

Решения задач экспериментального тура

Решение 8.1 Электрический серый ящик

Снимем ВАХ серого ящика в прямом и обратном направлении. Для этого соберем следующую схему:

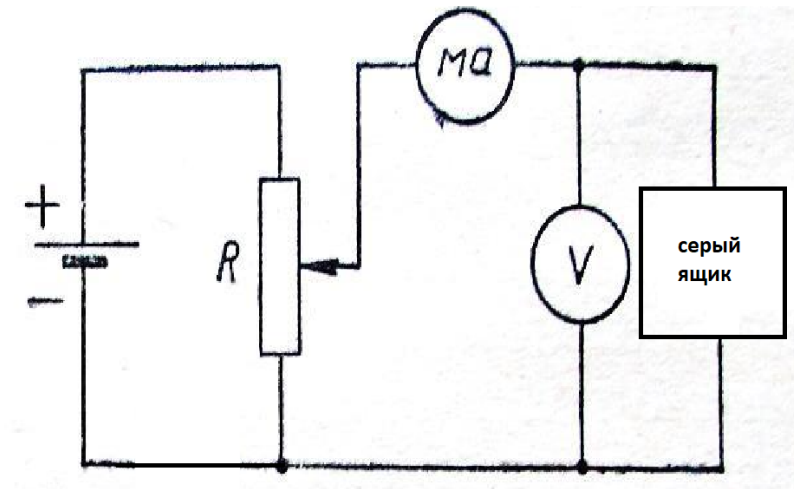
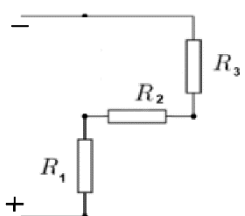


График зависимости тока от напряжения при обратном подключении показан на следующем рисунке:



В этом случае диоды всегда закрыты, и схема серого ящика эквивалентна последовательному соединению резисторов:

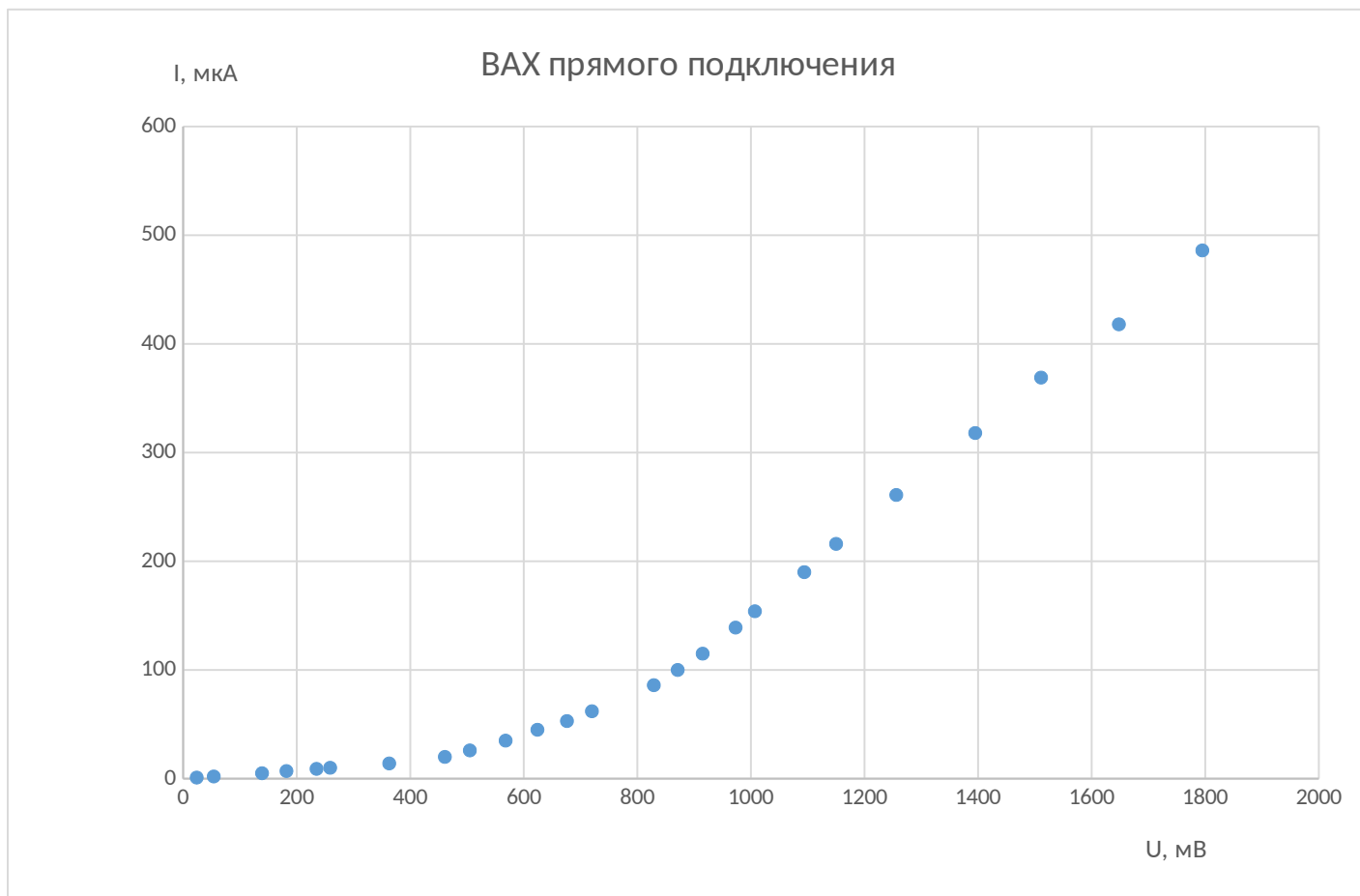


Сопротивление серого ящика в таком режиме

$$R_{\text{обр}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1)$$

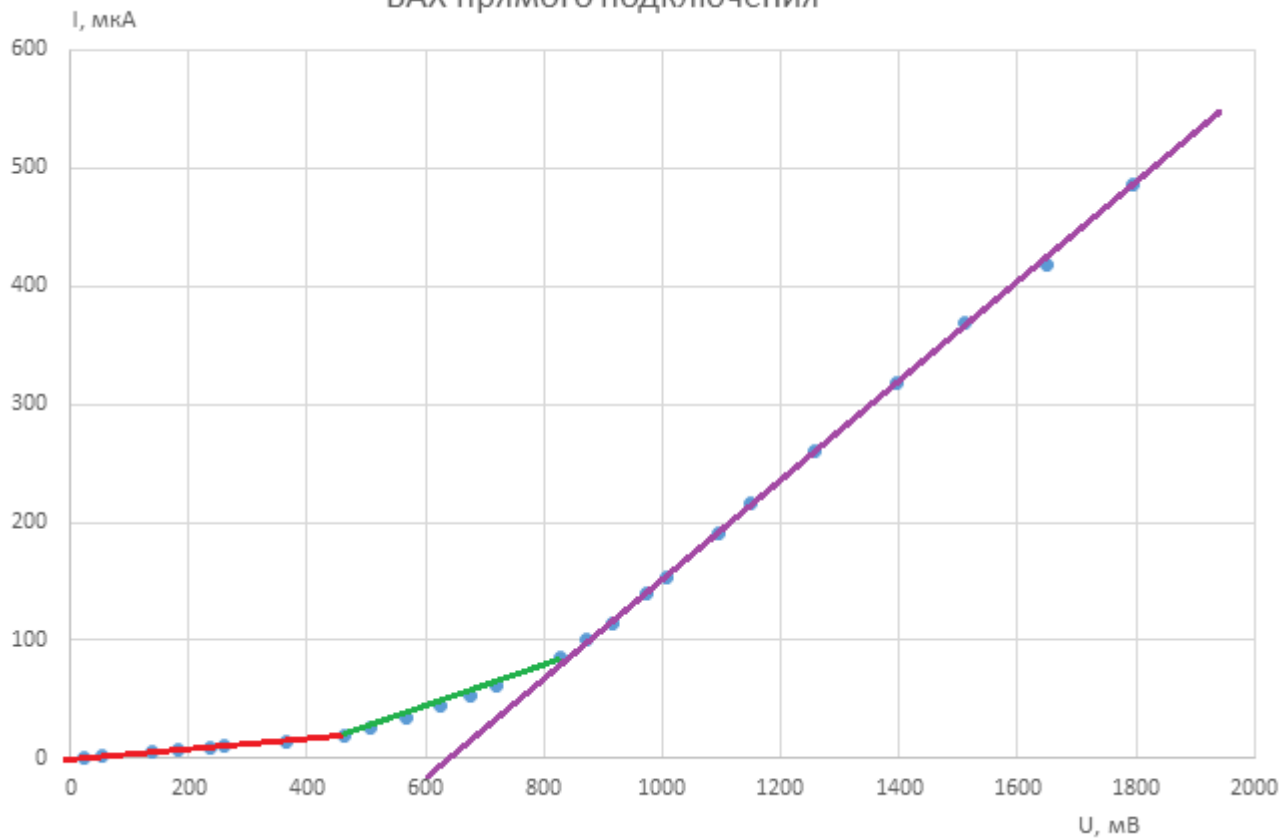
Определяем это же сопротивление по графику(как обратный угловой коэффициент полученной прямой) $R_{обр} = 28 \text{ кОм}$

График зависимости тока от напряжения при прямом подключении показан на следующем рисунке:



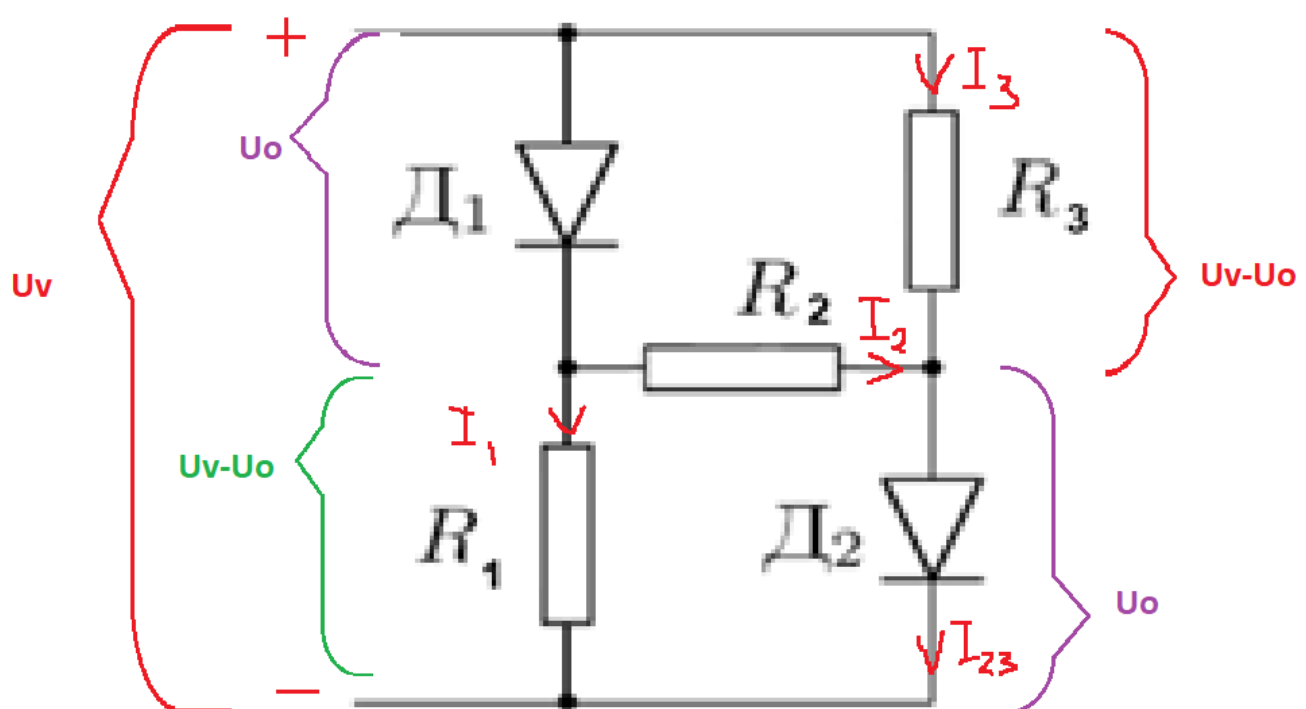
На графике легко заметить три участка: красный (оба диода еще закрыты), зеленый (диод 1 открыт, а диод 2 еще закрыт) и фиолетовый (оба диода открыты).

ВАХ прямого подключения



На первых двух участках слишком узкий диапазон измерений, да и ВАХ диода там не линейна, поэтому воспользуемся фиолетовой частью графика для определения сопротивлений.

В этом режиме оба диода открыты и напряжение на них фиксировано и равно напряжению открытия U_0 . Напряжение между выходами серого ящика U_v мы измеряем вольтметром. Тогда напряжение на первом резисторе $U_1 = U_v - U_0$, а на третьем $U_3 = U_v - U_0$. При больших напряжениях на сером ящике $2U_0 < U_v$, тогда ток через R_2 от большего потенциала к меньшему, как показано на рисунке:



Напряжение на втором резисторе $U_2 = (U_v - U_o) - U_o = U_v - 2U_o$

Из законов Кирхгофа получаем суммарный ток, идущий через серый ящик: $I_a = I_1 + I_2 + I_3$

Используя законы Ома для участка цепи получаем, что общий ток $I_a = \frac{U_v - U_o}{R_1} + \frac{U_v - 2U_o}{R_2} + \frac{U_v - U_o}{R_3}$

$$I_a = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) U_v - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) U_o$$

Отсюда видно, что угловой коэффициент фиолетовой прямой будет равен сумме обратных сопротивлений.

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = 0,44 \text{ кОм}^{-1} \quad (2)$$

Решая систему уравнений 1+2 с учетом равенства R_1 и R_2 получаем: $R_1 = R_2 = 5,2 \text{ кОм}$, $R_3 = 17,6 \text{ кОм}$

Что несколько отличается от реальных значений из-за приближения ВАХ диода

(в реальности $R_1 = R_2 = 4 \text{ кОм}$, $R_3 = 20 \text{ кОм}$)

Напряжение открытия можно оценить из пересечения фиолетового участка с осью напряжений $U^* = 640 \text{ мВ}$:

$$U^* \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) U_o, \text{ откуда } U_o = \frac{U^* \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)} = 446 \text{ мВ}.$$

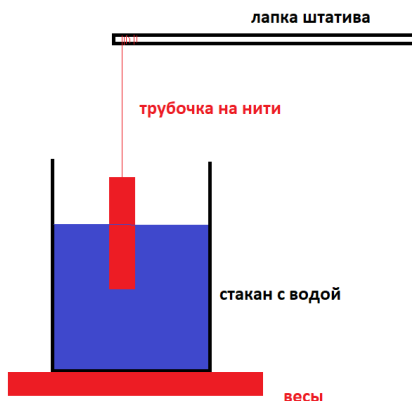
Критерии оценивания (максимум 15 баллов).

Нарисована схема для измерения ВАХ с использованием потенциометра, как делителя напряжений.	1
Измерена ВАХ обратного подключения (7 и более точек) (5-6 точек)	1 0,5
Измерена ВАХ прямого подключения (15 и более точек) (7-14 точек)	1 0,5
Построен график ВАХ обратного подключения	2
Получена теоретическая зависимость $I_a(U_v)$ при обратном подключении	1
По графику определена сумма всех сопротивлений	1
Построен график ВАХ прямого подключения	2
Получена теоретическая зависимость $I_a(U_v)$ при прямом подключении	2
По графику определена сумма обратных сопротивлений	1
Получены значения сопротивлений $R_1 = R_2$ (от 3 кОм до 6 кОм)	1

Получены значения сопротивления R3 (от 16 кОм до 22 кОм)	1
Рассчитано напряжение открытия диода (от 300 мВ до 600 мВ)	1

Решение 8.2 Механический серый ящик

Для определения искомых параметров, воспользуемся идее гидростатического взвешивания и соберем установку, схема которой представлена на рисунке:



Для определения глубины погружения трубочки, наклеим на трубочку полоску миллиметровки с нанесенными делениями и заклеим ее скотчем, защищая от намокания в воде. Трубочку нитью соединим с лапкой штатива. Поворачивая лапку штатива вокруг своей оси, можно плавно регулировать глубину погружения трубочки.

Сила Архимеда, действующая на трубочку, равна весу вытесненной жидкости:

$$F_a = \rho g V = \rho g (V_0 + Sh), \text{ где}$$

ρ – плотность воды

V_0 – изначально погруженный объем трубочки

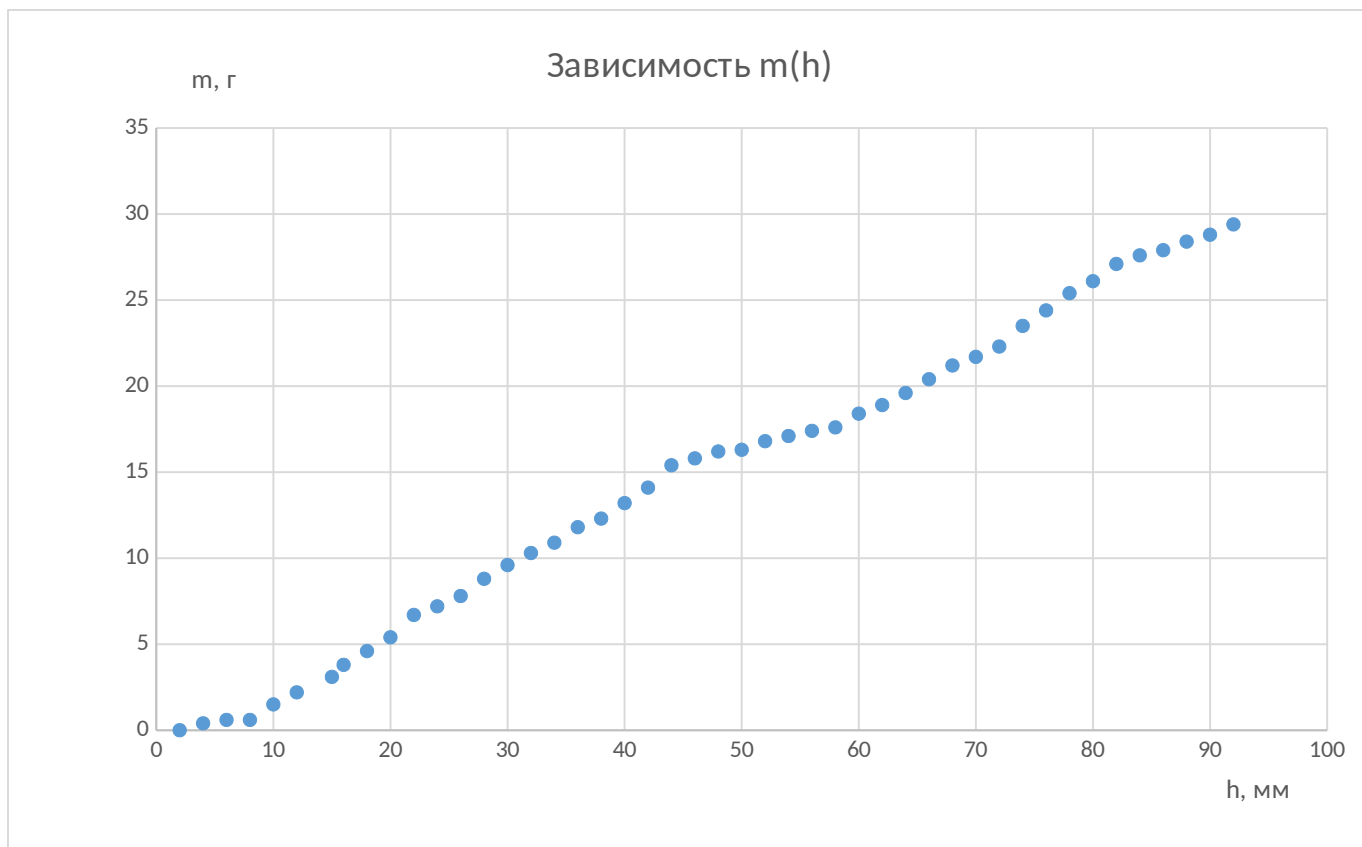
S – площадь сечения трубочки с цилиндром

h – глубина погружения, считая от начального уровня

Та же сила будет действовать на воду, и показания весов увеличатся на

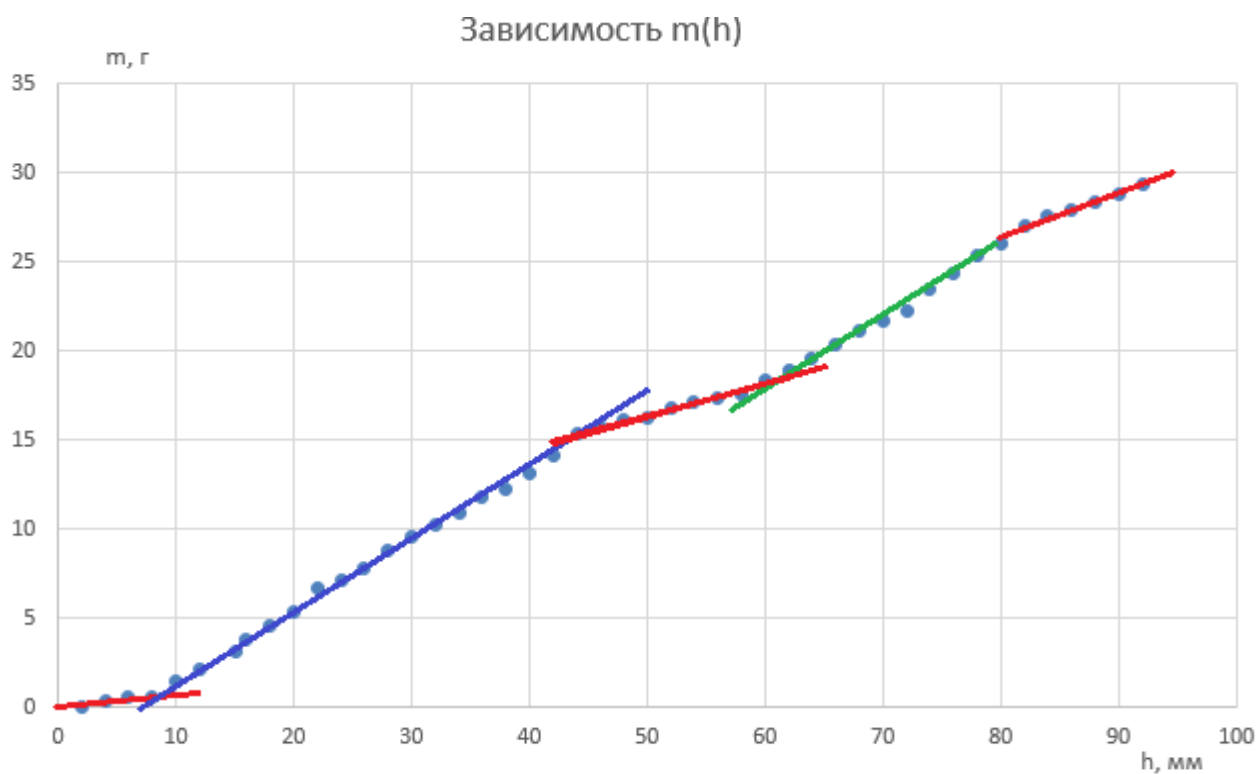
$$m = \frac{F_a}{g} = \rho (V_0 + Sh)$$

Измерим зависимость показаний весов от глубины погружения трубочки. График данной зависимости представлен ниже:



Линейные участки этой зависимости соответствуют постоянному сечению. Угловой коэффициент наклона этих участков равен $k = \rho S$

На графике видно 5 линейных участков, из которых второй и четвертый соответствуют области трубочки с цилиндром так как имеют наибольшие угловые коэффициенты.



По пересечениям полученных прямых находим границы цилиндров и их высоту:

$$H_1 = 4,3 \text{ см} - 0,9 \text{ см} = 3,4 \text{ см}$$

$$H_2 = 8,0 \text{ см} - 6,1 \text{ см} = 1,9 \text{ см}$$

Площадь сечения трубочки в области без цилиндров определяем по угловому коэффициенту участков без цилиндра

$$S_3 = \frac{k_3}{\rho} = 2,1 \text{ см}^2$$

По участкам с цилиндриками определяем суммарную площадь трубочки с цилиндром: $S_2 = \frac{k_2}{\rho} = 3,9 \text{ см}^2$

Находим площадь сечения цилиндров:

$$S_2 = S_2 - S_3 = 1,8 \text{ см}^2$$

$$S_2 = \pi R^2$$

$$R_2 = \sqrt{\frac{S_2}{\pi}} = 0,76 \text{ см} \approx 0,8 \text{ см}$$

Выполняя аналогичные действия для 4 участка получаем, что радиус цилиндров одинаков.

Учитывая, что толщина стенок d много меньше радиуса трубочки, можем считать площадь сечения трубочки, как произведения толщины стенок на длину окружности, которой является сечение трубочки

$$S_1 = dl$$

Длину этой окружности определяем, обматывая ниточку вокруг трубочки и измеряя длину намотанной нити по миллиметровке $l = 12,5 \text{ см}$.

$$d = \frac{S_1}{l} = 0,17 \text{ см}$$

Критерии оценивания (максимум 15 баллов).

Описана схема экспериментальной установки	1
Снята зависимость $m(h)$	
25 и более точек	2
От 15 до 24 точек	1
Построен график полученной зависимости. Или аналогичный ему.	2
Показано, что в трубочке 2 цилиндра	1
Определена высота цилиндра 1	
H (от 3,0 см до 3,4 см)	1
H (от 2,4 см до 3,0 см) или (3,4 см до 4,0 см)	0,5
Определена высота цилиндра 2	
H (от 1,3 см до 1,9 см)	1
H (от 1 см до 1,3 см) или (1,9 см до 2,2 см)	0,5
Посчитан угловой коэффициент на участке без цилиндра (если на нем есть 5 или более экспериментальных точек)	1
Посчитан угловой коэффициент на участке с цилиндром (если на нем есть 5 или более экспериментальных точек)	1
Определен радиус цилиндра	
R (от 0,6 см до 1 см)	2
R (от 0,4 см до 0,6 см) или (от 1 см до 1,2 см)	1
Определен радиус трубочки, или длина соответствующей ему окружности	1
Определена толщина стенок трубочки	
d (от 1,5 мм до 1,9 мм)	2
d (от 1,3 мм до 1,5 мм) или (от 1,9 мм до 2,1 мм)	1