

В задаче требуется оценка погрешностей!

Внимание! Будьте аккуратны с выданной вам полоской фольги. Вы имеете право заменить ее один раз. Поврежденная полоска при этом будет изыматься!

Теоретическая справка

Сопротивление проводника можно описать формулой:

$$R = A \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где A – удельное сопротивление материала, из которого изготовлен проводник, l – длина проводника, а S – площадь его поперечного сечения.

Задание

1. Измерьте с максимально возможной точностью толщину кусочка фольги. Плотность сплава, из которого она изготовлена, примите равной $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$.
2. Определите удельное сопротивление материала фольги.

Оборудование. Прямоугольный кусочек фольги, батарейный отсек, батарейка АА, соединительные провода (3 шт.), два мультиметра, линейка 50 см, штатив, весы.

Решение

Определить толщину фольги прямым измерением линейкой не представляется возможным. Поэтому для начала определим площадь поперечного сечения. Площадь поперечного сечения фольги также не может быть определена лишь геометрическими измерениями. Для ее определения измерим массу кусочка фольги и разделим ее на плотность фольги и длину кусочка. Масса измеряется на весах с крайне низкой точностью. С помощью линейки, штатива и батарейки соберем рычаг (рис. 1). Обнулим показания весов и положим на край рычага кусочек фольги. Тогда значение силы P , действующей перпендикулярно площадке весов, в соответствии с уравнением моментов, будет связаны с массой фольги m как:

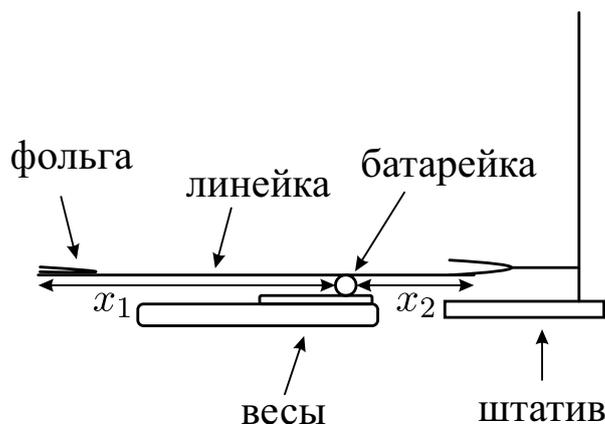


Рис. 1. Установка по измерению массы.

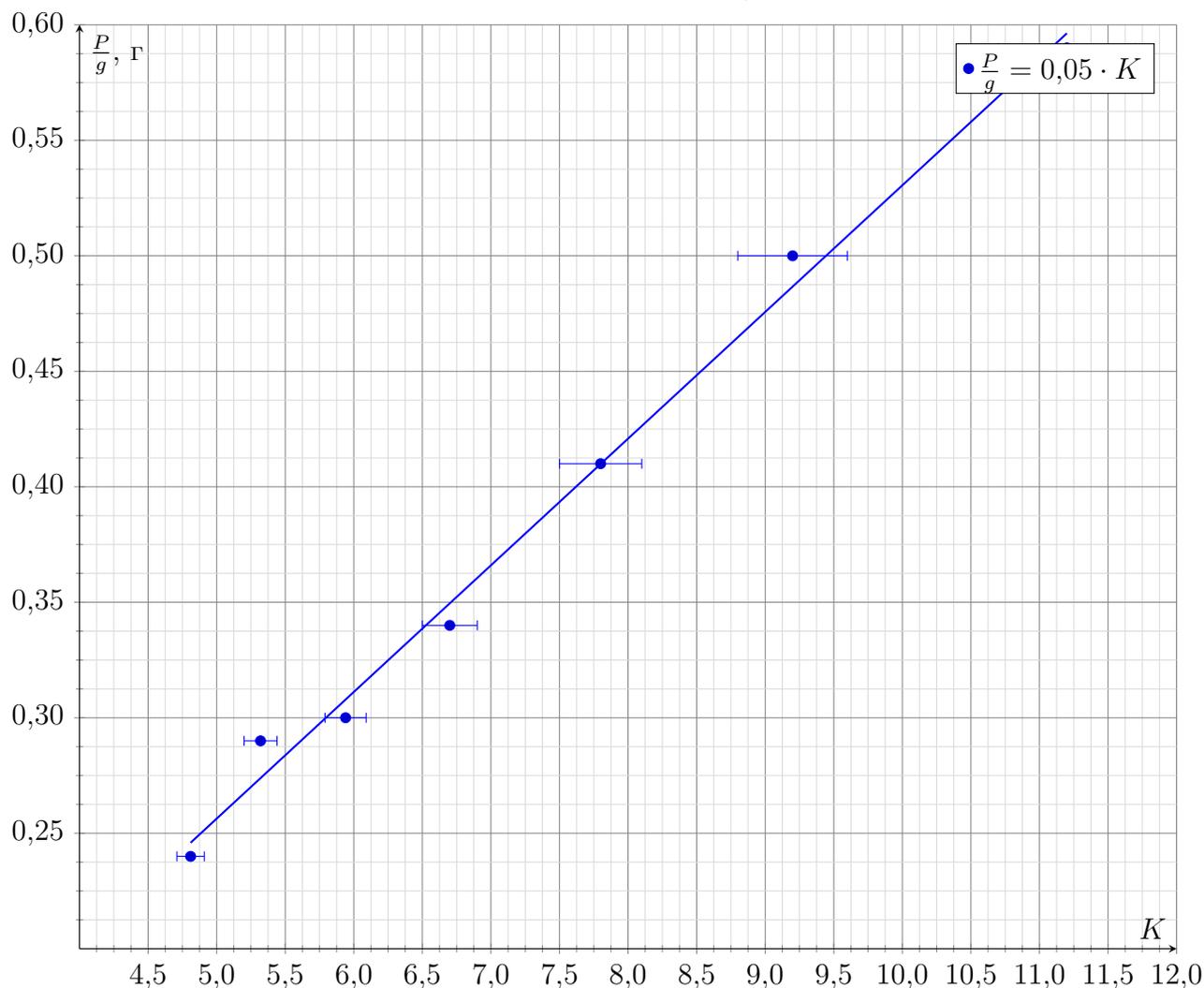
$$P = mg \frac{x_1 + x_2}{x_2}, \quad (2)$$

где x_1 — расстояние между батарейкой и фольгой, x_2 — расстояние между точкой опоры рычага на лапке штатива и батарейкой. Таким образом, величину $K = \frac{x_1 + x_2}{x_2}$ можно назвать коэффициентом усиления рычага. Для достоверного измерения массы коэффициент усиления необходимо выбрать достаточно большим, с но хорошо измеряемым. Так, значение коэффициента усиления 5–10 является наиболее оптимальным. Например, при выборе $x_1 = 420$ мм, $x_2 = 85$ мм получаем показания весов $\frac{P}{g} = 0,31$ г. Тогда масса фольги составит:

$$m = \frac{P}{g} \frac{x_2}{x_1 + x_2} = 0,052 \text{ г}. \quad (3)$$

Для того, чтобы получить точное значение массы фольги, снимем зависимость $\frac{P}{g}$ от K :

N	x_1 , мм	x_2 , мм	P/g , г	K	m , г	ε_K , %	Δ_K
1	400	105	0,24	4,81	0,050	2	0,10
2	410	95	0,29	5,32	0,055	2	0,12
3	420	85	0,30	5,94	0,050	3	0,15
4	430	75	0,34	6,70	0,050	3	0,20
5	440	65	0,41	7,80	0,053	3	0,30
6	450	55	0,50	9,20	0,054	4	0,40
7	460	45	0,59	11,20	0,053	5	0,50

График зависимости $\frac{P}{g}(K)$ 

Полученные экспериментальные точки можно описать линейной зависимостью с хорошей точностью. Итоговое значение массы составляет $m = 0,055 \pm 0,002$ г.

Длина кусочка фольги $L = 120 \pm 1$ мм может быть напрямую измерена линейкой с достаточной точностью. Тогда площадь поперечного сечения фольги составит:

$$S = \frac{m}{L\rho} = 0,169 \pm 0,007 \text{ мм}^2. \quad (4)$$

Измерим среднее значение ширины фольги по всей ее длине $b = (20 \pm 1)$ мм. Тогда толщина фольги составит:

$$h = \frac{S}{b} = 8,5 \pm 0,8 \text{ мкм} \quad (5)$$

Сопротивление участка фольги мало и не может быть определено прямым измерением с помощью омметра. Для измерения сопротивления участка фольги воспользуемся четырехточечным методом измерения. Суть этого метода заключается в том, что ток и на-

пряжение на определенном участке цепи измеряются отдельными приборами (см рис. 2). Так, если измеряемое сопротивление много меньше сопротивления вольтметра, то можно считать, что ток, текущий через амперметр, равен току, текущему через изучаемый элемент.

Вольтметр в таком способе измерения подключается непосредственно к измеряемому элементу. Стоит отметить, что сопротивление участка фольги настолько мало, что с ним сравнимо сопротивление контактного перехода между соединительным проводом и фольгой. Сопротивление самих проводов и внутреннее сопротивление батарейки много больше, чем

сопротивление

фольги.

Поэтому щупы вольтметра необходимо прикладывать непосредственно к концам участка фольги, сопротивление которого будет измеряться. Также стоит отметить, что распределение электрического поля неоднородно по ширине фольги в непосредственной близости от ее контактов, поэтому измерения необходимо проводить в области несколько удаленной от контактов.

Проведем серию измерений, сопротивление для каждого расстояния между щупами x будем рассчитывать как отношения показаний вольтметра U к показаниям амперметра I .

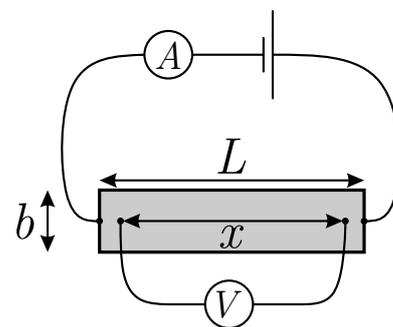
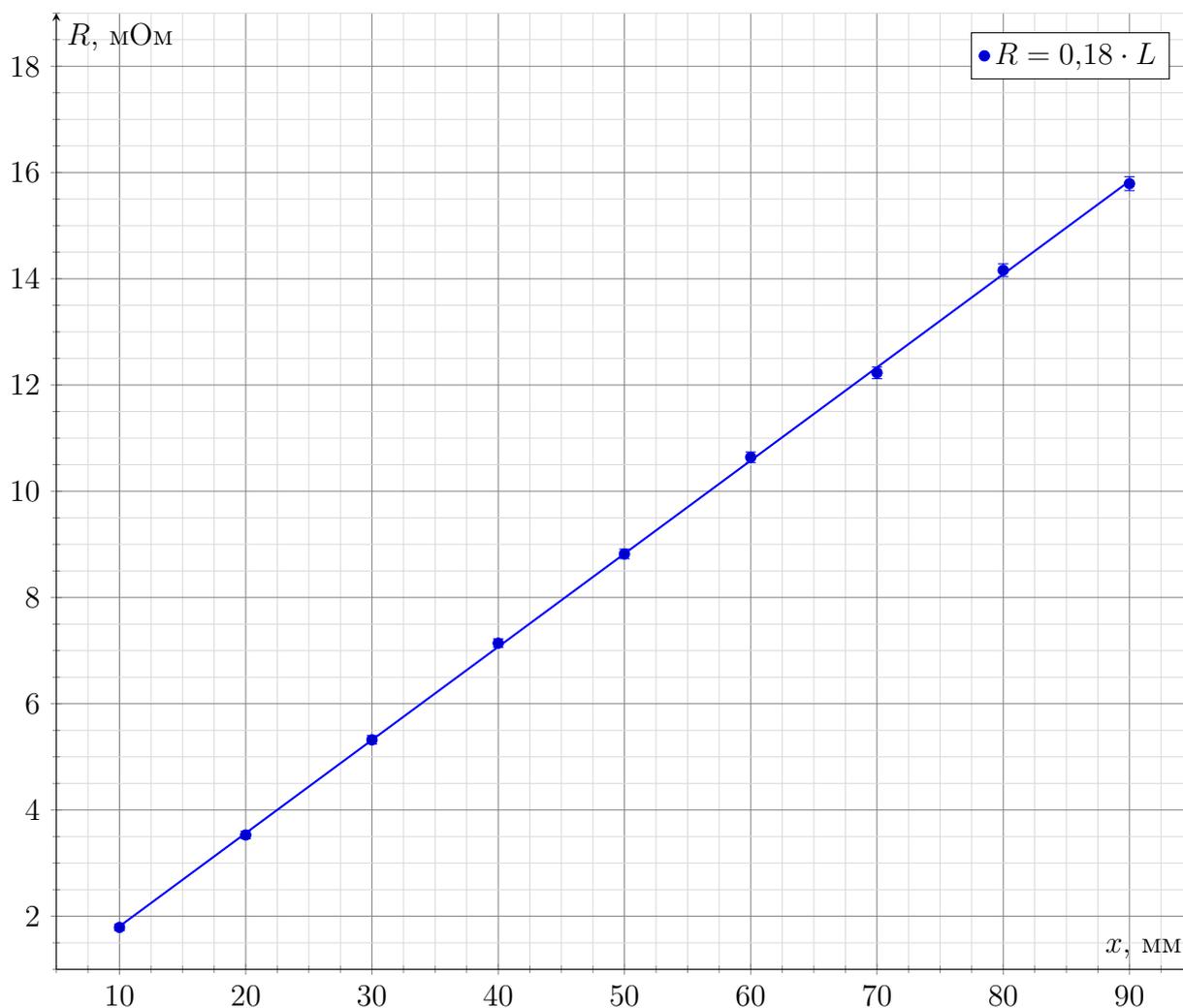


Рис. 2. Установка по измерению сопротивления.

$$R = \frac{U}{I}. \quad (6)$$

Построим график зависимости $R(x)$.

N	x , мм	U , мВ	I , А	R , мОм	ε_R	Δ_R , мОм
1	10	3,6	2,01	1,79	3	0,06
2	20	7,2	2,04	3,53	2	0,07
3	30	10,8	2,03	5,32	1	0,08
4	40	14,5	2,03	7,14	1	0,08
5	50	17,9	2,03	8,82	1	0,09
6	60	21,5	2,02	10,64	1	0,10
7	70	24,7	2,02	12,23	1	0,11
8	80	28,6	2,02	14,16	1	0,12
9	90	31,9	2,02	15,79	1	0,13

График зависимости $R(L)$ 

Видно, что зависимость хорошо описывается прямой пропорциональностью. Угловым коэффициентом зависимости имеет физический смысл сопротивление единицы длины участка фольги и равен

$$r = 0,175 \pm 0,002 \frac{\Omega}{\text{м}}.$$

В соответствии с формулой (1) получаем связь между r и удельным сопротивлением материала фольги:

$$r = \frac{A}{S}. \quad (7)$$

Тогда окончательно для удельного сопротивления получаем:

$$A = rS = (3,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}. \quad (8)$$

Табличное значение сопротивления составляет $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$.