Всероссийская олимпиада по физике имени Дж. Кл. Максвелла

Заключительный этап
Экспериментальный тур

2024

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

Авторы задач

7 класс

- **7-E1**. Сеитов А., Порошин О.
- **7-E2**. Кармазин С.

8 класс

- **8-E1**. Порошин О.
- **8-E2**. Рубцов Д., Кармазин С.

7 класс

Задача №1. Найди клад

Оборудование: поле с кладом (три листа картона, склеенные друг с другом), картонные треугольники, линейка, весы, пластиковый стаканчик, нить, лист миллиметровой бумаги для построения графика, ножницы.

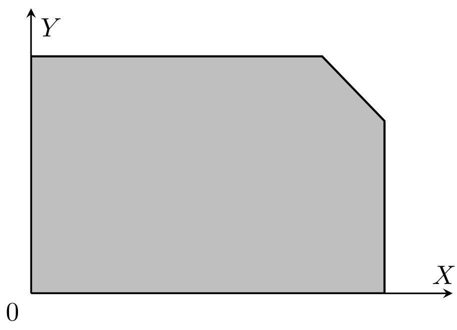
Вам предложено поле с «кладом», собранное из трёх одинаковых листов картона. Три треугольника, сделанные из такого же картона, что и «поле» выданы отдельно. В среднем листе картона поля сделано отверстие, в которое помещена монета-клад. Размер монеты точно соответствует размеру отверстия. Считайте, что монета и картон – это однородные тела. Запишите в работе номер выданного Вам поля.

1. Используя картонные треугольники, определите поверхностную плотность картона $\sigma_к$. Треугольники можно резать так, как Вам угодно.

2. Зная диаметр монеты $d = 30$ мм, определите её массу.

3. Предложите метод, при помощи которого можно определить местоположение центра клада на поле. Выведите и запишите формулу, по которой это можно сделать.

4. Проведя дополнительные измерения, определите положение центра монеты в выданном Вам поле.



Для однозначного определения центра монеты предлагается ввести следующую систему координат. Начало отсчёта совмещаем с прямым углом поля, который находится напротив среза. Ось OX направим вдоль длинной стороны поля; ось OY – вдоль короткой (см. рис.). Вычислите координаты центра монеты в этой системе, запишите их значения в работу и отметьте на поле положение центра монеты буквой M. На поверхности поля можно делать построения карандашом.

Внимание! Участникам олимпиады запрещено проводить какие-либо механические, тепловые, световые и т.п. воздействия на поле с «кладом»! Разбирать поле запрещено. Вы можете лишь наносить на поле метки карандашом. При выявлении каких-либо дополнительных действий с полем, работа участника в этой части обнуляется.

Задача №2. Палка-поднималка

Оборудование: рычаг с грузом, закреплённый на крышке стола, канцелярская клипса для фиксации рычага в горизонтальном положении, динамометр, линейка 40 см или 50 см, два листа миллиметровой бумаги формата А4 для построения графиков.

В вашем распоряжении имеется подъёмный механизм, основой которого является однородный рычаг массой M, шарнирно закреплённый на крышке стола. Груз массой m подвешен к рычагу на расстоянии X от шарнира, причём это расстояние можно изменять в определенных пределах, перемещая петлю подвеса груза. Для того, чтобы рычаг находился в горизонтальном положении или очень медленно (квазистатически) поднимался, оставаясь почти горизонтальным, необходимо к проволочной петельке, расположенной на правом конце рычага, прикладывать вертикальную силу F (см. рис.1).

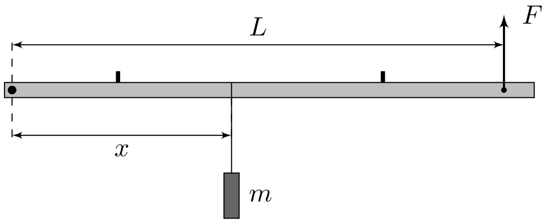


Рис. 1

Запишите номер вашего рычага и пронумеруйте листы миллиметровой бумаги график 1, график 2.

1. Измерьте расстояние L между шарниром и точкой приложения силы F (см. рис. 1).

2. Снимите зависимость $F(X)$.

3. Постройте график полученной зависимости $F(X)$ (график 1).

4. Теоретически выведите зависимость $F(X)$.

5. Используя результаты, полученные в пунктах 1, 3 и 4, определите массу груза m и массу рычага M.

При выполнении заданий следующих пунктов Вам нужно будет вывести формулы для расчётов указанных ниже физических величин. Далее Вам потребуется вычислить значения одной из них, используя найденные ранее экспериментально массу m груза, массу M рычага и его длину L, а также построить график зависимости этой величины от X. Продумайте формат представления данных, необходимых для построения графика.

6. Выигрыш в силе, который обеспечивает подъёмный механизм, обозначим α и определим его как $\alpha = mg/F$. Теоретически получите зависимость α от положения груза X, массы m груза, массы M рычага и его длины L.

7. Сформулируйте определение (текстом и в виде формулы) для коэффициента полезного действия (КПД) η данного подъёмного механизма. Теоретически получите зависимость η от X, m, M, L.

8. Хороший подъёмный механизм должен обеспечивать большой выигрыш в силе и иметь при этом большой КПД. Введём новую физическую величину – эффективность подъёмного механизма β – и определим её как произведение выигрыша в силе α и коэффициента полезного действия η ($\beta = \alpha\eta$). Используя результаты, полученные в пунктах 6 и 7, постройте график теоретической зависимости β от X данного подъёмного механизма для полного диапазона значений X от нуля до L (график 2).

9. Чему равна максимально возможная эффективность β_{max} Вашего подъёмного механизма и при каком положении груза X_{max} она достигается? Постарайтесь определить эти величины наиболее точно.

Внимание! В процессе работы не допускайте опускания рычага в вертикальное положение, так как это может привести к деформации механизма крепления груза!

8 класс

Задача №1. Понтонный мост

Оборудование: широкий сосуд с водой, линейка (20 см), шприц 20 мл (без иглы), две гайки, 4 кусочка двухстороннего скотча или офисный пластилин, нитка, салфетки для поддержания чистоты, лист миллиметровой бумаги для построения графиков.

1. Определите площадь внешнего поперечного сечения цилиндрической части шприца. Опишите метод, который Вы использовали. Построение графиков в первом пункте задания не требуется.

Соберите установку, аналогичную той, что показана на рис. 1. Для этого положите в шприц гайку и закройте его поршнем. У Вас получится поплавок. Опустите поплавок в сосуд с водой. Если поплавок не плавает вертикально, то можно набрать в него немного воды. Шток шприца должен возвышаться над краем сосуда на 15–20 мм. При необходимости попросите у организаторов дополнительный сосуд с водой и отрегулируйте уровень воды в своем сосуде.

Привяжите к другой гайке нитку, сделав на ней петлю, и проденьте в эту петлю линейку. Положите линейку одним концом на край сосуда, а второй конец приклейте двусторонним скотчем или офисным пластилином к поплавку (см. рис. 1).

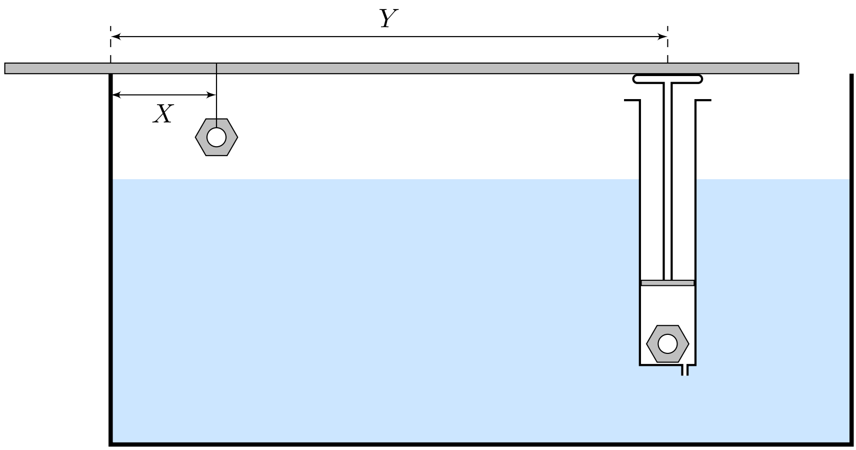


Рис. 1

Перемещая линейку по краю сосуда и гайку с ниткой по линейке, добейтесь того, чтобы линейка располагалась горизонтально. Опишите, как вы контролируете горизонтальность линейки.

2. Определите силу F, действующую со стороны поплавка на линейку при её горизонтальном положении. Опишите метод определения этой силы.

Обозначьте X расстояние от края сосуда до точки подвеса гайки, а Y – расстояние от края сосуда до точки приложения силы, действующей на линейку со стороны поплавка (см. рис. 1).

3. Снимите зависимость величины Y от величины X.

4. Выведите теоретический вид исследуемой зависимости $Y(X)$.

5. Постройте график экспериментальной зависимости $Y(X)$.

6. С помощью графика и полученной теоретической зависимости определите массу гайки с ниткой и массу линейки.

Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м^3. Длина окружности $L = 2\pi R$, площадь круга $S = \pi R^2$.

Примечание: Предложенное в работе оборудование позволяет определить массы линейки и гайки другими способами. Описание этих способов и результаты, полученные из них, не оцениваются.

Задача №2. Дважды два

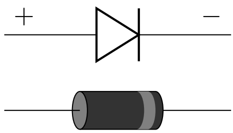
Оборудование: два **одинаковых** диода, два резистора сопротивлениями R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$), батарейка типа АА, макетная плата, соединительные провода, мультиметр.

1. Определите сопротивления резисторов R_1 и R_2 и напряжение батарейки U_0.

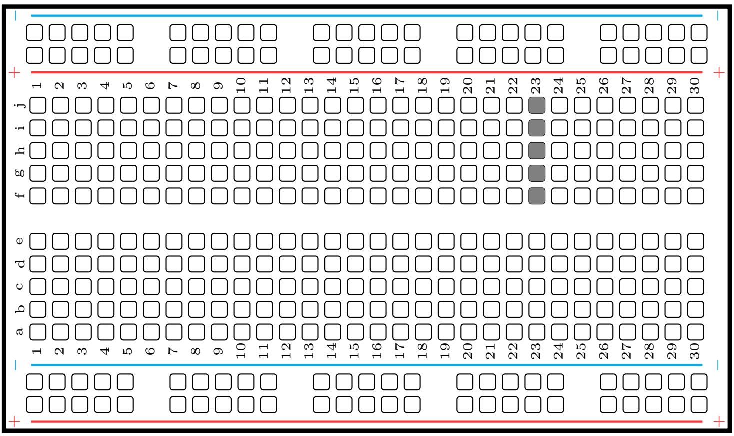
2. Снимите вольтамперную характеристику $I(U)$ диода в максимально широком диапазоне значений и постройте её график **с учётом погрешности**. В этом пункте запрещено использовать мультиметр в режиме амперметра. Снимать вольтамперную характеристику при подключении диода в обратном направлении **не требуется.**

При подключении диода в электрическую цепь учитывайте его полярность (см. рисунок).

Подключать диод напрямую к батарейке строго запрещено!



Внутреннее сопротивление мультиметра на всех диапазонах измерения напряжения порядка 1 МОм. Погрешность показаний мультиметра во всех режимах примите равной трём единицам последнего разряда.



Примечание: макетная плата используется для соединения проводов и подключения различных элементов. Каждые пять соседних гнёзд макетной платы, расположенные в одном столбце внутри платы, соединены между собой (на рисунке серым цветом отмечен один из таких столбцов). Гнёзда макетной платы, расположенные в двух крайних строках платы с каждой её стороны, промаркированные красным и синим цветами, также соединены между собой. Если красная и синяя маркировки прерываются, то соединение гнёзд в двух крайних строках платы сохраняется только в промаркированных областях.

Возможные решения

Задача №7-E1. Найди клад

При помощи линейки измеряем длины сторон треугольника и вычисляем его площадь. Массу треугольника определяем на весах. Так как поверхность треугольников и листов намного больше поверхности весов, размещаем между ними пластиковый стаканчик. Заполняем таблицу. Можно сначала определить массу одного треугольника, затем двух, а после трёх. Но трёх точек для построения графика недостаточно, поэтому треугольники можно разрезать и получить несколько точек.

Строим график зависимости массы листа картона от его площади. Проводим на графике прямую через начало координат. Через угловой коэффициент определяем поверхностную плотность картона $\sigma_к = m/S$.

Для определения массы поля необходимо знать площадь пятиугольников, из которых собрано поле. Определить её можно разными способами. Например, измерив длины смежных сторон a и b, можно вычислить площадь прямоугольника $S_{пр} = ab$, из которого был вырезан пятиугольник. Затем, измерив противоположные стороны, можно вычислить длины катетов треугольника n и h, который был отрезан от листа картона, и посчитать его площадь $S_{тр} = nh/2$. Теперь площадь поля можно вычислить как разницу площади прямоугольника и треугольника $S_п = S_{пр} - S_{тр}$. На весах измеряем массу поля. Она равна:

$$m_п = 3\sigma_к S_п - \sigma_к \frac{\pi d^2}{4} + m_М.$$

Тогда масса монеты:

$$m_М = m_п - 3\sigma_к S_п + \sigma_к \frac{\pi d^2}{4}.$$

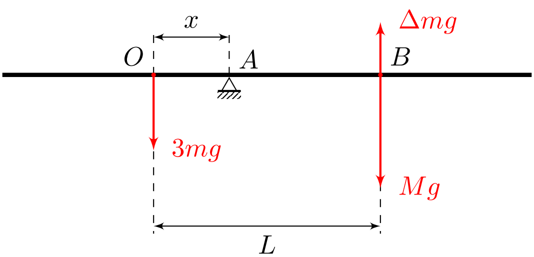


Рис. 1

Формулу для вычисления местоположения центра клада можно вывести, если записать условие равновесия поля относительно центра масс системы. Сделаем чертёж поля (вид сбоку) с расстановкой сил. Точка O – центр масс пятиугольника, точка A – центр масс системы, точка B – центр масс монеты, X – смещения центра масс системы относительно центра масс пятиугольника, L – смещение центра монеты относительно центра масс пятиугольника, m – масса одного пятиугольника, Δm – масса вырезанной части картона, M – масса монеты.

Запишем правило моментов относительно центра масс системы (точка A):

$$3mgX + \Delta mg(L - X) - Mg(L - X) = 0.$$

После необходимых преобразований выразим L:

$$L = \frac{(3m + M - \Delta m)X}{M - \Delta m}. \tag{1}$$

Теперь, если знать X – смещения центра масс системы относительно центра масс пятиугольника, можно найти место положения центра монеты.

Чтобы воспользоваться формулой (1), необходимо определить местонахождение центра масс пятиугольника для случая, когда он был сплошной без монеты. Это можно сделать различными способами. Например, разбить пятиугольник на два прямоугольника и треугольник, вдоль сторон отложить оси координат, а затем воспользоваться теоремой о центре масс. У каждой выделенной фигуры определяются линейные размеры, вычисляется площадь, а затем при помощи поверхностной плотности определяется масса этой фигуры.

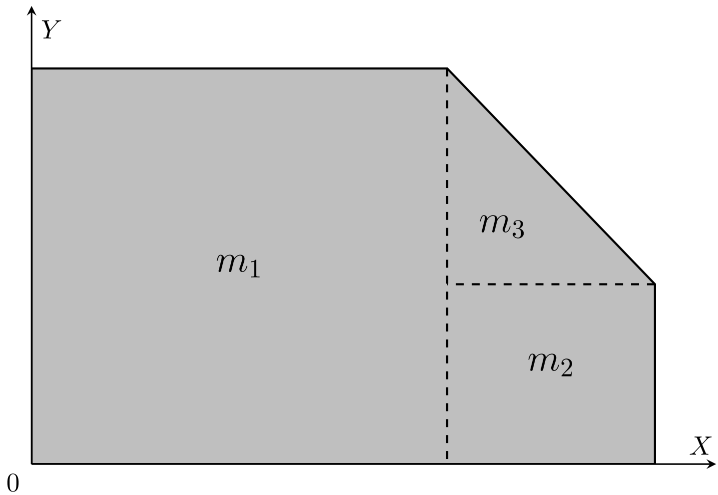


Рис. 2

Учитывая, что для этих фигур центр масс совпадает с их геометрическим центром, легко находятся координаты этих центров масс для каждой фигуры, а затем по теореме об определении центре масс вычисляется координата центра масс всего пятиугольника.

$$x_{\text{цм}} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m_{\text{п}}};\ y_{\text{цм}} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m_{\text{п}}}.$$

Зная эти координаты, можно отметить центр масс пятиугольника на поле.

Теперь необходимо определить, где находится центр масс системы с монетой. Это тоже можно сделать разными способами. Вот один из них. Делаем из нитки большую петлю. Берём эту петлю в руку. Вставляем поле в петлю и добиваемся равновесия. Отмечаем карандашом на поле положение ниточек на рёбрах поля и проводим прямую линию через эти метки. Проводим опыт не менее трёх раз и получаем область, в которой находится центр масс поля. Используя формулу (1), вычисляем расстояние до центра масс монеты. Проводим прямую через центр масс трапеции и полученный центр масс системы. По этой прямой откладываем L. Отмечаем положение центра масс монеты. Из полученной точки опускаем перпендикуляры на оси координат и получаем значение координаты центра монеты.

Задача №7-Е2. Палка-поднималка

Расстояние $L = 484$ мм. Здесь и далее приведены результаты, полученные на авторской установке. Численные значения, полученные на других установках, могут незначительно отличаться от авторских.

Ниже приведена таблица измерений зависимости $F(X)$. При $X > 320$ мм показания динамометра превышают 5 Н. Фиксировать показания динамометра мы можем с точностью равной половине цены деления.

X, мм	58	79	94	125	180	218	250	286	320
F, Н	1,75	2,0	2,2	2,55	3,25	3,65	4,1	4,5	4,9

График зависимости $F(X)$ представлен на рисунке 3 (график 1).

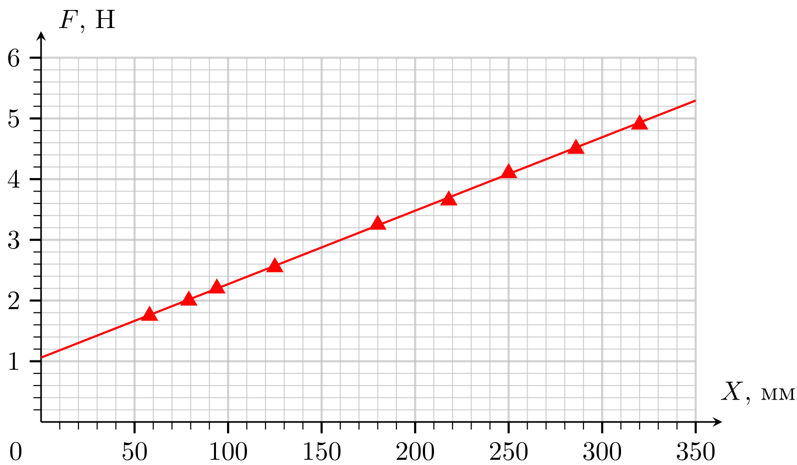


Рис. 3

Запишем правило моментов для рычага относительно оси вращения (см. рис. 4):

$$FL = mgX + \frac{MgL}{2} \Rightarrow F = \frac{Mg}{2} + \frac{mg}{L}X.$$

Сила F является линейной функцией X.

Угловой коэффициент графика:

$$k = \frac{4{,}9 - 2{,}0}{320 - 80} = 0{,}0121 \text{ Н/мм} = 12{,}1 \text{ Н/м}.$$

Зная угловой коэффициент графика, определим массу m груза:

$$m = \frac{kL}{g} = \frac{12{,}1 \cdot 0{,}484}{9{,}8} \approx 0{,}60 \text{ кг}.$$

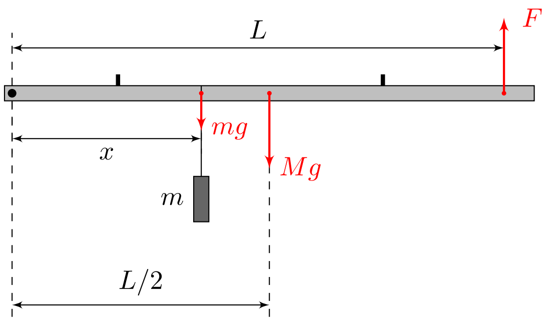


Рис. 4

Из графика видно, что при $X = 0$ $F = 1{,}1$ Н. Следовательно, масса рычага:

$$M = \frac{1{,}1 \cdot 2}{9{,}8} \approx 0{,}22 \text{ кг.}$$

$$\alpha = \frac{mg}{F} = \frac{mg}{\frac{Mg}{2} + \frac{mg}{L}X} = \frac{1}{\frac{M}{2m} + \frac{X}{L}}.$$

Таблица этой зависимости во всем диапазоне значений X с шагом в 50 мм представлена ниже. Эта таблица может пригодиться для выполнения пункта 8 задания.

X, мм	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
α	5,45	3,49	2,56	2,03	1,68	1,43	1,25	1,10	0,99	0,90	0,82

Предположим, что в процессе медленного подъёма груз поднялся на маленькое расстояние ΔX при почти горизонтальном положении рычага. При этом правый конец рычага, к которому приложена сила F поднялся на расстояние ΔY. Из подобия треугольников (см. рис. 5) следует, что величины ΔX и ΔY связаны соотношением:

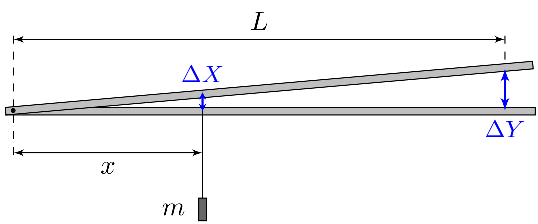


Рис. 5

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta Y}{L}. \tag{2}$$

КПД – это отношение полезной работы к совершённой. Полезная работа в нашем случае – подъем груза массой m на высоту ΔX. Совершенная работа – это работа силы F при перемещении ее точки приложения на величину ΔY.

Следовательно, с учётом (2) КПД равен:

$$\eta = \frac{mg\Delta X}{(\frac{Mg}{2} + \frac{mg}{L}X)\Delta Y} = \frac{1}{1 + \frac{ML}{2mX}}.$$

Рассчитаем зависимость $\eta(X)$. Результаты расчета с шагом 50 мм представлены в таблице.

X, мм	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
η	0	0,36	0,53	0,63	0,69	0,74	0,77	0,80	0,82	0,84	0,85

Данная таблица также может пригодиться для выполнения пункта 8 задания.

Пункт 8 задания может быть выполнен двумя способами:

Способ 1

Повторим столбцы предыдущих двух таблиц, вычислим зависимость $\beta = \alpha\eta$ от X с тем же шагом 50 мм и построим график зависимости (график 2) $\beta(X)$ (см. рис. 6).

X, мм	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
β	0	1,26	1,36	1,28	1,16	1,06	0,96	0,88	0,81	0,76	0,70

Способ 2

Выведем формулу для расчета β:

$$\beta = \alpha\eta;\ \alpha = \frac{1}{\frac{M}{2m} + \frac{X}{L}};\ \eta = \frac{1}{1 + \frac{ML}{2mX}} \Rightarrow \beta = \frac{4m^2LX}{(ML + 2mX)^2}.$$

Затем непосредственно рассчитаем зависимость $\beta(X)$ и занесём результаты расчета в таблицу. Построим график зависимости $\beta(X)$ (см. рис. 6).

Видно, что эффективность β достигает своего максимума ($\beta_{max} \approx 1{,}4$) в интервале от 50 мм до 150 мм. Для более точного определения β_{max} просчитаем зависимость $\beta(X)$ в указанном диапазоне с более мелким шагом (через 10 мм) и по таблице определим, что максимум β, видимо, слегка превышает значение 1,36 и достигается при $X \approx 90$ см.

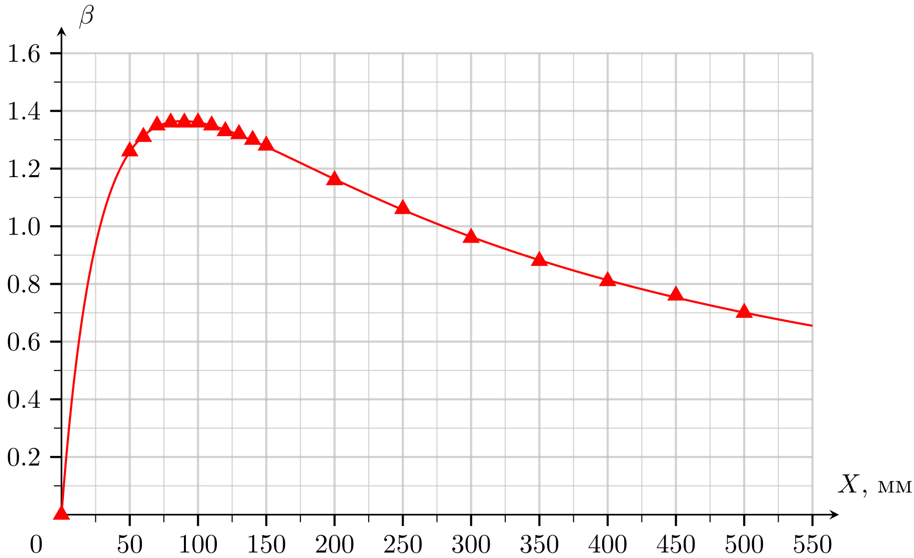


Рис. 6

X, мм	α	η	β
50	3,49	0,36	1,26
60	3,25	0,40	1,31
70	3,05	0,44	1,35
80	2,87	0,47	1,36
90	2,71	0,50	1,36
100	2,56	0,53	1,36
110	2,44	0,55	1,35
120	2,32	0,57	1,33
130	2,21	0,59	1,32
140	2,12	0,61	1,30
150	2,03	0,63	1,27

Задача №8-Е1. Понтонный мост

Для нахождения площади внешнего поперечного сечения определим длину окружности L с помощью прокатывания по линейке. В этом случае $L = L_n/n$, где L_n – длина нескольких оборотов, n – количество оборотов.

Выразим внешний радиус шприца R и подставим его в формулу площади круга:

$$R = \frac{L}{2\pi};\ S = \pi R^2 = \frac{L^2}{4\pi}.$$

Площадь поперечного сечения шприца, полученная на авторской установке:

$$S = 350\ \text{мм}^2.$$

Измерим дополнительную глубину Δh погружения поплавка, при которой линейка принимает горизонтальное положение. Эта глубина равна высоте, на которую шток выступает над краем сосуда без линейки. Умножив Δh на площадь поперечного сечения шприца, получим дополнительный объём погружения поплавка при горизонтальном положении линейки. Если подставить этот дополнительный объём в формулу силы Архимеда, то получим величину силы, которая действует на линейку со стороны шприца:

$$F = \rho g S \Delta h.$$

Отслеживать объём погружённой части поплавка по шкале шприца неправильно, так как это внутренний объём, а нам нужен внешний. Кроме того, шкала у шприца, как правило, не доходит до верхнего края, а это ограничивает диапазон измерений.

Ещё одно измерение, которое необходимо сделать до начала эксперимента, это определение местоположения центра масс линейки $l_{\text{цм}}$. Сделать это можно любым из известных способов. Например, уравновесить на краю стола.

В таблицу измерений заносим значения X и Y при различных положениях гайки и точки опоры линейки на краю сосуда. Необходимо всё время следить за горизонтальностью линейки. Это легко сделать, если отслеживать глубину погружения поплавка. Она должна оставаться всё время одной и той же.

Y, мм	X, мм
77	50
84	48
89	43
94	38
101	35
107	31
110	24
119	23
127	21

Запишем условие равновесия для линейки после того как её положили на поплавок и нагрузили гайкой.

$$mgX + Mg(Y - l_{\text{цм}}) = \rho g S \Delta h Y, \tag{3}$$

где m – масса гайки, M – масса линейки, ρ – плотность воды, Δh – изменение глубины погружения поплавка после того, как на него положили линейку с гайкой.

Выразим теперь величину Y:

$$Y = \frac{M l_{\text{цм}}}{M - \rho S \Delta h} - \frac{m}{M - \rho S \Delta h} \cdot X. \tag{4}$$

Получили линейную зависимость $Y(X)$, графиком которой является прямая линия.

Точка b пересечения этого графика с осью Y будет равна второму слагаемому в уравнении (4). Тогда выражаем массу линейки:

$$M = \frac{b \rho S \Delta h}{b - l_{\text{цм}}}. \tag{5}$$

Определив модуль углового коэффициента наклона графика k, найдём массу гайки:

$$m = k(M - \rho S \Delta h). \tag{6}$$

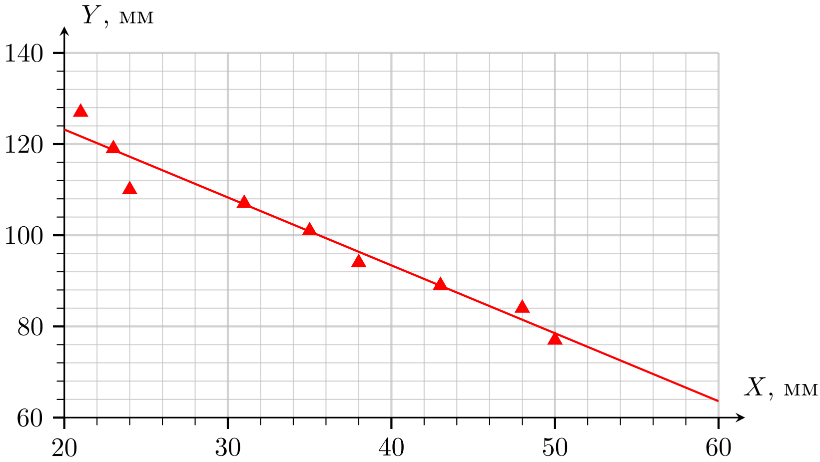


Рис. 7

Масса линейки, полученная из эксперимента на авторской установке:

$$M = 14{,}4 \text{ г.}$$

Масса гайки, полученная из эксперимента на авторской установке:

$$m = 13{,}6 \text{ г.}$$

Задача №8-Е2. Дважды два

Мультиметром в режиме омметра определим сопротивления резисторов $R_1 = (36{,}0 \pm 0{,}3)$ Ом и $R_2 = (20{,}0 \pm 0{,}3)$ Ом, в режиме вольтметра - напряжение батарейки $U_0 = (1541 \pm 3)$ мВ.

Для измерения вольтамперной характеристики диода будем подключать последовательно соединённые некоторую комбинацию из резисторов и некоторую комбинацию из диодов к батарейке. Будем измерять напряжения U_R и U_D на этих комбинациях и, зная сопротивления R_1 и R_2, пересчитывать эти показания в силу тока и напряжение на одном диоде. Так как сопротивления резисторов много меньше внутреннего сопротивления вольтметра, вольтметр будем считать идеальным.

Возможные сопротивления комбинаций резисторов: $R_1 = (36{,}0 \pm 0{,}3)$ Ом, $R_2 = (20{,}0 \pm 0{,}3)$ Ом, $R_1 + R_2 = (56{,}0 \pm 0{,}6)$ Ом и $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = (12{,}9 \pm 0{,}2)$ Ом.

Схема 1:

$U_R = (731 \pm 3)$ мВ; $U_D = (737 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D = (737 \pm 3)\ \text{мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{R_1} = (20{,}3 \pm 0{,}3)\ \text{мА}.$$

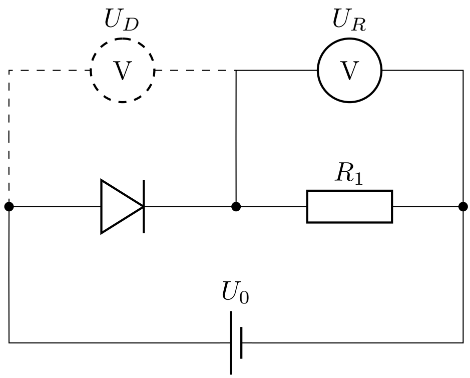


Схема 2:

$U_R = (146 \pm 3)$ мВ; $U_D = (1334 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D/2 = (667 \pm 2)\ \text{мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{R_1} = (4{,}1 \pm 0{,}1)\ \text{мА}.$$

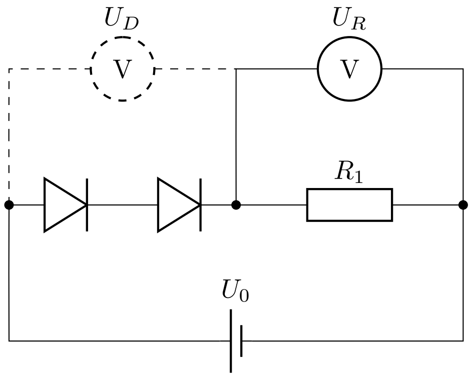
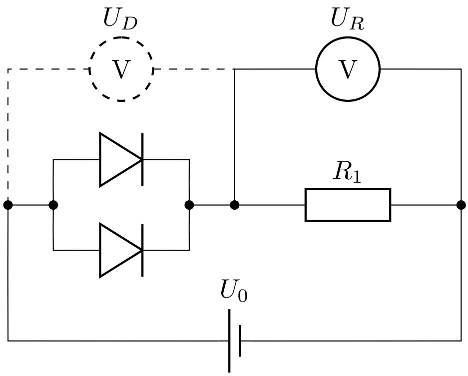


Схема 3:

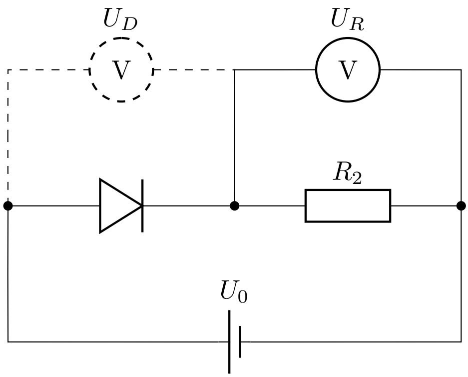


$U_R = (751 \pm 3)$ мВ; $U_D = (707 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D = (707 \pm 3)\ \text{мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{2R_1} = (10{,}4 \pm 0{,}1)\ \text{мА}.$$

Схема 4:

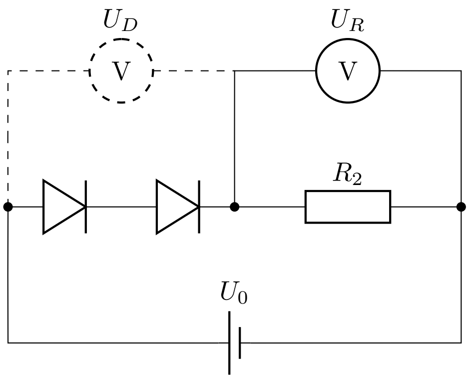


$U_R = (703 \pm 3)$ мВ; $U_D = (761 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D = (761 \pm 3)\ \text{мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{R_2} = (35{,}2 \pm 0{,}7)\ \text{мА}.$$

Схема 5:

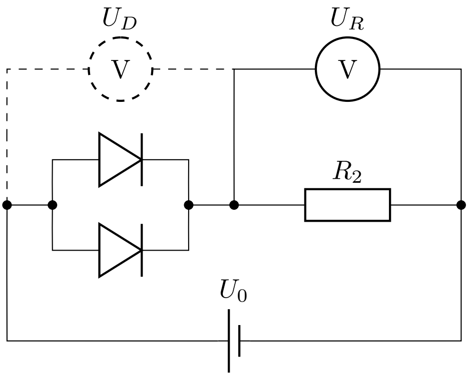


$U_R = (115 \pm 3)$ мВ; $U_D = (1366 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D/2 = (683 \pm 2)\ \text{мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{R_2} = (5{,}8 \pm 0{,}2)\ \text{мА}.$$

Схема 6:

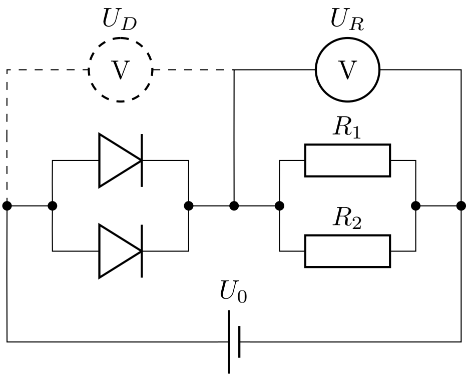


$U_R = (710 \pm 3)$ мВ; $U_D = (730 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D = (730 \pm 3) \text{ мВ}$$

$$I = \frac{U_R}{2R_2} = (17{,}8 \pm 0{,}3) \text{ мА}.$$

Схема 7:

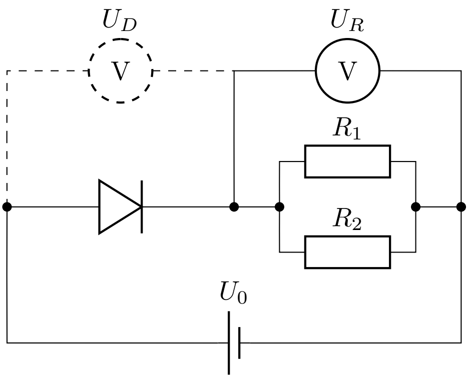


$U_R = (695 \pm 3)$ мВ; $U_D = (748 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D = (748 \pm 3) \text{ мВ};$$

$$I = \frac{U_R(R_1 + R_2)}{2R_1R_2} = (27{,}0 \pm 0{,}5) \text{ мА}.$$

Схема 8:



$U_R = (679 \pm 3)$ мВ; $U_D = (776 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D = (776 \pm 3) \text{ мВ};$$

$$I = \frac{U_R(R_1 + R_2)}{R_1R_2} = (52{,}8 \pm 1{,}0) \text{ мА}.$$

Схема 9:

$U_R = (93 \pm 3)$ мВ; $U_D = (1390 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D/2 = (695 \pm 2) \text{ мВ};$$

$$I = \frac{U_R(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = (7{,}2 \pm 0{,}3) \text{ мА}.$$

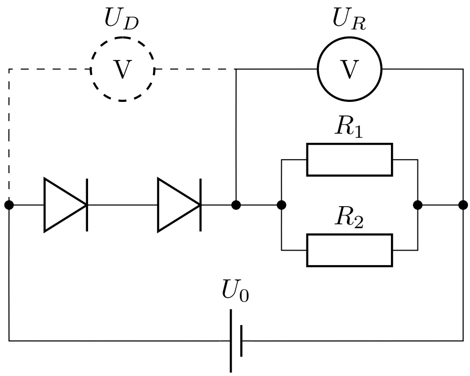


Схема 10:

$U_R = (166 \pm 3)$ мВ; $U_D = (1307 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D/2 = (654 \pm 2) \text{ мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{R_1 + R_2} = (3{,}0 \pm 0{,}1) \text{ мА}.$$

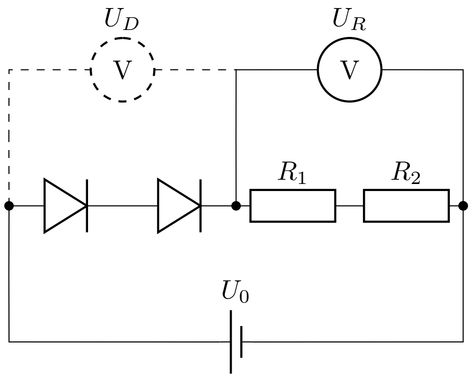


Схема 11:

$U_R = (779 \pm 3)$ мВ; $U_D = (690 \pm 3)$ мВ;

$$U = U_D = (690 \pm 3) \text{ мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{2(R_1 + R_2)} = (7{,}0 \pm 0{,}1) \text{ мА}.$$

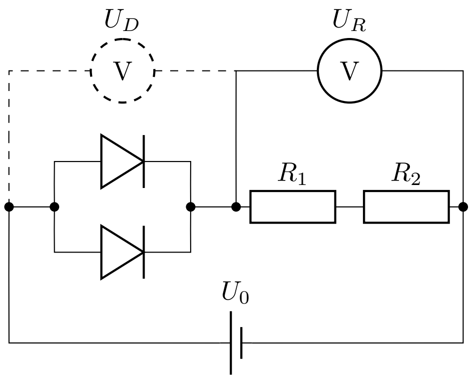
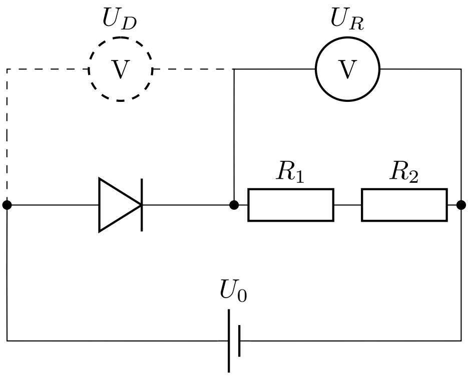


Схема 12:



$$U_R = (751 \pm 3)\ \text{мВ};\ U_D = (720 \pm 3)\ \text{мВ};$$

$$U = U_D = (720 \pm 3)\ \text{мВ};$$

$$I = \frac{U_R}{R_1 + R_2} = (13{,}4 \pm 0{,}2)\ \text{мА}.$$

Построим график полученной вольтамперной характеристики: