

Крона

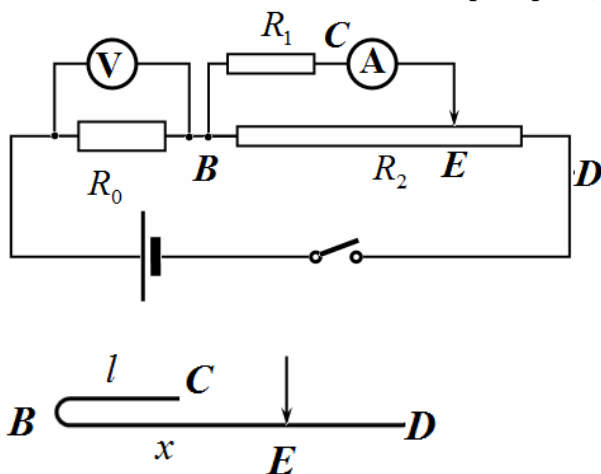
Условие

Задание 2. Деление токов и деление напряжений.

Приборы и оборудование: Источник тока (батарея «Крона»), кусок проволоки длиной 110 см, мультиметр, амперметр стрелочный, вольтметр стрелочный, постоянный резистор, ключ, соединительные провода, линейка.

Часть 1. Делитель тока. В данной части Вам необходимо исследовать соотношения между силами токов в цепи.

Соберите цепь, показанную на рисунке. Резистор R_0 - резистор с постоянным сопротивлением. В качестве вольтметра используйте мультиметр в режиме измерения напряжения, в качестве амперметра используйте стрелочный амперметр. Обязательно используйте электрический ключ. Замыкайте ключ только при проведении измерений, чтобы не разрядить батарею.



В качестве резисторов R_1 и R_2 используйте длинный кусок проволоки. Согните проволоку в точке B , так чтобы длина участка BC была равна $l \approx 10$ см (этот участок играет роль резистора R_1), а длина участка BD равна $L \approx 100$ см (этот участок играет роль резистора R_2). Длинный участок проволоки BD закрепите на столе. Амперметр подключайте к точке E . Длину участка BE обозначим x . Положение этой точки Вам необходимо изменять в ходе измерений. Сопротивление 1 см проволоки обозначим r .

Также используйте следующие обозначения: I_0 - сила тока через резистор R_0 ; I_1 - сила тока через резистор R_1 ; U_0 - напряжение на резисторе R_0 .

В данной части Вам необходимо измерять значения напряжения U_0 и силы токов I_1 при различных значениях расстояния x . В ходе измерений в этой части задания значение напряжения источника может изменяться, поэтому использовать его в расчетах не рекомендуется.

Задания. 1.1 Запишите формулу для расчета силы тока I_0 , по результатам измерений. 1.2 Получите формулу для расчета силы тока I_1 , выразите ее через силу тока I_0 , длины участков проволоки l и x .

1.3 Измерьте с помощью мультиметра сопротивление постоянного резистора R_0 , укажите погрешность измерения. 1.4 Измерьте длины участков проволоки BC и BD , приведите значения погрешностей измерения.

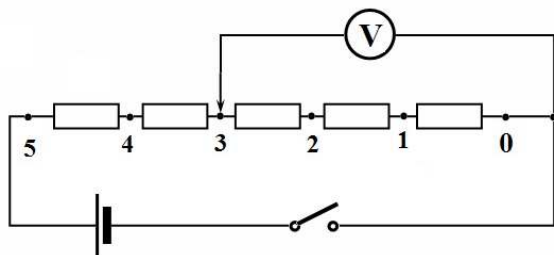
1.5 Измерьте зависимости напряжения U_0 и силы тока I_1 от длины участка BE - x . 1.6 Постройте график зависимости отношения сил токов $\frac{I_1}{I_0}$ от параметра x . 1.7 Выберите такие новые переменные $Y \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$ и $X(x)$, чтобы зависимость между ними была линейной

$$Y = aX + b. \quad (1)$$

Постройте график этой линеаризованной зависимости. 1.8 Используя экспериментальные данные, рассчитайте значения параметров a, b этой зависимости, оцените их погрешности. 1.9 Используя теоретическую формулу, полученную в п. 1.2, рассчитайте теоретические значения параметров a, b . 1.10 Сравните теоретические и экспериментальные значения коэффициентов a, b . Объясните возможные причины их расхождений.

Часть 2. Делитель напряжения.

В этой части Вам необходимо исследовать распределение напряжений в цепи электрического тока. В этой части напряжение источника U_S можно считать постоянным, так как силы токов в цепи малы. Используйте цепочку, состоящую из 5 одинаковых постоянных резисторов, включенную в цепь, как показано на рисунке.



Оценка погрешностей в данной части не требуется.

2.1 Измерьте зависимость напряжения от числа подключенных резисторов $U(n)$, используя а) мультиметр; б) стрелочный вольтметр. Постройте графики полученных зависимостей. 2.2 Дайте теоретическое объяснение зависимости (т.е. получите формулу, описывающую данную зависимость, сравните ее с результатами измерений), измеренной с помощью цифрового мультиметра. 2.3 Укажите, какова основная причина отличия результатов измерений, полученных с помощью мультиметра и стрелочного вольтметра. 2.4 Предложите теоретическую модель, объясняющую результаты, полученные с помощью стрелочного вольтметра. Сравните теоретические результаты, полученные в рамках вашей модели, с результатами измерений.



Республиканская физическая олимпиада 2023 года
(Заключительный этап)

Экспериментальный тур

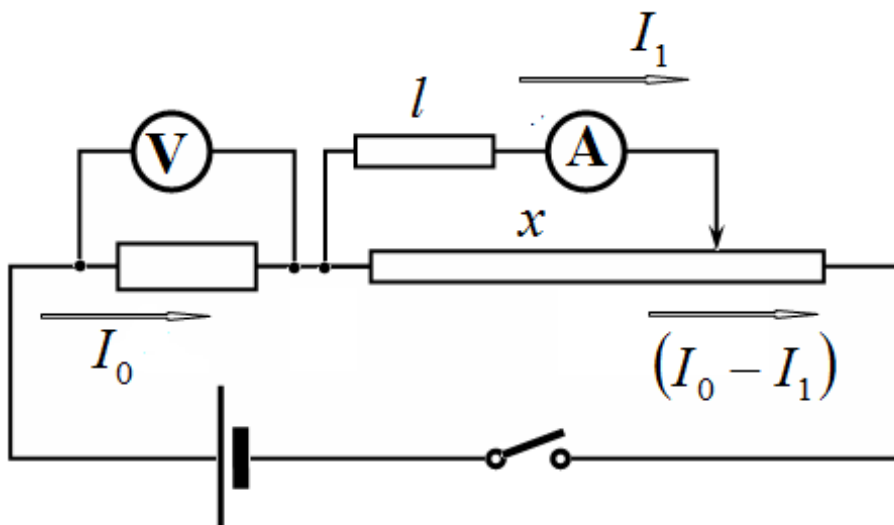
Решение

Задание 2. Деление токов и деление напряжений. Решение.

Часть 1. Делитель тока.

1.1 По закону Ома

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0}. \quad (1)$$



1.2 Из законов параллельного и последовательного соединения проводников можно записать

$$I_1 l = (I_0 - I_1) x. \quad (2)$$

Из этого выражения следует, что

$$I_1 = I_0 \frac{x}{l + x}. \quad (3)$$

1.3 Сопротивление постоянного резистора равно

$$R_0 = (9,30 \pm 0,05) \text{ Ом} \quad (4)$$

1.4 Длина участка проволоки равна

$$l = (10,0 \pm 0,5) \text{ см.} \quad (5)$$

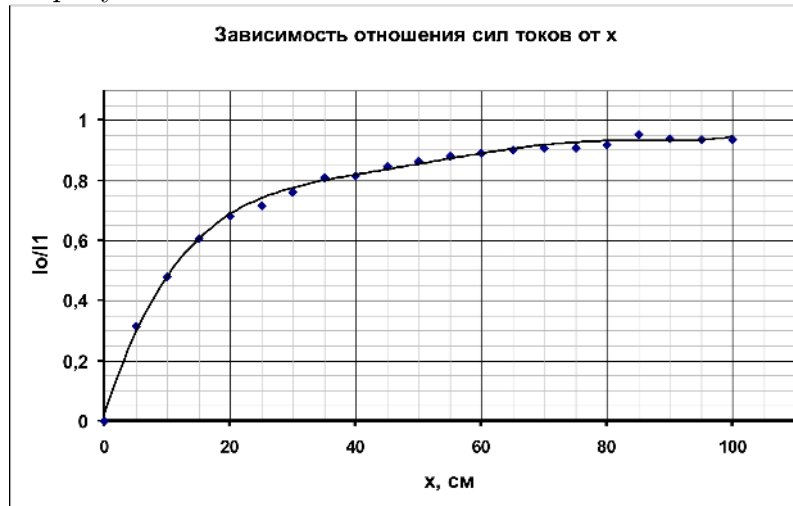
1.5 Результаты измерений зависимости напряжения U_0 и силы тока I_1 от длины участка BE - x приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

X, см	**U ₀ , мВ**	**I ₁ , мА**	**I ₀ , мА**	**l/x**	**I ₀ /I ₁ **
0	2900	0	312		
5	2940	100	316	2,000	3,161
10	3010	155	324	1,000	2,088
15	3100	202	333	0,667	1,650
20	3200	235	344	0,500	1,464
25	3310	255	356	0,400	1,396
30	3420	280	368	0,333	1,313
35	3560	310	383	0,286	1,235
40	3710	325	399	0,250	1,227
45	3840	350	413	0,222	1,180
50	4040	375	434	0,200	1,158
55	4230	400	455	0,182	1,137
60	4440	425	477	0,167	1,123
65	4650	450	500	0,154	1,111
70	4910	480	528	0,143	1,100
75	5180	505	557	0,133	1,103
80	5520	545	594	0,125	1,089
85	5930	608	638	0,118	1,049
90	6330	640	681	0,111	1,064
95	6800	685	731	0,105	1,067
100	7200	725	774	0,100	1,068

Экспериментальный тур. 4

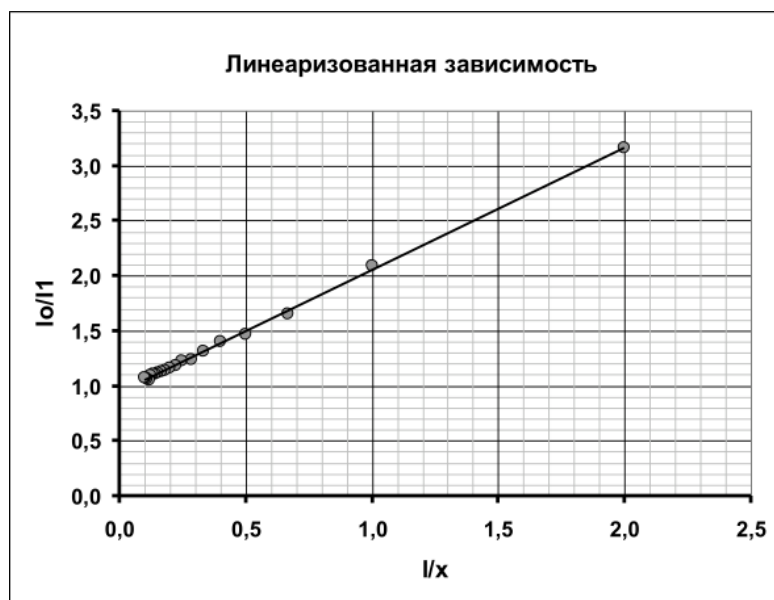
1.6 График зависимости отношения сил токов I_1/I_0 от длины участка проволоки x показан на рисунке.



1.7 Теоретическая зависимость, описывающая эту кривую, определяется формулой (3), которая допускает простую линеаризацию

$$\frac{I_0}{I_1} = 1 + \frac{l}{x}. \quad (6)$$

Расчеты введенных переменных $Y = \frac{I_0}{I_1}$ и $X = \frac{l}{x}$ приведены в Таблице 1. График этой линеаризованной зависимости показан на рисунке.



1.8 Коэффициенты линеаризованной зависимости, рассчитанные по МНК, равны

$$\begin{aligned} a &= 1,11 \pm 0,02 \\ b &= 0,94 \pm 0,01 \end{aligned} \quad (7)$$

1.9 Из формулы (6) следует, что теоретические значения этих коэффициентов равны $a = b = 1$.

1.10 Полученные экспериментальные значения достаточно близки к теоретическим. Основной причиной полученных различий являются: - погрешности измерений (прежде всего силы тока); - систематические погрешности, связанные с неучтенными сопротивлениями проводов и контактов.

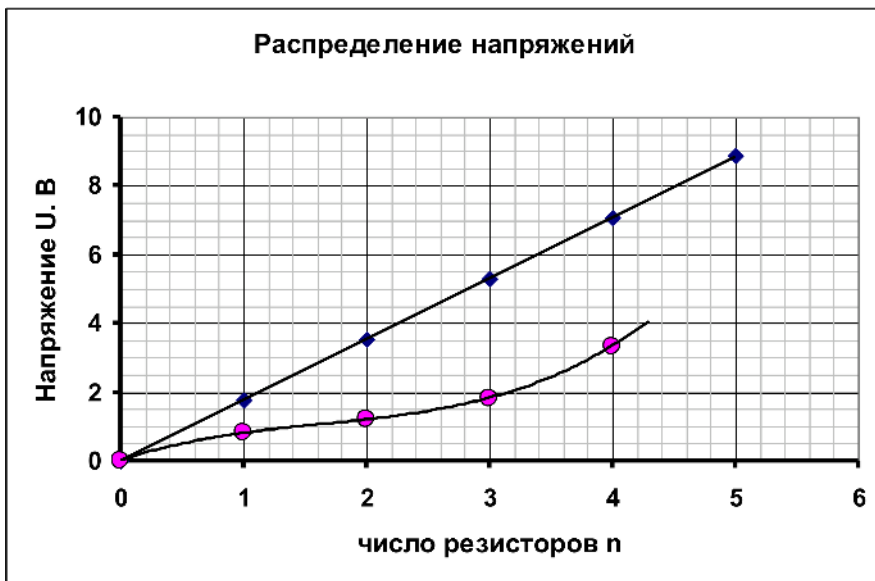
Экспериментальный тур. 5

Часть 2. Делитель напряжения.

2.1 Результаты требуемых измерений приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

n	Мультиметр U_n , В	Вольтметр U_n , В	Линеаризация $X = 5 - n$	Линеаризация $Y = \frac{U}{U_n} - \frac{5}{n}$
0	0	0	5	
1	1,76	0,80	4	6,25
2	3,53	1,21	3	4,94
3	5,30	1,82	2	3,28
4	7,08	3,34	1	1,44
5	8,86		0	0



Графики полученных зависимостей показаны на рисунке.

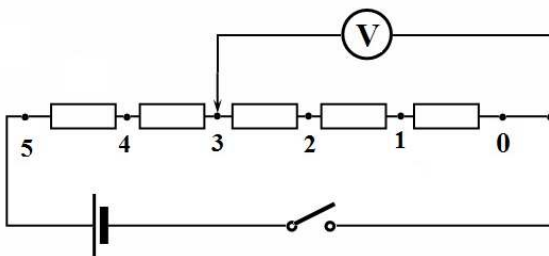
2.2 Собственное сопротивление мультиметра значительно превышает сопротивления резисторов, поэтому его можно считать бесконечно большим. В этом случае напряжение источника поровну «делится» между резисторами, поэтому теоретическая формула для напряжения, измеренного мультиметром, имеет примитивный вид

$$U_n = \frac{n}{5} U_S. \quad (8)$$

Измеренное значение напряжения источника $U_S = 8,9$ В, поэтому коэффициент наклона линейной зависимости должен быть равен $\frac{\Delta U}{\Delta n} = 1,78$, что хорошо совпадает с экспериментальным значением.

2.3 Основной причиной различия результатов измерений, проведенных разными приборами, является конечное сопротивление вольтметра R_V , считать которое бесконечно большим в данном случае нельзя.

Экспериментальный тур. 6



2.4 Рассчитаем значение напряжения на вольтметре, если его сопротивление равно R_V . Будем считать, что напряжение источника остается постоянным. В этом случае измеряемое напряжение описывается функцией

$$U_n = U_S \frac{R_x}{(5-n)R + R_x}, \quad (9)$$

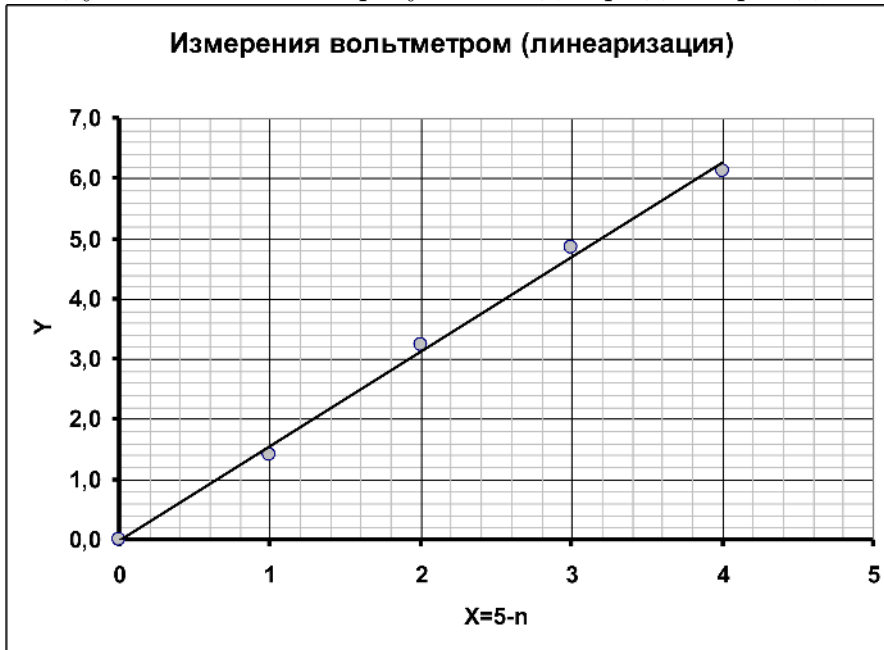
где n - число резисторов, на которых измеряется напряжение, R - сопротивление одного резистора;

$$R_x = \frac{n R R_V}{n R + R_V}. \quad (10)$$

сопротивление параллельно соединенных вольтметра и n резисторов. Преобразуем формулу (9), чтобы привести ее к линейной зависимости:

$$\frac{U_S}{U_n} = 1 + (5 - n) \frac{R}{R_x} = 1 + (5 - n) \frac{R}{nRR_V} (nR + R_V) = \frac{5}{n} + (5 - n) \frac{R}{R_V}. \quad (11)$$

Интересно отметить, что при $R_V \gg R$ формула (11) переходит в формулу (8). Из соотношения (11) следует, что величина $Y = \frac{U_S}{U_n} - \frac{5}{n}$ пропорциональна величине $X = 5 - n$. В последних столбцах Таблицы 2 приведены рассчитанные значения этих величин. График зависимости между ними показан на рисунке и подтверждает проведенные теоретические построения.



Экспериментальный тур. 7