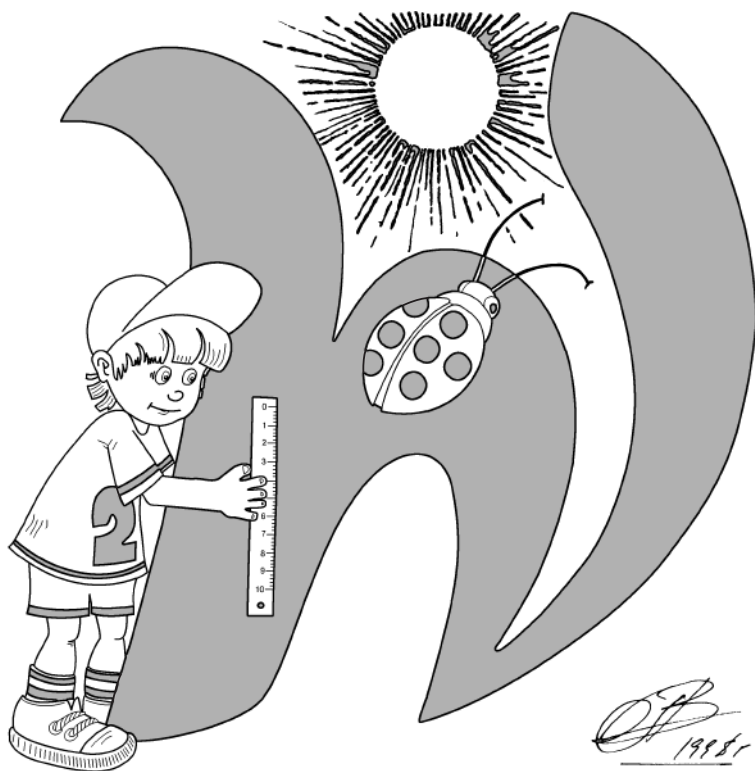


Министерство просвещения Российской Федерации  
Центральная предметно-методическая комиссия  
Всероссийской олимпиады школьников по физике

# Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Экспериментальный тур



Москва, 2025 г.

Комплект задач подготовлен  
центральной предметно-методической комиссией  
Всероссийской олимпиады школьников по физике  
E-mail: [physolymp@gmail.com](mailto:physolymp@gmail.com)

## Авторы задач

### Экспериментальный тур

#### 7-8 класс

- **7-Е1.** Александр Евсеев
- **7-Е2.** Олег Порошин
- **8-Е1.** Ольга Инишева
- **8-Е2.** Максим Еськин

#### 9-11 класс

- **9-Е1.** Антон Вергунов
- **9-Е2.** Денис Рубцов
- **10-Е1.** Денис Перовошиков, Денис Рубцов
- **10-Е2.** Алексей Заяц
- **11-Е1.** Денис Перовошиков, Денис Рубцов
- **11-Е2.** Алексей Заяц

## Как готовиться к региональному этапу?

В МФТИ запущен классный проект «Физтех-регионам» (<https://os.mipt.ru>), где в публичном бесплатном доступе лежат лекции и семинары по всем классам и по всем темам. Там же выложены подборки задач по темам. Уровень материалов позволяет хорошо подготовиться к муниципальному и региональному этапу Всероссийской олимпиады школьников по физике.

Если вы школьник, просто пользуйтесь доступными материалами. Если вы преподаватель или сотрудник регионального органа образования, то МФТИ готов помочь организовать на базе вашей школы или центра по работе с талантливыми детьми кружок по физике. Занятия будут проходить по программе «Физтех-регионам», и МФТИ не берет никаких денег за эти материалы. Единственное, вам нужно будет обеспечить работу преподавателя. Подобным образом функционируют кружки уже в более чем 40 регионах России.

В этом году в рамках работы проекта сняты видео-решения экспериментального тура регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике. Используйте эти материалы для самоподготовки к будущим олимпиадам. Ссылки на решения даны у заголовков задач в разделе «Возможные решения».

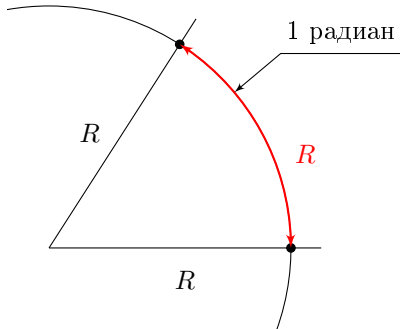
## 7 класс

## Задача №1. Радиян

**Оборудование:** три листа картона формата А4, ножницы, весы с точностью не менее 0,1 г, миллиметровка для построения графика.

В физике принято измерять углы в радианах. Радиян — это центральный угол, соответствующий дуге окружности, длина которой равна радиусу этой окружности. Любовь физиков к радианам не случайна. Многие физические формулы, в которых фигурируют углы, в радианах выглядят гораздо проще.

К заданию прилагаются шаблоны на двух листах А4. На одном из шаблонов приведены одинаковые круги, на которых показаны центральные углы равные половине и целому радиану. Также на распечатках присутствуют квадраты. Сторона каждого из этих квадратов в точности равна радиусу окружностей.



1. Используя выданные распечатки, картон и весы, снимите зависимость отношения массы  $m$  кругового сектора из картона с углом  $\alpha$  в радианах к массе  $M$  квадрата из картона, имеющего сторону, равную радиусу сектора, от угла  $\alpha$  —  $\frac{m}{M}(\alpha)$  (не менее 8 точек).

2. Постройте график этой зависимости.

3. Зависимость площади сектора от его радиуса  $R$  и угла  $\alpha$ , выраженного в радианах, имеет вид  $S_{\text{сектора}} = k\alpha R^2$ . Пользуясь графиком, определите коэффициент пропорциональности  $k$ .

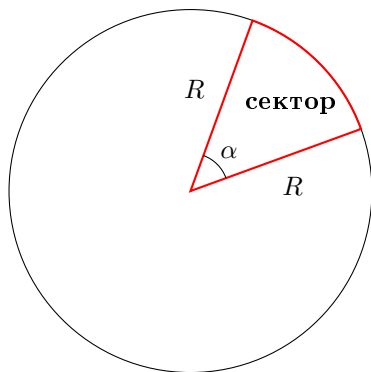
4. Экспериментально определите количество радиан в полном круге. **Важно! Теоретические выводы не засчитываются!**

5. Выведите формулу перевода радианов в градусы.

6. К заданию также приложена распечатка с изображением большого сектора, угол и радиус которого неизвестны. Определите угол этого сектора в градусах.

При выполнении работы можно пользоваться собственными пишущими принадлежностями для нанесения контуров для вырезания на бумаге и картоне.

**Транспортирами пользоваться запрещено!**



## Задача №2. Все плотности

**Оборудование:** 3 листа поликарбоната (пластиковый лист с ячеистой структурой), весы электронные, стакан с водой (плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$ ), шприц 2 мл (без иглы), линейка, салфетки для поддержания чистоты.

При помощи выданного вам оборудования определите:

1. поверхностную плотность листа поликарбоната;
2. объёмную плотность листа поликарбоната;
3. плотность материала, из которого изготовлен лист поликарбоната.

При выполнении работы неровностями ячеек поликарбоната можно пренебречь. Считайте, что они имеют прямоугольное сечение. Также считайте, что все искомые плотности у образцов поликарбоната одинаковы. А под поверхностной плотностью понимается поверхностная плотность приходящаяся на большую грань.

*Необходимые определения:* Поверхностной плотностью называют величину равную отношению массы тела к его площади:  $\sigma = \frac{m}{S}$ . Объёмной плотностью тела называют величину равную отношению массы тела к его полному объёму:  $\rho_{\text{тела}} = \frac{m}{V_{\text{тела}}}$ . Плотностью материала называют величину равную отношению массы тела к объёму материала, из которого оно изготовлено:  $\rho_{\text{мат-ла}} = \frac{m}{V_{\text{мат-ла}}}$ .

## 8 класс

### Задача №1. Утенок

Определите:

1. плотность неизвестной жидкости в стаканчике  $\rho$ ;
2. среднюю плотность утёнка  $\rho_{\text{ср}}$ ;
3. плотность материала  $\rho_{\text{м}}$ , из которого изготовлен утенок.

Плотность воды равна  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

Оценка погрешности в задаче не требуется.

*Внимание:* контейнер с водой имеет массу, превышающую 200 г, поэтому прямое помещение этой емкости на весы может вывести их из строя. В этом случае замены весов не будет. Выливать полностью из стаканчика неизвестную жидкость нельзя.

**Оборудование:** резиновый утенок с извлекаемой «пищалкой»; шприц без иглы 20 мл; электронные весы; стаканчик с неизвестной жидкостью; контейнер с чистой водой; две зубочистки; салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

### Задача №2. Гайки

1. Вырежьте из листа бумаги распечатанную фигуру по контуру. Определите координаты центра масс вырезанной фигуры. Постарайтесь сделать это с наибольшей точностью. Оцените погрешность определения координат центра масс.

2. Найдите массу одной из гаек.

**Оборудование:** лист бумаги с поверхностной плотностью  $\sigma_0 = 80 \text{ г/м}^2$  с напечатанной на нём фигурой неправильной формы с нанесенной миллиметровой сеткой, два листа картона, ножницы, кусок нитки, кнопка канцелярская, две одинаковые гайки, линейка или сантиметровая лента, лист миллиметровой бумаги для построения графика.

Поверхностная плотность листа картона считается известной и равной  $\sigma = 250 \text{ г/м}^2$ .

## 9 класс

### Задача №1. Тупая игла

При медленном движении поршня шприца масса  $m$  капли жидкости на конце иглы постепенно нарастает. Если шприц расположен вертикально, иглой вниз, то отрыв капли происходит при некотором значении  $m$ , которое можно определить по формуле:

$$m = \pi g^\alpha d^\beta \sigma_{\text{эф}}^\gamma,$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  — некоторые целые числа,  $\pi$  — безразмерный коэффициент, равный 3,14,  $g$  — ускорение свободного падения, равное  $9,8 \text{ м/с}^2$ ,  $d$  — внешний диаметр иглы,  $\sigma_{\text{эф}}$  — эффективный коэффициент поверхностного натяжения, зависящий от природы соприкасающихся сред. Единицы измерения коэффициента поверхностного натяжения — Н/м.

1. Укажите в работе внешние диаметры выданных Вам игл.
2. Определите показатели степеней  $\alpha, \beta$ , и  $\gamma$ .
3. Экспериментально исследуйте зависимость массы капли  $m$  от внешнего диаметра иглы  $d$ . Опишите метод определения массы капли  $m$ .
4. Постройте график полученной зависимости.
5. С помощью графика определите значение  $\sigma_{\text{эф}}$ .

**Оборудование:** набор из 7 игл с известными внешними диаметрами  $d$  (см. таблицу); шприц объёмом 1 мл; стакан с водой плотностью  $\rho_0 = 1,0 \text{ г/см}^3$ ; салфетки для поддержания чистоты; лист миллиметровой бумаги для построения графика.

**Внимание!** Оценка погрешностей в этой работе не требуется.

Ниже приведена таблица соответствия калибра иглы и её внешнего диаметра:

Калибр	16G	18G	19G	20G	22G	23G	27G
$d$ , мм	1,60	1,20	1,08	0,90	0,83	0,63	0,40

## Задача №2. Как снять ВАХ?

В этом экспериментальном задании оценивать погрешности **не нужно**.

В вашем распоряжении имеются два мультиметра. Первый мультиметр (на его корпусе присутствует отметка «№1») можно использовать только в режиме омметра. Второй мультиметр необходимо использовать лишь в качестве амперметра или вольтметра.

При подключении к омметру электрического элемента он показывает его статическое сопротивление, то есть отношение напряжения на элементе к силе тока через него  $R_{ст} = \frac{U}{I}$ .

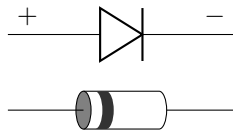
1. Определите сопротивления амперметра и вольтметра в режимах измерения постоянного тока и постоянного напряжения. Запишите значения измеренных сопротивлений для режимов амперметра с пределом измерений меньше 10 А и для режимов вольтметра с пределом измерений меньше 200 В.

2. Снимите вольтамперную характеристику диода в прямом направлении (см. рисунок ниже) в максимально широком диапазоне значений напряжений, считая известным, что характеристики обоих диодов одинаковые. Необходимое количество точек — не менее 11. Старайтесь, чтобы точки располагались равномерно по напряжениям. При промежуточных измерениях обязательно изображайте соответствующие электрические схемы с обозначением приборов и их режимами. Используйте таблицы с описанием качественной и количественной информацией об измерениях.

3. Постройте график полученной вами вольтамперной характеристики.

**Оборудование:** два мультиметра, соединительные провода, два **одинаковых** диода, лист миллиметровой бумаги для построения графика.

При подключении диода в электрическую цепь учитывайте его полярность. На рисунке показана схема подключения диода для его работы в прямом направлении.



## 10 класс

### Задача №1. Крупа в шприце

**Оборудование:** шприц 20 мл; ПВХ трубка; крупа в пластиковом стаканчике; мерная лента; канцелярский зажим; штатив с лапкой; 2 листа миллиметровой бумаги для построения графиков; малярный скотч (по требованию); пластиковая ёмкость с водой (воду можно попросить долить); салфетки для поддержания чистоты рабочего места.

**Задание.** С помощью выданного оборудования измерьте:

1. площадь внутреннего поперечного сечения ПВХ трубки  $S$  и оцените её погрешность  $\Delta S$ ;

2. атмосферное давление  $p_{\text{атм}}$ .

Достаньте поршень из шприца. Если шприц внутри мокрый, то тщательно удалите воду салфеткой. Поместите некоторое количество крупы в этот шприц. Верните поршень на место.

**Внимание!** Зерна крупы очень быстро намокают и увеличивают свой объём, поэтому их НЕЛЬЗЯ мочить. Решения допускающие контакт крупы с водой не будут оцениваться. Дополнительные порции крупы выдаваться не будут.

3. Определите пустотность  $\alpha$  крупы, т.е. отношение объёма воздуха между зёрнами к полному (насыпному) объёму, занимаемому крупой  $\alpha = \frac{V_{\text{возд}}}{V_{\text{насып}}}$ .

*Примечание 1.* При выполнении работы отдельные компоненты из перечня оборудования можно размещать как на столе, так и на полу.

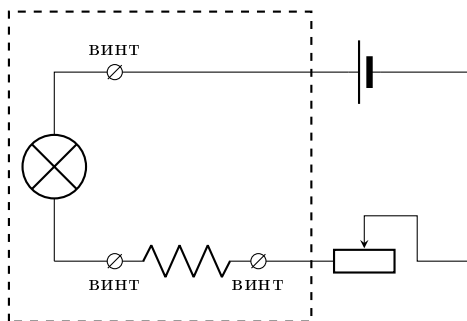
*Примечание 2.* Погрешность в задаче требуется оценить только для площади поперечного сечения в пункте 1.

*Примечание 3.* Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

### Задача №2. Лампочка — гори!

**Оборудование:** комплект для измерений с лампочкой, тремя контактами и выведенными наружу переменным резистором и колодкой для батарейки (схема соединения изображена на рис.); батарейка; мультиметр (в режиме вольтметра и омметра) с щупами; три листа миллиметровой бумаги для построения графиков.

**Задание.** Внутри лампы накаливания находится нить, сделанная из вольфрама — тугоплавкого металла, удельное сопротивление  $\rho$  которого сильно зависит от его температуры  $T$  (см. таблицу). Для проведения необходимых измерений используйте выданный Вам комплект, состоящий из последовательно соединённых между собой элементов: лампы накаливания, постоянного резистора, переменного резистора и батарейки. При расчётах считайте, что комнатная температура равна 300 К, а тепловым расширением вольфрама можно пренебречь.



- Комплект для измерений не разбирать!
- Горящую лампу руками не трогать!
- Во избежание разряда батарейки не держите цепь замкнутой, когда не производите измерений!
- Режимом амперметра пользоваться запрещено!

- Перед измерениями в режиме омметра необходимо отсоединить от цепи батарейку!
- В данной задаче расчёт погрешностей не требуется.

$T, \text{ К}$	300	500	700	900	1100	1300	1500
$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	5,65	10,48	15,75	21,35	27,23	33,29	39,50
$T, \text{ К}$	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900
$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	45,88	52,40	59,05	65,82	72,71	79,71	86,81

1. Основываясь на приведённой таблице, постройте график зависимости  $\rho/\rho_0$  от температуры нити  $T$ , где  $\rho$  — удельное сопротивление вольфрама при температуре  $T$ ,  $\rho_0$  — его удельное сопротивление при комнатной температуре  $T_0$ .

2. Определите сопротивление «холодной» лампы (сопротивление при комнатной температуре).

3. Экспериментально определите зависимость мощности  $P$ , выделяемой на лампе, от температуры вольфрамовой нити  $T$ , сняв не менее 15 точек. Постройте график полученной зависимости.

4. Основываясь на построенном в пункте 3 графике, сделайте обоснованный вывод о справедливости или несправедливости закона Ньютона-Рихмана  $P \sim (T - T_0)$ . В случае, если он справедлив только для некоторого диапазона температур, укажите этот диапазон.

5. Предполагая, что при больших температурах характер зависимости  $P(T)$  имеет вид  $P \sim T^n$ , определите  $n$ . Считайте, что  $n$  может принимать одно из целочисленных значений: 1, 2, 4 или 6.

## 11 класс

### Задача №1. Крупа в шприце

**Оборудование:** шприц 20 мл; ПВХ трубка; крупа в пластиковом стаканчике; мерная лента; канцелярский зажим; штатив с лапкой; 2 листа миллиметровой бумаги для построения графиков; малярный скотч (по требованию); пластиковая ёмкость с водой (воду можно попросить долить); салфетки для поддержания чистоты рабочего места.

*Задание.* С помощью выданного оборудования измерьте:

1. площадь внутреннего поперечного сечения ПВХ трубки  $S$  и оцените её погрешность  $\Delta S$ ;

2. атмосферное давление  $p_{\text{атм}}$ .

Достаньте поршень из шприца. Если шприц внутри мокрый, то тщательно удалите воду салфеткой. Поместите некоторое количество крупы в этот шприц. Верните поршень на место.



**Внимание!** Зерна крупы очень быстро намокают и увеличивают свой объём, поэтому их НЕЛЬЗЯ мочить. Решения допускающие контакт крупы с водой *не будут оцениваться*. Дополнительные порции крупы выдаваться не будут.

3. Определите пустотность  $\alpha$  крупы, т.е. отношение объёма воздуха между зёрнами к полному (насыпному) объёму, занимаемому крупой  $\alpha = \frac{V_{\text{возд}}}{V_{\text{насып}}}$ .

*Примечание 1.* При выполнении работы отдельные компоненты из перечня оборудования можно размещать как на столе, так и на полу.

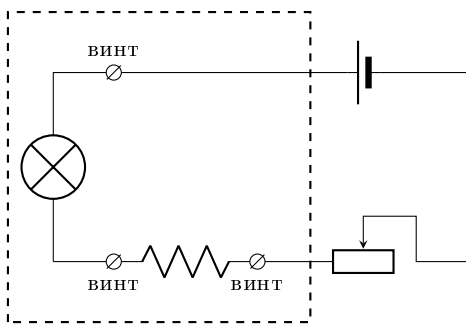
*Примечание 2.* Погрешность в задаче требуется оценить только для площади поперечного сечения в пункте 1.

*Примечание 3.* Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

## Задание №2. Лампочка — гори!

**Оборудование:** комплект для измерений с лампочкой, тремя контактами и выведенными наружу переменным резистором и колодкой для батарейки (схема соединения изображена на рис.); батарейка; мультиметр (в режиме вольтметра и омметра) с щупами; три листа миллиметровой бумаги для построения графиков.

*Задание.* Внутри лампы накаливания находится нить, сделанная из вольфрама — тугоплавкого металла, удельное сопротивление  $\rho$  которого сильно зависит от его температуры  $T$  (см. таблицу). Для проведения необходимых измерений используйте выданный Вам комплект, состоящий из последовательно соединённых между собой элементов: лампы накаливания, постоянного резистора, переменного резистора и батарейки. При расчётах считайте, что комнатная температура равна 300 К, а тепловым расширением вольфрама можно пренебречь.



- Комплект для измерений не разбирать!
- Горящую лампу руками не трогать!
- Во избежание разряда батарейки не держите цепь замкнутой, когда не производите измерений!
- Режимом амперметра пользоваться запрещено!
- Перед измерениями в режиме омметра необходимо отсоединить от цепи батарейку!
- В данной задаче расчёт погрешностей требуется только в последнем пункте.

$T, \text{ К}$	300	500	700	900	1100	1300	1500
$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	5,65	10,48	15,75	21,35	27,23	33,29	39,50
$T, \text{ К}$	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900
$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	45,88	52,40	59,05	65,82	72,71	79,71	86,81

1. Основываясь на приведённой таблице, постройте график зависимости  $\rho/\rho_0$  от температуры нити  $T$ , где  $\rho$  — удельное сопротивление вольфрама при температуре  $T$ ,  $\rho_0$  — его удельное сопротивление при комнатной температуре  $T_0$ .

2. Определите сопротивление «холодной» лампы (сопротивление при комнатной температуре).

3. Экспериментально определите зависимость мощности  $P$ , выделяемой на лампе, от температуры вольфрамовой нити  $T$ , сняв не менее 15 точек. Занесите результаты прямых измерений и расчётов в таблицу.

4. Предполагая, что при больших температурах ( $T \geq 800 \text{ К}$ ) характер зависимости  $P(T)$  имеет вид  $P \sim T^n$ , где  $n$  — целое число, определите величину  $n$ . Постройте график этой зависимости в таких координатах, где она имеет линейный вид.

5. Определите площадь излучающей поверхности нити накаливания лампы, используя данные справочника: вольфрамовая пластина площадью  $1 \text{ см}^2$  при температуре  $2000 \text{ К}$  излучает мощность  $22,5 \text{ Вт}$  (суммарно по всем частотам). Считайте, что вся потребляемая лампой мощность уходит на излучение. Оцените погрешность результата.

## Возможные решения

### Задача №7-Е1. Радиан (видеоразбор)

Вырежем из картона круги и квадраты. Взвесим их. Для увеличения точности измерений взвешиваем по 5 кругов и квадратов. Результат усредняем.

	Измерено (масса 5 штук)	Посчитано
Квадрат	1,86 г	0,372 г
Круг	5,84 г	1,168 г

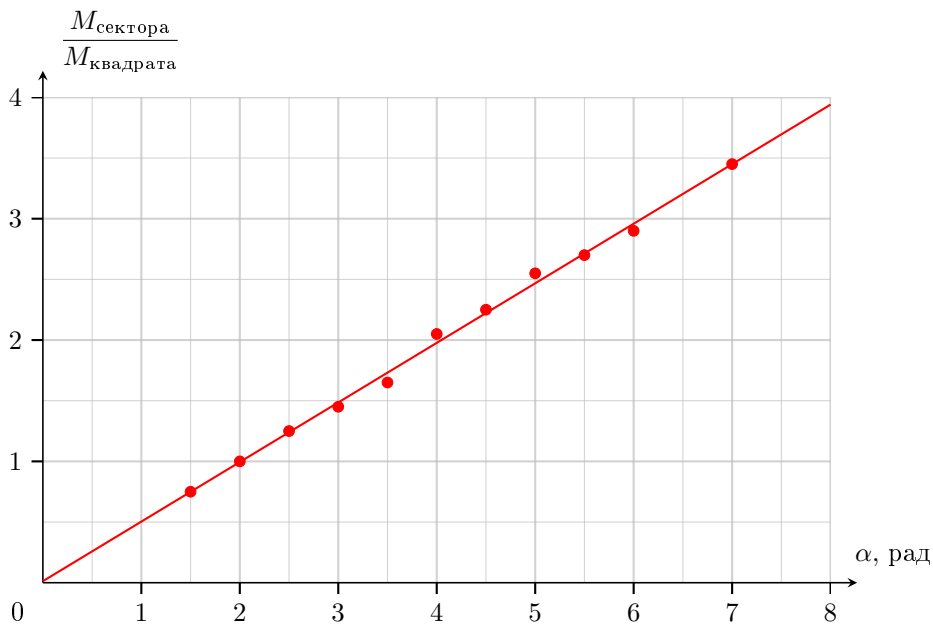
Также посчитаем отношение массы круга к массе квадрата:

$$\frac{M_{\text{круга}}}{M_{\text{квадрата}}} \approx 3,14$$

Вырезаем из картона секторы по 1 и 1,5 радиана (полурadianные секторы будут давать большую погрешность, поэтому выгоднее брать большие углы). Взвешиваем массы секторов с суммарно разными углами и считаем отношение к массе квадрата. Для большей точности можно взвешивание для одного и того же угла проводить несколько раз, используя разные секторы, и усреднять полученные результаты.

	Измерено	Посчитано
Угол, рад.	Масса, г	$\frac{M_{\text{сектора}}}{M_{\text{квадрата}}}$
1,5	0,28	0,75
2	0,36	0,97
2,5	0,45	1,21
3	0,53	1,42
3,5	0,61	1,64
4	0,76	2,04
4,5	0,84	2,26
5	0,95	2,55
5,5	1,00	2,69
6	1,08	2,90
7	1,28	3,44

Построим график. При построении графика учтем, что при нулевой массе сектора отношение масс должно в точности равняться нулю. То есть график будет выходить из начала координат.



По графику видно, что зависимость линейна. Выведем теоретическую формулу этой зависимости:

$$\frac{M_{\text{сектора}}}{M_{\text{квадрата}}} = \frac{\sigma k \alpha R^2}{\sigma R^2} = k \alpha$$

Из графика находим коэффициент  $k = \frac{4}{8} = 0,5$ . Таким образом:

$$S_{\text{сектора}} = 0,5 \alpha R^2$$

С учетом массы круга получим, что в полном круге примерно 6,28 радиан.

Тогда: 6,28 радиан равняется  $360^\circ$ . И значит, формула для перевода радианов в градусы ( $A$  — угол в градусах):  $A = \frac{360^\circ}{6,28} \alpha$

Вырежем из круга, с которым работали ранее при изучении зависимости, сектор с углом в пять раз большим, чем угол сектора на выданном листе. Для этого сначала подготовим шаблон. Вырежем большой сектор и, используя его в качестве трафарета отложим нужные углы на любом из кругов из первой распечатки. Далее вырежем получившийся шаблон из бумаги и уже по нему будем

вырезать сектор из картона. Его масса — 0,64 г. Тогда масса сектора с нужным нам углом в 5 раз меньше — 0,128 г.

С учетом предыдущих результатов, угол сектора:

$$\beta = \frac{2M_{\text{сектора}}}{M_{\text{квадрата}}} = \frac{2 \cdot 0,128 \text{ г}}{0,372 \text{ г}} \approx 0,69 \text{ рад} \approx 39,4^\circ$$

### Задача №7-Е2. Все плотности (видеоразбор)

Для определения всех плотностей понадобится масса пластины. Поэтому определяем её в первую очередь при помощи весов:  $m = 7,5$  г. Теперь для всех дальнейших вычислений нам понадобятся линейные размеры листа. Измерим его ширину  $L$  (размер поперечный внутренним полостям) при помощи линейки:  $L = 11,3$  см. Измерим высоту пластины  $H$  (размер вдоль внутренних полостей) при помощи линейки:  $H = 6$  см. Толщину листа  $b$  тоже измеряем линейкой. Для повышения точности сложим три листа вместе и измерим их суммарную толщину  $B$ . Затем разделим эту толщину на количество листов и получим толщину одного листа:  $b = 0,6$  см.

Рассчитаем все необходимые плотности. Поверхностная плотность:

$$\sigma = \frac{m}{S} = \frac{m}{LH} = \frac{7,5 \text{ г}}{11,3 \text{ см} \cdot 0,6 \text{ см}} \approx 1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^2}.$$

Объёмная плотность:

$$\rho_{\text{тела}} = \frac{m}{V_{\text{весь}}} = \frac{m}{L \times H \times b} = \frac{7,5 \text{ г}}{11,3 \text{ см} \times 6,1 \text{ см} \times 0,6 \text{ см}} \approx 0,18 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Найдем объём пластика, из которого сделана пластина. Для этого из объёма пластины необходимо вычесть объём всех ячеек, которые есть в пластине:  $V_{\text{пластика}} = V_{\text{весь}} - NV_0$ . Считаем количество ячеек  $N = 20$ . Далее необходимо определить объём одной ячейки.

**Способ №1:** Для этого набираем в шприц воду. Закрываем ячейку с одной стороны пальцем и аккуратно наливаем туда воду из шприца. По разности набранного объёма воды и оставшегося в шприце определяем объём ячейки  $V_0$ . Для увеличения точности необходимо измерить объём нескольких полостей (от 5 до 7) если значения объёмов будут отличаться не более чем на цену деления шприца, то полученные значения необходимо усреднить. Если объёмы полостей отличаются значительно (2 и более цены делений) то необходимо аккуратно промерить объёмы всех полостей, а затем сложить их.

**Способ №2:** Для повышения точности определения объёма полости можно сначала взвесить шприц с набранной водой. Затем заполнить полость водой из шприца. После этого взвесить массу шприца с оставшейся водой. Получившуюся разность масс в граммах разделить на плотность воды в  $\text{г}/\text{см}^3$  — это и будет объём полости в  $\text{см}^3$ .

Полученный объем одной полости составляет  $V_0 = 1,7 \text{ см}^3$ . Тогда:

$$\rho_{\text{мат-ла}} = \frac{m}{V_{\text{пластика}}} = \frac{7,5 \text{ г}}{(40,68 - 20 \times 1,7) \text{ см}^3} \approx 1,12 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

### Задача №8-Е1. Утенок (видеоразбор)

Определим плотность неизвестной жидкости. Для этого сначала измерим массу пустого шприца  $m_{\text{ш}}$ , затем заполним шприц неизвестной жидкостью, определим её объём  $V_{\text{ж}}$ , поместив на весы, определим массу шприца с жидкостью  $M = m_{\text{ш}} + m_{\text{ж}}$ . Плотность жидкости равна

$$\rho = \frac{M - m_{\text{ш}}}{V_{\text{ж}}}$$

Масса шприца  $m_{\text{ш}} = 11,26 \text{ г}$ , объём жидкости  $V_{\text{ж}} = 20 \text{ мл}$ . Измерения массы заполненного жидкостью шприца проводим не менее трех раз, после каждого измерения жидкость сливаем из шприца и заново заполняем ей шприц.

Масса шприца с жидкостью:

№	$M$ , г
1	32,70
2	32,78
3	32,74
4	32,65
5	32,71

Определяем среднее значение массы шприца с жидкостью  $M_{\text{ср}} = 32,72 \text{ г}$ . Плотность жидкости, которая использовалась авторами задачи, равна

$$\rho = \frac{(32,72 - 11,26) \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-6}} = 1073 \text{ кг/м}^3$$

Для определения плотности материала  $\rho_{\text{м}}$ , из которого изготовлен утенок, нужно измерить:  $m$  — массу утенка;  $V_{\text{вне}}$  — внешний объём утенка;  $V_{\text{вну}}$  — объём полости утенка.

Для определения массы утенка  $m$  воспользуемся весами. Масса утенка с вынутой «пищалкой» равна 4,34 г, если «пищалка» не вынута, то масса равна 4,47 г. Здесь и далее измеряются параметры утенка, рекомендованного для данной задачи в списке оборудования для регионального этапа. Параметры утенка, предложенного участникам в регионах, могут быть другими.

Для определения внешнего объема утенка воспользуемся методом гидростатического взвешивания. Помещаем стаканчик с жидкостью на весы, записываем показания весов  $M_1$  (либо тарируем их), с помощью двух зубочисток аккуратно так, чтобы утенок не касался стенок сосуда, полностью погружаем его в жидкость, записываем новые показания весов  $M_2$ . Так как разность показаний весов  $M_2 - M_1$  равна силе Архимеда, действующей на утенка, делённой на ускорение силы тяжести, то

$$\rho V_{\text{вне}} = M_2 - M_1$$

Таким образом можно определить внешний объём утёнка  $V_{\text{вне}}$ :

$$V_{\text{вне}} = \frac{M_2 - M_1}{\rho}$$

Измеренное значение  $M_1 = 153,64$  г.

Несколько раз произведем измерения  $M_2$ . Результаты измерений представлены в таблице

№	$M_2$ , г
1	166,68
2	167,78
3	166,74
4	167,98
5	168,12

Определим среднее значение  $M_2 = 167,46$  г.

Внешний объём утенка равен

$$V_{\text{вне}} = \frac{(167,46 - 153,64) \cdot 10^{-3}}{1073} = 12,89 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 12,89 \text{ мл}$$

Тогда средняя плотность утенка равна

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V_{\text{вне}}} \approx 337 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Для определения объема полости утенка нужно его полностью заполнить жидкостью. Заполнять можно как неизвестной жидкостью, плотность которой была уже определена, так и обычной водой. При заполнении внутреннего объёма с помощью шприца появляются воздушные полости, которые невозможно устранить, поэтому таким способом объём невозможно определить точно. Поэтому лучше всего заполнение производить в емкости обычной водой, погрузив

утенка полностью в воду и несколько раз сжав его и дав возможность полностью восстановить форму. Таким образом воздушные полости будут устранены. Определим массу заполненного водой утенка с помощью весов. Сделаем так несколько раз, сливая хотя бы частично воду из утенка, и заполняя его заново. Значение массы заполненного водой утенка определим как среднее арифметическое, получим 14,08 г. Объем внутренней полости равен

$$V_{\text{вну}} = \frac{(14,08 - 4,34) \cdot 10^{-3}}{1000} = 9,74 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 9,74 \text{ мл}$$

Определим плотность материала, из которого изготовлен утенок,

$$\rho_{\text{м}} = \frac{m}{V_{\text{вне}} - V_{\text{вну}}} = \frac{4,34 \cdot 10^{-3}}{(12,89 - 9,74) \cdot 10^{-6}} = 1,38 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1380 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

### Задача №8-Е2. Гайки (видеоразбор)

В авторском решении использовался картон с поверхностной плотностью  $\sigma = 256 \text{ г/м}^2$ .

Возможный метод определения координат центра масс (тяжести) следующий: нужно подвесить фигуру за любую точку и зафиксировать положение отвеса. Повторив действия еще для нескольких точек и найдя область, в которую попадают точки пересечения отвесных линий, получим положение центра масс (тяжести). Погрешность в определении координаты центра масс оценим как радиус этой области. Реализация этой идеи может быть различной:

- с помощью кнопки сделаем в фигуре несколько отверстий, подвесим фигуру на кнопке, держа ее в руке. Линия отвеса обеспечивается гайкой, привязанной к нити. Верхний конец нити можно прикрепить к острию кнопки.
- сделаем в листе бумаги несколько отверстий кнопкой у краев и подвесим фигуру на нитке при помощи этих отверстий. На нижний конец нити подвесим гайку.

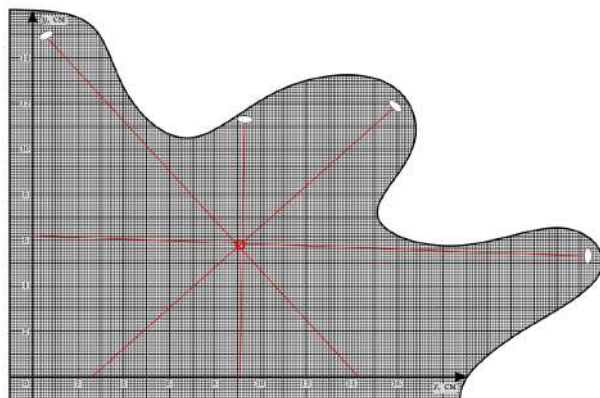
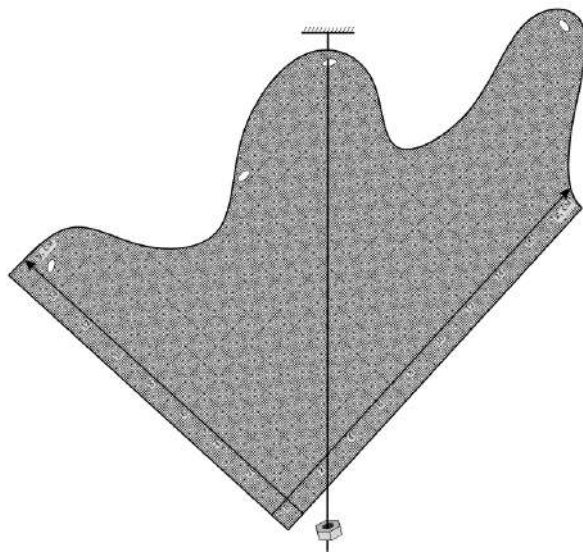
Использование для определения координат центра масс фигуры, вырезанной из бумаги, приводит к большой погрешности, так как лист бумаги при подвешивании изгибается, что приводит к смещению центра масс. Поэтому для увеличения точности следует перенести фигуру на лист картона и определение области, в которой находится центр масс, провести с её использованием. После этого можно с помощью кнопки перенести полученную область на лист бумаги с миллиметровой сеткой, и определение координат центра масс произвести уже на нём.

Координата центра масс фигуры:

$$x = 9,1 \pm 0,2 \text{ см}$$

$$y = 5,8 \pm 0,2 \text{ см}$$





Для определения массы гайки нам понадобится масса фигуры из бумаги или фигуры из картона. Так как поверхностные плотности бумаги и картона известны, то определить массы можно, найдя площадь фигур  $S$ . Масса бумажной фигуры  $m_0$  равна

$$m_0 = \sigma_0 S$$

Масса фигуры из картона  $m$  равна

$$m = \sigma S$$

Для определения площади воспользуемся методом палетки. Берем фигуру из бумаги, с помощью сетки она поделена на квадраты площадью  $S_0 = 1 \text{ см}^2$ . Посчитаем количество полных квадратов и количество неполных квадратов, определим площадь фигуры

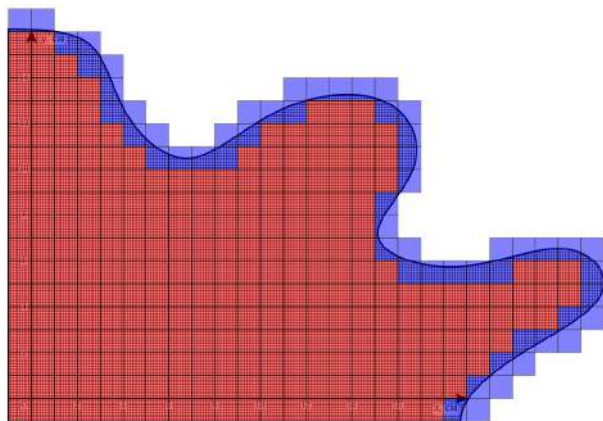
$$S = 256S_0 + \frac{1}{2} \cdot 57S_0 = 284,5 \text{ см}^2$$

Найдем массу фигуры из бумаги:

$$m_0 = \sigma_0 S = 2,28 \text{ г}$$

Найдем массу картонной фигуры:

$$m = \sigma S = 7,28 \text{ г}$$



Найдем массу гайки.

Основная идея следующая: к фигуре либо из бумаги, либо из картона в разные точки подвешивается гайка, определяется положение центра масс полученной системы (положение точки, в которой должна находиться опора, чтобы полученная система находилась в равновесии).

Способы реализации:

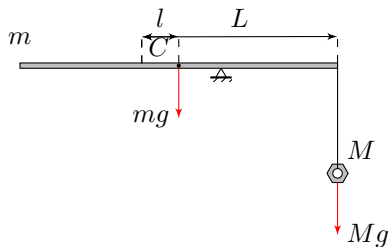
А) применимы и для бумажной и для картонной фигуры. Из фигуры делаем рычаг (сворачиваем в трубочку или складываем гармошкой), на фигурный конец в разные места подвешиваем гайку на нити, помещаем на край стола, так чтобы гайка на нити висела свободно, аккуратно выдвигаем свисающий край рычага и определяем крайнее положение точки опоры, при котором рычаг (сложенная фигура) ещё остаётся горизонтальным. При сворачивании фигуры следует убедиться, что положение центра масс  $C$  по линии сворачивания (сгибания) остаётся прежним, либо заново его определить.

Запишем правило моментов для крайнего положения относительно точки опоры

$$mgl = MgL$$

Отсюда

$$L = \frac{m}{M}l \quad (*)$$



Возможно измерение массы гайки из углового коэффициента наклона графика  $L(l)$ , либо для увеличения точности производим измерения несколько раз (не менее пяти) при максимально возможных значениях плеч, по формуле (\*) рассчитываем значение массы гайки  $M$ .

$l$ , см	$L$ , см	$M$ , г
6,0	7,9	5,53
5,9	7,9	5,44
6,1	7,8	5,69
6,1	7,9	5,62
6,0	8,0	5,46

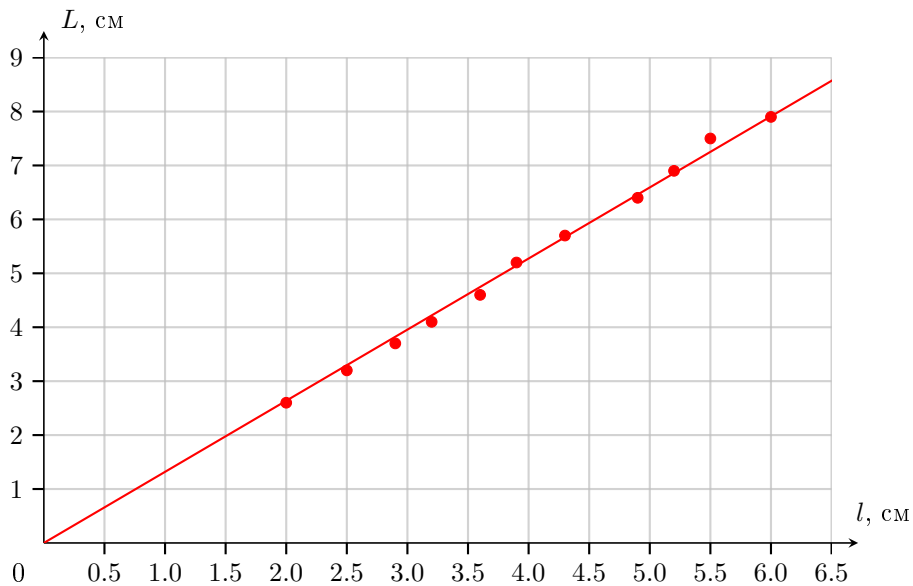
Среднее значение массы гайки

$$M_{\text{ср}} = 5,55 \text{ г}$$

Результаты измерения для построения графика  $L(l)$  приведены в таблице.

$N$	$l$ , см	$L$ , см
1	6,0	7,9
2	5,5	7,5
3	5,2	6,9
4	4,9	6,4
5	4,3	5,7
6	3,9	5,2
7	3,6	4,6
8	3,2	4,1
9	2,9	3,7
10	2,5	3,2
11	2,0	2,6

График зависимости  $L(l)$  приведен на рисунке.



Определим угловой коэффициент наклона графика  $k$

$$k = \frac{\Delta L}{\Delta l} = \frac{7,9}{6,0} = 1,32$$

Так как угловой коэффициент  $k$  равен отношению масс

$$k = \frac{m}{M},$$

то масса гайки равна

$$M = \frac{m}{k} = \frac{7,28}{1,32} = 5,52 \text{ г}$$

Б) применим только для картонной фигуры, так как бумажная будет прогибаться под тяжестью гайки. Можно на фигуре провести отрезок прямой линии, проходящей через центр масс, желательнее имеющий наибольшую длину (для увеличения точности измерений). На этой прямой в нескольких точках сделать проколы кнопкой, затем с помощью нити к этим точкам подвешивать гайку. А затем используем метод, описанный в варианте А.

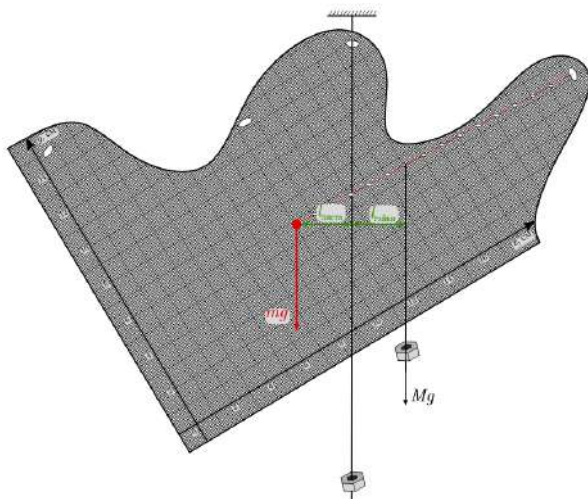
В) применим и для бумажной и для картонной фигур. Будем подвешивать фигуру на нити, как это делалось раньше. К фигуре прикрепим гайку на нити, при помощи предварительно проделанных отверстий. Таким образом появляется момент силы тяжести гайки, который уравнивается моментом сил тяжести фигуры. Запишем правило моментов системы относительно точки подвеса:

$$mgl_{\text{фигуры}} = Mgl_{\text{гайки}},$$

где  $M$  — масса гайки. Плечи сил определяем, измерив расстояния от вертикальной линии. Снимем зависимость плеча силы тяжести гайки  $l_{\text{гайки}}$  от плеча силы тяжести листа  $l_{\text{фигуры}}$ . Для этого проделаем несколько отверстий на линии соединяющей центр масс и самую удаленную точку от центра масс (таким образом добиваемся большей точности измерений за счет большего плеча). Из правила моментов получаем выражение для массы гайки:

$$M = m \frac{l_{\text{листа}}}{l_{\text{гайки}}}$$

Отношение плеч определяем по коэффициенту наклона графика  $l_{\text{гайки}}(l_{\text{листа}})$ .



### Задача №9-Е1. Тупая игла (видеоразбор)

Внешние диаметры игл, использовавшихся в авторском оборудовании:

$d$ , мм	0,40	0,70	0,80	0,90	1,03	1,25	1,60
----------	------	------	------	------	------	------	------

Показатели степеней  $\alpha$ ,  $\beta$ , и  $\gamma$  определим, проанализировав единицы измерений. Так как масса капли в момент отрыва может быть найдена по формуле  $m = \pi g^\alpha d^\beta \sigma_{\text{эф}}^\gamma$ , получаем:

$$\text{кг} = \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2}\right)^\alpha \cdot \text{М}^\beta \cdot \left(\frac{\text{Н}}{\text{М}}\right)^\gamma = \frac{\text{М}^{\alpha+\beta} \text{кг}^\gamma}{\text{с}^{2\alpha+2\gamma}}.$$

Тогда:

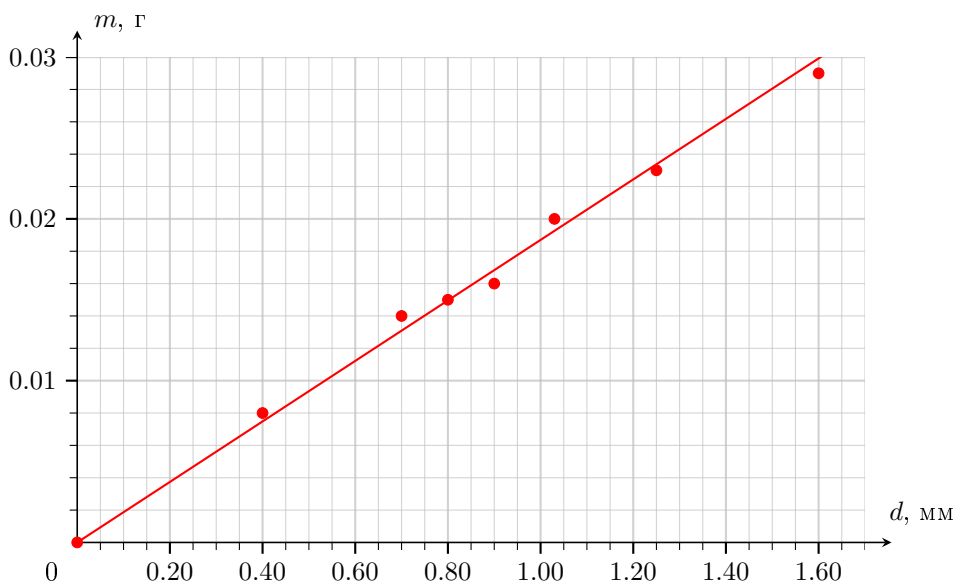
$$\gamma = 1; 2\alpha + 2\gamma = 0 \Rightarrow \alpha = -1; \alpha + \beta = 0 \Rightarrow \beta = 1.$$

Следовательно, зависимость  $m(d)$  имеет вид:

$$m = \frac{\pi \sigma_{\text{эф}} d}{g}.$$

Исследуем зависимость массы капли  $m$  от диаметра иглы  $d$ . Будем считать количество капель  $N$  в некотором объеме шприца  $V$  для разных игл. Массу капли  $m$  для каждой иглы будем рассчитывать по формуле:  $m = \rho_0 V / N$ .

$d$ , мм	$V$ , мл	$N$ , шт	$m$ , г
1,60	0,93	32	0,029
1,25	0,85	37	0,023
1,03	0,98	50	0,020
0,90	0,78	47	0,016
0,80	0,83	55	0,015
0,70	0,78	56	0,014
0,40	0,73	87	0,008



С помощью графика найдём угловой коэффициент наклона  $k = \frac{\pi\sigma_{\text{эф}}}{g} \approx 0,019$  г/мм. Тогда:

$$\sigma_{\text{эф}} = \frac{kg}{\pi} \approx 0,059 \text{ Н/м.}$$

### Задача №9-Е2. Как снять ВАХ? (видеозабор)

Подключим омметр к амперметру/вольтметру. Сопротивление вольтметра во всех диапазонах  $R_V = 1,0$  МОм. Сопротивление амперметра  $R_A^{2000\mu} = 105,7$  Ом,

$R_A^{20m} = 15,8 \text{ Ом}$ ,  $R_A^{200m} = 5,0 \text{ Ом}$ . Для разных типов мультиметра значения сопротивлений, а также количество режимов амперметра/вольтметра могут быть различны.

В данном задании использовались германиевые диоды Д9Б, имеющие небольшое напряжение открытия.

Будем подключать к омметру различные комбинации из диодов (один диод, два последовательно или два параллельно соединенных диода). Параллельно омметру подключим вольтметр. Снимем зависимость показаний омметра и вольтметра в зависимости от комбинации диодов и от режима омметра. Выведем формулы пересчета показаний этих приборов в силу тока и напряжение на одном диоде с учетом одинаковости диодов и «идеальности» вольтметра. «Идеальность» вольтметра здесь означает, что показания омметра (а значит статические сопротивления диодов) существенно меньше сопротивления вольтметра.

Комбинация диодов	Режим омметра	$R$ , кОм	$U_V$ , мВ	Формулы пересчета	$I$ , мА	$U$ , мВ
один диод	2000k	21	5,8	$U = U_V$ $I = \frac{U_V}{R}$	0,000	5,8
	200k	13	32,6		0,003	32,6
	20k	5,07	82,8		0,016	82,8
	2000	0,262	275		1,050	275
	200	0,1824	304		1,667	304
два последовательно соединенных диода	2000k	36	12,6	$U = \frac{U_V}{2}$ $I = \frac{U_V}{R}$	0,000	6,3
	200k	23,7	66,2		0,002	33,1
	20k	10,98	152,8		0,014	76,4
	2000	0,577	542		0,940	271
два параллельно соединенных диода	2000k	8	2,3	$U = U_V$ $I = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_V}{R}$	0,000	2,3
	200k	6,6	17,4		0,001	17,4
	20k	3,16	58		0,009	58
	2000	0,219	235		0,537	235
	200	0,1553	265		0,853	265

Проблема полученных точек — их неравномерность по напряжениям. Мы имеем множество точек при напряжениях диода от 0 до 100 мВ и от 200 мВ до 300 мВ. Однако отсутствуют промежуточные точки, соответствующие выходу диода на режим открытия. Их можно получить, используя вместо вольтметра амперметр.

Таблица измерений для параллельного соединения амперметра в режиме с пределом измерений  $2000\mu$ , омметра и одного диода, где:  $I_A$  — показания амперметра,  $R$  — показания омметра,  $I$  — сила тока через один диод,  $U$  — напряжение на одном диоде.

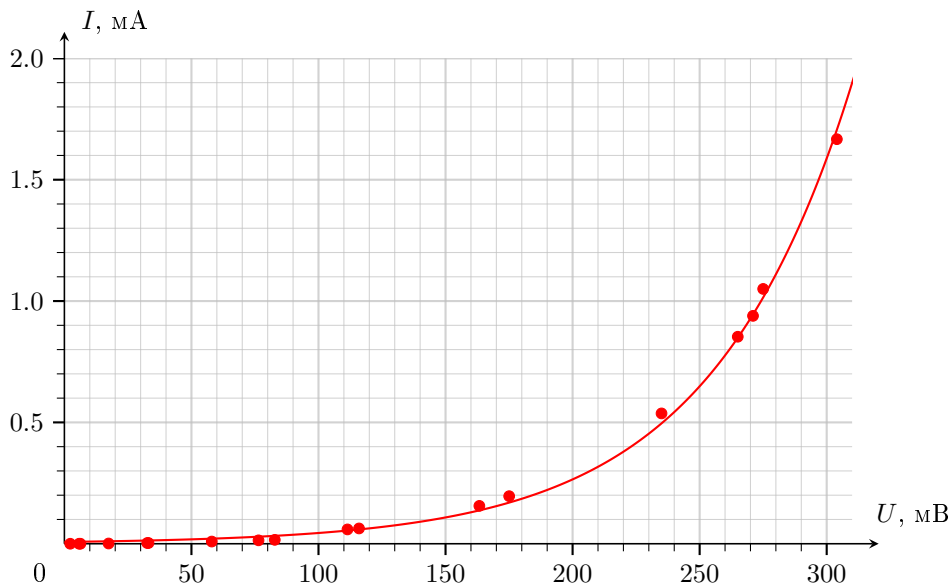


№	Режим омметра	$I_A$ , мА	$R$ , Ом	Формулы пересчета	$I$ , мА	$U$ , мВ
1	200 Ом	1,656	94,5	$U = I_A R_A^{2000\mu}$	0,196	175,0
2	2000 Ом	1,097	100	$I = I_A \left( \frac{R_A^{2000\mu}}{R} - 1 \right)$	0,063	116,0

Таблица измерений для параллельного соединения амперметра в режиме с пределом измерений  $2000\mu$ , омметра и двух диодов:

№	Режим омметра	$I_A$ , мА	$R$ , Ом	Формулы пересчета	$I$ , мА	$U$ , мВ
3	200 Ом	1,545	87,9	$U = I_A R_A^{2000\mu}$	0,156	163,3
4	2000 Ом	1,054	95	$I = \frac{1}{2} I_A \left( \frac{R_A^{2000\mu}}{R} - 1 \right)$	0,059	111,4

Построим график вольтамперной характеристики.



**Задача №10-Е1. Крупа в шприце (видеоразбор)**

Набираем в шприц воду, плотно присоединяем к нему трубку и наполняем трубку водой объёмом  $V$  мл без воздушных промежутков. Измеряем длину участка, заполненного водой  $L$ . Тогда площадь внутреннего сечения будет  $S = V/L$ . Для увеличения точности измерение для одного и того же объёма воды  $V = 14$  мл проведём три раза, данные занесем в таблицу.

$L_1$ , см	$L_2$ , см	$L_3$ , см	$L_{\text{ср}}$ , см
111,4	111,5	111,0	111,3

По результатам измерений вычисляем площадь поперечного сечения:  $S = V/L = 12,6 \text{ мм}^2$ .

Погрешность измерения длины складывается из случайной и систематической. Систематическая погрешность определяется как  $\Delta L_{\text{сист}} = 2$  мм при условии, что измерения проведены аккуратно (иначе надо добавить ещё около 3 мм, если трубка перед измерением не была тщательно выпрямлена). Случайная погрешность может быть найдена как среднее модулей отклонения отдельных измерений:  $\Delta L_{\text{случ}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |L_i - L_{\text{ср}}| = 2$  мм. Итоговая абсолютная погрешность составляет:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta L_{\text{случ}}^2 + \Delta L_{\text{сист}}^2} \approx 3 \text{ мм.}$$

Относительная погрешность длины:  $\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L_{\text{ср}}} = 0,003$  или 0,3%.

Погрешность измерения объёма определяется шкалой шприца и составляет половину цены деления:  $\Delta V = 0,5$  мл. Относительная погрешность  $\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V} = 0,036$  или 3,6%.

Площадь поперечного сечения равна отношению объёма и длины. Поскольку относительная погрешность объёма значительно больше, то по ней определяем искомую погрешность измерения:  $\varepsilon_V = \varepsilon_S$ . Тогда абсолютная погрешность измерения сечения:  $\Delta S = \varepsilon_S \cdot S = 0,5 \text{ мм}^2$

Штатив помещаем на край стола. Один конец мерной ленты зажимаем в лапке штатива, а другой приклеиваем скотчем к полу так, чтобы мерная лента была расположена вертикально. Ёмкость с водой ставим на пол, набираем воду в трубку без воздушных промежутков. При помощи канцелярского зажима крепим трубку к краю сосуда так, чтобы нижний конец трубки находился под поверхностью воды в течение всех измерений. Поршень пустого шприца выставляем на деление  $V_0 = 20$  мл. Аккуратно погружая носик шприца на 1-2 мм в воду (вода не должна попасть внутрь шприца!), присоединяем к шприцу второй конец полностью заполненной водой трубки. Держим шприц только за верхнюю часть корпуса, чтобы воздух в нём не нагревался от контакта с рукой!

Поднимая шприц вверх вдоль мерной ленты, измеряем высоту столба жидкости в трубке  $h$  и длину участка трубки с воздухом  $l$ . Поршень шприца был установлен на 20 мл, если он двинулся в сторону уменьшения объёма, принудительно возвращаем его на отметку 20 мл перед каждым измерением! Или держим шприц так, чтобы поршень не мог сдвигаться с места.

$h$ , см	7,1	15,6	24,4	32,8	41,3	49,5	57,9	66,3	74,9	83,5
$l$ , см	2,9	4,4	5,6	7,2	8,7	10,5	12,1	13,7	15,1	16,5

При стыковке носика шприца и трубки происходят небольшие изменения давления и объёма ( $\Delta p$  и  $\Delta V$ ), которые приводят к смещению начальных значений  $p_{\text{атм}}$  и  $V_0$ . Поэтому точку  $(0, 0)$  не будем учитывать при исследовании полученной зависимости.

Температура воздуха внутри шприца не меняется:

$$p_{\text{атм}} V_0 = (p_{\text{атм}} - \rho gh + \Delta p)(V_0 + Sl + \Delta V).$$

Откуда получаем:

$$\rho gh = \frac{p_{\text{атм}} Sl}{V_0 + Sl} + A,$$

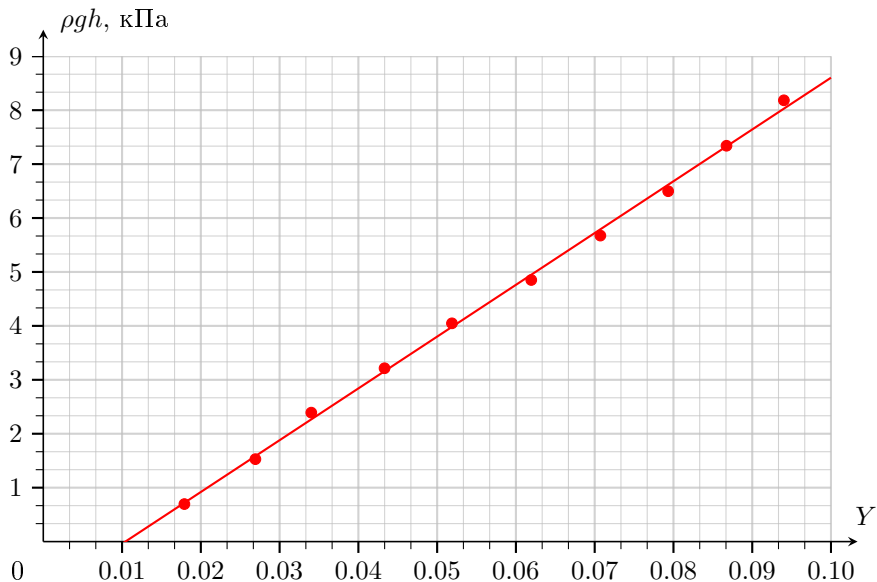
где  $A \approx p_{\text{атм}} \Delta V / V_0 + \Delta p$  — смещение начальной точки. Построим график  $\rho gh(Y)$ , где  $Y = Sl / (V_0 + Sl)$ .

Из графика получаем:  $p_{\text{атм}} \approx 96$  кПа.

В шприц объёмом 20 мл насыпаем  $V_{\text{насып}} = 20$  мл крупы. Объём крупы  $V_{\text{насып}}$  выбираем как можно больший для того, чтобы  $V_{\text{возд}}$  был максимально большим для повышения точности измерений. Трясем и плотно прижимаем поршнем. Штатив помещаем на край стола. Один конец мерной ленты зажимаем в лапке штатива, а другой приклеиваем скотчем к полу так, чтобы мерная лента была расположена вертикально. Ёмкость с водой ставим на пол, набираем воду в трубку без воздушных промежутков. При помощи канцелярского зажима крепим трубку к краю сосуда так, чтобы нижний конец трубки находился под поверхностью воды в течение всех измерений. Аккуратно погружая носик шприца на 1-2 мм в воду (вода не должна попасть внутрь шприца!), присоединяем к шприцу второй конец полностью заполненной водой трубки. Держим шприц только за верхнюю часть корпуса, чтобы воздух в нём не нагревался от контакта с рукой!

Поднимая шприц вверх вдоль мерной ленты, измеряем высоту столба жидкости в трубке  $h$  и длину участка трубки с воздухом  $l$ .

$h$ , см	8,1	17,3	26,6	35,6	44,8	54	63,6	72,3	81,6	90,8
$l$ , см	1,9	2,7	3,4	4,4	5,2	6	6,4	7,7	8,4	9,2



По тем же причинам, что и в предыдущем пункте, точку  $(0, 0)$  не будем учитывать при исследовании полученной зависимости.

Температура воздуха внутри шприца не меняется:

$$p_{\text{атм}} V_{\text{возд}} = (p_{\text{атм}} - \rho gh + \Delta p)(V_{\text{возд}} + Sl + \Delta V).$$

С учетом определения пустотности из условия  $\alpha = V_{\text{возд}}/V_{\text{насып}}$ , получаем:

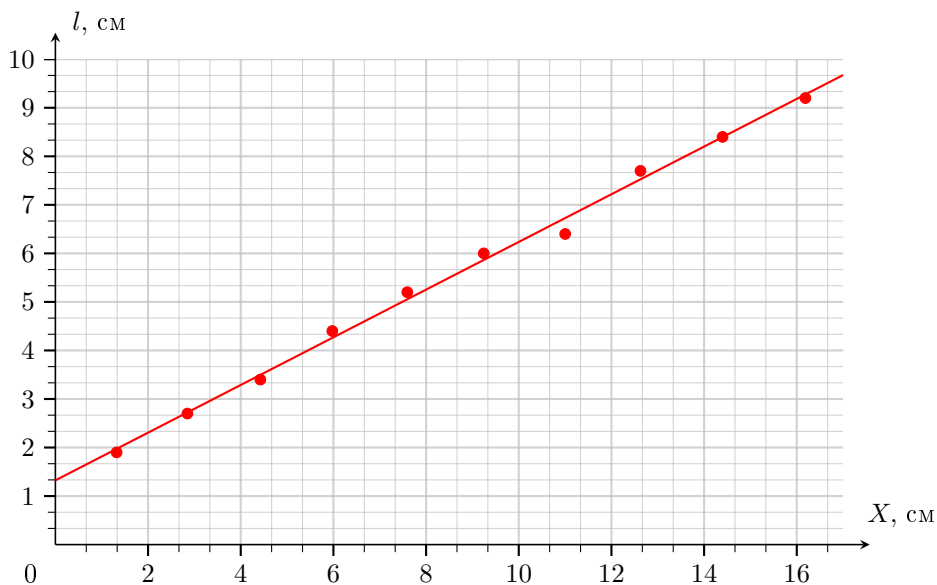
$$l = \alpha \cdot \frac{\rho gh V_{\text{насып}}}{S(p_{\text{атм}} - \rho gh)} - B.$$

Здесь  $B \approx \frac{V_0 \Delta p}{S p_{\text{атм}}} + \frac{\Delta V}{S}$  — смещение начальной точки. Построим график  $l(X)$ , где  $X = \rho gh V_{\text{насып}} / (S(p_{\text{атм}} - \rho gh))$ .

Из графика получаем:  $\alpha \approx 0,49$ .

### Задача №10-Е2. Лампочка — гори! (видеоразбор)

Используя таблицу, приведённую в условии, вычислим  $\rho/\rho_0$  для каждого значения температуры (см. таблицу 1) и построим график зависимости  $\rho/\rho_0$  от  $T$  (рис. 1).



$T, \text{ К}$	300	500	700	900	1100	1300	1500
$\rho/\rho_0$	1,00	1,85	2,79	3,78	4,82	5,89	6,99
$T, \text{ К}$	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900
$\rho/\rho_0$	8,12	9,27	10,45	11,65	12,87	14,11	15,36

Переключим мультиметр в режим омметра и, не замыкая цепь (то есть не подключая батарейку), измерим сопротивление лампы при комнатной температуре:

$$R_0 = 34,0 \text{ Ом.}$$

Не замыкая цепь, измерим с помощью омметра сопротивление резистора, соединённого последовательно с лампой:  $r = 81,3 \text{ Ом}$ . Выведем сопротивление реостата на максимум и замкнём цепь (то есть вставим батарейку в колодку). С помощью вольтметра будем измерять напряжение на лампе  $U_{\text{л}}$  и напряжение на резисторе  $U_{\text{r}}$ , постепенно уменьшая сопротивление реостата, и занесём результаты измерений в таблицу. Вычислим для каждого положения ручки реостата мощность  $P$ , выделяемую на лампе, по формуле

$$P = U_{\text{л}} I = \frac{U_{\text{л}} U_{\text{r}}}{r},$$

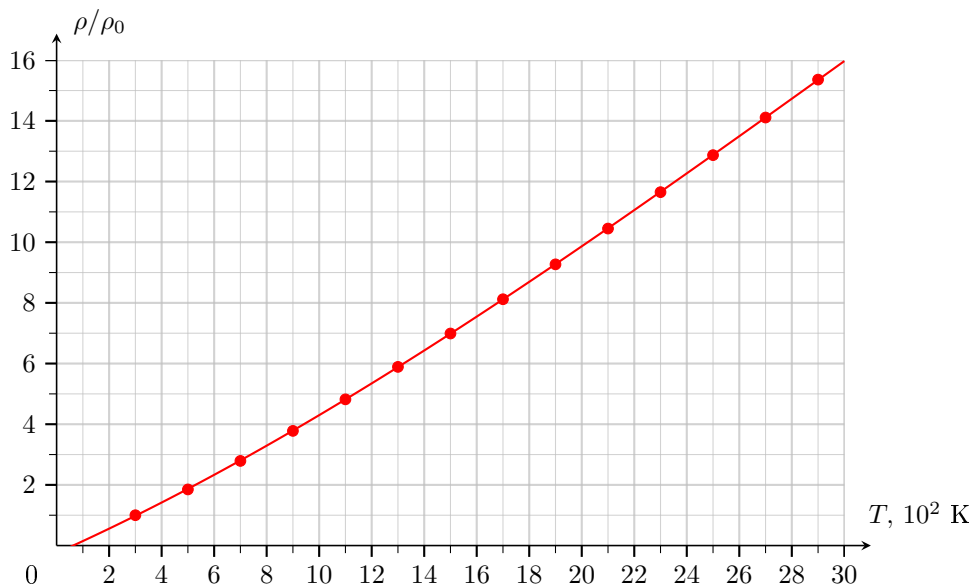


Рис. 1

где  $I$  — сила тока в цепи. Для того чтобы определить температуру нити накаливания, найдём сопротивление лампы  $R_{\text{л}} = U_{\text{л}}/I$  и, зная отношение

$$\frac{R_{\text{л}}}{R_0} = \frac{U_{\text{л}}}{U_r} \cdot \frac{r}{R_0},$$

по графику на рис. 1 получим соответствующее значение  $T$ . Все значения мощности и температуры занесём в ту же таблицу и построим график зависимости  $P(T)$  (рис. 2).

$U_{\text{л}}, \text{ В}$	0,07	0,10	0,14	0,18	0,22	0,35	0,52	0,87	1,29
$U_r, \text{ мВ}$	161	207	265	300	335	400	462	572	692
$P, \text{ мВт}$	0,14	0,25	0,46	0,66	0,91	1,72	2,95	6,12	10,98
$R_{\text{л}}/R_0$	1,04	1,16	1,26	1,43	1,57	2,09	2,69	3,64	4,46
$T, \text{ К}$	310	340	360	400	430	550	680	870	1030

$U_{\text{л}}, \text{В}$	1,85	2,31	3,16	4,08	4,77	5,44	6,20	6,82	7,07
$U_r, \text{мВ}$	836	944	1120	1289	1409	1515	1624	1704	1744
$P, \text{мВт}$	19,02	26,82	43,53	64,69	82,67	101,4	123,8	142,9	151,7
$R_{\text{л}}/R_0$	5,29	5,85	6,75	7,57	8,10	8,59	9,13	9,57	9,69
$T, \text{К}$	1190	1290	1460	1600	1690	1780	1870	1940	1960

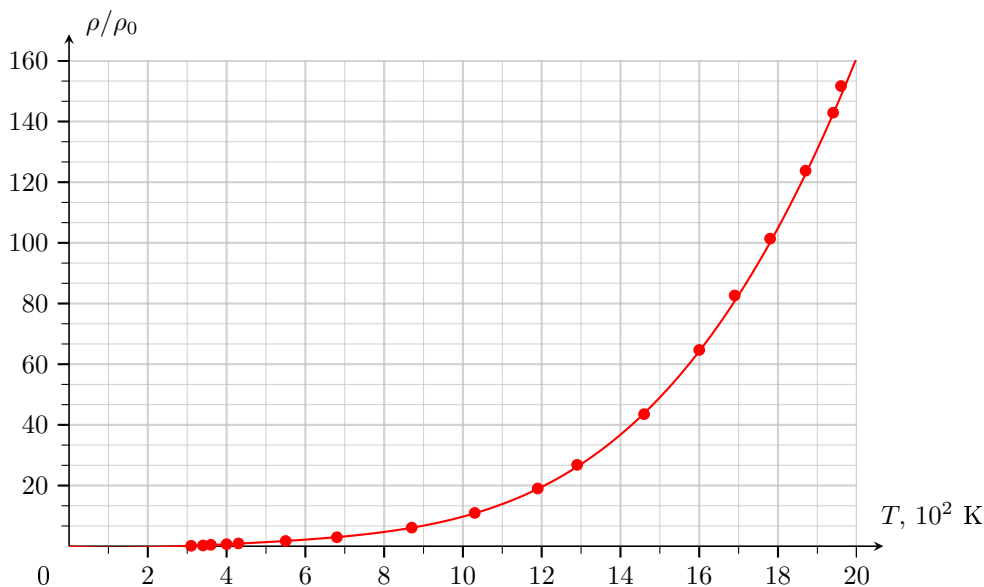


Рис. 2

Из полученного выше графика (рис. 2) следует, что зависимость  $P(T)$  не является линейной. Однако при относительно небольших температурах график может быть, теоретически, аппроксимирован касательной  $P = k(T - T_0)$ , где  $k \neq 0$ . К сожалению, ответить на вопрос в этом пункте, проведя касательную в точке  $T = T_0$  прямо поверх графика, изображённого на рис. 2, затруднительно, так как начальные точки лежат практически на оси абсцисс. Поэтому, чтобы, во-первых, убедиться, что  $k \neq 0$ , и, во-вторых, найти диапазон, в котором отклонение графика  $P(T)$  от прямой  $P = k(T - T_0)$  несущественно, необходимо поступить одним из способов, описанных ниже.

*Способ 1.* Построим график  $P(T)$ , но в меньшем диапазоне температур — например, от 300 К до 1100 К (синяя кривая на рис. 3). Проведём к нему касательную в точке  $T = T_0$  (синяя прямая на рис. 3). Из сделанного построения видно, что закон Ньютона-Рихмана формально справедлив в диапазоне до, примерно, 550 К.

*Способ 2.* Найдём отношения  $P/(T - T_0)$  для точек из диапазона 300...1100 К (см. таблицу). Отбрасывая первую точку как имеющую максимальную погрешность, видим примерно одинаковые значения до 680 К, из чего делаем вывод, что закон Ньютона-Рихмана формально справедлив в диапазоне до, примерно, 700 К.

*Примечание:* Второй способ является более грубым, так как даже при визуально заметном отклонении графика от прямой, получающейся для сравнительно далёких от  $T_0$  температур, отличие в величине  $P/(T - T_0)$  может быть несущественным.

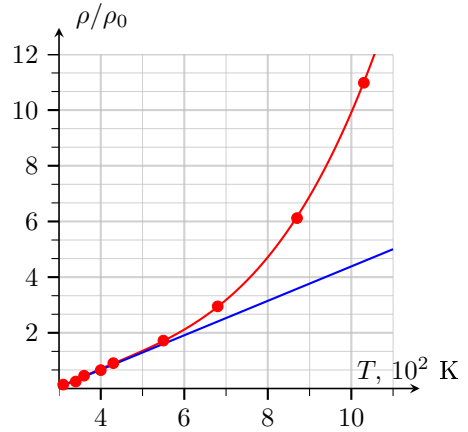


Рис. 3

$T, \text{ К}$	310	340	360	400	430	550	680	870	1030
$P/(T - T_0), \text{ мВт/К}$	0,014	0,006	0,008	0,007	0,007	0,007	0,008	0,011	0,015

Так как график, полученный в пункте 3, не является прямолинейным,  $n \neq 1$ . Для оценки  $n$  возьмём две точки, соответствующие большим температурам: первая —  $T_1 = 1960 \text{ К}$  (последняя точка на графике) и три варианта для второй —  $T_{2(1)} = 1600 \text{ К}$ ,  $T_{2(2)} = 1690 \text{ К}$ ,  $T_{2(3)} = 1780 \text{ К}$ . Поскольку  $P \sim T^n$ ,

$$(T_1/T_2)^n = P_1/P_2.$$

Для указанных значений

$$T_1/T_{2(1)} = 1,225, \quad P_1/P_{2(1)} = 151,7/64,69 = 2,345,$$

$$T_1/T_{2(2)} = 1,160, \quad P_1/P_{2(2)} = 151,7/82,67 = 1,835,$$

$$T_1/T_{2(3)} = 1,101, \quad P_1/P_{2(3)} = 151,7/101,4 = 1,496.$$

Перебирая показатели степени  $n = 2,4,6$ , получим

$$(1,225)^2 = 1,501, \quad (1,225)^4 = 2,252, \quad (1,225)^6 = 3,793,$$



$$(1,160)^2 = 1,346, \quad (1,160)^4 = 1,811, \quad (1,160)^6 = 2,436,$$

$$(1,101)^2 = 1,212, \quad (1,101)^4 = 1,469, \quad (1,101)^6 = 1,781.$$

Следовательно, наиболее близким показателем во всех трёх случаях является  $n = 4$ .

### Задача №11-Е2. Лампочка — гори! (видеоразбор)

См. решение задачи №10-Е2.

### Задача №11-Е2. Лампочка — гори! (видеоразбор)

Используя таблицу, приведённую в условии, вычислим  $\rho/\rho_0$  для каждого значения температуры (см. таблицу 1) и построим график зависимости  $\rho/\rho_0$  от  $T$  (рис. 1).

$T, \text{ K}$	300	500	700	900	1100	1300	1500
$\rho/\rho_0$	1,00	1,85	2,79	3,78	4,82	5,89	6,99
$T, \text{ K}$	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900
$\rho/\rho_0$	8,12	9,27	10,45	11,65	12,87	14,11	15,36

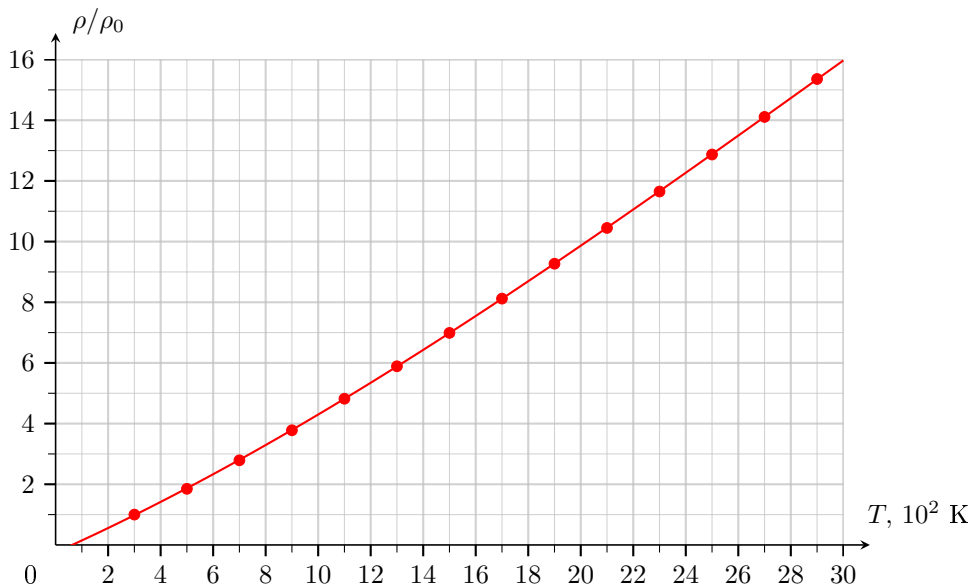


Рис. 1

Переключим мультиметр в режим омметра и, не замыкая цепь (то есть не подключая батарейку), измерим сопротивление лампы при комнатной температуре:

$$R_0 = 34,0 \text{ Ом.}$$

Не замыкая цепь, измерим с помощью омметра сопротивление резистора, соединённого последовательно с лампой:  $r = 81,3 \text{ Ом}$ . Выведем сопротивление реостата на максимум и замкнём цепь (то есть вставим батарейку в колодку). С помощью вольтметра будем измерять напряжение на лампе  $U_{\text{л}}$  и напряжение на резисторе  $U_r$ , постепенно уменьшая сопротивление реостата, и занесём результаты измерений в таблицу. Вычислим для каждого положения ручки реостата мощность  $P$ , выделяемую на лампе, по формуле

$$P = U_{\text{л}} I = \frac{U_{\text{л}} U_r}{r},$$

где  $I$  — сила тока в цепи. Для того чтобы определить температуру нити накаливания, найдём сопротивление лампы  $R_{\text{л}} = U_{\text{л}}/I$  и, зная отношение

$$\frac{R_{\text{л}}}{R_0} = \frac{U_{\text{л}}}{U_r} \cdot \frac{r}{R_0},$$

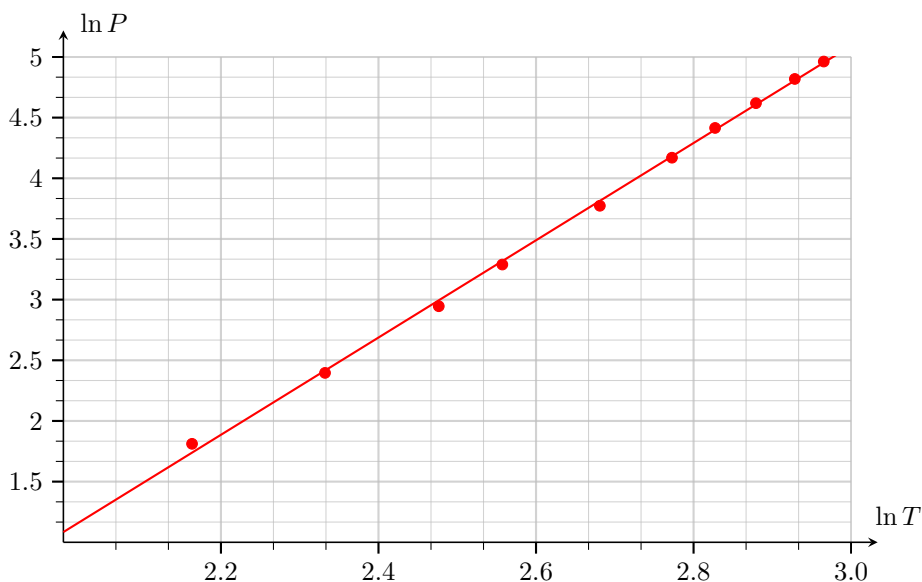
по графику на рис. 1 получим соответствующее значение  $T$ . Все значения мощности и температуры занесём в ту же таблицу.

$U_{\text{л}}$ , В	0,07	0,10	0,14	0,18	0,22	0,35	0,52	0,87	1,29
$U_r$ , мВ	161	207	265	300	335	400	462	572	692
$P$ , мВт	0,14	0,25	0,46	0,66	0,91	1,72	2,95	6,12	10,98
$R_{\text{л}}/R_0$	1,04	1,16	1,26	1,43	1,57	2,09	2,69	3,64	4,46
$T$ , К	310	340	360	400	430	550	680	870	1030

$U_{\text{л}}$ , В	1,85	2,31	3,16	4,08	4,77	5,44	6,20	6,82	7,07
$U_r$ , мВ	836	944	1120	1289	1409	1515	1624	1704	1744
$P$ , мВт	19,02	26,82	43,53	64,69	82,67	101,4	123,8	142,9	151,7
$R_{\text{л}}/R_0$	5,29	5,85	6,75	7,57	8,10	8,59	9,13	9,57	9,69
$T$ , К	1190	1290	1460	1600	1690	1780	1870	1940	1960

Выберем из таблицы 2 пары значений мощности и температуры, которые соответствуют условию линейности ( $T \geq 800$  К). Получим 11 точек. Для определения значения  $n$  в зависимости мощности от температуры составим таблицу 3 из пар значений  $\ln T$ ,  $\ln P$ . Поскольку нас интересует только угловой коэффициент прямой, которую проведем по рассчитанным значениям, единицы измерения (порядковые множители) температуры и мощности перед логарифмированием не играют роли. Температуру берём в сотнях градусов Кельвина, а мощность в милливаттах.

$\ln T$	2,16	2,33	2,48	2,56	2,68	2,77
$\ln P$	1,81	2,40	2,95	3,29	3,77	4,17
$\ln T$	2,83	2,88	2,93	2,97	2,98	
$\ln P$	4,41	4,62	4,82	4,96	5,02	



Проводим прямую и определяем угловой коэффициент:  $n = 4,0$

В данном эксперименте температура 2000 К находится немного за пределами диапазона измерений. Экстраполируем построенную зависимость и из графика для значения  $\ln(T/100) = \ln 20 = 2,996$  находим:  $\ln P = 5,1$ . Вычисляем мощность:  $P = 164$  мВт. Предполагая, что излучаемая мощность прямо пропорциональна площади излучения, находим для нити накаливания лампы:  $S = 0,73$  мм<sup>2</sup>.

Поскольку точку находили из графика, то погрешность значения определим как половину цены деления (масштабной клетки):  $\Delta \ln P = 0,05$ . Тогда  $\Delta P = 0,05P = 8,2$  мВт. Если точки имеют некоторый разброс относительно линии, разумно увеличить погрешность в соответствии с разбросом. По найденной погрешности мощности находим погрешность площади излучающей поверхности, из условия равенства относительных величин  $\varepsilon_P = \varepsilon_S$ :

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta S}{S} = 0,05.$$

$$\Delta S = 0,04 \text{ мм}^2.$$