

Сопротивление металлического порошка

Условие

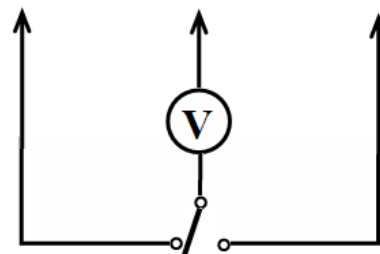
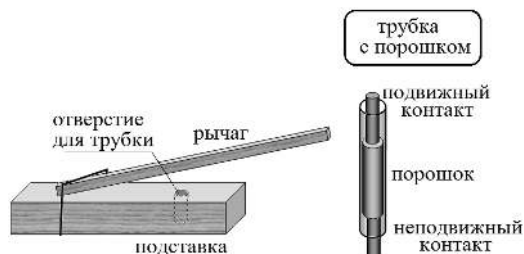
Задание 1.

«Сопротивление металлического порошка»

Внимание! Внимательно ознакомьтесь с условием задания! Предоставленную вам установку очень легко испортить. Не трогайте, не прикладывайте никаких усилий, пока не осознали суть задания. Не пытайтесь доставать трубку с порошком из подставки – оборвете контакты, рассыплете порошок! Ни в коем случае не надавливайте на рычаг установки – после этого ваши данные могут не совпасть с контрольными, по которым будет осуществляться проверка. Ни в коем случае, не допускайте протекания большого тока (более 0,1 А) через трубку с порошком – порошок спекается!

Приборы и материалы: Трубка с металлическим порошком и выводами, элемент гальванический 4,5 В, трехполюсный электрический ключ, соединительный провода, мультиметр, резистор с сопротивлением примерно 500 Ом (точное сопротивление этого резистора вам будет указано), переменный резистор, подставка с рычагом, набор грузов 6×100 г.

Мультиметр используйте только в качестве вольтметра! Для уменьшения времени измерения рекомендуем использовать следующую схему подключения мультиметра (внизу – трехполюсный ключ, для цифрового вольтметра полярность подключения не существенна).



Для проведения работы вам предлагается использовать следующую экспериментальную установку. Металлический порошок засыпан в пластиковую трубку. Один конец трубки плотно закрыт неподвижным металлическим контактом (болт), с другой стороны в трубку вставлен подвижный металлический контакт, к обоим контактам присоединены отводящие провода.

Трубка вставляется в специальное отверстие в деревянной подставке. К этой же подставке присоединен подвижный рычаг, к которому можно подвешивать грузы, для создания давления на порошок.

Часть 1.

Эти измерения проведите без нагрузки на порошок!

1.1 Исследуйте зависимость силы тока через порошок от приложенного напряжения. Приведите электрическую схему, использованную вами. 1.2 Постройте график полученной зависимости. 1.3 Сделайте обоснованный вывод о применимости (или неприменимости) закона Ома для металлического порошка. 1.4 Постройте график зависимости проводимости порошка от силы тока, протекающего через него.

Справка. Проводимость – величина обратная электрическому сопротивлению* $\Lambda = \frac{1}{R}$ *

Указание. Не спешите со снятием данных! После каждого изменения напряжения необходимо выждать некоторое время (10-20 секунд) для того, чтобы значение тока через порошок стабилизировалось.

Часть 2.

2.1 Экспериментально исследуйте зависимость электрической проводимости порошка от приложенной к нему силы давления. Измерения проводите, сначала последовательно увеличивая силу давления на порошок, а затем последовательно уменьшая эту силу. Проведите три цикла таких измерений. 2.2 Постройте график полученной зависимости (для всех трех циклов). Дайте ему качественное объяснение.

Указание. Очень аккуратно изменяйте нагрузку – постарайтесь подвешивать и снимать грузы не изменяя резко нагрузку, не допускайте падения грузов. Не спешите со снятием данных. После каждого изменения напряжения необходимо выждать некоторое время (30-50 секунд) для того, чтобы значение тока через порошок стабилизировалось.

Часть 3.

Эти измерения проведите с максимальной нагрузкой на порошок!

3.1 Проведите измерения и выполните те же задания, что и в части 1 при максимальной механической нагрузке на порошок. 3.2 Сравните результаты полученные в Части 1, с результатами, полученными в Части 3, качественно объясните имеющиеся различия.

Задание 2.

Изучение поверхностного натяжения.

При определении коэффициента поверхностного натяжения удобно использовать соотношение между силой поверхностного натяжения F и длиной границы поверхностного слоя l

$$F = \sigma l \cos \theta. \quad (1)$$

где θ - краевой угол.

Для воды и выданного кольца краевой угол считайте равным $\theta = 60^\circ$.

Приборы и материалы.

Весы с разновесом, штатив (для крепления весов), кольцо пластиковое на нитях, калориметр, термометр, сухой песок, штангенциркуль.

Для выполнения работы вам предоставляется установка, показанная на фотографии. Кольцо прикрепите к одной из чашек весов. Добейтесь того, чтобы кольцо висело горизонтально. Под кольцом расположите калориметр, в стакан которого налита вода. Наклоняя коромысло весов, медленно опустите кольцо так, чтобы оно коснулось поверхности воды и «прилипло» к ней (поверхность воды должна находиться на расстоянии 1 – 2 см от кольца). Вам необходимо найти нужную высоту крепления весов в штативе. После этого на вторую чашку весов можно аккуратно досыпать песок, до тех пор, пока кольцо не оторвется от поверхности воды. Затем вы можете определить массу добавленного песка, и по ней определить силу и коэффициент поверхностного натяжения воды.



Внимание! *Песок нужно насыпать на лист бумаги, положенный на чашку весов.***

После каждого измерения кольцо нужно осушить. Кольцо можно осушать фильтровальной бумагой, можно щелчком по кольцу, можно обдуванием. Но осушать надо.

После того, как вы научились проделывать указанные операции, можете приступать к измерениям.

Задания.

1. Выведите формулу для расчета коэффициента поверхностного натяжения по измеряемым величинам. 2. Измерьте диаметр и толщину кольца. Рассчитайте длину линии разрыва поверхности воды при отрыве кольца. 3. Измерьте коэффициент поверхностного натяжения воды при комнатной температуре. Оцените погрешность его измерения. 4. Исследуйте зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от ее температуры. 5. Постройте график полученной зависимости, дайте ему качественное объяснение. 6. Предложите эмпирическую формулу, описывающую полученную зависимость.

Решение

Задание 10-1. «Соппротивление металлического порошка»

В работе использован железный металлический порошок.

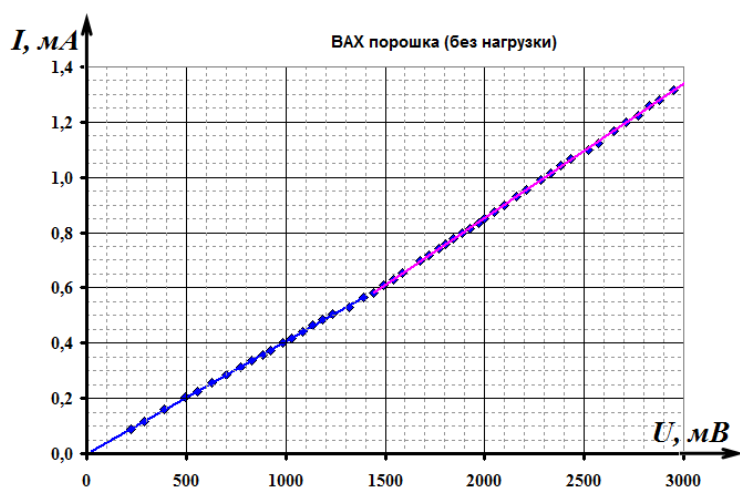
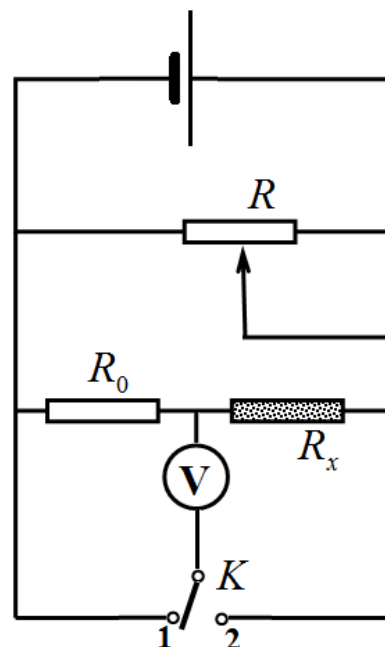
Все измерения удобно проводить по схеме, показанной на рисунке. Переменный резистор R позволяет регулировать напряжение, подаваемое на исследуемый порошок. При включении ключа в положение 1 измеряется напряжение U_1 на известном резисторе R_0 (в наших измерениях 510 Ом), что позволяет рассчитать силу тока чрез порошок;

$$I = \frac{U_1}{R_0}. \quad (1)$$

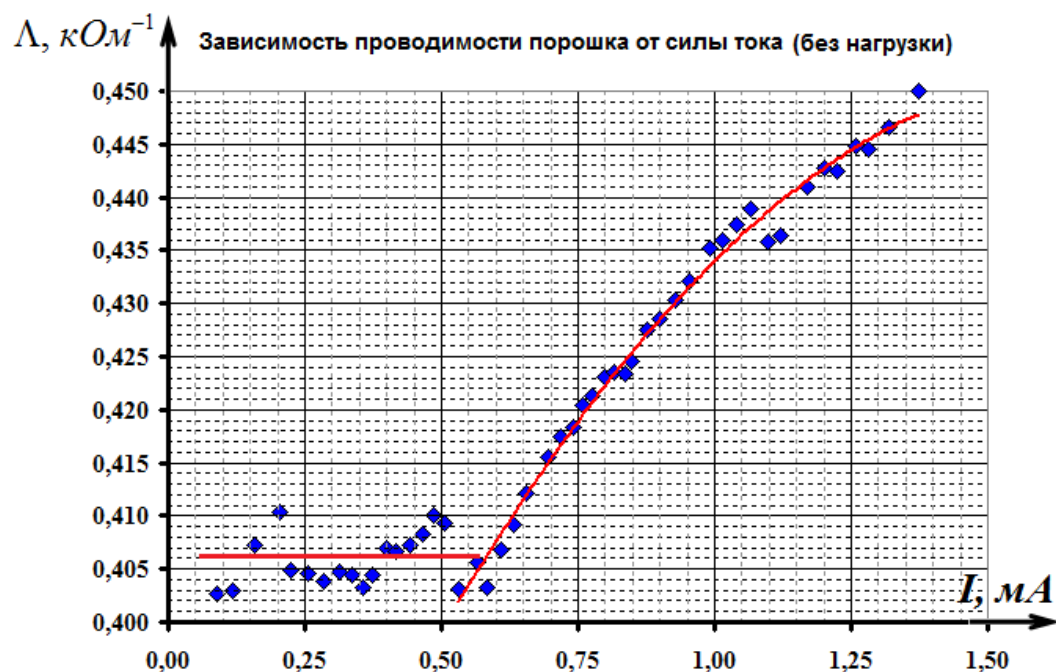
Переключение ключа в положение 2 дает возможность измерить напряжение на порошке U_2 . Проводимость порошка рассчитывается по формуле

$$\Lambda = \frac{1}{R_x} = \frac{I}{U_2} = \frac{1}{R} \frac{U_1}{U_2} \quad (2)$$

Часть 1.



На графике¹ представлена вольтамперная характеристика порошка без нагрузки. Строго говоря, эта зависимость не линейна, поэтому в общем случае следует сказать, что закон Ома не выполняется. Однако, для токов, меньших 0,5 мА наблюдается прямо пропорциональная зависимость между силой тока и напряжением, поэтому в этом диапазоне закон Ома для участка цепи справедлив.



Этот вывод подтверждает и рассчитанная зависимость проводимости порошка от силы тока. В указанном диапазоне результаты измерений разброса хаотично, что связано, скорее всего, с погрешностями измерений. При больших токах проводимость монотонно возрастает, чуть более, чем на 10%. Можно предположить, что увеличение проводимости (или уменьшение сопротивления) связано с частичным спеканием микрочастиц порошка.

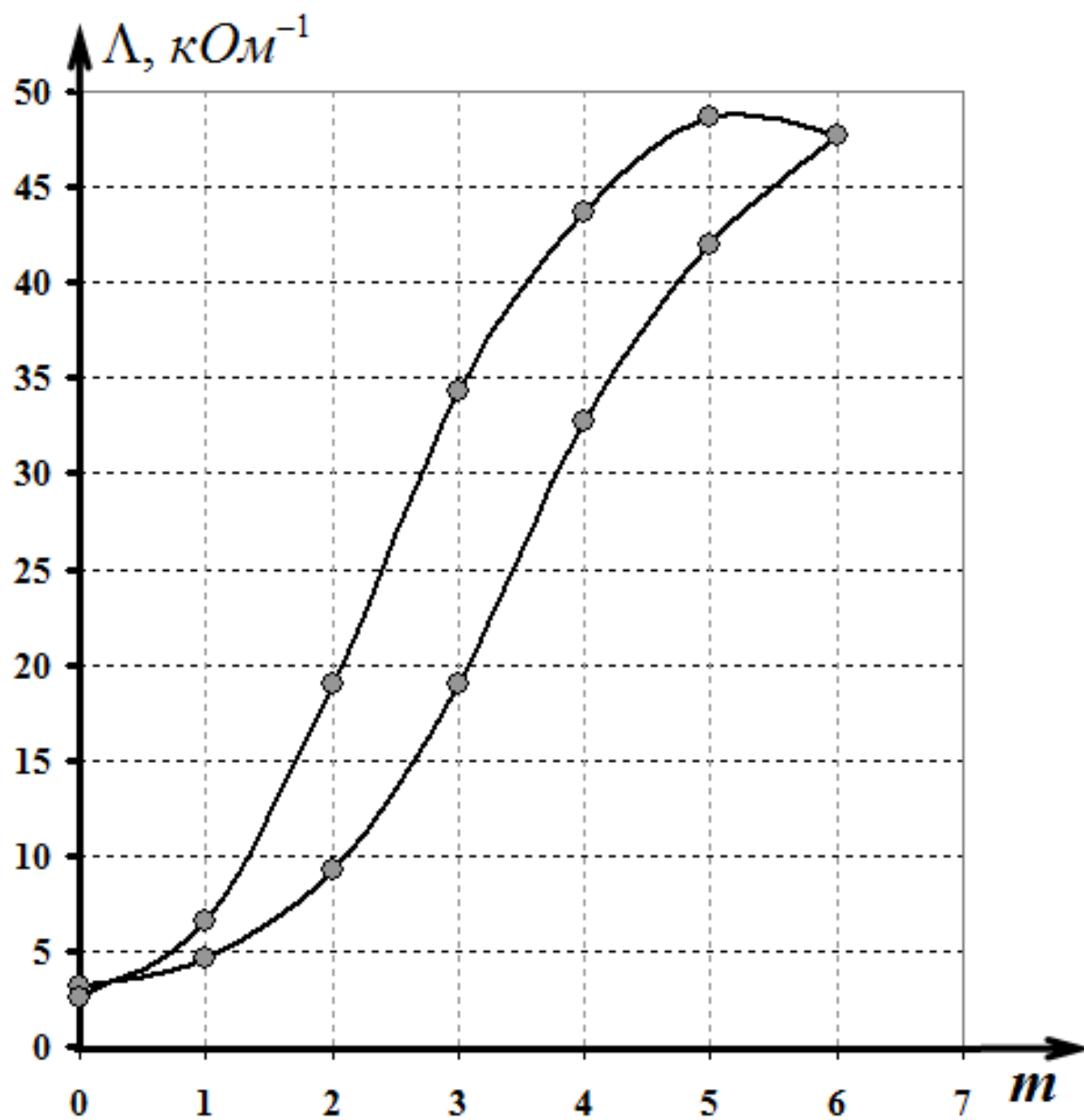
¹ В этой части не приведены данные в табличном виде, только для экономии места, все результаты представлены на графиках. От участников олимпиады не требуется такого большого числа точек – достаточно 15-20 точек, но в приведенном здесь интервале напряжений.

Часть 2.

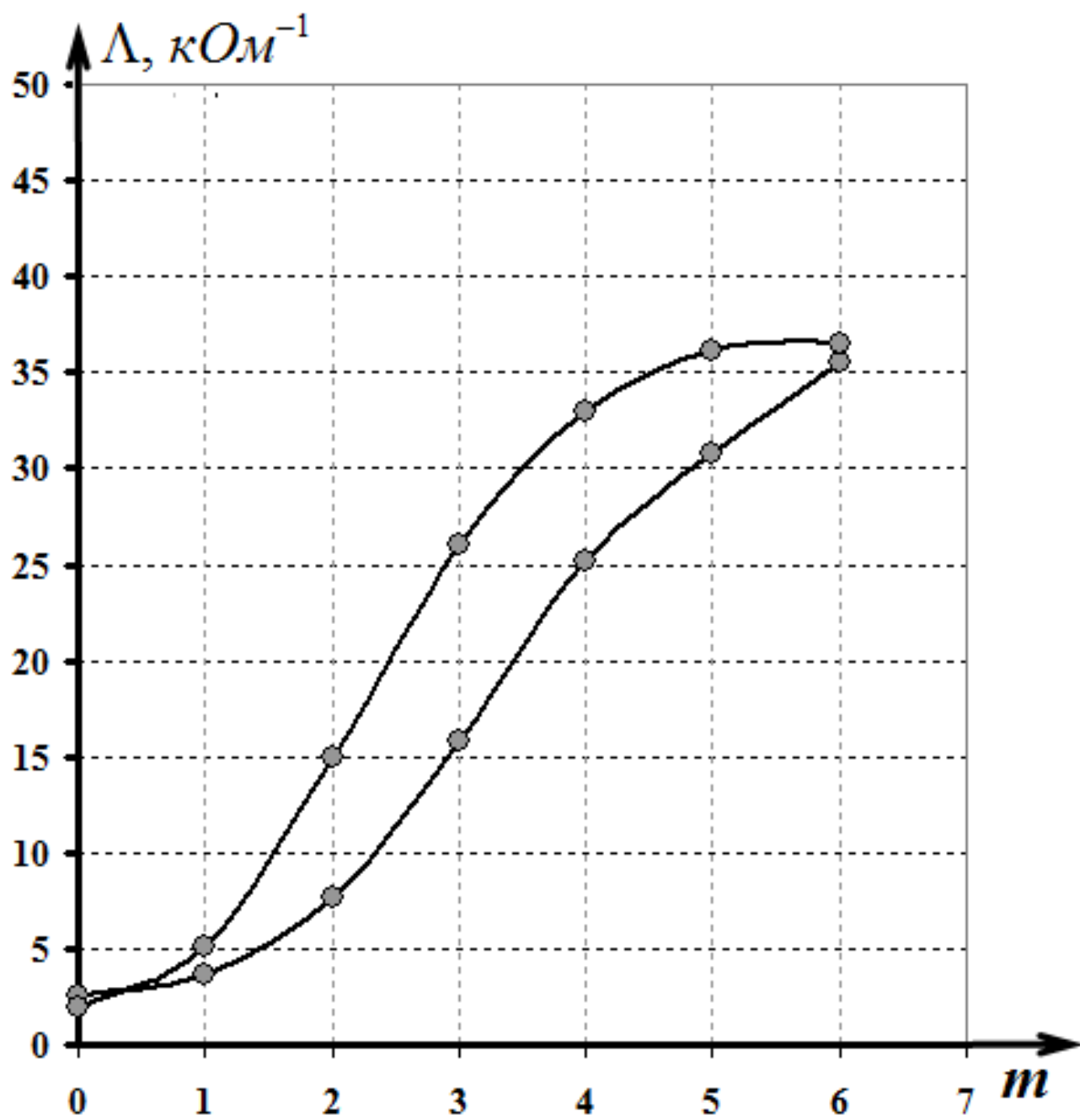
В таблице приведены результаты измерений проводимости металлического порошка при попеременном увеличении и снятии нагрузки для трех циклов нагрузки-разгрузки. После каждого изменения нагрузки выдерживался интервал времени 40-50 с, пока показания вольтметра не стабилизировались.

Таблица 1. Результаты измерений проводимости порошка при нагрузке и разгрузке.

Цикл 1.



m, штук	U_0, B	U_1, B	$R_1, \text{Ом}$	$\Lambda, \text{кОм}^{-1}$
0	0,90	1,44	318,8	3,14
1	0,70	1,65	216,4	4,62
2	0,41	1,94	107,8	9,28
3	0,22	2,13	52,7	18,98
4	0,133	2,22	30,6	32,73
5	0,105	2,25	23,8	42,02
6	0,093	2,26	21,0	47,65
5	0,091	2,26	20,5	48,70
4	0,101	2,25	22,9	43,68
3	0,127	2,22	29,2	34,28
2	0,22	2,13	52,7	18,98
1	0,54	1,81	152,2	6,57
0	1,02	1,33	391,1	2,56

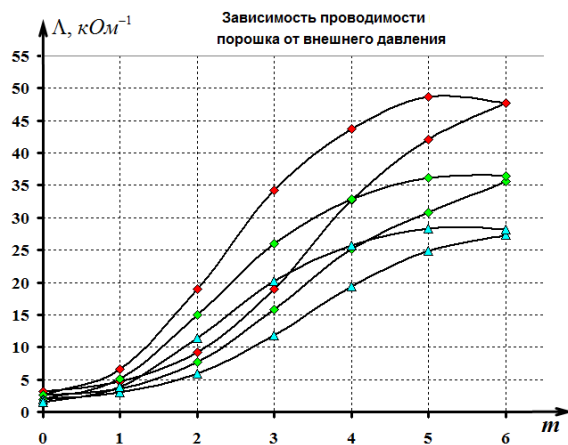
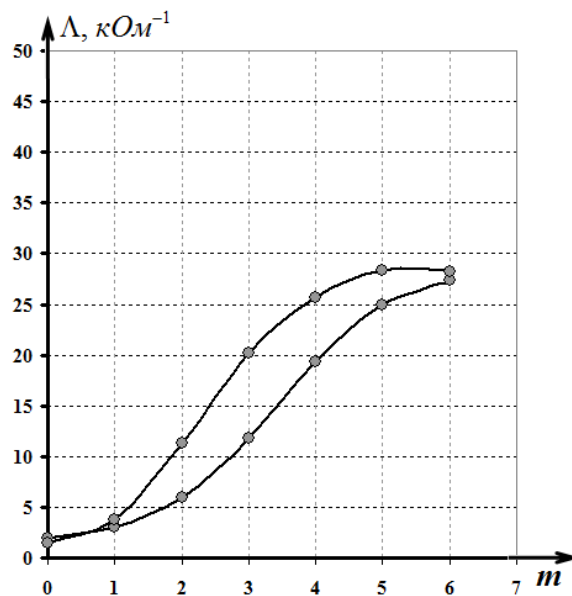


Цикл 2.

m, штук	U_0, B	U_1, B	$R_1, \text{Ом}$	$\Lambda, \text{кОм}^{-1}$
0	1,02	1,33	391,1	2,56
1	0,83	1,53	276,7	3,61
2	0,48	1,88	130,2	7,68
3	0,26	2,09	63,4	15,76
4	0,17	2,18	39,8	25,14
5	0,14	2,2	32,5	30,81
6	0,123	2,23	28,1	35,55
6	0,12	2,23	27,4	36,44
5	0,121	2,23	27,7	36,14
4	0,131	2,2	30,4	32,93
3	0,165	2,19	38,4	26,02
2	0,273	2,08	66,9	14,94
1	0,65	1,7	195,0	5,13

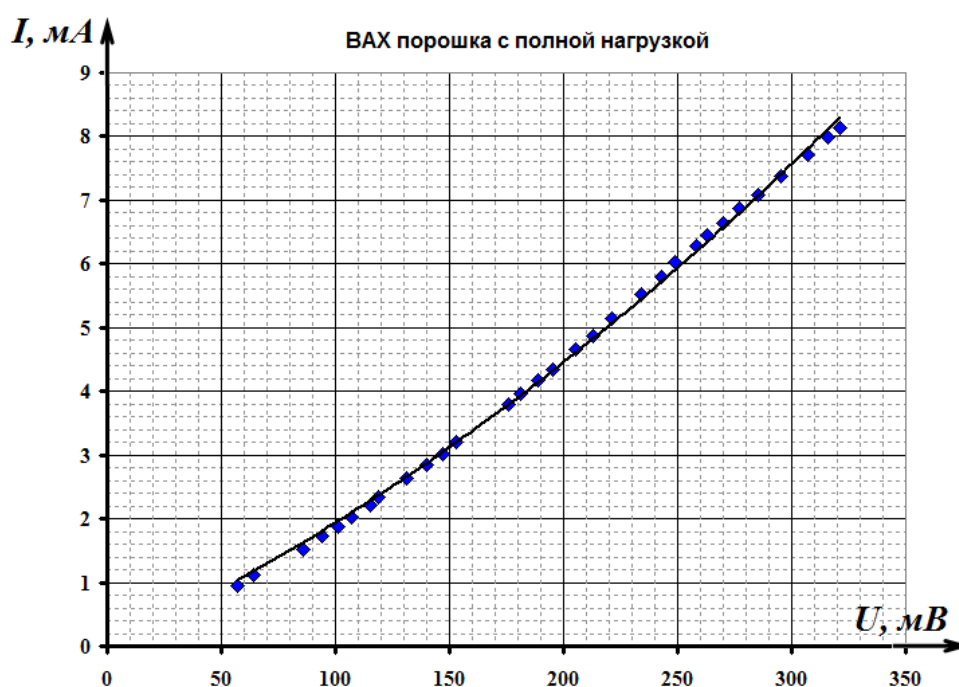
Цикл 3.

m, штук	U_0, B	U_1, B	$R_1, \text{Ом}$	$\Lambda, \text{кОм}^{-1}$
0	1,18	1,16	518,8	1,93
1	0,94	1,41	333,3	3,00
2	0,59	1,76	167,6	5,97
3	0,34	2,01	84,6	11,82
4	0,22	2,13	51,6	19,36
5	0,175	2,18	40,1	24,91
6	0,16	2,19	36,5	27,38
6	0,156	2,2	35,5	28,21
5	0,155	2,2	35,2	28,39
4	0,17	2,18	39,0	25,65
3	0,212	2,14	49,5	20,19
2	0,352	2	88,0	11,36
1	0,81	1,54	263,0	3,80



Для сравнения, приведены три цикла «нагрузка-разгрузка» на одной диаграмме. Полученные зависимости обладают рядом особенностей: - при увеличении нагрузки проводимость порошка возрастает, что связано со сжатием порошка и, как следствие, увеличением площади контактов между микрочастицами; - наблюдается петля гистерезиса, т.е. при снятии нагрузки остается некоторая остаточная деформация порошка (или сохранение структуры упаковки частиц); - при повторении циклов уменьшается «размах» изменения проводимости, из-за постепенного уплотнения (трамбовки) порошка; - в повторных циклах ширина петли также уменьшается, что также связано с «трамбовкой».

И все же правильный вывод из данной работы, заключается в том, что сопротивление порошка может быть любым, потому, что зависит от всего!

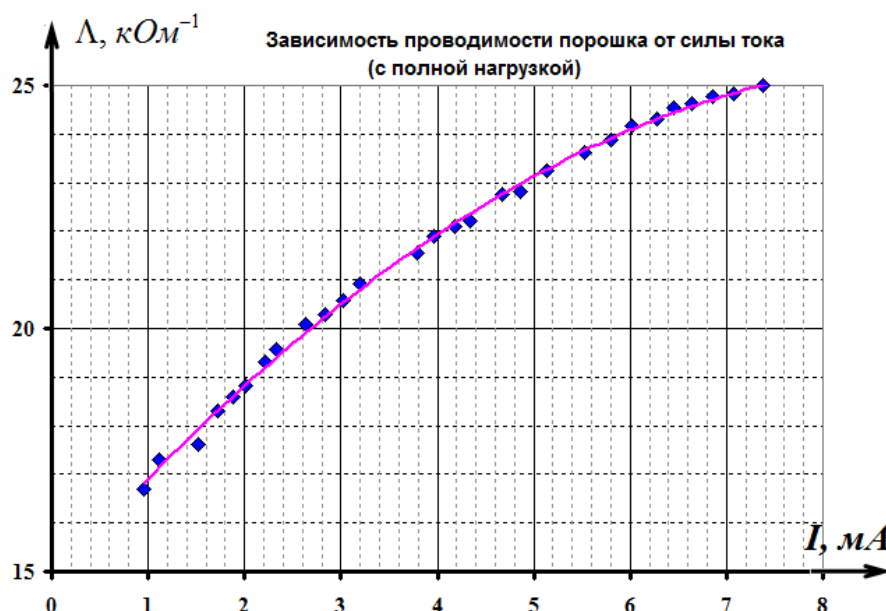


Часть 3.

На рисунке приведен график вольтамперной характеристики порошка при его полной нагрузке. В данном случае зависимость явно не линейная. Поэтому необходимо констатировать – закон Ома для участка цепи не выполняется.

Причины, указанные при обсуждении ВАХ порошка без нагрузки здесь проявляются в большей степени:

во-первых, под нагрузкой проводимость порошка значительно выше (более чем в 20 раз). Следовательно, и сила тока больше, поэтому эффекты спекания могут проявляться сильнее; во-вторых, площади контактов между частицами порошка больше, что также способствует образованию дополнительных связей между микрочастицами при протекании электрического тока.



Нелинейность зависимости между силой тока и напряжением подтверждается также и графиком зависимости проводимости порошка от силы тока. Здесь проводимость несомненно изменяется (почти более, чем на 50%), причем это изменение является монотонным. В этом случае не наблюдается участка с постоянной проводимостью (возможно, потому, что силы токов превышают 1 мА).

¹ , , В этой части не приведены данные в табличном виде только для экономии места все результаты представлены на графиках. От участников олимпиады не требуется такого большого числа точек – достаточно 15-20 точек, но в приведенном здесь интервале напряжений.