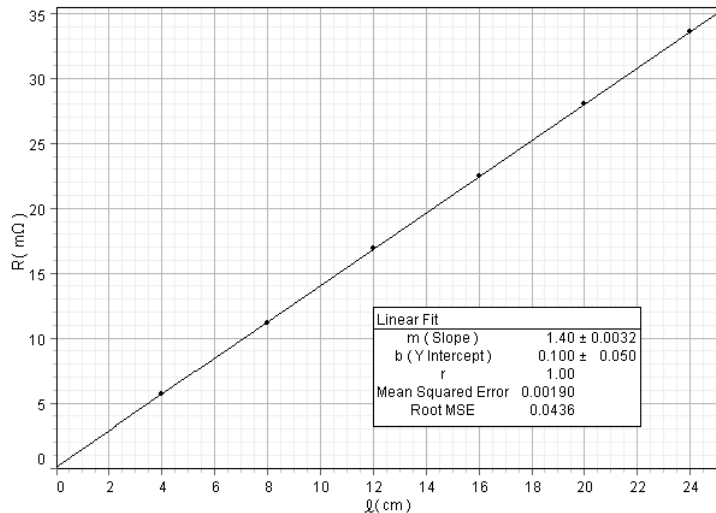
# Заметки учителя и пример данных

## Эксперимент 1. Исследование сопротивления

### Часть А

| $l$<br>(см) | $U$<br>(мВ) | $I$<br>(А) | $R$<br>(МОм) |
|-------------|-------------|------------|--------------|
| 24          | 33,3        | 0,992      | 33,6         |
| 20          | 27,7        | 0,988      | 28,0         |
| 16          | 22,3        | 0,990      | 22,5         |
| 12          | 16,7        | 0,990      | 16,9         |
| 8           | 11,1        | 0,990      | 11,2         |
| 4           | 5,5         | 0,991      | 5,7          |

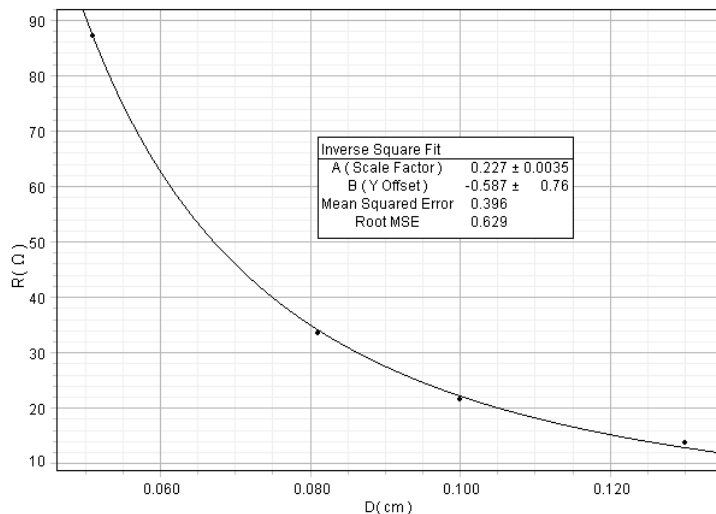
Зависимость между  $R$  и  $l$  — линейная, и линия проходит через начало координат. Это означает, что  $R$  прямо пропорционально  $l$ .



### Часть В

| $d$<br>(см) | $U$<br>(мВ) | $I$<br>(А) | $R$<br>(МОм) |
|-------------|-------------|------------|--------------|
| 0,13        | 13,7        | 0,992      | 13,8         |
| 0,10        | 21,3        | 0,990      | 21,5         |
| 0,081       | 33,3        | 0,992      | 33,6         |
| 0,051       | 86,9        | 0,998      | 87,1         |

Кривая обратных квадратов точнее. Это означает, что  $R$  прямо пропорционально  $1/d^2$  или что  $R$  прямо пропорционально  $1/S$ .



### Часть С

В приведенной ниже таблице показаны сопротивления, рассчитанные с использованием данных из части В и формулы  $\rho = \frac{RS}{l}$ .

| $d$ (см)        | $\rho$ (мкОм·см) |
|-----------------|------------------|
| 0,13            | 7,29             |
| 0,10            | 7,27             |
| 0,081           | 7,26             |
| 0,051           | 7,35             |
| <b>Среднее:</b> | <b>7,29</b>      |

Данные показывают, что удельное сопротивление всех четырёх латунных образцов примерно равно (приблизительно 7,3 мкОм·см).

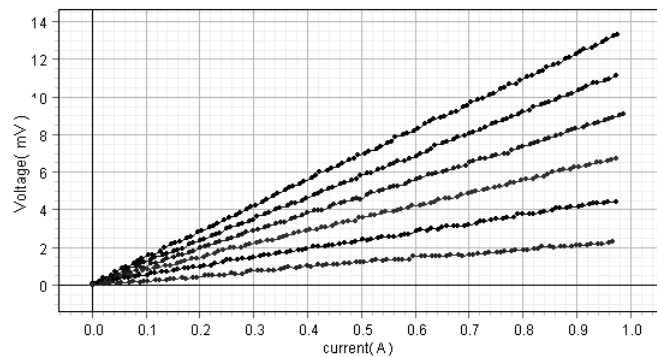
**Часть D**

В этой таблице приведены данные для проводов из других материалов с  $\ell = 24$  см.

|                          | d (см) | U (мВ) | I (А) | R (мОм) | $\rho$ (мкОм·см) |
|--------------------------|--------|--------|-------|---------|------------------|
| <b>Медь</b>              | 0,10   | 5,19   | 0,997 | 5,21    | 1,76             |
| <b>Алюминий</b>          | 0,10   | 14,5   | 0,994 | 14,6    | 4,93             |
| <b>Латунь</b>            | 0,10   | 21,3   | 0,990 | 21,5    | 7,27             |
| <b>Нихром</b>            | 0,10   | 161    | 0,504 | 319     | 108              |
| <b>Нержавеющая сталь</b> | 0,10   | 232    | 0,994 | 233     | 78,8             |

**Эксперимент 2. Зависимость сопротивления от длины**

Этот график показывает зависимость  $U$  от  $I$  для самого большого латунного провода ( $S = 0,0127 \text{ см}^2$ ) длиной  $\ell = 24, 20, 16, 12, 8$  и  $4$  см. Угловой коэффициент каждой линии равен  $R$ .



Этот график показывает зависимость  $R$  от  $\ell$  для самого большого латунного провода (где  $R$  взята из углового коэффициента в первом графике). Угловой коэффициент равен  $\rho/S$ ; таким образом,  $\rho = 7,11 \text{ мкОм·см}$ .

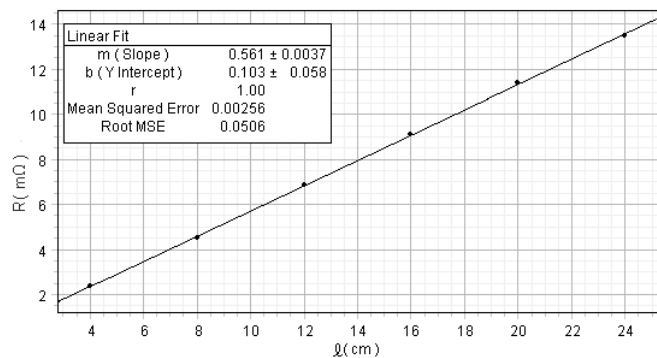


Таблица ниже показывает значение  $\rho$ , найденное данным способом для всех проводов. Для четырех латунных образцов среднее значение  $\rho$  равно  $7,21 \text{ мкОм·см}$ , а стандартное отклонение приблизительно равно  $0,1 \text{ мкОм·см}$  (1,4 %).

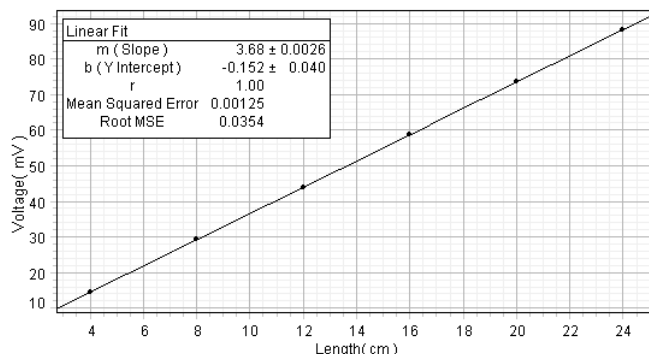
|                          | S (см <sup>2</sup> ) | угловой коэф.=<br>$\rho/S$ (мОм/см) | $\rho$ (мкОм·см) |
|--------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------|
| <b>Латунь</b>            | 0,0127               | 0,561                               | 7,11             |
|                          | 0,00811              | 0,886                               | 7,18             |
|                          | 0,00519              | 1,39                                | 7,21             |
|                          | 0,00203              | 3,62                                | 7,34             |
| <b>Медь</b>              | 0,00811              | 0,222                               | 1,80             |
| <b>Алюминий</b>          | 0,00811              | 0,595                               | 4,82             |
| <b>Нихром</b>            | 0,00811              | 13,2                                | 107              |
| <b>Нержавеющая сталь</b> | 0,00811              | 9,70                                | 78,6             |



Следующие усовершенствования настроек эксперимента используются для получения более точных данных и облегчения эксперимента:

- увеличьте частоту измерений обоих датчиков (от значения по умолчанию равному 10 Гц), чтобы уменьшить погрешность углового коэффициента графика зависимости  $U$  от  $l$ ;
- установите условие остановки в DataStudio (или на GLX), чтобы автоматически остановить сбор данных после менее 10 с (продолжительность изменения приложенного напряжения);
- установите условие остановки источника питания постоянного тока на останов после окончания одного изменения приложенного напряжения.

### Эксперимент 3. Зависимость напряжения от длины



Этот график показывает зависимость  $U$  от  $l$  для самого малого латунного провода ( $S = 0,00203 \text{ см}^2$ ) при  $I = 1,00 \text{ А}$ . Угловой коэффициент равен  $\rho/S$ ; таким образом,  $\rho = 7,46 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ . Таблица ниже показывает значение  $\rho$ , найденное данным способом для всех проводов.

|                          | $S$<br>( $\text{см}^2$ ) | $I$<br>( $\text{А}$ ) | угловой коэф.=<br>$\rho/S$ ( $\text{МОм}/\text{см}$ ) | $\rho$ ( $\text{мкОм}\cdot\text{см}$ ) |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---|--|
| <b>Латунь</b>            | 0,0127                   | 2,00                  | 1,15  | 7,28                                   |
|                          | 0,00811                  | 2,00                  | 1,80  | 7,30                                   |
|                          | 0,00519                  | 1,00                  | 1,42  | 7,37                                   |
|                          | 0,00203                  | 1,00                  | 3,68  | 7,46                                   |
| <b>Медь</b>              | 0,00811                  | 2,00                  | 0,439   | 1,78                                   |
| <b>Алюминий</b>          | 0,00811                  | 2,00                  | 1,23  | 4,99                                   |
| <b>Нихром</b>            | 0,00811                  | 0,500                 | 6,63  | 108                                    |
| <b>Нержавеющая сталь</b> | 0,00811                  | 1,00                  | 9,78  | 79,3                                   |

Для четырёх латунных образцов среднее значение  $\rho$  равно  $7,35 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ , а стандартное отклонение приблизительно равно  $0,08 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$  (1,1 %).

## Техническая поддержка

По всем вопросам, касающимся продуктов PASCO, вы можете обратиться в компанию PASCO.

Адрес: PASCO scientific  
10101 Foothills Blvd.  
Roseville, CA 95747-7100

Тел.: +1-916-786-3800 (для любой страны)  
800-772-8700 (США)

Факс: (916) 786-3292  
Веб-сайт: [www.pasco.com](http://www.pasco.com)  
E-mail: [support@pasco.com](mailto:support@pasco.com)

### Ограниченная гарантия

Описание гарантийных обязательств в отношении продукта содержится в каталоге PASCO.

### Авторское право

Руководство пользователя для аппарата удельного электрического сопротивления PASCO scientific 012-09573A защищено авторскими правами. Все права защищены. Некоммерческим образовательным учреждениям разрешается воспроизводить любую часть данного руководства для использования только в лабораториях и учебных классах, но не для продажи. Воспроизведение любой части руководства при любых других обстоятельствах без предварительного разрешения компании PASCO scientific запрещается.

### Товарные знаки

PASCO, PASCO scientific, DataStudio, PASPORT, Xplorer и Xplorer GLX являются товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками PASCO scientific в США и/или других странах. Все другие торговые названия, продукты и названия услуг являются или могут являться товарными знаками или знаками обслуживания и используются для указания конкретных продуктов или услуг соответствующих владельцев. Для получения подробной информации посетите веб-сайт [www.pasco.com/legal](http://www.pasco.com/legal).