

Задание 7.1. Плотность провода (Кармазин С.). Экспериментально исследуйте зависимость массы m пяти выданных вам образцов одножильного провода с изоляцией от их длины L (длина куска изоляции на всех образцах одинакова и равна $l_0 = 10$ см). Постройте график полученной зависимости. Напишите формулу для расчёта массы провода через его длину, обозначив массу единицы длины металла μ_m и массу единицы длины изоляции μ_n . С помощью графика и дополнительных измерений определите плотность ρ_m металла, из которого изготовлен провод, а также плотность ρ_n пластика, из которого изготовлена изоляция.

Примечания 1. Длина окружности $C = \pi D$, где D – диаметр этой окружности. Площадь круга $S = \pi D^2/4$; $\pi = 3,14$.

Примечания 2. Снимать изоляцию с провода категорически запрещается.

Оборудование: пять образцов одножильного провода длиной 10, 15, 20, 25 и 30 см с частично удалённой изоляцией (на каждом образце оставлен кусок изоляции длиной $l_0 = 10$ см); весы с точностью измерения массы 0,01 г; две деревянные линейки; миллиметровая бумага (для построения графика).

Указание организаторам: Каждый комплект оборудования состоит из 5 отрезков прямого провода с длинами 10, 15, 20, 25 и 30 см. На каждом отрезке необходимо оставить участок изоляции длиной 10 см, а остальную изоляцию срезать. Если оставшийся участок изоляции легко снимается с провода вручную, то необходимо принять меры к устранению этого явления, например, с помощью клея.

Решение. В данном решении использовался медный провод сечением $2,5 \text{ мм}^2$.

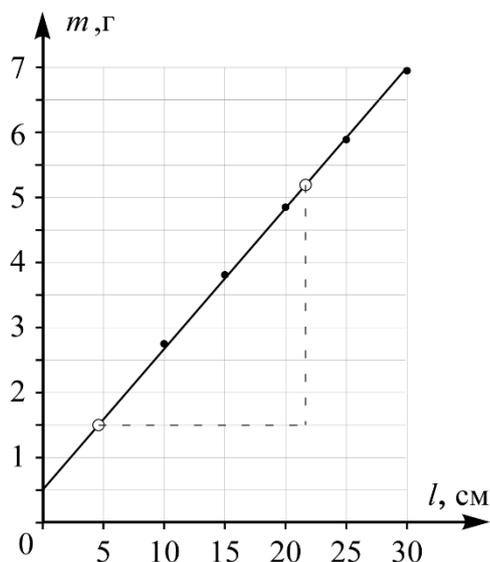
Измерим массу пяти образцов провода и занесём в таблицу результаты измерений и длину образцов.

L , см	m , г
10	2,75
15	3,81
20	4,85
25	5,89
30	6,95

Построим график полученной зависимости.

Формула для расчёта массы образца имеет вид $m = \mu_m L + \mu_n l_0$. График этой линейной зависимости представляет собой прямую линию; угловой коэффициент позволяет определить погонную массу μ_m металла, а точка пересечения прямой с вертикальной осью соответствует величине $\mu_n l_0$. Анализ графика позволяет определить $\mu_n = 6,5 \text{ г/м}$ и $\mu_m = 20,8 \text{ г/м}$.

Методом прокатывания зачищенной проволоки с помощью двух линеек (не менее 10 оборотов) определяем длину окружности x , диаметр d и площадь сечения s провода:
 $x = 5,6 \text{ мм}$, $d = 1,78 \text{ мм}$, $s = 2,49 \text{ мм}^2$.



LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

Аналогично для внешней окружности изоляции получаем:

$$X = 9,9 \text{ мм}, D = 3,15 \text{ мм}, S = 7,79 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения кольца, образованного торцом изоляции $S_{\text{и}} = S - s = 5,30 \text{ мм}^2$.

Расчёт объёмов и плотностей проведём для образца провода длиной $L_1 = 10 \text{ см}$.

Объём металла $V_{\text{м}} = sL_1 = 0,249 \text{ см}^3$. Масса $m_{\text{м}} = \mu_{\text{м}} L_1 = 2,08 \text{ г}$. Плотность $\rho_{\text{м}} = 8,35 \text{ г/см}^3$.

Объём изоляции $V_{\text{и}} = S_{\text{и}} L_1 = 0,530 \text{ см}^3$. Масса $m_{\text{и}} = \mu_{\text{и}} L_1 = 0,65 \text{ г}$. Плотность $\rho_{\text{и}} = 1,23 \text{ г/см}^3$.

Критерии оценивания:

1. Оформлена таблица измерения массы и длины проводов, в которой указаны физические величины и единицы измерения **0,5 балла**
2. Записана формула для расчёта массы провода **0,5 балла**
3. Построен график, **2 балла**
детально:
 - а) подписаны оси (величины и единицы измерения) **0,5 балла**
 - б) оформлен масштаб на осях **0,5 балла**
 - с) правильно нанесены экспериментальные точки **0,5 балла**
 - д) проведена **прямая** линия **0,5 балла**
4. Из графика определена погонная масса металла (не хуже 10%) **0,5 балла**
5. Из графика определена погонная масса изоляции (не хуже 10%) **0,5 балла**
6. Вычислена масса металла (не хуже 10 %) **0,5 балла**
7. Вычислена масса изоляции (не хуже 10%) **0,5 балла**
Если вычисления массы металла и изоляции удовлетворяют условию по точности (10%), но производятся по 2 точкам, а не по результатам анализа графика, то пункты 4 – 7 оцениваются суммарно в 1 балл (0,5 за массу металла и 0,5 за массу изоляции).
8. Предложен метод для определения диаметра провода и внешнего диаметра изоляции **1 балл**
 - метод прокатывания (не менее 10 оборотов) **1 балл**
 - метод прокатывания (не менее 5 оборотов) и другие адекватные методы **0,5 балла**
9. Определён диаметр провода с точностью не хуже 5% **0,5 балла**
10. Определён внешний диаметр изоляции с точностью не хуже 5% **0,5 балла**
11. Вычислен объём металла с точностью не хуже 10% **0,5 балла**
12. Указано, что площадь сечения изоляции — это разность площадей двух кругов **0,5 балла**
13. Вычислен объём изоляции с точностью не хуже 10% **1 балл**
14. Вычислена плотность провода с точностью не хуже 15% **0,5 балла**
15. Вычислена плотность изоляции с точностью не хуже 15% **0,5 балла**

7.2. Баба сеяла горох (I) (Воробьев И.). В прозрачном цилиндрическом мерном стакане находятся зёрна гороха, залитые водой.

Исследуйте зависимость высоты H уровня воды в сосуде от высоты h слоя залитого водой гороха и постройте график полученной зависимости. Выведите формулу, связывающую измеренные вами величины между собой. С помощью графика и полученной формулы определите долю объёма α , занимаемую непосредственно горошинами в заполненном горохом объёме, а также объём $V_{\text{в}}$ воды, находящейся в стакане.

Примечание 1. Перед началом эксперимента тщательно продумайте последовательность его выполнения, ибо ваши действия могут оказаться необратимыми.

Примечание 2. Выливать воду и вынимать горох из мерного стакана запрещается!

Оборудование: мерный стакан с горохом, залитым водой; пакет с сухим горохом; линейка с миллиметровыми делениями; лист миллиметровой бумаги для построения графика.

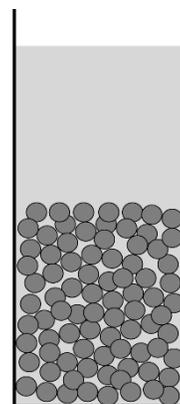
Указания организаторам. Оптимальным является использование мерного стакана объёмом 100 мл, который может быть как пластиковым, так и стеклянным. Исходно сосуд заполняется горохом на примерно на 20 - 25% высоты. Примерно вдвое большее количество должно остаться в пакете. Воду в сосуд с горохом наливают непосредственно перед началом тура (за 5 - 10 минут до запуска в аудиторию участников олимпиады). Во всех сосудах должен быть одинаковый объём воды, равный 30 - 40% объёма сосуда.

Возможное решение. В данном эксперименте использовался мерный стакан объёмом 100 мл. Досыпая горох в стакан небольшими порциями, проводим измерения. Чтобы зёрна гороха распределялись равномерно, рекомендуется потряхивать сосуд.

Пусть высота слоя залитого водой гороха h , а высота уровня воды в сосуде H (измеренная от основания сосуда). Объём полного содержимого сосуда V_0 складывается из объёма $V_{\text{в}}$ воды в нем и объёма зерен гороха. Обозначим площадь сечения сосуда S , а долю объёма, занимаемую непосредственно горошинами в заполненном горохом объёме α (коэффициент заполнения).

$$V_0 = HS = V_{\text{в}} + \alpha hS, \quad \text{или} \quad H = V_{\text{в}}/S + \alpha h.$$

Видно, что H линейно зависит от h . На графике зависимости $H(h)$ величина α является угловым коэффициентом, а $V_{\text{в}}/S$ определяется точкой пересечения графика с вертикальной осью. Измерим диаметр сосуда D , вычислим площадь его сечения $S = \pi D^2 / 4$ и определим искомый объём $V_{\text{в}}$.



№	h , мм	H , мм
1	33	70
2	50	80
3	68	90
4	86	99
5	105	108

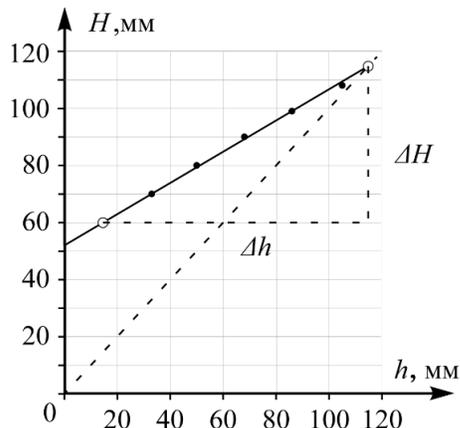
LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

Следует заметить, что если в эксперименте используется мерный стакан с делениями, то нет необходимости измерять площадь сечения стакана. Достаточно досыпать горох в стакан до такого уровня, при котором уровень гороха сравнивается с уровнем воды $H_1 = h_1$. Зная коэффициент заполнения объёма α и объём V_1 , соответствующий уровню H_1 , вычисляем объём воды в стакане $V_B = (1 - \alpha) V_1$.

В таблице приведены результаты измерений.

Ниже представлен график зависимости $H(h)$ и полученные значения искомых величин. $D = 27,5$ мм; $S = 5,94$ см²; $\alpha = 0,55$; $V_B/S = 5,2$ см; $V_B = 30,9$ мл.

(Перед проведением контрольного эксперимента в сосуд было налито $V_{B0} = 30$ мл воды).



Критерии оценивания

- | | | |
|----|--|----------------|
| 1. | Обоснована взаимосвязь измеряемых величин (метод, формула) | 2 балла |
| 2. | Оформлена таблица (обозначения, единицы измерения) | 1 балл |
| 3. | Проведено не менее 5 измерений (разных точек) | 1 балл |
| 4. | Оформлен график | 2 балла |
| | а) подписаны оси (величины и единицы измерения) | 0,5 балла |
| | б) оформлен масштаб на осях | 0,5 балла |
| | в) правильно нанесены экспериментальные точки | 0,5 балла |
| | г) проведена прямая линия | 0,5 балла |
| 5. | Определен коэффициент α с точностью не хуже 10% | 2 балла |
| 6. | Определен объём V_B | 2 балла |
| | с точностью не хуже 10% | 2 балла |
| | с точностью не хуже 20% | 1 балл |

Задание 8.1. Плотность провода (III) (Кармазин С.).

1. На каждом из выданных вам образцов одножильного провода часть изоляции удалена, а оставшиеся участки изоляции имеют различную длину X . Обозначьте массу единицы длины металла в проводе μ_m , а массу единицы длины изоляции μ_n . Выведите формулу для расчёта массы провода m через его длину L и величины X , μ_n и μ_m .



2. Измерьте величины m , и X для каждого из образцов и занесите их в таблицу вместе с его длиной L .
3. Определите μ_n и μ_m графическим методом. Для этого введите новые величины, с помощью которых удастся преобразовать полученную в пункте 1 формулу таким образом, что зависимость этих величин друг от друга станет линейной. Рассчитайте значения новых величин для каждого образца и занесите их в ту же таблицу. Постройте соответствующий график.
4. С помощью дополнительных измерений определите плотность ρ_m металла, из которого изготовлен провод, а также плотность ρ_n пластика, из которого изготовлена изоляция.

Примечание 1. Длина окружности $C = \pi D$, где D - диаметр этой окружности. Площадь круга $S = \pi D^2/4$; $\pi = 3,14$.

Примечание 2. Внимание! Снимать изоляцию с проволоки категорически запрещено.

Оборудование: пять образцов одножильного провода с частично удалённой изоляцией и загнутыми концами (длина образцов 10, 15, 20, 25 и 30 см измерена на прямом проводе до загибания их концов) (см. фото); весы с точностью измерения массы 0,01 г; две деревянные линейки; миллиметровая бумага для построения графика.

Указание организаторам: Каждый комплект оборудования состоит из 5 отрезков прямого провода с длинами 10, 15, 20, 25 и 30 см. На каждом отрезке, кроме самого короткого, необходимо оставить различные куски изоляции, а остальную изоляцию срезать. На коротком образце изоляция оставляется полностью.

Во всех комплектах на образце конкретной длины целесообразно оставлять одинаковый кусок изоляции. Это упростит проверку работы. Например, в авторском комплекте оборудования использовались образцы со следующими параметрами:

№	Длина образца L , см	Длина оставленного куска изоляции X , см	X/L
1	10	10	1,0
2	15	12	0,8

LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

3	20	8	0,4
4	25	15	0,6
5	30	9	0,3

Решение. В данном решении использовался медный провод сечением 4 мм².

1. Формула для расчёта массы провода имеет вид:

$$m = \mu_m L + \mu_n X. \quad (1)$$

2. Измерим массу m и длину изоляции X для пяти образцов провода и занесём результаты измерений в таблицу.

№	L , см	m , г	X , см
1	10	4,58	10,0
2	15	6,60	12,0
3	20	7,84	8,5
4	25	10,41	15,2
5	30	11,22	9,0

3. Разделим левую и правую части уравнения (1) на L

$$m/L = \mu_m + \mu_n (X/L) \quad (2)$$

и получим линейную зависимость отношения m/L от отношения X/L .

Вычислим значения новых переменных для каждого образца и добавим их в таблицу.

№	L , см	m , г	X , см	m/L , г/см	X/L
1	10	4,58	10,0	0,458	1,00
2	15	6,60	12,0	0,440	0,80
3	20	7,84	8,5	0,392	0,43
4	25	10,41	15,2	0,416	0,61
5	30	11,22	9,0	0,374	0,30

Построим график полученной зависимости m/L от (X/L) .

Анализ графика позволяет определить $\mu_n = 0,125$ г/см и $\mu_m = 0,34$ г/см.

Методом прокатывания зачищенной проволоки с помощью двух линеек (не менее 10 оборотов) определяем длину окружности x , диаметр d и площадь сечения s провода:

$$x = 7,1 \text{ мм}, d = 2,26 \text{ мм}, s = 4,01 \text{ мм}^2.$$

Аналогично для внешней окружности изоляции получаем:

$$X = 12,8 \text{ мм}, D = 4,08 \text{ мм}, S = 13,04 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения кольца, образованного торцом изоляции, $S_n = S - s = 9,03 \text{ мм}^2$.

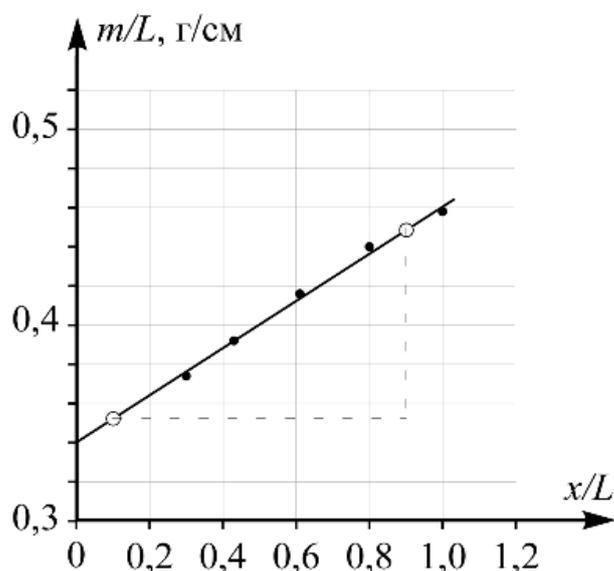
Расчёт объёмов и плотностей проведём для образца провода длиной $L_1 = 10$ см.

$$\text{Объём металла } V_m = sL_1 = 0,401 \text{ см}^3. \text{ Масса}$$

$$m_m = \mu_m L_1 = 3,40 \text{ г}. \text{ Плотность } \rho_m = 8,48 \text{ г/см}^3.$$

$$\text{Объём изоляции } V_n = S_n L_1 = 0,903 \text{ см}^3. \text{ Масса}$$

$$m_n = \mu_n L_1 = 1,25 \text{ г}. \text{ Плотность } \rho_n = 1,38 \text{ г/см}^3$$



Критерии оценивания:

1. Оформлена таблица измерения массы, длин металла и изоляции

LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

проводов с указанием физических величин и единиц измерения		0,5 балла
2. Записана формула для расчёта массы провода		0,5 балла
3. Введение новых переменных, занесение их в таблицу и запись формулы линейной зависимости		1 балл
4. Построен график линейной зависимости		1,5 балла
подписаны оси (величины и единицы измерения)	0,5 балла	
оформлен масштаб на осях	0,5 балла	
правильно нанесены экспериментальные точки и проведена прямая линия	0,5 балла	
5. Из графика определена погонная масса металла (не хуже 10%)		0,5 балла
6. Из графика определена погонная масса изоляции (не хуже 10%)		0,5 балла
7. Вычислена масса металла (не хуже 10 %)		0,5 балла
8. Вычислена масса изоляции (не хуже 10%)		0,5 балла
Если вычисления массы металла и изоляции удовлетворяют условию по точности (10%), но производятся по 2 точкам, а не по результатам анализа графика, то пункт 7 оценивается суммарно в 1 балл (0,5 за массу металла и 0,5 за массу изоляции).		
9. Предложен метод для определения диаметра провода и внешнего диаметра изоляции		1 балл
метод прокатывания (не менее 10 оборотов)	1 балл	
метод прокатывания (не менее 5 оборотов) и другие адекватные методы	0,5 балла	
10. Определён диаметр провода с точностью не хуже 5%		0,5 балла
11. Определён внешний диаметр изоляции с точностью не хуже 5%		0,5 балла
12. Вычислен объём металла с точностью не хуже 10%		0,5 балла
13. Указано, что площадь сечения изоляции – это разность площадей двух кругов		0,5 балла
14. Вычислен объём изоляции с точностью не хуже 10%		0,5 балла
15. Вычислена плотность провода с точностью не хуже 15%		0,5 балла
16. Вычислена плотность изоляции с точностью не хуже 15%		0,5 балла

Задание 8.2. Баба сеяла горох (II) (Воробьев И.). В прозрачном цилиндрическом мерном стакане находятся зёрна гороха, залитые водой. Исследуйте зависимость высоты H уровня воды в сосуде от высоты h слоя залитого водой гороха и постройте график полученной зависимости. Выведите формулы, связывающие измеренные вами величины между собой. С помощью графика и полученных формул определите **долю объёма α** , занимаемую непосредственно горошинами в заполненном горохом объёме, **объём $V_{\text{в}}$ воды**, находящейся в стакане, а также **число N горошин**, первоначально находившихся в стакане.

Примечание 1. Перед началом эксперимента тщательно продумайте последовательность его выполнения, ибо ваши действия могут оказаться необратимыми.

2) Выливать воду и вынимать горох из стакана запрещается!

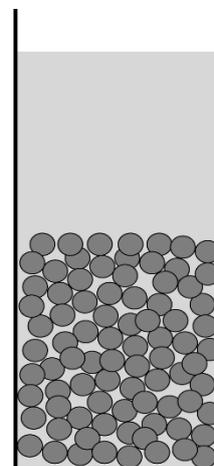
Оборудование: мерный стакан с горохом, залитым водой; пакет с сухим горохом; линейка с миллиметровыми делениями; два листа миллиметровой бумаги для построения графиков.

Указания организаторам. В работе можно использовать любой цилиндрический прозрачный сосуд, но чем больше будет его диаметр, тем больше гороха понадобится для выполнения работы. Оптимальным является использование стандартного мерного стакана объёмом 100 мл, который может быть как пластиковым, так и стеклянным. Исходно сосуд заполняется горохом примерно на 20-25% высоты и при этом чётко фиксируется количество горошин, первоначально засыпаемых в сосуд (это количество должно быть известно членам жюри). Примерно вдвое большее количество должно остаться в пакете. Воду в сосуд с горохом наливают непосредственно перед началом тура (за 5-10 минут до запуска в аудиторию участников олимпиады). У всех участников должен быть одинаковый объём воды, равный 30-40% объёма сосуда.

Возможное решение. Будем досыпать горох в сосуд небольшими порциями и проводить измерения. Чтобы зёрна гороха распределялись равномерно, рекомендуется потряхивать сосуд.

Пусть высота слоя залитого водой гороха h , а высота уровня воды в сосуде H (измеренная от основания сосуда). Объём полного содержимого сосуда V_0 складывается из объёма $V_{\text{в}}$ воды в нём и объёма зёрен гороха. Обозначим площадь сечения сосуда S , а долю объёма, занимаемую непосредственно горошинами в заполненном горохом объёме, α (коэффициент заполнения).

$$V_0 = HS = V_{\text{в}} + \alpha hS, \quad \text{или} \quad H = V_{\text{в}}/S + \alpha h.$$



LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

Видно, что H линейно зависит от h . На графике зависимости $H(h)$ α является угловым коэффициентом, а величина V_b/S определяется точкой пересечения графика с вертикальной осью. Измерим диаметр сосуда D , вычислим площадь его сечения

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \text{ и определим искомую величину } V_b.$$

Следует заметить, что если эксперимент проводится в мерном стакане с делениями, то нет необходимости измерять площадь сечения стакана. Достаточно досыпать горох в стакан до такого уровня, при котором уровень гороха сравнивается с уровнем воды $H_1 = h_1$. Зная коэффициент заполнения объёма α и объём V_1 , соответствующий уровню H_1 , вычисляем объём воды в стакане: $V_b = (1 - \alpha) V_1$.

Ниже представлены результаты измерений, выполненных с горохом в стандартном мерном стакане объёмом 100 мл, а также график зависимости $H(h)$ и полученные значения искомых величин.

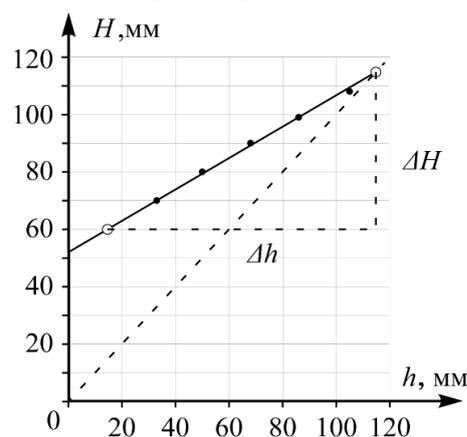
$D = 27,5 \text{ мм}$, $S = 5,94 \text{ см}^2$; $\alpha = 0,55$; $V_b/S = 5,2 \text{ см}$; $V_b = 30,9 \text{ мл}$.

(Перед проведением контрольного эксперимента в сосуд было налито $V_{b0} = 30 \text{ мл}$ воды).

Для определения количества горошин N , первоначально находившихся в стакане, необходимо добавлять в сосуд горох определёнными порциями, с известным количеством горошин ΔN в этих порциях. В приведённом выше численном примере горошины добавлялись порциями по 50 шт.

Если построить график зависимости h от ΔN , то по его наклону можно определить, на сколько, в среднем, миллиметров повышается уровень столба гороха при добавлении одной горошины, или наоборот, какому количеству горошин соответствует высота в 1 мм. Теперь, зная первоначальную высоту столба гороха в сосуде, можно определить число горошин в нём. В нашем примере $\Delta h/\Delta N = 0,36 \text{ мм/горошину}$. Так как из таблицы видно, что первоначальная высота равнялась 33 мм, то начальное количество горошин составляло $33/0,36 = 92 \text{ шт.}$ (Засыпалось $N = 100 \text{ шт.}$)

№	h , мм	H , мм
1	33	70
2	50	80
3	68	90
4	86	99
5	105	108



Критерии оценивания

- | | |
|---|----------------|
| 1. Обоснована взаимосвязь измеряемых величин (метод, формула) | 1 балл |
| 2. Оформлена таблица (обозначения, единицы измерения) | 1 балл |
| 3. Проведено не менее 5 измерений (разных точек) | 1 балл |
| 4. Оформлен график | 2 балла |
| а) подписаны оси (величины и единицы измерения) | 0,5 балла |

LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

b) оформлен масштаб на осях	0,5 балла	
c) правильно нанесены экспериментальные точки	0,5 балла	
d) проведена прямая линия	0,5 балла	
5. Определён коэффициент α с точностью не хуже 10%		1 балл
6. Определён объём V_b		2 балла
с точностью не хуже 10 %	2 балла	
с точностью не хуже 20%	1 балл	
7. Метод определения числа горошин N		1 балл
8. Определение числа горошин N (результат)		1 балл