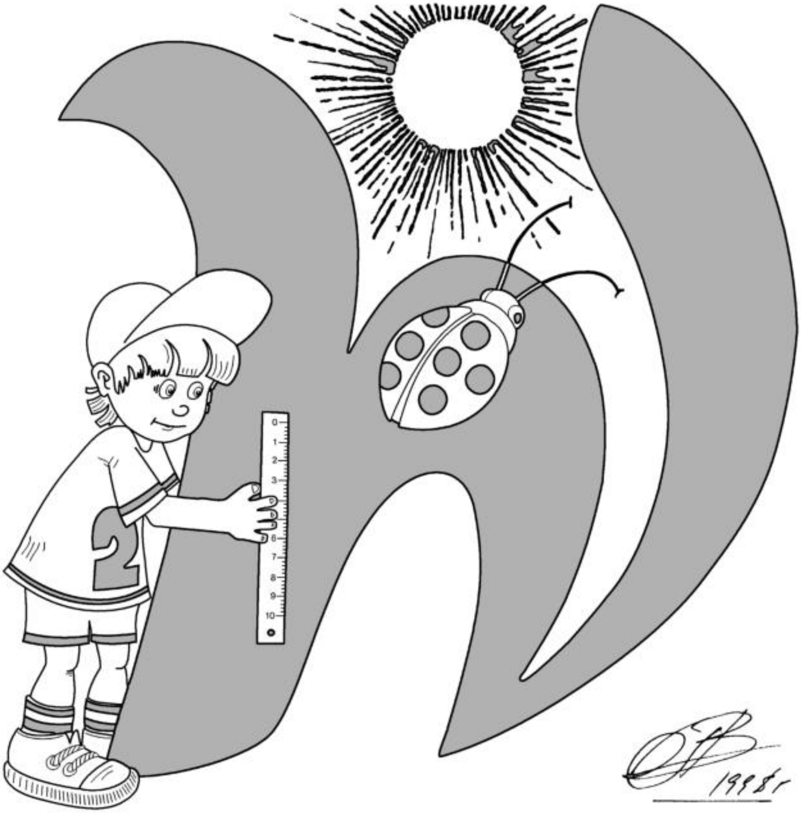
Министерство просвещения Российской Федерации
Центральная предметно-методическая комиссия
Всероссийской олимпиады школьников по физике

Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Экспериментальный тур



Москва, 2026 г.

Комплект задач подготовлен
центральной предметно-методической комиссией
Всероссийской олимпиады школьников по физике
E-mail: **physolymp@gmail.com**

Авторы задач

Теоретический тур

7-9 класс

- **7-E1**. Денис Рубцов
- **7-E2**. Игорь Говорун
- **8-E1**. Денис Рубцов
- **8-E2**. Игорь Говорун, Ольга Инишева
- **9-E1**. Денис Рубцов
- **9-E2**. Александр Аполонский, Антон Вергунов

10-11 класс

- **10-E1**. Александр Аполонский, Денис Перевощиков
- **10-E2**. Александр Аполонский, Иван Гурьянов, Александр Воронцов
- **11-E1**. Александр Аполонский, Денис Перевощиков
- **11-E2**. Александр Аполонский, Константин Соломатин

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.

В этом году в рамках работы проекта сняты видеорешения (https://os-lms.mipt.ru/course/view.php?id=21) экспериментального тура регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике. Используйте эти материалы для самоподготовки к будущим олимпиадам.

7 класс

Задача №1. Закрытая бутылочка

Вам выдана прозрачная бутылочка. Бутылочка частично заполнена водой и плотно закрыта пробкой. Объем воды $V_{\text{воды}} = 30{,}0$ мл. **Открывать пробку строго запрещено.** Плотность воды известна и равна $\rho_0 = 1000$ кг/м^3. Массой и объемом пробки и заводской этикетки (при наличии) можете пренебречь. Оценка погрешностей в задаче не требуется.

1. Определите полную вместимость (внутренний объем) $V_{\text{вну}}$ закрытой пробкой бутылочки, а также площадь сечения $S_{\text{вну}}$ внутренней цилиндрической части бутылочки.

2. Определите площадь сечения $S_{\text{вне}}$ внешней цилиндрической части бутылочки.

3. Определите массу пустой бутылочки m.

4. Определите плотность стекла ρ, из которого изготовлена бутылочка.

Оборудование: стеклянная бутылочка, содержащая 30,0 мл воды и закрытая пробкой; электронные весы; деревянная линейка; нить; шприц 20 мл; 2 пластиковых стаканчика, частично заполненные водой; 2 самоклеящихся ценника; салфетки для поддержания чистоты.

Задача №2. Утки в шприце

Оборудование: шприц объёмом 20 мл, в котором находятся несколько минифигурок; весы электронные; ёмкость с неизвестной жидкостью; салфетки для поддержания чистоты.

Важная информация:

- Масса шприца без фигурок $m_{\text{ш}} = 10{,}98$ г (масса вашего шприца может отличаться от указанной, её должны сообщить организаторы).
- Масса шприца указана с учётом массы самореза.
- Разбирать шприц и что-либо доставать оттуда в процессе выполнения работы категорически запрещается.
- По окончании работы шприц с фигурками можно забрать с собой.

1. Понемногу набирайте неизвестную жидкость в шприц. Экспериментально получите зависимость массы шприца от объема набранной в шприц жидкости (или от полного объема содержимого под поршнем) (не менее 7 точек).

Важно! Не кладите мокрый шприц на весы — жидкость может попасть внутрь прибора и повредить его. Перед взвешиваниями протирайте шприц салфетками насухо!

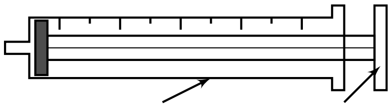
2. Постройте график полученной зависимости.

3. При помощи построенного графика определите плотность неизвестной жидкости.

4. Определите плотность материала, из которого изготовлены мини-фигурки.

8 класс

Задача №1. Шприц



Вам выдан шприц объёмом 10 мл без иглы. Масса цилиндрической части без поршня равна m_1, масса поршня — m_2 (см. рисунок). Координату центра масс системы «цилиндр + поршень + содержимое» будем обозначать x_{Ci} и отсчитывать вдоль шкалы шприца в мл.

1. Измерьте зависимость (не менее 10 точек) координаты центра масс системы x_{C1} (в мл) от показаний шприца V — объёма воздуха в нём (в мл). Постройте график зависимости $x_{C1}(V)$ и определите по нему отношение масс m_1/m_2.

2. Повторите измерения, заполняя шприц водой объёмом V. Для каждого значения V определите координату центра масс x_{C2} (не менее 10 точек). Постройте график зависимости $x_{C2}(V)$ на той же координатной плоскости, что и в пункте 1. Определите минимальное значение $x_{C2}^{\min}$.

3. Получите выражение, связывающее между собой $x_{C1}(V)$ и $x_{C2}(V)$ — координаты центра масс шприца в случаях, когда внутри него V мл воздуха или воды соответственно. В полученном выражении должны содержаться лишь m_1, m_2, V, x_{C1}, x_{C2} и плотность воды ρ_0.

4. Зависимость, полученную в 3 пункте, можно привести к виду $Y = kX$, где Y и X — переменные, зависящие от измеряемых параметров (V, x_{C1}, x_{C2}), а k — постоянный коэффициент, связанный с массами m_1 и m_2. Предложите соответствующие переменные Y и X. Постройте линейный график $Y(X)$ и по его параметрам определите массы m_1 и m_2.

Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3, массой воздуха пренебречь.

- **Вынимать поршень шприца из цилиндра запрещено.**
- **Оценивать погрешность в этой задаче не требуется.**

Оборудование: шприц 10 мл без иглы; нить; кусочек малярного скотча; стакан с водой; масштабно-координатная бумага для построения графиков.

Задача №2. Конус

Оборудование: обрезанный конус со шпажкой, на котором нанесены пометки с шагом 1 см, весы электронные, пластиковый прозрачный стаканчик объёмом 200 мл, две линейки 30 см, штатив с лапкой, шприц 20 мл, трубка, салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте, сосуд с водой, лист миллиметровой бумаги для построения графика(ов). Объем полного (необрезанного) конуса определяется по формуле

$$V = kL_0^3,$$

где k — постоянный для данного конуса коэффициент, L_0 — длина образующей конуса (см. Рис. 1). Используя выданное оборудование, Вам необходимо определить:

1. величину длины образующей полного (необрезанного) конуса L_0;
2. значение коэффициента k;
3. массу полного конуса M.

При выполнении работы необходимо придерживаться следующих обозначений:

- m — масса выданного обрезанного конуса;
- l — длина образующей обрезанного конуса.

Примечания. Масса шпажки составляет 1,45 г, плотность воды $\rho = 1$ г/см^3. Образующей полного (необрезанного) конуса называется отрезок, соединяющий вершину конуса с точкой на окружности его основания. **Вынимать шпажку из конуса запрещено.**

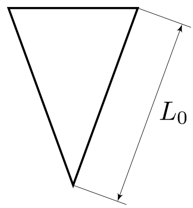
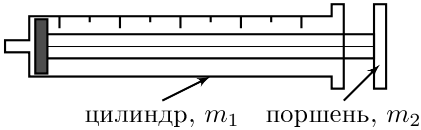


Рис. 1

9 класс

Задача №1. Шприц



Вам выдан шприц объёмом 10 мл без иглы. Масса цилиндрической части без поршня равна m_1, масса поршня — m_2 (см. рисунок). Координату центра масс системы «цилиндр + поршень + содержимое» будем обозначать x_{Ci} и отсчитывать вдоль шкалы шприца в мл.

1. Измерьте зависимость (не менее 10 точек) координаты центра масс системы x_{C1} (в мл) от показаний шприца V — объёма воздуха в нём (в мл). Постройте график зависимости $x_{C1}(V)$ и определите по нему отношение масс m_1/m_2.

2. Повторите измерения, заполняя шприц водой объёмом V. Для каждого значения V определите координату центра масс x_{C2} (не менее 10 точек). Постройте график зависимости $x_{C2}(V)$ на той же координатной плоскости, что и в пункте 1. Определите минимальное значение $x_{C2}^{\min}$.

3. Получите выражение, связывающее между собой $x_{C1}(V)$ и $x_{C2}(V)$ — координаты центра масс шприца в случаях, когда внутри него V мл воздуха или воды соответственно. В полученном выражении должны содержаться лишь m_1, m_2, V, x_{C1}, x_{C2} и плотность воды ρ_0.

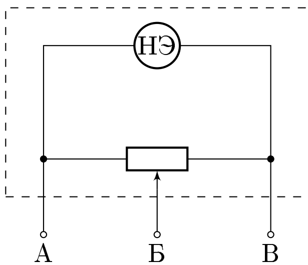
4. Зависимость, полученную в 3 пункте, можно привести к виду $Y = kX$, где Y и X — переменные, зависящие от измеряемых параметров (V, x_{C1}, x_{C2}), а k — постоянный коэффициент, связанный с массами m_1 и m_2. Предложите соответствующие переменные Y и X. Постройте линейный график $Y(X)$ и по его параметрам определите массы m_1 и m_2.

Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3, массой воздуха пренебречь.

- **Вынимать поршень шприца из цилиндра запрещено.**
- **Оценивать погрешность в этой задаче не требуется.**

Оборудование: шприц 10 мл без иглы; нить; кусочек малярного скотча; стакан с водой; масштабно-координатная бумага для построения графиков.

Задача №2. Серый ящик



Внутри серого ящика находятся потенциометр и неизвестный элемент, соединённые так, как показано на рисунке. Ручка потенциометра, а также провода «А», «Б» и «В» выведены наружу серого ящика.

1. С помощью предоставленного оборудования определите номинальное (полное) сопротивление потенциометра. При решении этого пункта построение графиков не требуется. Подробно опишите способ определения полного сопротивления.

2. Измерьте вольт-амперную характеристику неизвестного элемента, подключив «+» источника к выводу «A». Измерения необходимо провести в максимально широком диапазоне напряжений, получив не менее 15 точек, равномерно распределенных по оси напряжения.

3. Постройте график полученной вами вольт-амперной характеристики.

Оборудование: серый ящик; соединительные провода; мультиметр (в режиме вольтметра и омметра) с щупами; держатель для батареек; две батарейки типа АА; масштабно-координатная бумага для построения графика.

- **Комплект для измерений не разбирать!**
- **Во избежание разряда батарейки не держите цепь замкнутой, когда не производите измерений!**
- **Режимом амперметра пользоваться запрещено!**
- **Для мультиметра примите погрешность прямого измерения равной 3 единицам последнего разряда, но не менее 1% от измеряемой величины.**

10 класс

Задача №1. Пружина на весах

Оборудование

Пружина «Slinky», весы электронные, деревянная линейка 40 см, деревянная линейка 20 см, 2 деревянных прямоугольных брусочка, малярный скотч, миллиметровая бумага для графиков.

Задание

0. Запишите номер установки.

1. Измерьте зависимость веса пружины P, установленной на весы одним из оснований, от вертикальной координаты x верхнего витка пружины. Полученные данные представьте в виде: $\Delta P = P - P_0$, где P_0 — вес всей пружины и $\Delta x = x - x_0$, где x_0 — вертикальная координата верхнего витка пружины, когда вся пружина покоилась на весах.

2. Предложите теоретическую зависимость $\Delta P(\Delta x)$ для большого числа витков, изменивших своё положение.

3. На основании экспериментальных данных пункта 1 с помощью графика проверьте соответствие теории и эксперимента.

4. Используя результаты пунктов 2 и 3, определите коэффициент жёсткости одного витка пружины и оцените его погрешность.

5. Оцените момент силы, создаваемый пружиной при повороте одного её конца относительно другого на один оборот вокруг оси симметрии цилиндрической части пружины. Опишите метод.

Примечание

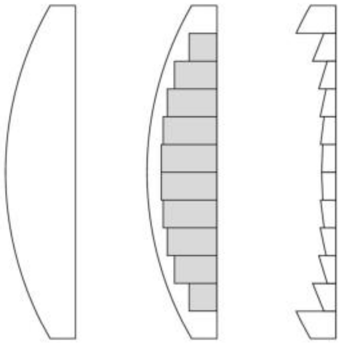
- Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.
- Проверьте выданную вам пружину: не должно быть слипшихся витков, все витки должны быть ровными и в нерастянутом состоянии плотно прилегать друг к другу.

Задача №2. Оптический «сэндвич»

Оборудование: фонарик, установка для фиксации фонарика, две одинаковые линзы Френеля, экран, четыре канцелярских зажима, мерная лента, шприц 5 мл с глицерином (показатель преломления глицерина $n_г = 1{,}47$), 10 салфеток для поддержания чистоты. Скотч и ножницы для него — по требованию.

Задание

Линза Френеля может быть изготовлена следующим образом: из сегмента прозрачного шара, вырезают плоские «неработающие» части. Оставшиеся части переносят на одну плоскость, как показано на рисунке. Оптические свойства такой линзы практически идентичны свойствам обычной линзы, т.к. все кольца имеют одинаковую оптическую силу и расположены в одной плоскости.



«Обычная» линза и линза Френеля

Рассмотрим тонкую линзу, у которой одна сторона плоская, а другая имеет радиус кривизны R. В воздухе её оптическая сила может быть найдена по формуле

$$D = \pm\frac{n-1}{R},$$

где n — показатель преломления материала линзы; знак «плюс» соответствует плоско-выпуклой линзе, а знак «минус» — плоско-вогнутой.

1. Определите фокусное расстояние одной линзы F_0. Приведите схему установки и опишите метод нахождения фокусного расстояния.

Если между двумя линзами Френеля капнуть немного жидкости, а затем прижать их друг к другу с помощью зажимов, то получившийся «сэндвич» тоже будет обладать свойствами тонкой линзы.

2a. Измерьте фокусное расстояние F_1 «сэндвича», в котором линзы Френеля прижаты плоскими сторонами.

2b. Измерьте фокусное расстояние F_2 «сэндвича», в котором ребристая сторона одной линзы прижата к плоской стороне другой.

3. Определите радиус кривизны неплоской поверхности линзы Френеля.

4. Определите показатель преломления пластика, из которого изготовлены линзы.

5. Определите фокусное расстояние F_3 «сэндвича», в котором линзы Френеля прижаты ребристыми сторонами.

Оценка погрешностей в этой задаче не требуется.

Примечания

- Небольшие пятна глицерина можно протереть сухой салфеткой. Если прольёте много — попросите у организаторов влажную тряпку.
- Приклеивать скотч к линзам Френеля **запрещено!**

11 класс

Задача №1. Пружина на весах

Оборудование

Пружина «Slinky», весы электронные, деревянная линейка 40 см, деревянная линейка 20 см, 2 деревянных прямоугольных брусочка, малярный скотч, миллиметровая бумага для графиков.

Задание

0. Запишите номер установки.

1. Измерьте зависимость веса пружины P, установленной на весы одним из оснований, от вертикальной координаты x верхнего витка пружины. Полученные данные представьте в виде: $\Delta P = P - P_0$, где P_0 – вес всей пружины и $\Delta x = x - x_0$, где x_0 – вертикальная координата верхнего витка пружины, когда вся пружина покоилась на весах.

2. Предложите теоретическую зависимость $\Delta P(\Delta x)$ для большого числа витков, изменивших своё положение.

3. На основании экспериментальных данных пункта 1 с помощью графика проверьте соответствие теории и эксперимента.

4. Используя результаты пунктов 2 и 3, определите коэффициент жёсткости одного витка пружины и оцените его погрешность.

5. Оцените момент силы, создаваемый пружиной при повороте одного её конца относительно другого на один оборот вокруг оси симметрии цилиндрической части пружины. Опишите метод.

Примечание

- Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.
- Проверьте выданную вам пружину: не должно быть слипшихся витков, все витки должны быть ровными и в нерастянутом состоянии плотно прилегать друг к другу.

Задача №2. R плюс C

Оборудование

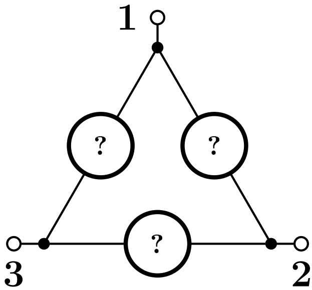
Серый ящик с тремя выводами, мультиметр, конденсатор с известной ёмкостью $C_0 = 10$ мкФ, соединительные провода.

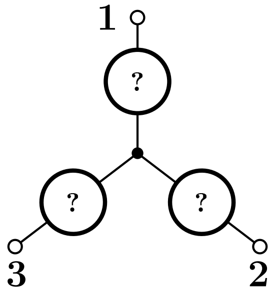
Задание

Серый ящик с тремя пронумерованными выводами содержит ровно три элемента, соединённых между собой по схеме типа «звезда» или типа «треугольник» (см. рисунок). Этими элементами могут быть резисторы или конденсаторы.

1. Определите, по какой из двух возможных схем соединены элементы и что это за элементы.

2. Определите параметры этих элементов (сопротивления резисторов и ёмкости конденсаторов).



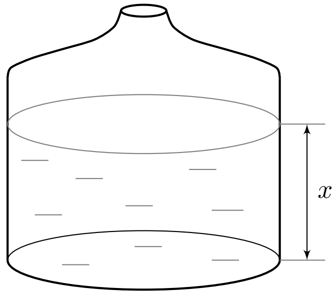


Примечание

- Все используемые в работе конденсаторы являются неполярными.
- В работе не требуется расчёт погрешностей, однако действия, направленные на повышение точности результата, будут оцениваться.
- На выбранной схеме укажите номера контактов (цвет контактных проводов).

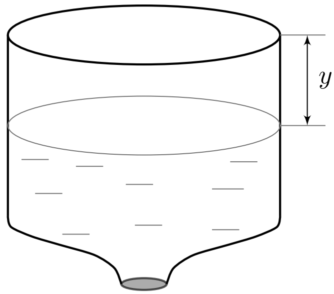
Возможные решения

Задача №7-Е1. Закрытая бутылочка



Вода занимает объем $V_{\text{воды}} = S_{\text{вну}}x$ в цилиндрической части бутылочки (см. рис.). Измерим линейкой высоту столба воды $x = 3{,}0$ см. Линейку держим вертикально на столе, прикладывая к бутылочке. Тогда внутренняя площадь сечения

$$S_{\text{вну}} = \frac{V_{\text{воды}}}{x} = \frac{30{,}0\ \text{мл}}{3{,}0\ \text{см}} = 10{,}0\ \text{см}^2.$$



Перевернем бутылочку. Теперь воздух будет в цилиндрической части $V_{\text{вну}} - V_{\text{воды}} = S_{\text{вну}}y$. Измерим $y = 2{,}7$ см.

Внутренний объем $V_{\text{вну}} = V_{\text{воды}} + S_{\text{вну}}y = 56{,}0$ мл. Эталонный объем на авторской установке (измеренный напрямую) 57 мл.

Обмотаем дважды ниткой вокруг цилиндрической части бутылки. Полученная удвоенная длина окружности $2\pi D = 25{,}5$ см, где D — внешний диаметр цилиндрической части бутылочки. Аналогичный результат можно было получить методом прокатывания бутылочки по линейке или линейки по бутылочке. Откуда внешний диаметр $D = 4{,}06$ см. Тогда внешняя площадь

$$S_{\text{вне}} = \frac{\pi D^2}{4} = 12{,}9\ \text{см}^2.$$

Взвесим бутылочку с водой: $M = m + \rho V_{\text{воды}} = 87{,}5$ г. Отсюда легко определить массу пустой бутылочки $m = M - \rho V_{\text{воды}} = 57{,}5$ г.

Определим внешний объем бутылочки. Погрузим в стакан с водой бутылочку так, чтобы она была полностью покрыта водой. Возможно, для этого придется добавить или убавить воды в стакан. Отметим уровень воды в стакане, наклеив на него ценник. Вытащим бутылочку из стакана. Стараемся, чтобы на бутылочке почти не оставалось капель воды. Теперь положим стакан на весы и обнулим их показания. Дольем в стакан воду до наклейки с помощью шприца. Показания весов равны добавленной массе воды. А ее объем равен внешнему объему бутылочки $V_{\text{вне}} = 81{,}5$ мл.

Отметим, что измерение можно было провести в другом порядке: отмечаем уровень воды в стакане наклейкой, погружаем в стакан бутылочку, шприцем убавляем уровень воды до исходного. Воду из шприца выливаем во второй стакан, стоящий на тарированных весах. Итоговые показания весов делим на плотность воды и получаем внешний объем бутылочки.

Плотность стекла

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{вне}} - V_{\text{вну}}} = \frac{57{,}5\ \text{г}}{81{,}5\ \text{мл} - 56{,}0\ \text{мл}} = 2{,}3\ \text{г/см}^3.$$

Задача №7-Е2. Утки в шприце

С помощью весов определим массу шприца с мини-фигурками $m_{\text{ш+ф}} = 16{,}58$ г. Вычтем из полученного результата массу пустого шприца и найдем суммарную массу фигурок $m_{\text{ф}} = 16{,}58\ \text{г} - 10{,}98\ \text{г} = 5{,}60$ г.

Способ 1

После этого начинаем набирать в шприц жидкость порциями по 1 мл (отслеживаем объем по изменению положения поршня). После каждого набора производим взвешивание. В крайнем (максимально сжатом) положении, поршень можно установить на делении $V_{\text{нач}} = 12$ мл. Результаты измерений заносим в таблицу. Используемые обозначения: M — масса шприца с фигурками и жидкостью, V_0 — объем, соответствующий текущему положению поршня на основании показаний шкалы шприца, V — объем залитой жидкости.

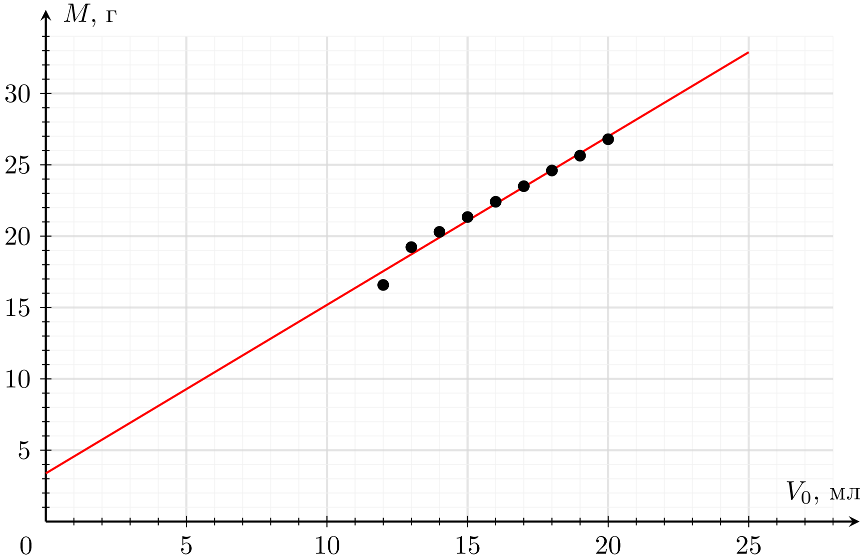
M, г	16,58	19,23	20,30	21,34	22,41	23,50	24,60	25,64	26,80
V, мл	0	1	2	3	4	5	6	7	8
V_0, мл	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Способ 2

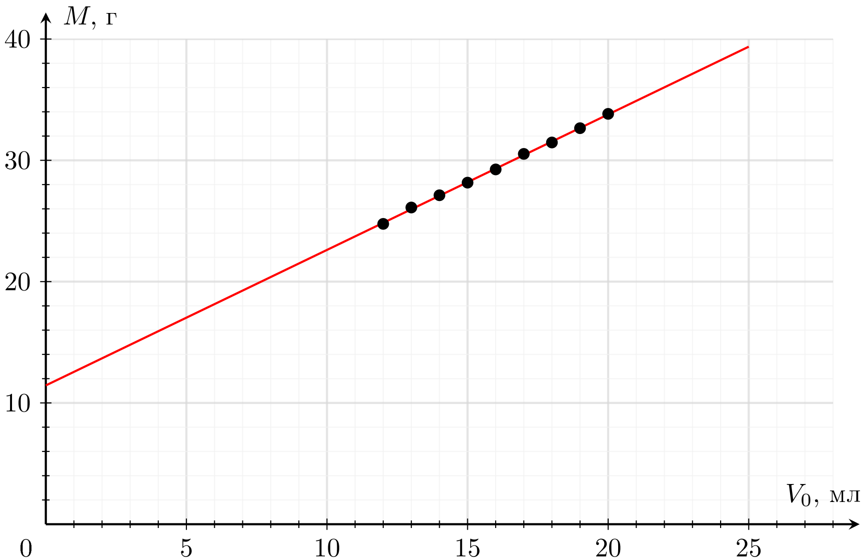
Наберём жидкость в шприц так, чтобы в крайнем (сжатом) положении поршня мини-фигурки были бы полностью погружены в жидкость, пространство между утками при этом заполнено жидкостью. После этого набираем в шприц жидкость порциями по 1 мл (отслеживаем объем по изменению положения поршня). После каждого набора производим взвешивание. Результаты измерений заносим в таблицу. Используемые обозначения: M — масса шприца с фигурками и жидкостью, V_0 — объем, соответствующий текущему положению поршня на основании показаний шкалы шприца, V — объем залитой жидкости.

M, г	24,76	26,11	27,12	28,16	29,25	30,53	31,47	32,65	33,80
V, мл	0	1	2	3	4	5	6	7	8
V_0, мл	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Способ 1. Построим график зависимости массы M от объёма V_0.



Способ 2. Построим график зависимости массы M от объёма V_0.



Способ 1. Показания весов равны:

$$M = m_ф + m_ж + m_ш = (m_ф + m_ш) + \rho_ж V.$$

С учетом $V_0 = V_{нач} + V$ получаем $M = (m_ф + m_ш) + \rho_ж(V_0 - V_{нач})$.

Угловой коэффициент наклона прямой есть плотность неизвестной жидкости $\rho_ж$. По графику определяем плотность раствора $\rho = 1{,}133$ г/см^3. Точка пересечения прямой с вертикальной осью соответствует $m_ф + m_ж - \rho_ж V_0 = 4{,}12$ г (что совпадает со значением на графике).

Способ 2. Показания весов для данного способа равны:

$$M = m_ф + m_ж + m_ш + m_0 = (m_ф + m_ш) + \rho_ж V + m_0,$$

где m_0 — масса жидкости, набранной в шприц до начала измерений. Тогда

$$M = (m_ф + m_ш + m_0) + \rho_ж(V_0 - V_{нач}).$$

По угловому коэффициенту графика, построенного для данного способа, определим плотность жидкости $\rho = 1{,}145$ г/см^3.

При этом реальная плотность жидкости равна $\rho_{ист} = 1{,}13$ г/см^3.

Изначально поршень был в положении 12 мл. Это суммарный объём фигурок и воздуха. Мы сдвинули поршень до 20 мл, набрав при этом в шприц 8 мл жидкости. При этом полный объем жидкости и фигурок в шприце 12,5 мл. Это легко определяется, если перевернуть шприц носиком вверх и аккуратно вдвигать поршень, поджимая жидкость. Объём фигурок тогда $V_ф = 4{,}5$ мл. А плотность материала, из которого они изготовлены

$$\rho_ф = \frac{m_ф}{V_ф} = 1{,}24 \text{ г/см}^3.$$

Ответ может немного отличаться из-за пузырьков воздуха, которые прилипают к фигуркам. Также на точность ответа негативно влияет высокая погрешность шприца (его цена деления — 1 мл).

Задача №8-Е1. Шприц

Все расстояния будем измерять с помощью шкалы на шприце. Координаты центров масс будем определять, подвесив в горизонтальном положении шприц на нити. Чтобы не держать шприц в руках, точку подвеса закрепим скотчем к столу.

Пусть центр масс цилиндра находится в координате x_1, а центр масс поршня, когда показания шприца нулевые, имеет координату x_2. Выдвинем поршень так, чтобы показания шприца стали равными V. Тогда центр масс поршня сместится в координату $x_2 + V$. Центр масс всего шприца будет находиться в координате:

$$x_{C1}(V) = \frac{m_1 x_1 + m_2(x_2 + V)}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} V.$$

Снимем эту зависимость, построим ее график.

x_{C1}, мл	5,6	6,2	6,8	7,2	7,6	8,2	8,8	9,2	9,6	10
V, мл	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Из углового коэффициента $k = \frac{m_2}{m_1+m_2} \approx 0{,}49$ определим отношение m_1/m_2:

$$\frac{m_1}{m_2} \approx 1{,}0.$$

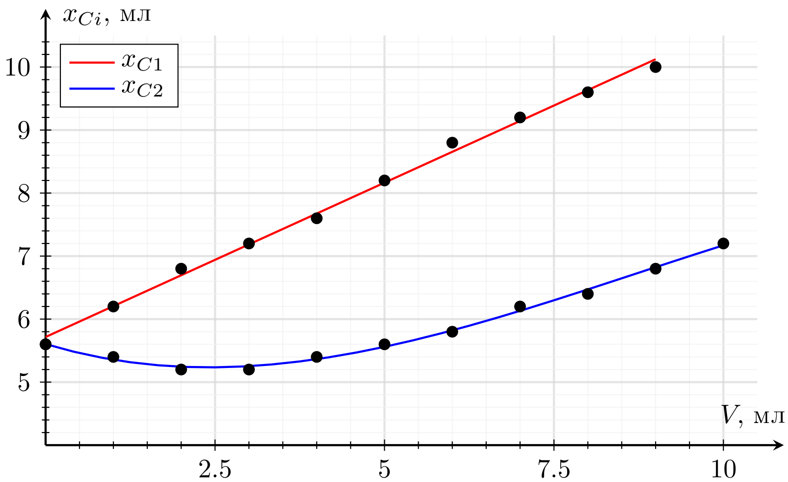
В случае, когда внутри шприца находится V мл воды, координата его центра масс вычисляется чуть сложнее. Важно учесть, что к суммарной массе $m_1 + m_2$ добавляется масса воды $\rho_0 V$, центр масс которой находится в координате $V/2$. Формула координаты центра масс системы x_{C2} в зависимости от объёма воды V:

$$x_{C2}(V) = \frac{m_1 x_1 + m_2(x_2 + V) + \frac{\rho_0 V^2}{2}}{m_1 + m_2 + \rho_0 V}.$$

Снимем зависимость $x_{C2}(V)$.

x_{C2}, мл	5,6	5,4	5,2	5,2	5,4	5,6	5,8	6,2	6,4	6,8	7,2
V, мл	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Минимальное значение $x_{C2}^{\min} \approx 5{,}2$ мл.



Пусть шприц собственной массы $m_1 + m_2$ заполнен V мл воды. Центр масс самого шприца (без воды) находится в координате $x_{C1}(V)$. Центр масс воды находится в координате $V/2$. Шприц, заполненный водой, подвешен за нить в координате центра масс системы «шприц+вода» $x_{C2}(V)$. Запишем правило моментов для шприца с водой относительно точки подвеса. В этом случае момент силы натяжения нити будет равен нулю. Момент силы тяжести шприца (без воды) будет уравновешен моментом силы тяжести воды:

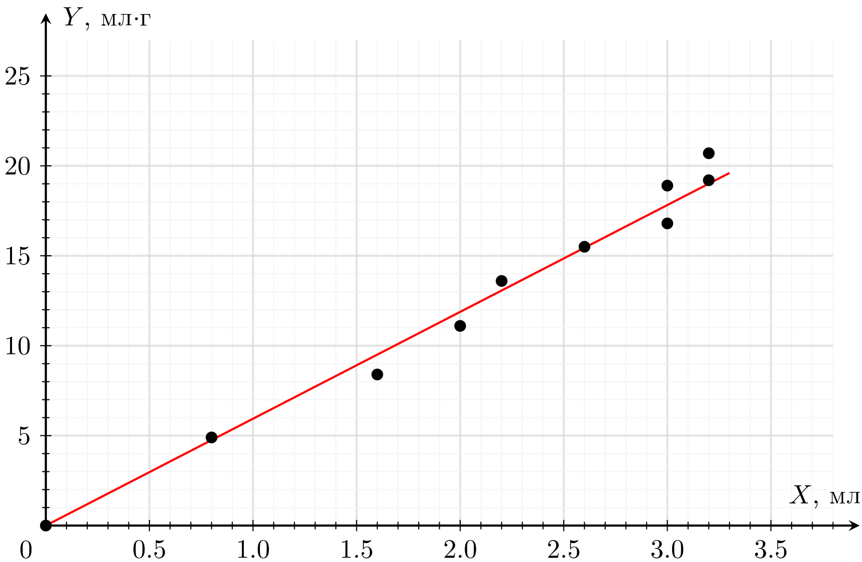
$$(m_1 + m_2)(x_{C1} - x_{C2}) = \rho_0 V \left(x_{C2} - \frac{V}{2} \right).$$

Заметим, что зависимость $Y(X)$, где $Y = \rho_0 V(x_{C2} - V/2)$ от $X = x_{C1} - x_{C2}$, является прямой пропорциональностью с угловым коэффициентом $m_1 + m_2$.

Сделаем пересчёт значений Y и X.

Y, мл · г	0	4,9	8,4	11,1	13,6	15,5	16,8	18,9	19,2	20,7
X, мл	0	0,8	1,6	2,0	2,2	2,6	3,0	3,0	3,2	3,2

Построим график соответствующей зависимости:



Найдем угловой коэффициент $m_1 + m_2 \approx 5{,}9$ г. Тогда:

$$m_1 = m_2 = \frac{M}{2} \approx 3{,}0 \text{ г.}$$

Задача №8-Е2. Конус

Определим длину образующей полного конуса L_0. Для этого вдоль его образующей прикладываем две линейки, определяя длину образующей части конуса, которая отсутствует (см. рис. 2). В нашем случае $l_0 = 5{,}8$ см, длина образующей выданного (усечённого) конуса равна $l = 15$ см, поэтому $L_0 = 20{,}8$ см.

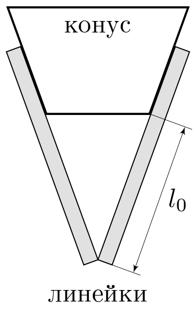


Рис. 2

Определим коэффициент k. Объём части конуса, погруженного в воду, будем определять методом гидростатического взвешивания (из силы Архимеда). Поставим стаканчик на весы, поместим в стаканчик конус так, чтобы его боковая поверхность не касалась стенок сосуда, а его нижняя часть находилась около дна стаканчика. Шпажку, воткнутую в верхнюю часть конуса, зажмём в лапке штатива.

Для того, чтобы определить массу воды, которая может находиться в стаканчике при максимальном погружении конуса в стакан (конус полностью в стаканчик не помещается), можно:

- либо налить какое-то количество жидкости в стаканчик, а затем погрузить конус в жидкость на максимально возможную глубину. При этом, если налитой жидкости будет много, и верхний уровень жидкости при погружении конуса достигнет верхнего края стаканчика, то жидкость с помощью шприца можно будет из стаканчика забрать. Если же при максимальном погружении конуса в жидкость уровень жидкости будет заметно ниже верхнего края стаканчика, то с помощью шприца жидкости можно добавить в стаканчик;
- либо опустив конус в пустой стаканчик на максимально возможную глубину, добавим с помощью шприца в стаканчик воду.

После этого за шпажку аккуратно поднимем конус, так чтобы он полностью вышел из воды поместим стаканчик с водой на весы, обнулим показания весов с помощью кнопки «tare». Поставим стаканчик с водой на весы, обнулим показания весов с помощью кнопки «tare». Будем увеличивать глубину погружения конуса в жидкость, записывая показания весов, когда уровень воды будет совпадать с меткой на конусе. Результаты измерений приведены в таблице. Обозначим l_x — длину образующей конуса под водой, $M_{\text{В}}$ — показания весов.

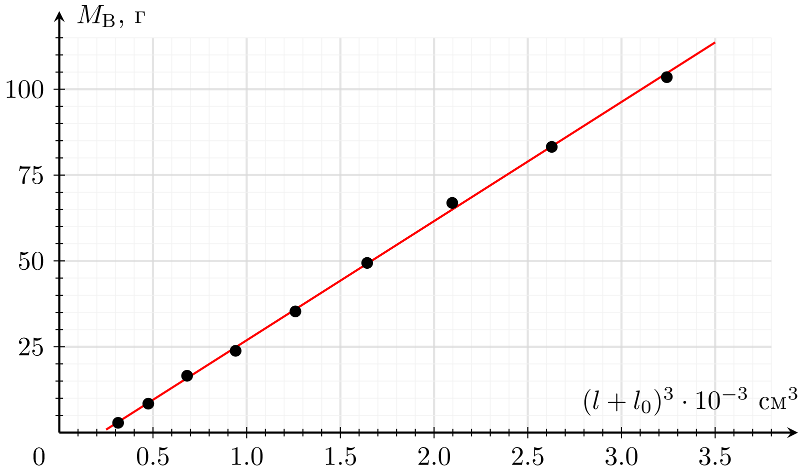
№	l_x, см	$M_В$, г	$(l_0 + l_x)^3$, см^3
1	1,0	2,85	314
2	2,0	8,43	475
3	3,0	16,55	682
4	4,0	23,82	941
5	5,0	35,29	1260
6	6,0	49,41	1643
7	7,0	66,90	2097
8	8,0	83,21	2628
9	9,0	103,51	3242

Запишем выражение для силы Архимеда и определим показания весов $M_В$

$$F_{Арх} = \rho g k(l_0 + l_x)^3 - \rho g k l_0^3;$$

$$M_В = \rho k((l_0 + l_x)^3 - l_0^3) = \rho k(l_0 + l_x)^3 - \rho k l_0^3.$$

Уравнение выше описывает прямую в координатах $((l_0 + l_x)^3, M_В)$ с угловым коэффициентом ρk и свободным коэффициентом $\rho k l_0^3$. Построим график зависимости показаний весов $M_В$ от $(l_0 + l_x)^3$ (см. рис. ниже). Для этого дополним таблицу измерений столбцом с расчётом $(l_0 + l_x)^3$.



По графику определим угловой коэффициент наклона прямой:

$$\rho k = \frac{\Delta M_{\text{В}}}{\Delta (l_0 + l_x)^3} = 0{,}035\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Определим коэффициент k:

$$k = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta M_{\text{В}}}{\Delta (l_0 + l_x)^3} = 0{,}035.$$

Определим массу выданного конуса (со шпажкой)

$$m_{\text{к+ш}} = 6{,}73\ \text{г}.$$

Вычитая массу шпажки, получим

$$m = 6{,}73 - 1{,}45 = 5{,}28\ \text{г}.$$

Посчитаем объём полного конуса, зная величину полной образующей,

$$V = kL_0^3 \Rightarrow V = 0{,}035 \cdot (20{,}8)^3 = 315\ \text{см}^3.$$

Считая, что материал конуса однороден, определим массу полного конуса M:

$$M = m\frac{L_0^3}{L_0^3 - l_0^3};$$

$$M = 5{,}28 \cdot \frac{20{,}8^3}{20{,}8^3 - 5{,}8^3} = 5{,}40\ \text{г}.$$

Задача №9-E1. Шприц

См. решение задачи №8-E1.

Задача №9-E2. Серый ящик

Для нахождения полного сопротивления потенциометра соединим его крайние выводы («А» и «В») и подключим омметр к выводам «А» и «Б» (см. рисунок 1). Обозначим полное номинальное сопротивление потенциометра R_0, а сопротивление потенциометра между контактами «Б» и «В» — R_x.

Тогда показания омметра R_Ω равны:

$$\frac{1}{R_\Omega} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_0 - R_x};$$

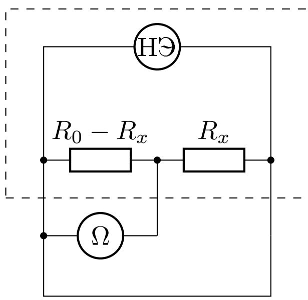


Рис. 1

$$R_\Omega = R_x - \frac{R_x^2}{R_0}.$$

Максимум R_Ω будет наблюдаться при $R_x = R_0/2$. Поворачивая ручку потенциометра, измерим максимальные показания прибора: $R_{\max} = (27{,}2 \pm 0{,}3)$ Ом.

Тогда:

$$R_0 = 4R_{\max} = (108{,}8 \pm 1{,}2)\text{ Ом}.$$

Для измерения вольт-амперной характеристики неизвестного элемента соберём электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 2. При таком соединении напряжение $U_{\text{НЭ}}$ на неизвестном элементе будет равно напряжению, измеренному с помощью вольтметра, подключенного к выводам «А» и «В». Сила тока $I_{\text{НЭ}}$ через неизвестный элемент будет равняться току через R_x.

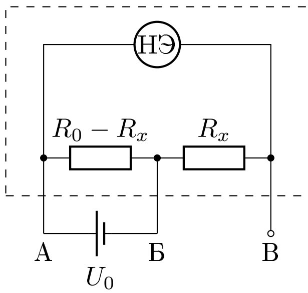


Рис. 2

Следовательно:

$$I_{\text{НЭ}} = \frac{U_x}{R_x},$$

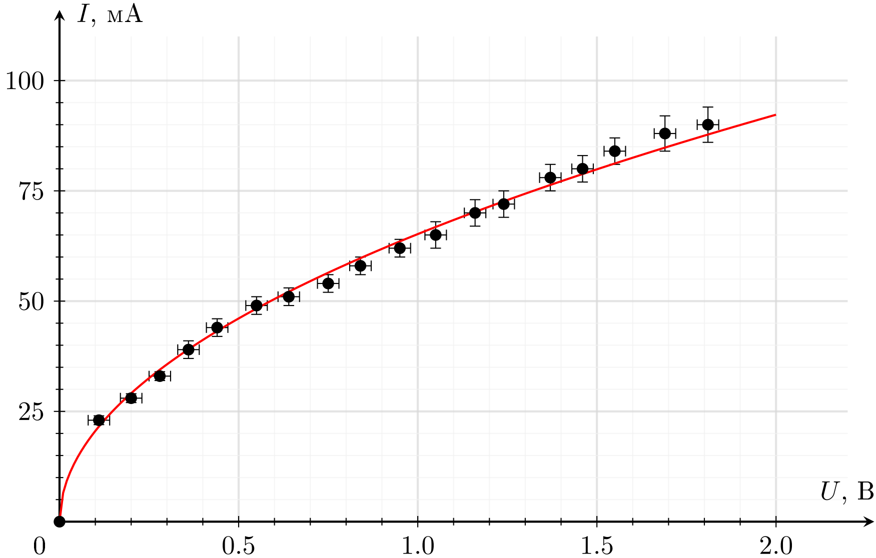
где U_x — напряжение на R_x, которое будем измерять подключая вольтметр к выводам «Б» и «В».

Для нахождения текущего значения R_x подключим источник напряжения к выводам «А» и «В». Используя отношение $U'_{\text{БВ}}/U'_{\text{АВ}}$ напряжений на R_0 и R_x, можем определить $I_{\text{НЭ}}$:

$$\frac{U'_{\text{АВ}}}{R_0} = \frac{U'_{\text{БВ}}}{R_x};\ \Rightarrow R_x = \frac{U'_{\text{БВ}}}{U'_{\text{АВ}}} \cdot R_0;\ \Rightarrow I_{\text{НЭ}} = \frac{U_x \cdot U'_{\text{АВ}}}{U'_{\text{БВ}} \cdot R_0}.$$

$U_{\text{НЭ}}$, В	U_x, В	$U'_{\text{АВ}}$, В	$U'_{\text{БВ}}$, В	$I_{\text{НЭ}}$, А	$\Delta I_{\text{НЭ}}$, А
1,81	0,83	2,66	0,23	0,090	0,004
1,69	0,94	2,65	0,26	0,088	0,004
1,55	1,07	2,64	0,31	0,084	0,003
1,46	1,16	2,64	0,35	0,080	0,003
1,37	1,25	2,63	0,39	0,078	0,003
1,24	1,38	2,62	0,46	0,072	0,003
1,16	1,47	2,62	0,50	0,070	0,003

$U_{НЭ}$, В	U_x, В	$U'_{АВ}$, В	$U'_{БВ}$, В	$I_{НЭ}$, А	$\Delta I_{НЭ}$, А
1,05	1,57	2,62	0,58	0,065	0,003
0,95	1,68	2,62	0,66	0,062	0,002
0,84	1,79	2,62	0,74	0,058	0,002
0,75	1,87	2,62	0,83	0,054	0,002
0,64	1,99	2,61	0,94	0,051	0,002
0,55	2,10	2,60	1,03	0,049	0,002
0,44	2,18	2,60	1,19	0,044	0,002
0,36	2,26	2,60	1,38	0,039	0,002
0,28	2,34	2,60	1,70	0,033	0,001
0,20	2,42	2,56	2,00	0,028	0,001
0,11	2,50	2,55	2,52	0,023	0,001



Задача №10-Е1. Пружина на весах

Запишем номер установки, указанный на пружине.

При помощи малярного скотча закрепим деревянную линейку 40 см к одному из брусочков, так чтобы расположив брусочек на боковой стороне, линейка оказалась в вертикальном положении. При помощи малярного скотча закрепим деревянную линейку 20 см ко второму брусочку, так чтобы положив брусочек одной из больших граней на стол линейка оказалась параллельна столу. Нижний виток пружины поместим на весы, а верхний виток пружины зацепим линейкой 20 см и, прижимая второй брусок к первому, начнем аккуратно поднимать второй брусок по поверхности первого. В ходе измерений пружина не должна соскальзывать с измеряемой области весов. Полученные данные представим в виде таблицы.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
m, г	20,37	15,32	13,41	12,41	11,32	9,89	8,84	8,13
$\|\Delta P\|$,мН	0	49	68	78	89	103	113	120
x, см	6,2	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
Δx, 10^{-3}м	0	8	13	18	23	28	33	38

№	9	10	11	12	13	14	15	16
m, г	7,17	6,63	6,11	5,20	4,41	4,18	3,46	3,08
$\|\Delta P\|$,мН	129	135	140	149	156	159	166	169
x, см	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0
Δx, 10^{-3}м	43	48	53	58	63	68	73	78

№	17	18	19	20	21	22	23
m, г	2,42	2,08	1,43	0,64	0,32	0,10	0
$\|\Delta P\|$, мН	176	179	186	193	196	199	200
x, см	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5
Δx, 10^{-3}м	83	88	93	98	103	108	113

Пусть m — масса одного витка, k — коэффициент жёсткости одного витка. Изменение высоты верхнего витка $\Delta x_1 = mg(n - 1/2)/k$, где n — количество витков с ненулевой деформацией. Изменение высоты i-го сверху витка $\Delta x_i = mg(n-i)/k$. Суммарное изменение длины пружины равно

$$\Delta x = \sum_{i=1}^{n} \Delta x_i = \frac{mg}{k}\sum_{i=1}^{n}(n–i) = \frac{mgn^2}{2k}.$$

Изменение показаний весов и веса пружины: $|\Delta m| = |\Delta P|/g = mn$ и $|\Delta P| = mgn$. Тогда

$$(\Delta P)^2 = 2kmg\Delta x \text{ или } |\Delta P| = \sqrt{2kmg}\sqrt{\Delta x}.$$

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lvert\Delta P\rvert$, мН	0	49	68	78	89	103	113	120
Δx, 10^{-3}м	0	8	13	18	23	28	33	38
ΔP^2, 10^{-2}Н^2	0,00	0,24	0,47	0,61	0,79	1,05	1,28	1,44
$\sqrt{\Delta x}$, 10^{-1}м$^{1/2}$	0,00	0,89	1,14	1,34	1,52	1,67	1,82	1,95

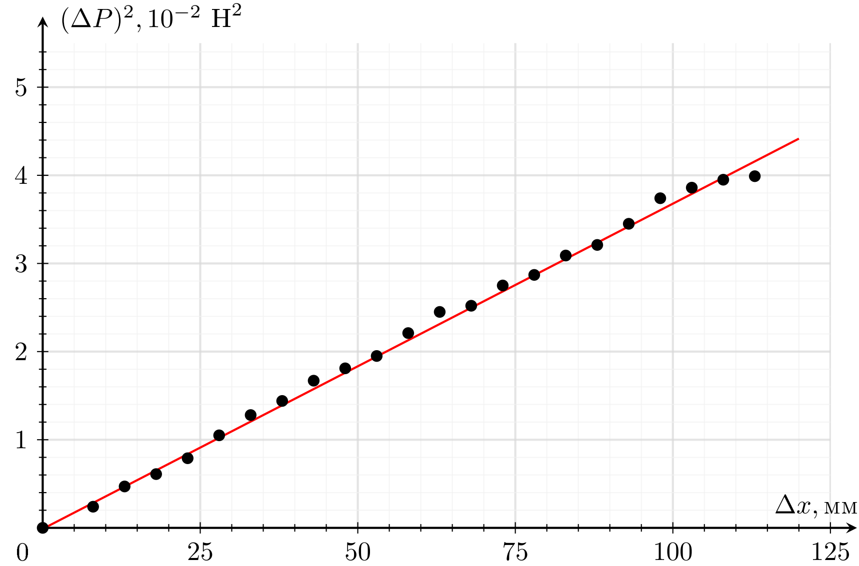
№	9	10	11	12	13	14	15	16
$\lvert\Delta P\rvert$, мН	129	135	140	149	156	159	166	169
Δx, 10^{-3}м	43	48	53	58	63	68	73	78
ΔP^2, 10^{-2}Н^2	1,67	1,81	1,95	2,21	2,45	2,52	2,75	2,87
$\sqrt{\Delta x}$, 10^{-1}м$^{1/2}$	2,07	2,19	2,30	2,41	2,51	2,61	2,70	2,79

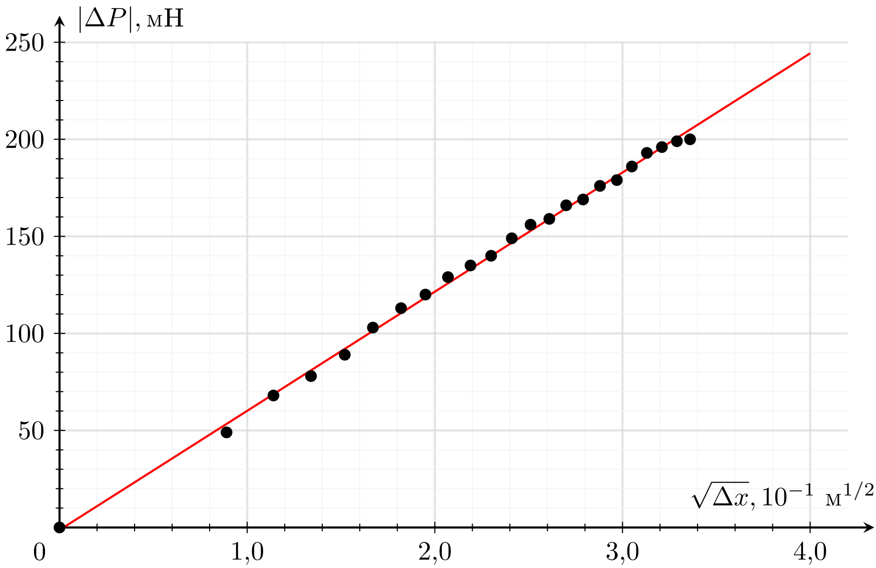
№	17	18	19	20	21	22	23
$\lvert\Delta P\rvert$, мН	176	179	186	193	196	199	200
Δx, 10^{-3}м	83	88	93	98	103	108	113
ΔP^2, 10^{-2}Н^2	3,09	3,21	3,45	3,74	3,86	3,95	3,99
$\sqrt{\Delta x}$, 10^{-1}м$^{1/2}$	2,88	2,97	3,05	3,13	3,21	3,29	3,36

Построим график $(\Delta P)^2(\Delta x)$ или $|\Delta P|(\sqrt{\Delta x})$ для проверки соответствия теории и эксперимента.

Графики получились линейными, значит эксперимент подтверждает теорию.

Массу одного витка пружины можно вычислить $m = M/n$, где $M = 20{,}37$ г — масса всей пружины, а $n = 37$ — число витков.





Из углового коэффициента графика, построенного в пункте 3, выразим жёсткость одного витка: $k = \beta_1/2mg$ или $k = (\beta_2)^2/2mg$, где $\beta_1 = (\Delta P)^2/\Delta x$,

$\beta_2 = |\Delta P|/\sqrt{\Delta x}$.

Произведем оценку погрешности: $k = k(\frac{\Delta\beta_1}{\beta_1} + \frac{\Delta m}{m})$ или $k = k(2\frac{\Delta\beta_2}{\beta_2} + \frac{\Delta m}{m})$.

При расчетах получаем: $k = (34{,}2 \pm 1{,}8)$ Н/м.

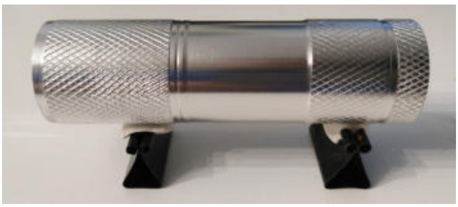
При помощи малярного скотча закрепим один виток пружины к концу деревянной линейки 40 см. Поместим пружину боковой стороной на стол, так чтобы линейка находилась в вертикальной плоскости, а свободный край линейки лежал на весах. Расположим бруски по обе стороны от линейки на расстоянии 2-3 мм. Обнулим показания весов и начнем аккуратно скручивать свободный конец пружины относительно закреплённого на линейке. Создаваемый пружиной момент сил будет компенсироваться моментом силы реакции весов: $M = mgl$, где $m = 2{,}51$ г — показания весов, а $l = 41$ см — длина линейки.

Момент сил, создаваемый пружиной при повороте одного её конца относительно другого на один оборот: $M = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$ Н $\cdot$ м.

Поскольку в данном опыте производится оценка измеряемой величины, то погрешность не вычисляется.

Задача №10-E2. Оптический «сэндвич»

Зажмём линзу Френеля двумя канцелярскими зажимами, поставленными вертикально. Теперь её удобно передвигать. Таким же образом закрепим экран. В течение всей работы важно следить, чтобы плоскость экрана и плоскость линзы оставались параллельными. Фонарик с помощью клеящих подушечек установим на канцелярские зажимы как на «ножки». Экран, линзу и фонарик расположим на столе так, чтобы ось фонарика была перпендикулярна плоскости линзы и плоскости экрана, и свет от фонарика формировал на экране отчётливое пятно. Наконец, приклеим мерную ленту к столу с помощью скотча для удобства измерения расстояний.



Фонарик на «ножках»

Для определения фокусного расстояния будем использовать симметричный метод Бесселя как наиболее точный: подберём расстояние L между фонариком и экраном так, чтобы резкое изображение формировалось тогда, когда линза находится ровно посередине между ними. В таком случае $F_0 = L/4$.

На авторской установке $F_0 \approx 21{,}3$ см.

Капнем на плоскую сторону одной из линз немного глицерина. Положим сверху вторую линзу плоской стороной и плотно сожмём получившийся «сэндвич» зажимами по краям. Важно следить, чтобы толщина слоя глицерина была везде одинаковой, то есть линзы не были изогнуты. Вытекший в процессе изготовления «сэндвича» глицерин протрём салфеткой.

Повторим измерения, описанные в прошлом пункте. На авторской установке $F_1 \approx 10{,}6$ см.

Аккуратно протрём салфеткой обе линзы Френеля. Капнем на ребристую сторону одной из линз немного глицерина. Положим сверху вторую линзу плоской стороной и плотно сожмём получившийся «сэндвич» зажимами по краям. Важно следить, чтобы линзы не были изогнуты. Вытекший в процессе изготовления «сэндвича» глицерин протрём салфеткой.

Повторим измерения, описанные в пункте 1. На авторской установке $F_2 \approx 19{,}1$ см.

Прежде всего заметим, что оптические силы тонких линз, расположенных вплотную, складываются.

Глицерин, зажатый между линзами Френеля, можно рассматривать как жидкую линзу, изготовленную из материала с показателем преломления $n_\text{г}$. В случае, когда линзы Френеля прижаты плоскими сторонами, радиус кривизны этой жидкой линзы очень велик, а значит оптическая сила мала и почти не влияет на распространение света. Этим объясняется то, что $F_1 \approx F_0/2$.

Если же глицерин зажат между одной гладкой и одной ребристой стороной, то он образует рассеивающую плоско-вогнутую линзу, радиус кривизны которой совпадает с радиусом кривизны линзы Френеля R. Оптическая сила такой системы трёх линз

$$D_2 = \frac{1}{F_2} = 2 \cdot \frac{1}{F_0} - \frac{n_\text{г} - 1}{R},$$

откуда

$$R = (n_\text{г} - 1)\left(\frac{2}{F_0} - \frac{1}{F_2}\right)^{-1}.$$

Значения, полученные на авторской установке, дают $R \approx 11{,}3$ см.

Из формулы для оптической силы плоско-выпуклой линзы, приведённой в условии, следует, что $n = 1 + \frac{R}{F_0} = 1 + (n_\text{г} - 1)\left(2 - \frac{F_0}{F_2}\right)^{-1}$.

Значения, полученные на авторской установке, дают $n \approx 1{,}53$.

В пределах стандартной школьной парты не удаётся подобрать взаимное расположение экрана, линзы и фонарика, при котором такой «сэндвич» формировал бы резкое изображение. Это связано с тем, что его фокусное расстояние слишком велико. Однако мы можем вычислить значение F_3 с помощью результатов, полученных в прошлых пунктах. Действительно, глицерин, зажатый между ребристыми сторонами линз Френеля, образует рассеивающую двояковогнутую линзу, которую в свою очередь можно представить как систему двух плосковогнутых, следовательно

$$\frac{1}{F_3} = \frac{2}{F_0} - \frac{2(n_г - 1)}{R}.$$

Отсюда

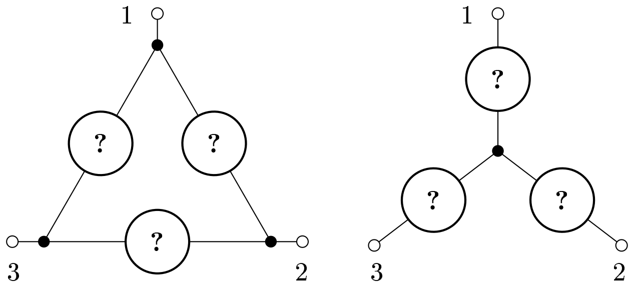
$$F_3 = \left(\frac{2}{F_2} - \frac{2}{F_0}\right)^{-1}.$$

Значения, полученные на авторской установке, дают $F_3 \approx 92$ см.

Задача №11-E1. Пружина на весах

См. решение задачи №10-E1.

Задача №11-E2. R плюс C

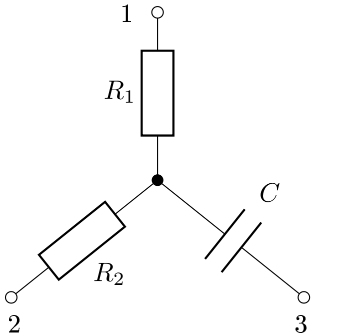


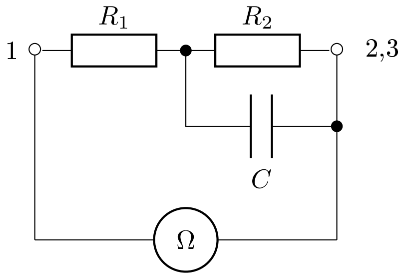
Подключим мультиметр в режиме омметра попарно к выводам $1-2$, $1-3$, $2-3$. При подключении к выводам $1-3$, $2-3$ показания омметра (сопротивление) будут увеличиваться от малого значения до бесконечности за времена порядка нескольких секунд, при подключении к выводам $1-2$ омметр будет регистрировать устойчивое значение сопротивления 115,4 кОм.

Изменение показаний при подключении омметра к выводам схемы говорит о том, что происходит процесс зарядки или разрядки конденсатора. При соединении элементов по схеме типа «треугольник», для всех возможных вариантов подключения показания прибора меняются со временем. Неизменные значения могут быть зарегистрированы, если между контактами мультиметра находятся только резисторы. Таким образом, проведенные измерения позволяют точно установить схему в сером ящике (см. рисунок), при этом $R_1 + R_2 = 115{,}4$ кОм.

Отметим сразу, что характерное время заряда-разряда конденсатора в сером ящике через резисторы R_1 и R_2 невелико, и за времена порядка нескольких секунд конденсатор успевает полностью разряжаться или заряжаться.

Соберём схему, указанную на рисунке, используя в качестве источника напряжения омметр в режиме измерения 2000 Ом.

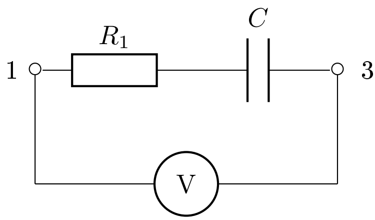




Учитывая, что омметр представляет собой источник постоянной ЭДС $\mathcal{E}$ с некоторым внутренним сопротивлением r, определим напряжение U_2, до которого зарядится конденсатор:

$$U_2 = \frac{\mathcal{E} R_2}{R_1 + R_2 + r}.$$

Далее отключим вывод 3 конденсатора от цепи и соберём следующую схему:



Показания подключенного таким образом вольтметра будут изменяться (уменьшаться) во времени, однако из-за сравнительно большого сопротивления мультиметра в режиме вольтметра изменение во времени будет относительно медленное. Фиксируя второе-третье показание вольтметра, можно сравнительно точно определить начальное напряжение на нём, которое связано с напряжением зарядки конденсатора:

$$U_2' = \frac{U_2 R_V}{R_1 + R_V} = \frac{\mathcal{E} R_2}{R_1 + R_2 + r} \cdot \frac{R_V}{R_1 + R_V}.$$

Повторим эти измерения 5 раз, получим серию для U_2'.

№	1	2	3	4	5
U_2', В	1,60	1,62	1,61	1,64	1,63

Найдём среднее значение: $\langle U_2' \rangle = 1{,}62$ В.

Проведем аналогичные измерения, поменяв местами резисторы R_1 и R_2 при зарядке конденсатора омметром. В этом случае напряжение на вольтметре:

$$U_1' = \frac{U_1 R_V}{R_1 + R_V} = \frac{\mathcal{E} R_1}{R_1 + R_2 + r} \cdot \frac{R_V}{R_1 + R_V}.$$

Выполним аналогичную серию измерений для U_1'.

№	1	2	3	4	5
U_1', В	1,10	1,13	1,10	1,12	1,10

Найдём среднее значение: $\langle U_1' \rangle = 1{,}11$ В.

Через отношение напряжений U_2' и U_1' найдём отношение сопротивлений R_2 и R_1:

$$\frac{U_2'}{U_1'} = \frac{R_2}{R_1} = 1{,}46.$$

Зная сумму сопротивлений, определим $R_2 = 68{,}5$ кОм, $R_1 = 46{,}9$ кОм.

Для определения ёмкости конденсатора подключим омметр к выводам $2 - 3$ и подождём несколько минут, предполагая, что за это время напряжение на конденсаторе установится равным ЭДС омметра $\mathcal{E}$. Переключив мультиметр в режим вольтметра, подключим его к выводам 2-3 и определим напряжение

$$U_3 = \frac{R_V}{R_2 + R_V} \mathcal{E}$$

в начальный момент времени после подключения (второе-третье показания вольтметра). Повторив измерения 5 раз, получим серию для U_3 . Перед каждым новым измерением обязательно будем разряжать конденсатор, замыкая выводы 3 и 1.

№	1	2	3	4	5
U_3, В	2,68	2,66	2,70	2,65	2,68

Найдём среднее значение: $\langle U_3' \rangle = 2{,}68$ В.

Затем повторим эксперимент, подключив к выводу 3 конденсатор известной ёмкости, и зарядим цепочку конденсаторов C и C_0 от омметра через сопротивление R_2 в течение нескольких минут. Установившееся напряжение на конденсаторе C при этом будет равно $\mathcal{E}C_0/(C_0+C)$. Отключим конденсатор C_0, снова измерим напряжение между выводами $2-3$. В первый момент времени после подключения оно равно

$$U_4 = \frac{R_V}{R_2 + R_V}\frac{C_0}{C_0 + \mathrm{C}}\mathcal{E}.$$

При каждом новом измерении обязательно будем разряжать конденсаторы. Полученная серия для U_4 приведена ниже в таблице.

№	1	2	3	4	5
U_4, В	1,32	1,35	1,34	1,34	1,30

Найдём среднее значение: $\langle U_4' \rangle = 1{,}33$ В.

Через равенство отношений напряжений и ёмкостей

$$\frac{U_3}{U_4} = \frac{C_0 + C}{C_0} \approx 2{,}02$$

вычислим значение искомой ёмкости

$$C = C_0\left(\frac{U_3}{U_4} - 1\right) \approx 10{,}2 \text{ мкФ}.$$