



Всероссийская олимпиада по физике  
имени Дж. Кл. Максвелла

Заключительный этап  
Экспериментальный тур

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

## Авторы задач

### 7 класс

- **7-Е1.** Андрей Сеитов
- **7-Е2.** Сергей Кармазин,  
Татьяна Мартемьянова

### 8 класс

- **8-Е1.** Татьяна Мартемьянова
- **8-Е2.** Сергей Кармазин

## 7 класс

## Задача №1. Постоянная Планка

**Оборудование:** планка; гайка М16 толщиной 16 мм; закрепленная на столе опора; линейка 40 см; масштабнo-координатная бумага для построения графиков.

Планка – **НЕРАЗБОРНАЯ** конструкция, представляющая собой металлический профиль с тремя закреплёнными на нем гайками, двумя короткими и одной длинной. **Важно! Не пытайтесь прокручивать на профиле закрепленные гайки, это категорически запрещено!**

Закрепленная на столе опора – канцелярский зажим со вставленной в него частью линейки.

**В данной задаче оценка погрешностей не требуется.** Перед выполнением работы запишите номер установки, указанный на боковой поверхности планки!

Положите планку на опору, как показано на фото ниже, и, перемещая подвижную гайку или саму планку, добейтесь равновесия системы (планка + гайка) в горизонтальном положении.



Координаты всех интересующих нас точек будем отсчитывать от левого торца планки (левой плоскости короткой гайки, закрепленной на конце планки). Введем обозначения:

- $x_T$  – координата центра тяжести подвижной гайки в положении равновесия;
- $x_0$  – координата точки расположения опоры в положении равновесия;
- $x_{\Pi}$  – координата центра тяжести планки.

1. Снимите зависимость  $x_0(x_T)$  для не менее чем 9 различных положений планки на опоре.

2. Постройте график зависимости  $x_0(x_T)$ . Определите значение углового коэффициента  $k$  для полученной прямой.

Теоретики утверждают, что  $x_{\Pi}$ ,  $x_T$ ,  $x_0$  и  $k$  связаны между собой следующим

образом:

$$x_o = (1 - k)x_{\text{п}} + kx_{\text{г}} \quad (1)$$

3. С помощью уравнения (1) и полученных экспериментальных результатов, определите координату  $x_{\text{п}}$  центра тяжести планки.

4. Используя известные физические законы, определите формулу связи углового коэффициента  $k$  с массами планки  $m_{\text{п}}$  и подвижной гайки  $m_{\text{г}}$ . С помощью полученной формулы, найдите отношение  $\alpha = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{г}}}$ .

## Задача №2. Ухватиться за соломинку

**Оборудование:** электронные весы; конструкция-усилитель (подставка для весов с винтом и линейка с упорами); пластиковая соломинка с нанесенными через 1 см штрихами; закрепленный на краю стола шприц без поршня; шприц с поршнем; трубка ПВХ; винт М3 с гайкой; жидкость плотностью  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  в стакане.

В данной задаче оценка погрешностей не требуется. При работе с малыми массами для повышения точности и расширения пределов измерений лабораторных весов можно использовать конструкцию-усилитель. Пример такой конструкции перед вами. Усилитель состоит из подставки с винтом, на которую устанавливаются весы, и линейки с приклеенными к ней упорами. Верхний упор заводится под шайбу гайки, расположенной на винте подставки, а нижний опирается на весы. К концу линейки прикреплен держатель из скрепок, который позволяет фиксировать нагрузку. Весы тарируются. При размещении нагрузки в держателе, сила, действующая на весы, кратно отличается от веса нагрузки за счет разницы плеч.



1. Произведите взвешивание винта М3 с гайкой сначала без усилителя, а потом с усилителем. Определите коэффициент усиления:

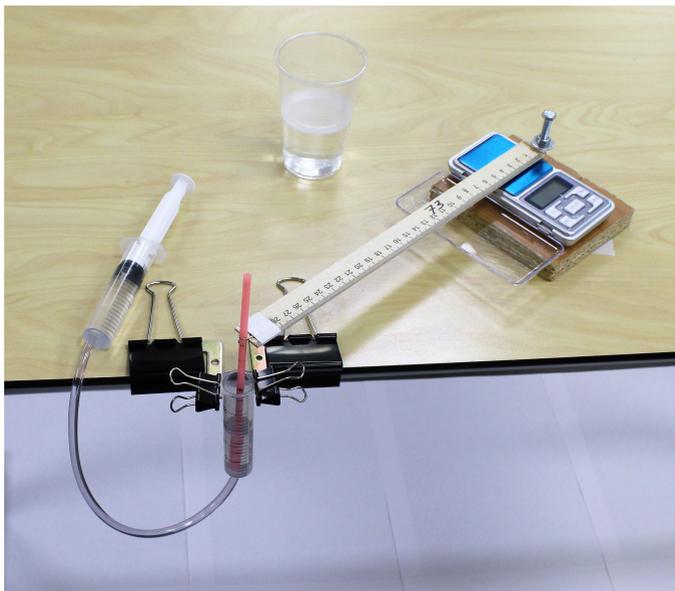
$$k = \frac{M_1}{M_2},$$

где  $M_1$  – масса с усилителем,  $M_2$  – масса без усилителя.

2. Определите массу выданной вам соломинки и измерьте ее длину.

На краю вашего стола смонтирована система для дозированной подачи и отвода жидкости. Шприц, зафиксированный на уровне столешницы, сверху открыт (из него вынут поршень). Снизу к нему через ПВХ трубку подсоединен второй шприц. С его помощью можно аккуратно подавать и откачивать жидкость из закрепленного шприца. Вставьте соломинку для коктейля в держатель усилителя

так, чтобы ее нижний конец с нанесенными штрихами погружался в закрепленный шприц, не касаясь его стенок. **Обратите внимание!** Нанесенные на соломинку деления могут стираться при механическом воздействии. Поэтому не продергивайте деления через держатель и не трогайте их руками.



3. Используя весы, усилитель и систему дозированной подачи и отвода жидкости, определите объем стенок соломинки. Опишите, как вы это делали.

Вам предстоит работа с чувствительной конструкцией, поэтому будьте очень аккуратны. **Категорически запрещается сгибать, закручивать и изламывать соломинку.**

4. Вычислите плотность пластика, из которого изготовлена соломинка для коктейля.

## 8 класс

### Задача №1. На пределе точности

**Оборудование:** булавка с шариком на конце (1 штука); маленький стаканчик; стакан с водой; пластиковый контейнер, который можно использовать в качестве подставки для весов; линейка 50 см; две зубочистки (одна приклеена к линейке); весы электронные (погрешность 0,03 г); штатив с муфтой и лапкой; масштабнo-координатная бумага для построения графиков.

На линейке выданной вам на отметке 50 см проделано маленькое отверстие, в которое Вы можете вставлять булавку при необходимости. Также на линейку приклеена зубочистка на отметке 0 см. (см. фото)

Контейнер может использоваться только как подставка для весов. Обратите внимание, что высота контейнера и маленького стаканчика примерно одинаковая.

**Запрещено** нарушать целостность булавки, гнуть иголку булавки, а также пытаться втыкать ее куда-либо кроме отверстия линейки, т.к. это также может привести к ее деформации!

В конце эксперимента булавка должна остаться в изначальном (целом) виде! Оценка погрешностей в данной задаче не требуется.

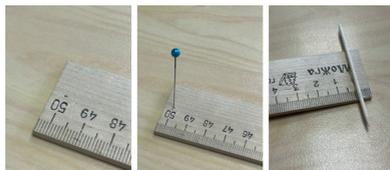


Фото выданной линейки.

1. Как можно точнее определите среднюю плотность шарика на конце булавки. Подробно опишите абсолютно ВСЕ действия, которые Вы предпринимаете для улучшения точности эксперимента.

**Примечание.** Объем шара  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .

Схема булавки приведена на рисунке.



Схема булавки.

## Задача №2. Наука требует жертв

**Оборудование:** батарейка АА с термопарой в держателе; два мультиметра (один с режимом измерения температуры); 3 провода типа «крокодил-крокодил» (один с наклейкой посередине); секундомер; резистор с известным сопротивлением  $R_0 = (10,0 \pm 0,1)$  Ом; масштабно-координатная бумага для построения графиков.

**Перед началом исследований не трогайте руками батарейку с термопарой, чтобы не исказить значение комнатной температуры.**

При протекании сильного тока через батарейку она нагревается. Выделяющееся тепло рассеивается на её внутреннем сопротивлении  $r$ . Реализовать существенный нагрев батарейки можно тогда, когда  $r$  сравнимо по величине с сопротивлением внешней нагрузки  $R$ . Такой режим работы является экстремальным и не используется на практике, так как приводит к быстрой выработке батарейкой её ресурса. Следует также иметь в виду, что при силе тока порядка 1 А и более в цепи обычной пальчиковой батарейки происходит существенное уменьшение её электродвижущей силы  $\mathcal{E}$  (ЭДС).

**Примечание:** электродвижущей силой называется напряжение на зажимах батарейки при разомкнутой цепи.

В данной работе вам предстоит исследовать тепловые свойства пальчиковой батарейки типа АА. Для контроля температуры наружной поверхности батарейки к ней прикреплена термопара, подключаемая к мультиметру в режиме измерения температуры.

Замыкание цепи батарейки осуществляется проводом типа «крокодил-крокодил» **с наклейкой посередине**, имеющим сопротивление, сравнимое с внутренним сопротивлением батарейки.

В данной работе можно использовать мультиметр **только в режиме вольтметра**. Погрешность мультиметра примите равной двум единицам последнего разряда, но не менее 1% от текущего показания.

Во всех пунктах задания, **кроме пункта 2**, оценивать погрешность измерений **не требуется**.

1. Запишите начальное показание измерителя температуры  $t_k$ . Оно соответствует комнатной температуре.

2. Измерьте сопротивление  $R$  провода с наклейкой с погрешностью не более 5-7 %.

3. Нагревайте батарейку в течение тридцати минут, закоротив её проводом с наклейкой и подключив к ней вольтметр. Считайте, что по истечении полу-часа между батарейкой и окружающей средой наступает тепловое равновесие. Значение напряжения на батарейке в этот момент времени обозначим  $U_p$ , а температуру в этом режиме обозначим  $t_p$ . Запишите показания  $U_p$  и  $t_p$ .

4. После выполнения этого пункта незамедлительно приступайте к выполнению пункта 5.

Отключите закорачивающий провод от батарейки, оставляя вольтметр подключенным, и запишите значение ЭДС батарейки  $\mathcal{E}_p$  через время порядка  $\tau_0 \approx 3$  с после отключения провода. Будем считать, что ЭДС батарейки в завершающей стадии ее нагрева совпадает с измеренным Вами значением.

5. Снимите зависимость температуры батарейки  $t$  от времени  $\tau$  в режиме ее остывания. Это измерение следует проводить до достижения значения температуры порядка  $33^\circ\text{C}$ .

6. Постройте график измеренной в пункте 5 зависимости  $t(\tau)$ .

Согласно закону Ньютона-Рихмана, количество тепла, отдаваемое нагретым телом холодному в единицу времени, пропорционально разности температур между этими телами:

$$P = \alpha(t - t_k),$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи.

7. Определите величину коэффициента теплоотдачи батарейки  $\alpha$ , используя полученные ранее значения  $\mathcal{E}_p$ ,  $U_p$ ,  $R$ ,  $t_p$  и  $t_k$ .

8. С помощью графика, построенного в пункте 6, и полученных ранее результатов определите теплоемкость  $C$  батарейки при температуре  $38^\circ\text{C}$ .

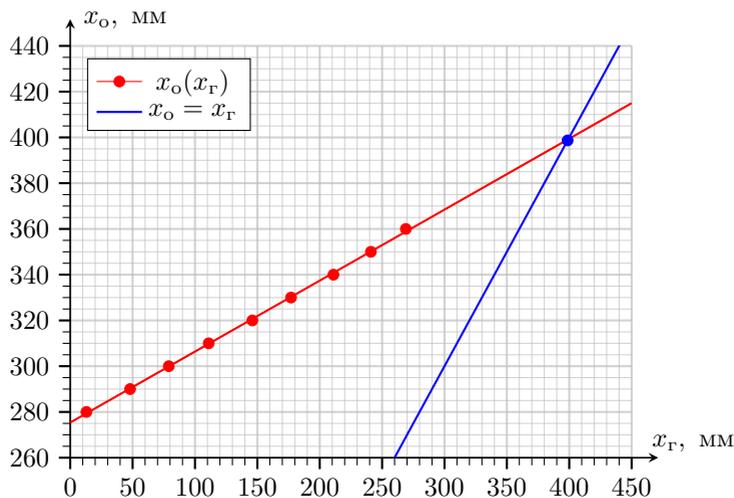
## Возможные решения

### Задача №7-Е1. Постоянная Планка

Снимем зависимость  $x_o(x_r)$  и данные занесем в таблицу

$x_r$ , мм	$x_o$ , мм
13	280
48	290
79	300
111	310
146	320
177	330
211	340
241	350
269	360

Построим график измеренной зависимости



$$k = \frac{\Delta x_o}{\Delta x_r} = 0,31$$

Координату центра тяжести можно найти различными способами.

### Первый способ

По пересечению графика с вертикальной осью можно найти значение свободного члена в уравнении (1). По полученным данным он равен  $(1 - k)x_{\text{п}} = 275$  мм. Тогда:

$$x_{\text{п}} = \frac{275 \text{ мм}}{(1 - k)} = \frac{275 \text{ мм}}{(1 - 0,31)} = 398,5 \text{ мм}.$$

### Второй способ

Можно взять значения координат точки опоры и гайки из таблицы данных, подставить их в уравнение (1) и выразить координату центра масс. Проделав это для всех пар данных, полученное значение усреднить.

### Третий способ

В уравнении (1), данном в условии, при  $x_{\text{Г}} = x_{\text{п}}$  выполняется  $x_{\text{о}} = x_{\text{п}}$ . Поэтому координату центра тяжести планки можно найти как пересечение экспериментальной прямой и прямой  $x_{\text{о}} = x_{\text{Г}}$  (синяя линия на графике).

$$x_{\text{п}} = 398,5 \text{ мм}$$

Запишем правило моментов для сил, действующих на планку относительно точки опоры, выразив плечи сил через соответствующие координаты:

$$m_{\text{Г}}(x_{\text{о}} - x_{\text{Г}}) = m_{\text{п}}(x_{\text{п}} - x_{\text{о}}).$$

Тогда исследуемая зависимость примет вид:

$$x_{\text{о}} = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{Г}}}x_{\text{п}} + \frac{m_{\text{Г}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{Г}}}x_{\text{Г}}.$$

Значит формула связи углового коэффициента с массами:

$$k = \frac{m_{\text{Г}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{Г}}}.$$

Тогда:

$$\alpha = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{Г}}} = \frac{1 - k}{k} \approx 2,22.$$

Заметим, что прямое измерение масс планки и гайки даёт:

$$\frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{Г}}} \approx 2,34.$$

## Задача №7-Е2. Ухватиться за соломинку

Приведены результаты измерений на одной конкретной установке. Винт МЗ взвешен 3 раза. Результат всех трех взвешиваний одинаков и равен  $m_{\text{в}} = 1,88$  г.

Обнулим показания весов. Разместим винт МЗ в держателе для соломинки. Снимем показание весов  $m_{\text{ву}}$ . Удалим винт из держателя. Весы должны вновь показывать ноль. В случае необходимости вновь обнулим показание весов и второй раз разместим винт в держателе. Проведем данные измерения минимум 3 раза. Усредним результаты.

Номер измерения	$m_{\text{ву}}$ , г
1	18,95
2	18,83
3	18,94

$$m_{\text{ву}} \text{ среднее} = 18,91 \text{ г.}$$

Коэффициент усиления весов:

$$\beta = \frac{m_{\text{ву}} \text{ среднее}}{m_{\text{в}}} = \frac{18,91 \text{ г}}{1,88 \text{ г}} = 10,06.$$

Обнулим показание весов. Аккуратно разместим соломинку горизонтально на петле держателя. Снимем показание усилителя весов  $M_{\text{у}}$ . Повторим измерения не менее 3 раз. Усредним результаты.

Номер измерения	$M_{\text{у}}$ , г
1	3,90
2	3,90
3	3,87

$$M_{\text{у}} \text{ среднее} = 3,89 \text{ г.}$$

Вычислим массу соломинки с учетом коэффициента усиления  $\beta$ .

$$M = \frac{M_{\text{у}} \text{ среднее}}{\beta} = \frac{3,89 \text{ г}}{10,06} = 0,39 \text{ г}$$

Можно определить массу соломинки и путем непосредственного взвешивания на весах, проверив тем самым корректность определения коэффициента усиления.

Вставим соломинку в держатель на линейке таким образом, чтобы часть соломинки с нанесенными делениями погружалась в закрепленный шприц, как

описано в условии. Убедимся, что погруженная в шприц соломинка не касается его стенок и дна. Наберем жидкость в шприц с поршнем, полностью заполнив его. Соединим шприцы трубкой ПВХ. Заполним закрепленный шприц жидкостью до первого снизу деления на соломинке и занулим показания весов. Затем заполним жидкостью неподвижный шприц до 5-го деления на соломинке. Снимем показание весов. Они покажут отрицательное значение  $m_a$ , модуль которого равен изменению «массы» Архимеда (силы Архимеда, деленной на ускорение свободного падения), действующей на соломинку, при ее погружении в жидкость на 4 деления. В этом состоянии снова занулим показание весов. Вытягивая жидкость из неподвижного шприца, опустим ее уровень до первого деления на соломинке. Вновь снимем показание весов.

Повторим описанную операцию многократно и убедимся в хорошей повторяемости результатов. Повторяемость можно считать хорошей, если каждое измерение «массы» Архимеда, действующей на часть соломинки длиной 4 см отличается от среднего не более, чем на 10 – 15%. Ниже приведены результаты шести измерений, проведенных по описанному алгоритму.

Номер измерения	$m_a$ , г
1	0,98
2	1,01
3	1,02
4	1,00
5	1,02
6	1,04

$$m_a \text{ среднее} = 1,01 \text{ г.}$$

Измерения  $m_a$  можно проводить по другой методике. Например, снимая зависимость  $m_a$  от длины погруженной в жидкость части трубочки.

Величина  $m_a$  связана с объемом стенок  $V_4$  отрезка соломинки длиной 4 см соотношением

$$\beta \rho g V_4 = m_a g,$$

откуда:

$$V_4 = \frac{m_a}{\rho \beta} = \frac{1,01 \text{ г}}{1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 10,06} = 0,10 \text{ см}^3.$$

Измерим длину соломинки  $L = 181$  мм. Рассчитаем объем  $V_0$  стенок всей соломинки.

$$V_0 = \frac{181 \cdot 0,10}{40} = 0,45 \text{ см}^3$$

Окончательно для плотности получаем:

$$\rho = \frac{M}{V_0} = \frac{0,39 \text{ г}}{0,45 \text{ см}^3} \approx 0,87 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Таблицы плотностей дают для полиэтилена и полипропилена (материалов, из которых обычно делают трубочки для коктейля) значение:

$$\rho_{\text{таб}} = (0,91 - 0,92) \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

## Задача №8-Е1. На пределе точности

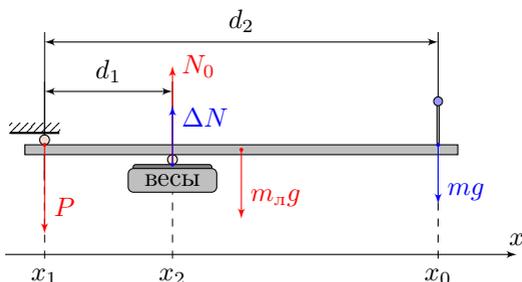
Прямое взвешивание булавки дает результат с погрешностью 30% (показания весов колеблются от 0,09 г до 0,15 г):  $M_1 = (0,12 \pm 0,03)$  г.

Используем линейку как усилитель (рычаг второго рода).

Установим под линейку дополнительную опору под весы — зубочистку, приклеенная зубочистка будет прижата под лапку штатива. Включим и оттаривируем весы. Теперь, когда показания весов 0, можем положить на 0 см булавку и измерить записать показания весов.



На рисунке ниже расставлены силы, действующие на систему из линейки и булавки. Красным цветом показаны силы, моменты которых скомпенсированы и удалены из уравнений тарирования весов.



Меняя плечо от лапки до весов, снимем зависимость показаний весов от расстояния между зубочистками.

$x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  – координаты булавки, первой и второй опоры соответственно.

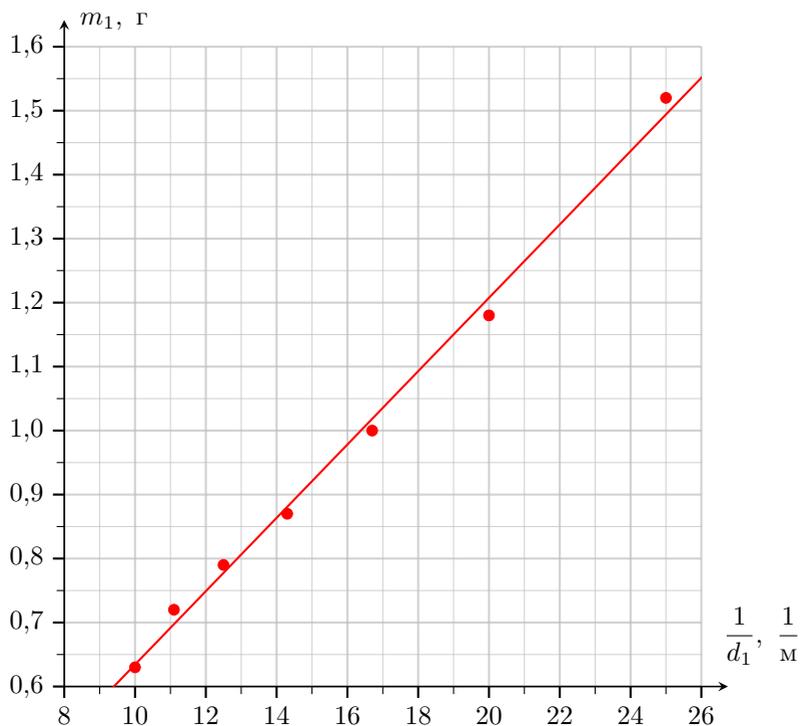
$m_1$  – показания тарированных весов.

$x_1$ , мм	$x_2$ , мм	$x_0$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$m_1$ , г	$\frac{1}{d_1}$ , м <sup>-1</sup>
0	100	500	100	500	0,63	10,0
0	90	500	90	500	0,72	11,1
0	80	500	80	500	0,79	12,5
0	70	500	70	500	0,87	14,3
0	60	500	60	500	1,00	16,7
0	50	500	50	500	1,18	20,0
0	40	500	40	500	1,52	25,0

Построим график и из графика найдем коэффициент наклона:

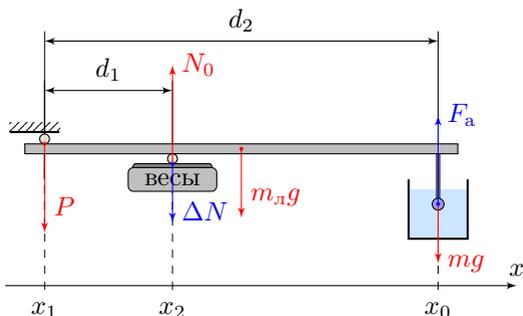
$$k_1 = m \cdot d_2 = 0,057 \text{ г} \cdot \text{м},$$

тогда масса булавки будет равна  $m = \frac{k_1}{d_2} = 0,114 \text{ г}$ .



Теперь воткнем булавку в отверстие с НЕлицевой стороны линейки. Соберем точно такую же установку и оттарирруем с уже воткнутой булавкой. Тогда при

погружении шарика булавки в воду (объем погруженной части иглы пренебрежимо мал) можем расставить силы как показано на рисунке. Красные силы – скомпенсированные и удаленные из уравнений тарированием весов.



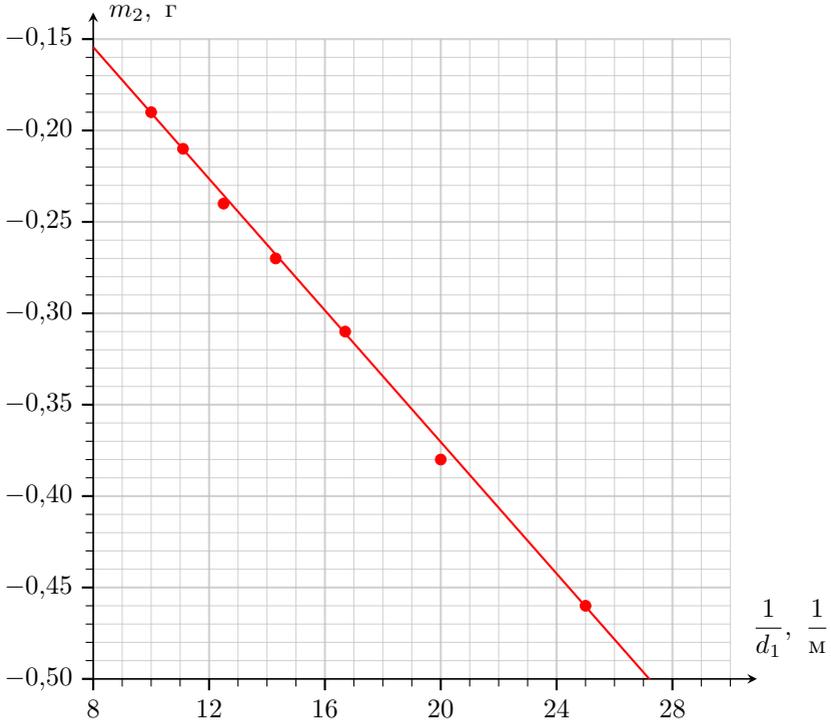
Снимем зависимость показаний весов от плеча до них.

$x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  — координаты булавки, первой и второй опоры соответственно.

$m_2$  — показания тарированных весов.

$x_1$ , мм	$x_2$ , мм	$x_0$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$m_2$ , г	$\frac{1}{d_1}$ , м <sup>-1</sup>
0	100	500	100	500	-0,19	10,0
0	90	500	90	500	-0,21	11,1
0	80	500	80	500	-0,24	12,5
0	70	500	70	500	-0,27	14,3
0	60	500	60	500	-0,31	16,7
0	50	500	50	500	-0,38	20,0
0	40	500	40	500	-0,46	25,0

Построим график зависимости  $m_2$  от  $\frac{1}{d_1}$  и найдем массу вытесненной воды из коэффициента наклона.



Тогда  $k_2 = -0,018 \text{ г} \cdot \text{м}$ , откуда можем получить массу вытесненной воды:

$$m_0 = -\frac{k_2}{d_2} = 0,036 \text{ г}.$$

Объем шарика булавки:

$$V = \frac{m_0}{\rho_{\text{в}}} = \frac{0,036 \text{ г}}{1,0 \cdot \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} = 0,036 \text{ см}^3 = 36 \text{ мм}^3.$$

Объем шара:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi}{6}D^3.$$

Диаметр шарика:

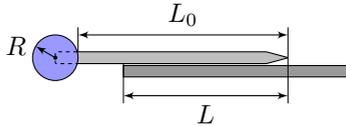
$$D = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 36 \text{ мм}^3}{3,14}} = 4,1 \text{ мм}.$$

Радиус:

$$R = \frac{D}{2} = \frac{3,6 \text{ мм}}{2} = 2,05 \text{ мм}.$$

Воспользуемся схемой булавки из условия и найдем массу шарика отдельно.

Для этого уравновесим булавку на краю линейки. Положим булавку иглой на край линейки. Будем подталкивать булавку зубочисткой до тех пор, пока булавка не начнет сваливаться.



В момент, когда булавка начнет сваливаться, ее центр масс окажется за краем линейки, т.е. на координате  $L$  от конца булавки. Выразим центр координату центра масса булавки через известные координаты и массы:

$$L = \frac{1}{m} \cdot \left( (L_0 + R) \left( m_{\text{ш}} + \frac{m_c}{2} \right) \right).$$

Зная, что  $m_c = m - m_{\text{ш}}$ :

$$m_{\text{ш}} = m \cdot \frac{2L - L_0 - R}{L_0 + R}.$$

Трижды повторим измерения, усредним  $L = 26$  мм,  $L_0 = 36$  мм

$$m_{\text{ш}} = 0,114 \text{ г} \cdot \frac{2 \cdot 26 \text{ мм} - 36 \text{ мм} - 2,05 \text{ мм}}{36 \text{ мм} + 2,05 \text{ мм}} = 0,042 \text{ г}$$

$$\rho_{\text{ш}} = \frac{m_{\text{ш}}}{V_{\text{ш}}} = \frac{0,042 \text{ г}}{0,036 \text{ см}^3} = 1,17 \cdot \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Проверка:  $\rho_{\text{ш}} > 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  шарик булавки тонет в воде.

$$\rho_{\text{ш}} = 1,17 \cdot \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

## Задача №8-Е2. Наука требует жертв

Комнатная температура  $t_k = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для более точного определения  $R$  соберем последовательную цепь из батарейки, резистора  $R_0$  и провода.

Запишем показания вольтметра в режиме 2000 мВ на резисторе сопротивлением  $R_0$  и напряжение на проводе в режиме 200 мВ:

$$U_{R_0} = 1260 \text{ мВ}, \quad U_R = 61,2 \text{ мВ}.$$

Тогда:

$$R = \frac{R_0}{U_{R_0}} U_R \approx 0,5 \text{ Ом}.$$

Оценим погрешность измерений. При умножении величин относительные погрешности складываются, значит:

$$\varepsilon_{R_0} = \varepsilon_{U_{R_0}} = \varepsilon_{U_R} = 1\% \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_R = \varepsilon_{U_{R_0}} + \varepsilon_{R_0} + \varepsilon_{U_R} = 3\%.$$

Окончательно получим:

$$R = (0,50 \pm 0,02) \text{ Ом}$$

$$U_p = 0,71 \text{ В}, \quad t_p = 47 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Из результатов измерений в предыдущем пункте получаем:

$$\mathcal{E}_p = 1,13 \text{ В}.$$

$\tau$ , мин	$t$ , $^\circ\text{C}$	$\tau$ , мин	$t$ , $^\circ\text{C}$	$\tau$ , мин	$t$ , $^\circ\text{C}$
0,0	47,0	6,0	40,5	12,0	35,0
0,5	47,0	6,5	39,5	12,5	34,0
1,0	46,0	7,0	39,0	13,0	34,0
1,5	46,0	7,5	39,0	13,5	34,0
2,0	45,0	8,0	38,0	14,0	34,0
2,5	44,5	8,5	38,0	14,5	33,0
3,0	44,0	9,0	37,5	15,0	33,0
3,5	43,0	9,5	37,0	15,5	32,0
4,0	43,0	10,0	36,5	16,0	32,0
4,5	42,0	10,5	36,0	16,5	32,0
5,0	41,0	11,0	36,0	17,0	32,0
5,5	41,0	11,5	35,0		

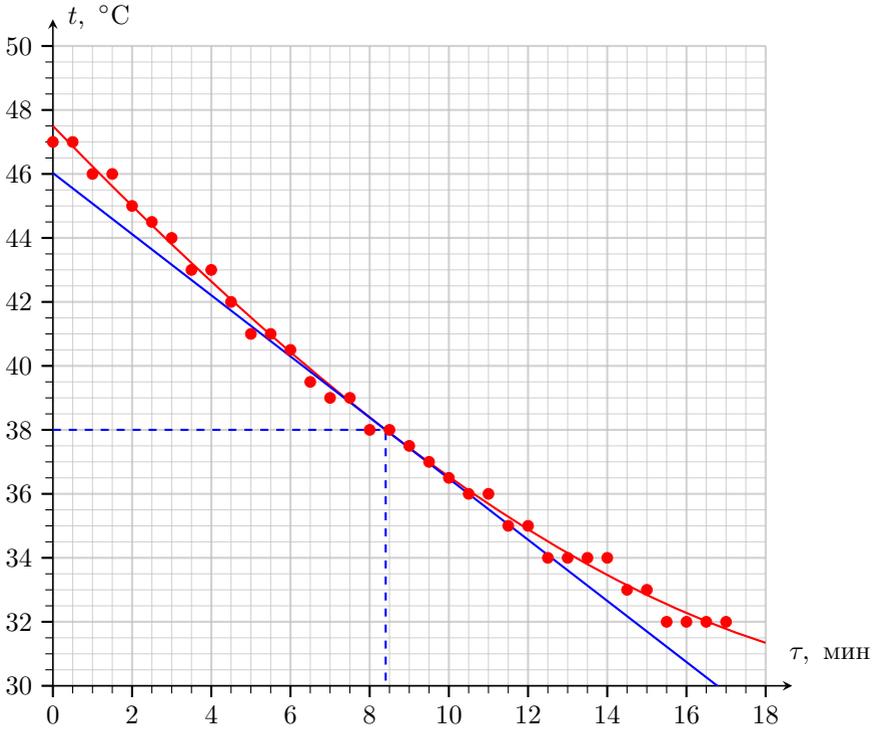


Рис. 1

В состоянии теплового равновесия электрическая мощность нагрева батарейки равна мощности теплоотдачи:

$$I(\mathcal{E}_p - U_p) = \alpha(t_p - t_k),$$

где  $I = U_p/R = 1,54 \text{ A}$  — сила тока в проводе в режиме теплового равновесия.

$$\alpha = \frac{U_p(\mathcal{E}_p - U_p)}{R(t_p - t_k)} = 0,031 \text{ Вт}/^{\circ}\text{C}.$$

В процессе остывания батарейка отдает тепло в окружающую среду. Для количества тепла  $Q$ , отданного за малый промежуток времени  $\Delta\tau$ , справедливо равенство:

$$Q = C\Delta t = \alpha(t - t_k)\Delta\tau,$$

где  $C$  — теплоемкость батарейки,  $\Delta t$  — изменение её температуры за время  $\Delta\tau$ .

Отсюда:

$$C = \frac{\alpha(t - t_k)\Delta\tau}{\Delta t}.$$

Коэффициент наклона  $k = \Delta t / \Delta \tau$  определим с помощью касательной, проведенной в точку с заданной температурой:

$$\frac{1}{k} = \frac{\Delta \tau}{\Delta t} = 60 \text{ с}/^{\circ}\text{C}.$$

Окончательно,

$$C = 21,6 \text{ Дж}/^{\circ}\text{C}.$$