



Всероссийская олимпиада по физике
имени Дж. К. Максвелла

Заключительный этап
Экспериментальный тур

Комплект задач подготовлен Центральной предметно-методической комиссией по физике Всероссийской олимпиады школьников

Авторы задач

7 класс

1. Слободянин В., Кармазин С.
2. Заяц А.

8 класс

1. Джан М., Замятнин М.
2. Вергунов А., Логинов Д.

Общая редакция — Слободянин В., Киреев А., Заяц А.,
Клепиков М., Инишева О.

Иллюстрации — Клепиков М.

Вёрстка — Клепиков М., Поздняк Я., Васенин Е.

7 класс

Задача 7.1 «Тёмное трение»

Оборудование: алюминиевый жёлоб с пятью метками, расстояния между которыми равны 20 см; чёрный ящик; секундомер; скотч (или стикер, или маркер); лист миллиметровой бумаги формата A4 для построения графика.

В вашем распоряжении имеется алюминиевый жёлоб, на котором через равные промежутки длиной $S = 20$ см нанесены метки. Жёлоб прикреплён к поверхности стола. Установите его перпендикулярно краю стола и каким-либо способом (например, стикером, скотчем, маркером) отметьте место касания жёлобом пола. В дальнейшем постарайтесь не сдвигать нижнюю часть жёлоба.



Задание

1. Поместите чёрный ящик внутрь жёлоба на расстоянии примерно 6-8 см выше первой метки. Отпустите его и измерьте время τ_1 , за которое ящик проходит расстояние $x = S$ между первой и второй метками. Повторите это измерение не менее 20 раз. Во избежание повреждения поверхностей каждый раз вынимайте чёрный ящик из жёлоба после его остановки в нижнем положении. (Не передвигайте чёрный ящик в исходное состояние внутри жёлоба с помощью карандаша, пальца и т.д. так как вы можете изменить коэффициент трения).
2. Проведите аналогичные серии измерений времени τ_2 , τ_3 и τ_4 прохождения ящиком расстояний $x = 2S$, $3S$ и $4S$ соответственно (не менее 20 измерений в каждой серии).

3. Постройте график зависимости времени τ от расстояния x , пройденного ящиком. На график, по возможности, нанесите все экспериментальные точки.
4. Определите, с какими скоростями чёрный ящик может скользить по желобу.

Задача 7.2 «Гайки»

Оборудование: гайки; большой шприц 20 мл без поршня; малый шприц 10 мл; канюля (так называется деталь, надетая на конец шприца, чтобы из него не вытекала вода); бутылка с отрезанным горлышком, наполненная водой; стакан с водой; салфетки; миллиметровая бумага для построения графиков.



Задание

1. В корпус большого шприца насыпьте некоторое количество N гаек. Доливая в него воду малым шприцем, добейтесь того, чтобы большой шприц плавал погружённым до отметки «20 мл».
2. Повторите это несколько раз для различного количества гаек и снимите зависимость полного объёма V_0 содержимого большого шприца от объёма V_B добавленной в него воды.
3. Постройте график зависимости $V_0(V_B)$.
4. С помощью графика и других результатов проведённого вами исследования определите плотность ρ_T вещества, из которого сделаны гайки, а также массу одной гайки m_T .

8 класс

Задача 8.1 «Из пустого в порожнее»

Оборудование: шприц №1 (закреплён резинками к направляющей); шприц №2; гибкая пластиковая трубка, соединяющая шприцы; направляющая с мерной лентой, закреплённая в штативе; секундомер; стакан с водой; резинка; миллиметровая бумага для построения графиков.



Цилиндры шприцев, соединённые трубкой длины L и внутренним радиусом $R = 1,64$ мм, являются сообщающимися сосудами, поэтому уровень воды в равновесном состоянии в них должен совпадать.

Если быстро вывести систему из равновесия путём опускания одного из шприцев на высоту H (расстояние между дном шприца №1 и дном шприца №2), то процесс перетекания воды из верхнего шприца в нижний можно охарактеризовать временем τ , за которое объём воды в верхнем шприце уменьшится с 40 мл до 20 мл. Это время τ зависит от H и связано с вязкостью воды η и другими параметрами установки следующим выражением:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\rho g \pi R^4}{4C\eta LS} \left(1 + \frac{H}{h_0} \right),$$

где $\rho = 1,0$ г/см³ — плотность воды, $g = 9,8$ Н/кг — ускорение свободного падения, S — площадь внутреннего сечения шприцев, C — безразмерная константа, $\eta = 1,0$ мПа·с — вязкость воды при комнатной температуре, h_0 — высота столба воды внутри шприца №1 в начальный момент, когда внутри него 40 мл воды.

Задание

1. Зафиксируйте с помощью резинки шприц №2, чтобы его дно находилось на уровне метки 40 мл закреплённого шприца №1.
2. Налейте воды в шприц №1 до метки 40 мл. Проследите, чтобы в трубке, соединяющей шприцы, не было пузырей воздуха.
3. Быстро опустите шприц №2 и измерьте время τ , за которое он наполнится до уровня 20 мл.
4. Исследуйте зависимость $\tau(H)$ для 7 различных значений H в диапазоне от 20 до 80 см. Для каждого H проведите не менее 5 измерений τ .
5. Постройте график зависимости $\frac{1}{\tau}$ от H .
6. Определите величину C . Оценка погрешности не требуется.

Задача 8.2 «Нихром»

Оборудование: установка; мультиметр; миллиметровая бумага (для построения графиков).

С одной стороны внутри предложенной установки находятся соединённые последовательно ключ, источник постоянного напряжения U и нихромовый провод длины L (рис. 1).

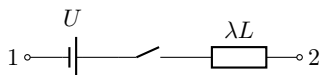


Рис. 1

С другой стороны внутри этой установки расположены последовательно соединённые ключ, резистор с сопротивлением R и еще один нихромовый провод длины L (рис. 2).

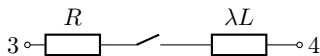


Рис. 2

Клеммы 1-3 и 2-4 соединены между собой двумя расположенными снаружи нихромовыми проводами (см. фото). Сопротивление единицы длины нихромовой проволоки везде одинаково и равно λ .

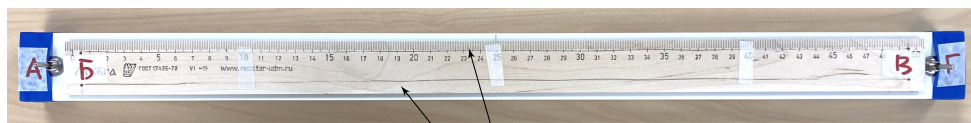
Задание

1. В каком положении (А или Б; В или Г) ключи замкнуты?
2. С какой стороны установки (АБ или ВГ) находится источник?
3. Определите напряжение U источника.
4. Найдите линейное сопротивление λ нихромового провода.
5. Вычислите сопротивление амперметра в режиме «20 мА», длину L спрятанных проводов, сопротивление резистора R .

Примечание 1. Не забудьте записать номер установки.

Примечание 2. Тщательно планируйте измерения амперметром, чтобы не вывести его из строя большими токами. Перед началом работы ассистенты проверят работоспособность амперметра в режиме «200 мА». В случае перегорания прибора его замена не производится!

Примечание 3. Установку не вскрывать! Провода не рвать!



нихромовые провода

7 класс. Возможные решения

Задача 7.1 «Тёмное трение»

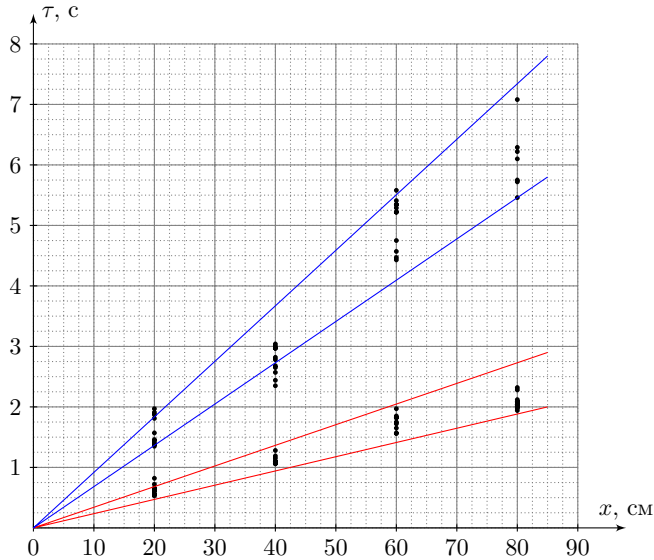
Следует заметить, что измеренные промежутки времени могут несколько отличаться при использовании различных желобов и чёрных ящиков. Внутри каждой серии разброс результатов также весьма существенный. Ниже приведена таблица результатов авторских измерений.

№	$S = 0,2$ м	$S = 0,4$ м	$S = 0,6$ м	$S = 0,8$ м
	τ_1 , с	τ_2 , с	τ_3 , с	τ_4 , с
1	0,82	2,57	1,57	5,75
2	1,44	2,82	5,22	1,98
3	0,65	1,10	5,35	5,72
4	0,72	2,35	5,34	6,29
5	1,35	1,06	1,85	6,10
6	1,40	1,19	4,75	2,04
7	1,57	2,44	1,65	2,12
8	1,91	2,97	1,75	1,94
9	0,62	1,15	1,72	2,28
10	0,66	1,10	1,56	2,03
11	0,58	2,78	1,82	2,00
12	1,46	3,04	4,43	5,46
13	1,97	2,65	5,58	7,08
14	1,87	2,68	5,29	6,22
15	0,55	1,07	4,47	2,00
16	0,62	3,00	1,82	2,09
17	1,81	2,97	5,41	2,04
18	0,53	1,28	4,57	2,32
19	0,65	1,06	1,97	2,08
20	1,38	1,09	5,22	2,01

График, на который нанесены все экспериментальные точки, представлен ниже. Видно, что соскальзывание чёрного ящика возможно со скоростями, которые лежат в двух диапазонах:

- диапазон бóльших скоростей (красные прямые)
примерно $0,30 \text{ м/с} < v_1 < 0,42 \text{ м/с}$
- диапазон меньших скоростей (синие прямые)
примерно $0,11 \text{ м/с} < v_2 < 0,14 \text{ м/с}$

Попадание скорости в тот или другой диапазон зависит от ориентации черного ящика в вертикальной плоскости.



Задача 7.2 «Гайки»

Пусть суммарная масса шприца и канюли равно m_0 , масса гайки — m_Γ . Тогда первое условие равновесия для шприца, воды внутри него и гаек:

$$F_A = m_0 g + m_\Gamma N g + \rho_B g V_B,$$

где F_A — сила Архимеда, действующая на всю систему. Эта сила является константой, так как объём погружённой части остаётся постоянным в течение эксперимента.

$$m_\Gamma N + \rho_B V_B = \frac{F_A}{g} - m_0 = C, \quad (1)$$

где массу гаек $m_\Gamma N$ можно найти, зная их плотность ρ_Γ и объём $V_0 - V_B$. Тогда

$$\rho_\Gamma (V_0 - V_B) + \rho_B V_B = C.$$

Преобразуем это выражение и получим следующую связь между V_0 и V_B :

$$V_0 - V_B \frac{\rho_\Gamma - \rho_B}{\rho_\Gamma} = \frac{C}{\rho_\Gamma}$$

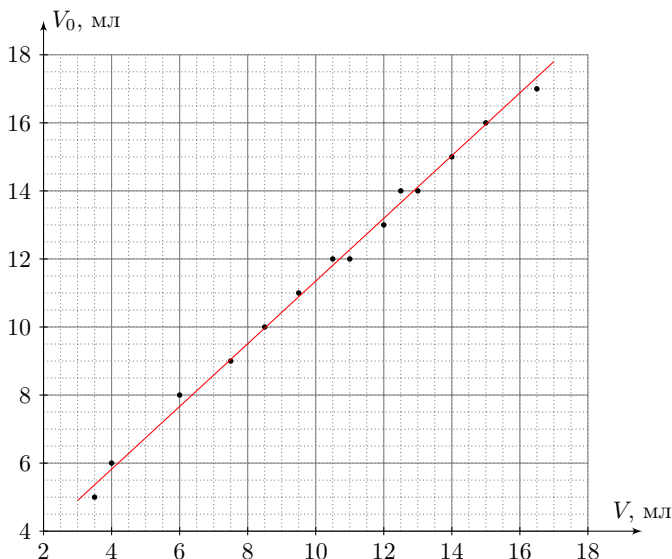
Тогда, согласно теории, зависимость $V_0(V_B)$ — прямая с коэффициентом наклона $k_1 = 1 - \rho_B/\rho_\Gamma$. А плотность гайки ρ_Γ вычисляется по формуле:

$$\rho_\Gamma = \frac{\rho_B}{1 - k_1}.$$

Теперь проведём измерения. Сначала поместим N гаек в шприц, далее нальём воду вторым шприцем до установления равновесия. При наливании будем фиксировать объём налитой жидкости V_B . После того, как шприц погрузился до отметки 20 мл определим суммарный объём воды и гаек внутри него V_0 .

N	V_0 , мл	V_B , мл	N	V_0 , мл	V_B , мл
5	17	16,5	26	12	10,5
8	16	15,0	29	11	9,5
11	15	14,5	32	10	8,5
14	14	13,0	35	9	7,5
17	14	12,5	38	8	6
20	13	12,0	41	6	4
23	12	11,0	44	5	3,5

По полученным данным построим график $V_0(V_B)$. Коэффициент наклона $k_1 = 0,88$, значит $\rho_B/\rho_\Gamma = 0,12$, т.е. $\rho_\Gamma = 8,3$ г/см³.

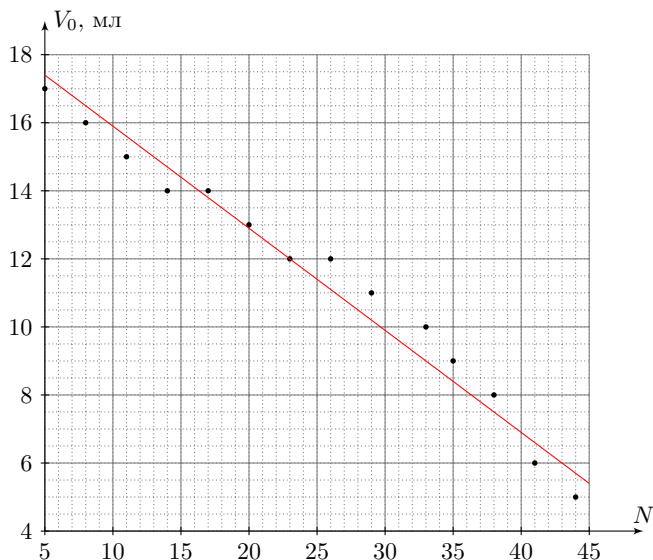


Обратим внимание на то, что значение величины ρ_Γ очень чувствительно к значению коэффициента наклона k_1 , так как $k_1 \approx 1$. Относительную погрешность

определения k_1 можно оценить, как сумму относительных погрешностей определения объёмов $\varepsilon_{k_1} \approx \frac{0,5}{12} + \frac{0,25}{11} = 0,07$. Таким образом, абсолютная погрешность определения составляет $\Delta k_1 = \Delta(1 - k_1) \approx 0,06$, что приводит к тому, что относительная погрешность определения плотности 50%.

Для определения массы гайки m_{Γ} воспользуемся тем, что, согласно уравнению (1), зависимость $V_{\text{в}}(N)$ — прямая с коэффициентом наклона $k_2 = -\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\text{в}}}$.

Построим график этой зависимости.



Определим $k_2 = -0,31$ мл, таким образом, $m_{\Gamma} = 0,31$ г.

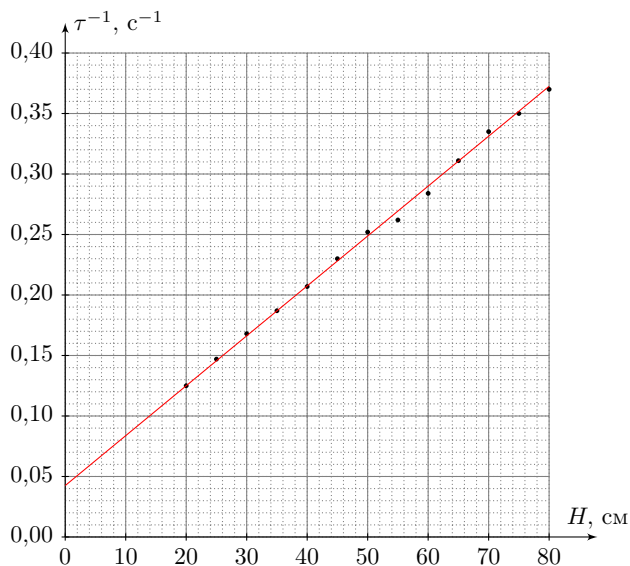
8 класс. Возможные решения

Задача 8.1 «Из пустого в порожнее»

1. Согласно методике, описанной в условии, исследуем зависимость τ от H (для каждого значения H проводим серию из 5 измерений). Результаты заносим в таблицу, а в последние два столбца — среднее время за 5 измерений τ и $1/\tau$:

H , см	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	τ , с	$1/\tau$, с ⁻¹
20	7,96	8,06	7,93	8,03	7,94	7,98	0,125
25	6,75	6,81	6,94	6,75	6,75	6,80	0,147
30	5,94	5,91	5,85	6,06	6,09	5,97	0,168
35	5,41	5,31	5,31	5,44	5,28	5,35	0,187
40	4,71	4,85	4,87	5,03	4,75	4,84	0,207
45	4,47	4,31	4,34	4,31	4,34	4,35	0,230
50	3,97	3,90	4,03	4,03	3,88	3,96	0,252
55	3,75	3,72	3,88	3,90	3,84	3,82	0,262
60	3,53	3,63	3,41	3,40	3,62	3,52	0,284
65	3,25	3,15	3,29	3,15	3,22	3,21	0,311
70	2,90	2,94	2,99	3,06	3,04	2,99	0,335
75	2,75	2,87	2,88	2,90	2,90	2,86	0,350
80	2,72	2,72	2,68	2,78	2,63	2,71	0,370

2. Построим график зависимости $1/\tau(H)$:



Из уравнения, связывающего $1/\tau$ и H , следует, что коэффициент k наклона графика равен:

$$k = \frac{\rho g \pi R^4}{4C\eta L S h_0}. \quad (1)$$

3. Из графика находим $k = 0,42 \text{ м}^{-1}\text{с}^{-1}$.

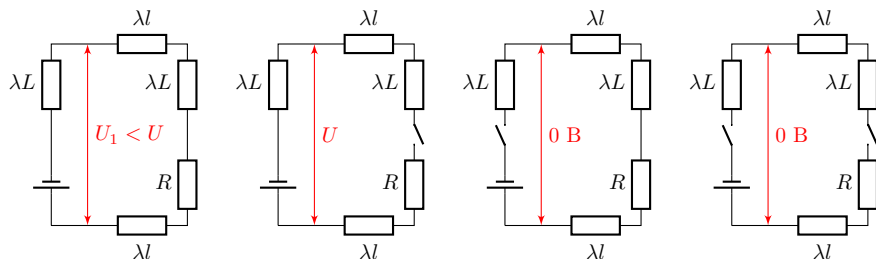
4. Мерной лентой определяем длину трубки $L = 1,2 \text{ м}$, высоту столба воды в шприце №1 $h_0 = 6 \text{ см}$ и вычисляем площадь внутреннего сечения шприцев $S = 7,1 \text{ см}^2$.

5. Подставляем все найденные значения в формулу (1), откуда находим:

$$C = 2,6.$$

Задача 8.2 «Нихром»

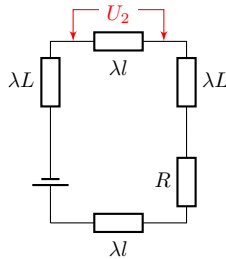
Составим следующую таблицу возможных значений показаний вольтметра, при измерении напряжения между ближайшими точками вывода нихромовых проводов, расположенных рядом с батареей.



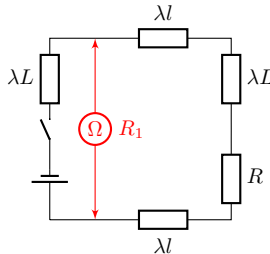
Согласно этому установим соответствие между ключами и буквами, представим результат в виде таблицы. Запишем значения напряжений $U = 1,532 \text{ В}$ и $U_1 = 1,085 \text{ В}$.

	Ключ АБ	Ключ ВГ
Замкнут	Б	В
Разомкнут	А	Г
Наполнение	Батарейка U	Резистор R

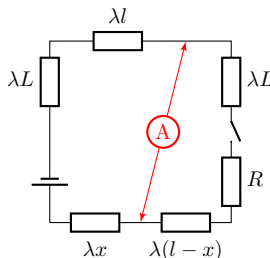
Теперь измерим напряжение между концами проволоки длиной $l = 49,0 \text{ см}$, получилось $U_2 = 0,1304 \text{ В}$.



В схеме с замкнутыми ключами через все резисторы течет одинаковый ток I_0 . Тогда $U - U_1 = \lambda L I_0$, а $U_2 = \lambda I_0$. Таким образом, $L = l \frac{U - U_1}{U_2} = 1,60$ м. Измерим сопротивление $R_1 = 132,9$ Ом = $2\lambda + \lambda L + R$.



Теперь подключим амперметр так, чтобы точки контактов находились на разных проволоках, а расстояния между ними и концами проволоки АБ было l и x . Будем снимать зависимость показаний амперметра I от величины x .



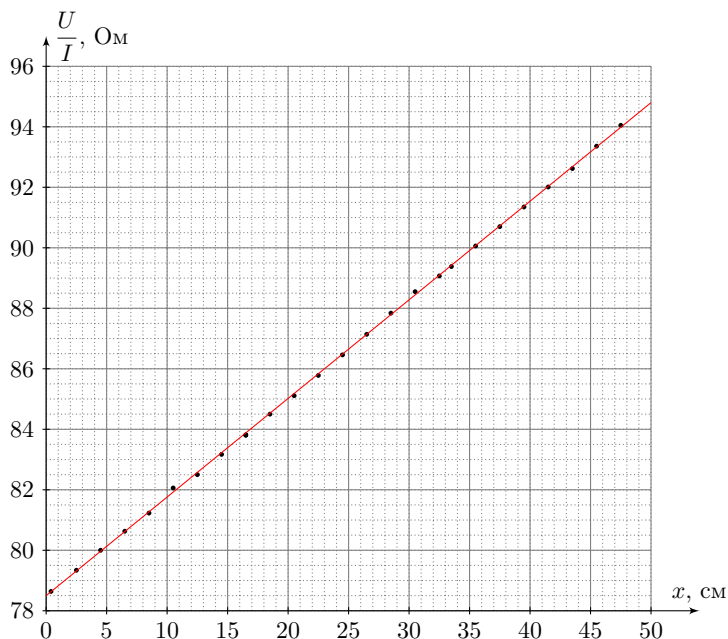
При таком подключении справедливо равенство

$$I(\lambda x + \lambda l + \lambda L + R_A) = U.$$

Таким образом, зависимость $\frac{U}{I}(x)$ — прямая с коэффициентом наклона $k = \lambda$ и свободным членом $b = \lambda l + \lambda L + R_A$. Результаты измерений занесём в таблицу.

x , см	I , мА	U/I , Ом	x , см	I , мА	U/I , Ом	x , см	I , мА	U/I , Ом
0,4	19,48	78,64	16,5	18,28	83,81	33,5	17,14	89,38
2,5	19,31	79,34	18,5	18,13	84,50	35,5	17,01	90,06
4,5	19,15	80,00	20,5	18,00	85,11	37,5	16,89	90,70
6,5	19,00	80,63	22,5	17,86	85,78	39,5	16,77	91,35
8,5	18,86	81,23	24,5	17,72	86,46	41,5	16,65	92,01
10,5	18,67	82,06	26,5	17,58	87,14	43,5	16,54	92,62
12,5	18,57	82,50	28,5	17,44	87,84	45,5	16,41	93,36
14,5	18,42	83,17	30,5	17,3	88,55	47,5	16,29	94,05
16,5	18,28	83,81	32,5	17,2	89,07			

Построим график зависимости $U/I(x)$. Так как $x = 0,0$ см соответствует деление линейки $0,5$ см, то в таблицу будем вносить $x = x_0 - 0,5$ см, где x_0 — результат измерения положения контакта.



По графику определим $k = \lambda = 32,7$ Ом/м, $b = 78,5$ Ом. Рассчитаем R и R_A :
 $R = R_1 - 2\lambda l - \lambda L = 48,3$ Ом, $R_A = b - \lambda l - \lambda L = 9,9$ Ом.