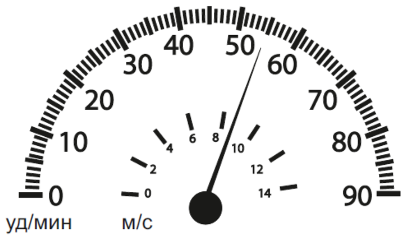
7 класс

7.1 Длина удава. Отдыхая на одном экзотическом острове, экспериментатор Глюк взял напрокат скутер, основная шкала спидометра которого была проградуирована в привычных для местного населения единицах измерения скорости – «удавах в минуту». Хозяин проката, желая пойти навстречу иностранным туристам, выяснил, что по принятой в Европе системе единиц (СИ) скорость должна измеряться в «метрах в секунду», и рядом с местной шкалой нанес «общепринятую» европейскую (см. рисунок). Определите:



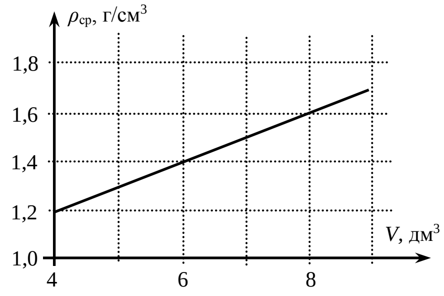
- на какую максимальную скорость (в км/ч) рассчитана экзотическая шкала спидометра скутера?
- чему равны (в км/ч) показания спидометра на рисунке?
- какова длина местных удавов, выраженная в метрах?

7.2 На речке. Двигаясь вниз по реке, лодка под мостом обогнала плот. Через некоторое время она доплыла до пристани, быстро развернулась и, с прежней относительно воды скоростью, поплыла вверх по течению, где снова встретила плот на расстоянии S_1 = 1 100 м от моста. Если бы с момента первой встречи с плотом лодка плыла с вдвое большей скоростью относительно воды, то их вторая встреча произошла на расстоянии S_2 = 600 м от моста. Определите во сколько раз скорость лодки υ больше скорости течения реки u, и на каком расстоянии S от моста находится пристань.

7.3 Стержень. Половина (по длине) длинного стержня имеет линейную плотность λ_1 = 60 г/дм, а вторая половина λ_2 = 20 г/дм. Стержень разрезали поперек на две равные по массе части. Чему оказались равны средние линейные плотности получившихся частей?

Примечание: Линейной плотностью протяженных тел λ называют массу единицы их длины.

7.4 Окаменевшая жидкость. Если в сосуд объемом V_0, доверху заполненный жидкостью, опускать камни плотностью ρ = 2,2 г/см^3, то в зависимости от их объема V ($V < V_0$) средняя плотность содержимого сосуда будет изменяться, как показано на графике. Определите объем сосуда V_0 и плотность жидкости ρ_0.



18 января, на портале http://abitu.net/vseros будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

7.1. Длина удава

Возможное решение

Приложив к рисунку линейку, можно определить, что скорости 14 м/с соответствует 87 уд/мин, откуда переводной коэффициент шкал скоростей 0,159 ÷ 0,161 (уд/мин)/(м/с). Следовательно, 90 уд/мин = 90×14×3,6/87 = 52 км/ч, а показания спидометра 55 уд/мин = 55×14×3,6/87 = 32 км/ч (здесь учтено, что 1 м/с = 3,6 км/ч).
Так как 1 мин = 60 с, то 1 удав = 14×60/87 = 9,7 м.

7.2. На речке

Возможное решение

Время движения лодки от моста до пристани $t = \dfrac{S}{\upsilon + u}$. Так как в системе отсчета плота скорость лодки не меняется, то таким же будет и время возвращения лодки к плоту. За все время отсутствия лодки плот проплывет расстояние $S_1 = \dfrac{2Su}{\upsilon + u}$. Если скорость лодки возрастет в 2 раза, то плот проплывет $S_2 = \dfrac{2Su}{2\upsilon + u}$. Пусть скорость лодки в k раз больше скорости течения реки. Тогда $S_1 = \dfrac{2S}{k+1}$, а $S_2 = \dfrac{2S}{2k+1}$. Откуда k = 5, а S = 3300 м.

7.3.Стержень

Возможное решение

Так как длины частей стержня одинаковы, а линейные плотности отличаются в 3 раза, во столько же раз отличаются и их массы. Пусть масса всего стержня 4m, тогда массы каждой из разрезанных частей 2m, а линия разреза отсекает две трети тяжелой половины. Следовательно, линейная плотность однородной короткой части равна $\lambda_I = \lambda_1$ = 60 г/дм, а среднюю линейную плотность длинной составной части можно рассчитать по формуле:

$$\lambda_{II} = \frac{\frac{l}{6}\lambda_1 + \frac{l}{2}\lambda_2}{\frac{2}{3}l}$$ = 30 г/дм, где l – длина всего стержня.

7.4.Окаменевшая жидкость

Возможное решение

Проще всего решать задачу не аналитически, а продлить (экстраполировать) график до объема 0 дм^3 и до плотности 2,2 г/см^3. В первом случае мы получим плотность жидкости 0,8 г/см^3, а во втором – объем сосуда 14 дм^3.

7 класс

Критерии оценивания

7.1 Длина удава

1. Сравнение шкал производится для хорошо совпадающих делений — 2 балла
2. Найдено отношение скоростей 0,159 ÷ 0,161 (уд/мин)/(м/с) — 2 балла
3. Найдено значение максимальной скорости 51 ÷ 53 км/ч — 2 балла
4. Определены показания спидометра 31 ÷ 33 км/ч — 2 балла
5. Найдена длина удава 9,6 ÷ 9,8 м — 2 балла

7.2 На речке

1. Выражение для времени движения лодки от моста до пристани — 1 балл
2. Учет равенства времен удаления и возвращения лодки от плота — 2 балла
3. Выражение для смещения плота за время отсутствия лодки — 2 балла
4. Выражение для смещения плота во второй ситуации — 1 балл
5. Найдено отношение скоростей — 2 балла
6. Получен численный ответ для расстояния до пристани с указанием единиц измерений — 2 балла

7.3 Стержень

1. Выражены массы частей через длины и линейную плотность — 2 балла
2. Определено место разреза стержня — 2 балла
3. Получен численный ответ с указанием единиц измерений для линейной плотности короткой части — 2 балла
4. Получен численный ответ с указанием единиц измерений для линейной плотности длинной составной части — 4 балла

7.4 Окаменевшая жидкость

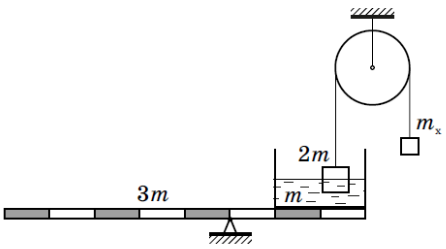
1. Учет линейности быстроты изменения средней плотности от изменения добавленного объема (экстраполяция). — 2 балла
2. Идея нахождения плотности при нулевом добавленном объеме — 2 балла
3. Найдена плотность жидкости (численное значение и единицы измерения) — 2 балла
4. Идея нахождения объема сосуда, заполненного только камнями — 2 балла
5. Найден объем сосуда (численное значение и единицы измерения) — 2 балла

8 класс

8.1 Ни два, ни полтора… Автомобиль проехал треть пути со скоростью υ = 46 км/ч. Затем четверть времени всего движения он ехал со скоростью в полтора раза превышающей среднюю на всем пути. На последнем участке автомобиль ехал со скоростью 2υ. Определите максимальную скорость автомобиля.

8.2 Проволока. Длинная проволока состоит из трех частей, соединенных последовательно друг за другом. Первая часть длиной в четверть от длины всей проволоки имеет линейную плотность $\lambda_1 = 30$ г/дм. Вторая часть массой в треть от массы всей проволоки имеет линейную плотность λ_2. Масса третьей части равна сумме масс первых двух. Определите среднюю линейную плотность $\lambda_{ср}$ всей проволоки. Какая минимальная линейная плотность λ_2 может быть у второй части проволоки?
Примечание: Линейной плотностью протяженных тел λ называют массу единицы их длины.

8.3. Жидкое равновесие. Прямоугольный легкий сосуд с жидкостью массой m помещен на однородный рычаг массой $3m$. В жидкость опущено тело массой $2m$, не касающееся дна сосуда и удерживаемое нитью, перекинутой через блок (см. рисунок). Какой массы m_x груз необходимо подвесить к противоположному концу нити, для равновесия всей системы? Трения в осях рычага и блока нет. Необходимые расстояния можно взять из рисунка.



8.4 Быстрее, но медленнее. Чайник с водой при температуре $t_0 = 20^0$C нагрелся на газовой горелке до $t_1 = 40^0$C за время $\tau_1 = 2$ мин. Желая ускорить нагрев, половину воды вылили, и еще через $\tau_2 = 1$ мин температура воды достигла $t_2 = 55^0$C. Так как и это показалось медленным, вылили еще половину оставшейся воды, но при этом случайно задели кран горелки, вдвое убавив ее мощность. Через какое время τ_3 чайник все-таки нагреется до $t_3 = 100^0$C? Потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь.

18 января, на портале http://abitu.net/vseros будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

8.1. Ни два, ни полтора…

Возможное решение

Из условия не очевидно, на каком участке (втором или третьем) скорость больше. По определению средняя скорость на всем пути $\upsilon_{cp} = \frac{S}{t}$, где S – все пройденное расстояние, а t – все время движения. Тогда скорость на втором участке $\frac{3}{2}\upsilon_{cp} = \frac{S_2}{\frac{1}{4}t}$, и пройденное на этом участке расстояние $S_2 = 3S/8$, а длина оставшегося третьего участка равна $7S/24$. Время движения на первом и третьем участке $\frac{3}{4}t = \frac{S}{3\upsilon} + \frac{7S}{48\upsilon}$, откуда $\upsilon = \frac{23}{36}\frac{S}{t}$, или $\upsilon_{ср} = 36\upsilon/23 = 72$ км/ч, а $3\upsilon_{ср}/2 = 108$ км/ч, что больше $2\upsilon = 92$ км/ч. Окончательно, максимальная скорость $3\upsilon_{ср}/2 = 108$ км/ч.

8.2. Проволока

Возможное решение

Средняя линейная плотность всей проволоки равна $\lambda_{cp} = \frac{m}{l}$, где m – масса всей проволоки, а l – ее длина. По условию масса первой части равна $m_1 = \frac{m}{2} - \frac{m}{3} = \frac{m}{6}$. Откуда $\lambda_1 = \frac{4m}{6l} = \frac{2}{3}\lambda_{ср}$, или $\lambda_{ср} = 3\lambda_1/2 = 45$ г/дм.

Так как масса второй части проволоки фиксирована, то минимальная линейная плотность λ_2 достигается при максимальной длине второй части. Но она, по условию, не может превысить $3l/4$, откуда $\lambda_2 = \frac{4m}{9l} = \frac{4}{9}\lambda_{ср}$ = 20 г/дм.

8.3. Жидкое равновесие

Возможное решение

Сила давления на дно сосуда F распределена равномерно по всей площади и не зависит от места погружения в жидкость тела $2m$. При этом, $F = mg + F_A$, где F_A − сила, противодействующая силе Архимеда, действующей на тело $2m$.

Из условия равновесия тела $2m$: $T + F_A = 2mg$, где T − сила натяжения нити, которая в свою очередь может быть найдена из условия равновесия груза m_x ($T = m_x g$).

Правило моментов для рычага относительно точки опоры имеет вид: $3mgl = F2l$.

Решая систему уравнений, получаем $m_x = 3m/2$.

8.4. Быстрее, но медленнее

Возможное решение

Так как после первого уменьшения массы воды вдвое не произошло увеличения вдвое скорости роста температуры, пренебрегать теплоемкостью чайника нельзя.

Запишем уравнения теплового баланса для трех случаев:

$$N\tau_1 = C_0(t_1 - t_0) + C(t_1 - t_0),$$

$$N\tau_2 = C_0(t_2 - t_1) + \frac{C}{2}(t_2 - t_1),$$

$$\frac{N}{2}\tau_3 = C_0(t_3 - t_2) + \frac{C}{4}(t_3 - t_2),$$ где C_0 и C – теплоемкости чайника и начальной массы воды соответственно.

Из первых двух уравнений легко получить, что $2C_0 = C$. Тогда из третьего и первого следует, что $\tau_3 = 4{,}5$ мин.

8 класс

Критерии оценивания

8.1 Ни два, ни полтора…

1.	Уравнение для средней скорости на всем пути	1 балл
2.	Уравнение для средней скорости на втором участке	2 балла
3.	Выражена длина второго участка	1 балл
4.	Выражена длина третьего участка	1 балл
5.	Выражение для времени движения на первом и третьем участке	1 балл
6.	Получена связь между средней скоростью и скоростью на первом участке	1 балл
7.	Получено численное значение с указанием единиц измерения для средней скорости	2 балла
8.	Явно выбрана максимальная скорость	1 балл

*За решение с неаргументированным правильным ответом баллы не ставятся.

8.2 Проволока

1.	Выражение для средней линейной плотности	1 балл
2.	Найдена доля массы, соответствующая первой части	1 балл
3.	Установлена связь средней линейной плотности с линейной плотностью первого участка	1 балл
4.	Найдено численное значение с указанием единиц измерения средней линейной плотности	2 балла
5.	Обоснование минимального значения линейной плотности второго участка	1 балл
6.	Найдена максимальная длина второго участка	2 балла
7.	Найдено численное значение с указанием единиц измерения минимальной линейной плотности второго участка	2 балла

8.3. Жидкое равновесие

1.	Учет равномерного распределения силы давления по дну сосуда	1 балл
2.	Условие равновесия тела $2m$	2 балла
3.	Условие равновесия тела m_x	2 балла
4.	Правило моментов для рычага	3 балла
5.	Найдено значение m_x	2 балла

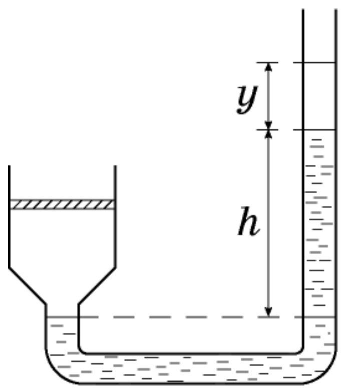
8.4 Быстрее, но медленнее

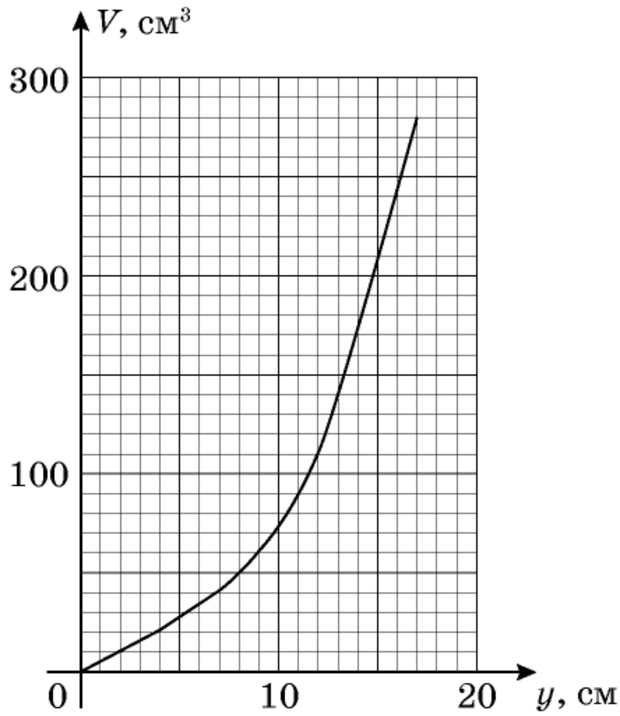
1.	Обоснование необходимости учета теплоемкости чайника	2 балла
2.	Уравнения теплового баланса для каждого из случаев (по 2 балла)	6 баллов
3.	Получен численный ответ с указанием единиц измерений	2 балла

9 класс

Задача 1. Безопасная дистанция. По прямому участку дороги с одинаковой скоростью v друг за другом едут две машины, одна из которых при торможении может двигаться с предельным ускорением a_1, а другая с a_2. Если с постоянным ускорение до полной остановки начинает тормозить водитель передней машины, то водитель задней реагирует и нажимает на педаль тормоза не сразу, а с задержкой $\tau = 0{,}3$ с. В зависимости от того, какая из машин едет впереди, безопасные дистанции, исключающие столкновение между ними, оказываются равными $L_1 = 6$ м или $L_2 = 9$ м. Определите, с какой скоростью едут машины. Оцените разность ускорений Δa машин, если известно, что сами ускорения примерно равны 5 м/с^2.

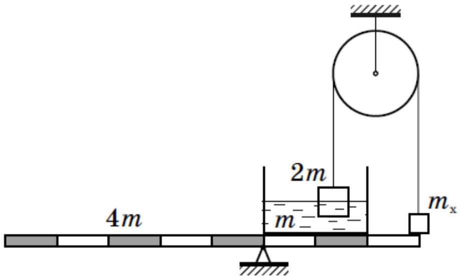
Задача 2. **Масса поршня.** Цилиндрический сосуд с поршнем соединен коническим переходником с трубкой постоянного сечения. Разность уровней воды в правом и левом колене $h = 20$ см. В трубку медленно наливают воду, измеряя объём V добавленной воды и подъём уровня y в правом колене. С помощью графика зависимости V от y найдите массу поршня и объём конической части сосуда. Трение между поршнем и цилиндром не учитывайте. Плотность воды $\rho = 1{,}0$ г/см^3, $g = 10$ м/с^2.



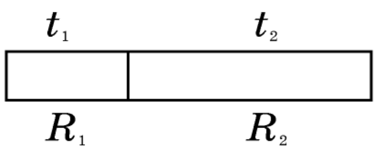


18 января, на портале http://abitu.net/vseros *будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

Задача 3. Жидкое равновесие. Прямоугольный легкий сосуд с жидкостью массой m помещен на однородный рычаг массой $4m$. В жидкость опущено тело массой $2m$ (с плотностью меньшей, чем плотность жидкости), удерживаемое нитью, перекинутой через блок (см. рисунок). Какой массы m_x груз необходимо прикрепить к противоположному концу нити и разместить на краю рычага, чтобы система осталась в равновесии? Трения в осях рычага и блока нет. Необходимые расстояния можно взять из рисунка.



Задача 4. **Электротермодинамика.** Два цилиндрических проводника разной длины, но одинакового диаметра, изготовлены из меди. Их сопротивления и температуры (в градусах Цельсия) соответственно равны: R_1, R_2, t_1, t_2. Проводники соединяют плоскими гранями. Каким окажется сопротивление составного проводника после того, как температуры его частей выровняются? Теплообменом с окружающей средой и тепловым расширением меди пренебречь.

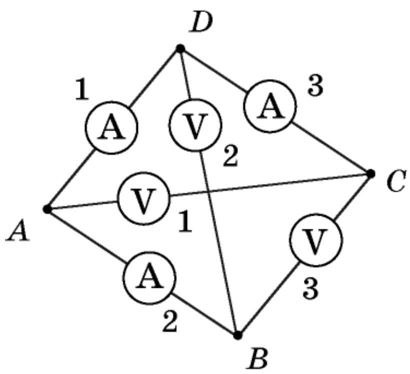


Примечание: сопротивление проводника при температуре t равно: $R = R_0\left(1+\beta\left(t-t_0\right)\right)$, где R_0 – сопротивление проводника при $t_0 = 0\ ^0$C; β – температурный коэффициент сопротивления, причём $\beta t \ll 1$.

Задача 5. **Электрический тетраэдр.** В ребра тетраэдра *ABCD* включены три амперметра с внутренним сопротивлением R_A = 0,1 Ом и три вольтметра с внутренним сопротивлением R_V = 10 кОм. Определите показания всех приборов при подключении источника с напряжением U_0 = 1,5 В.

а) к точкам *A* и *D*;

б) к точкам *B* и *C*.



18 января, на портале http://abitu.net/vseros *будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

9.1. Безопасная дистанция

Возможное решение

Безопасное расстояние между машинами складывается из разности тормозных путей до полной остановки и длины участка на котором задний автомобиль движется с постоянной скоростью до начала торможения. $L_1 = \upsilon\tau + \dfrac{\upsilon^2}{2a_1} - \dfrac{\upsilon^2}{2a_2}$; $L_2 = \upsilon\tau + \dfrac{\upsilon^2}{2a_2} - \dfrac{\upsilon^2}{2a_1}$, откуда $\upsilon = \dfrac{L_1 + L_2}{2\tau}$ = 25 м/с. $\dfrac{\Delta a}{a_1 a_2} = \dfrac{L_2 - L_1}{\upsilon^2}$, откуда $\Delta a \approx 0{,}12$ м/с^2.

9.2. Масса поршня.

Возможное решение

Условие равновесия поршня: $pS = Mg + p_{o}S$.

Давление воздуха в сосуде $p = p_{o} + \rho gh$ (равновесие столба воды).

Отсюда $M = \rho hS$.

Однако ни сечение поршня, ни сечение трубки не даны.

Обратимся к связи объёма налитой воды и подъёма уровня.

Поскольку давление воздуха в сосуде постоянно, то остаётся постоянной разность уровней воды справа и слева, а именно она равна h, и поэтому оба эти уровня поднимаются на y.

Пока вода не попала в сосуд $V = 2sy$, где s сечение трубки.

Этому отвечает начальная линейная часть графика, по её наклону находится сечение трубки $s = (1/2)(\Delta V/\Delta y)_{нач} = 2{,}5$ см^2.

Искривлённая часть графика отвечает заполнению конической части сосуда. Когда вода дойдёт до цилиндрической части, то приращение объёма будет $\Delta V = S\Delta y + s\Delta y$. Это отвечает конечной линейной части графика, из её наклона находим $S + s = (\Delta V/\Delta y)_{кон} = 35$ см^2, а $S = 32{,}5$ см^2.

Тогда $M = \rho hS = 650$ г.

Объём конической части сосуда $V_x = \Delta V - s\Delta y$, где $\Delta V = 120$ см^3 и $\Delta y = 9$ см для искривлённого участка графика, тогда $V_x = 98$ см^3.

9.3. Жидкое равновесие

Возможное решение

Сила давления на дно сосуда F распределена равномерно по всей площади и не зависит от места погружения в жидкость тела $2m$. При этом, $F = mg + F_{а}$, где $F_{а}$ − сила, противодействующая силе Архимеда, действующей на тело $2m$.

Из условия равновесия тела $2m$: $T + F_{а} = 2mg$, где T − сила натяжения нити.

Из условия равновесия груза m_{x}: $T + N = m_{x}g$, где N − сила реакции опоры.

Правило моментов для рычага относительно точки опоры имеет вид: $4mgl = Fl + N3l$.

Неизвестных больше чем уравнений и без введения дополнительных условий систему решить невозможно.

Предположим, что груз m_x − очень легкий, тогда рычаг начнет перевешивать, его правая часть пойдет вверх и нить провиснет ($T = 0$). Решая систему уравнений, получим нижнюю границу значений масс $m_x = m/3$.

В случае если m_x велико, правая часть рычага начинает движение вниз, тело $2m$ перестает действовать на воду. Сила Архимеда обращается в ноль. Тогда решение системы дает $m_x = 3m$.

Следовательно, система в равновесии, если масса тела m_x лежит в диапазоне $m/3 < m_x < 3m$.

9.4. **Электротермодинамика**

Возможное решение. Сопротивление R_i цилиндров пропорционально их длине, как и их теплоемкость C_i. Следовательно,

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{R_{0,1}}{R_{0,2}}. \qquad (1)$$

Запишем уравнение теплового баланса: $C_1t_1 + C_2t_2 = \left(C_1 + C_2\right)t$.

Из него, с учётом (1) получим: $t = \dfrac{C_1t_1 + C_2t_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{R_{0,1}t_1 + R_{0,2}t_2}{R_{0,1} + R_{0,2}}$.

Изменение температуры первого цилиндра

$$\Delta t_1 = t - t_1 = \frac{R_{0,2}\left(t_2 - t_1\right)}{R_{0,1} + R_{0,2}}; \qquad \Delta t_2 = t - t_2 = \frac{R_{0,1}\left(t_1 - t_2\right)}{R_{0,1} + R_{0,2}}.$$

Изменение сопротивления первого цилиндра

$$\Delta R_1 = R_{0,1}\beta\Delta t_1 = \beta\left(t_2 - t_1\right)\frac{R_{0,1}R_{0,2}}{R_{0,1} + R_{0,2}}.$$

Изменение сопротивления второго цилиндра

$$\Delta R_2 = R_{0,2}\beta\Delta t_2 = \beta\left(t_1 - t_2\right)\frac{R_{0,1}R_{0,2}}{R_{0,1} + R_{0,2}}.$$

Изменение сопротивления составного цилиндра $\Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 = 0$.

Следовательно, сопротивление составного цилиндра при нагреве не изменится и будет равно $R = R_1 + R_2$.

Примечание: Строго говоря, если $R = R_0\left(1 + \beta\left(t - t_0\right)\right)$, то требование $\beta t \ll 1$ избыточно.

9.5. **Электрический тетраэдр**

Возможное решение

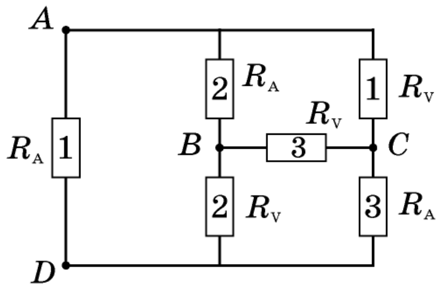


Рис. 1

Вопрос (а). На рис. 1 приведена эквивалентная схема цепи для случая (а). Сила тока, текущего через амперметр, подключенный к точкам *A* и *D*, равна $I_{AD} = U_0 / R_A = 15$ А. Заметим, что $R_A \ll R_V$. Поэтому при расчёте силы токов, текущих через вольтметры, сопротивлением амперметров можно пренебречь. Поскольку

$$U_{AC} \approx U_0,\ U_{BC} \approx U_0,\ U_{BD} \approx U_0 = 1{,}5\ \text{В},$$

можно считать $I_{AC} \approx U_0 / R_B = 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ А, $I_{BC} \approx U_0 / R_B = 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ А, и $I_{BD} \approx U_0 / R_B = 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ А. $I_{AB} = I_{BC} + I_{BD} = 3{,}0 \cdot 10^{-4}$ А. Аналогично, $I_{CD} = I_{BC} + I_{AC} = 3{,}0 \cdot 10^{-4}$ А.

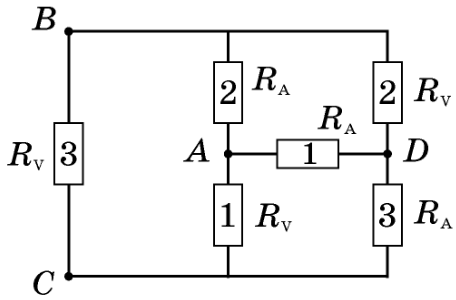


Рис. 2

Вопрос (б). На рис. 2 приведена эквивалентная схема цепи для случая (б). Напряжение на вольтметре, подключенном к точкам *B* и *C*, равно $U_{BC} = U_0 = 1{,}5$ В. Сила тока, текущего через амперметры $I_{BA} = I_{AD} = I_{DC} = U_0 / \left(3R_A\right) = 5{,}0$ А.

Напряжение $U_{BD} = U_{BA} + U_{AD} = 2R_A I_{BA} = 1{,}0$ В.

Аналогично, $U_{AC} = U_{AD} + U_{DC} = 2R_A I_{DC} = 1{,}0$ В.

9 класс

Критерии оценивания

Задача 1. Безопасная дистанция.

1. Выражение для длины участка, на котором задний автомобиль движется с постоянной скоростью до начала торможения	1 балл
2. Найдены тормозные пути машин до полной остановки	2 балла
3. Получены выражения для безопасных расстояний	2 балла
4. Получена формула и найдено численное значение скорости	2 балла
5. Сделана оценка разности ускорений	3 балла

Задача 2. Масса поршня.

1. Условие равновесия поршня ($pS = Mg + p_oS$)	1 балл
2. Давление воздуха в сосуде ($p = p_o + \rho gh$)	1 балл
3. Выражение для массы поршня ($M = \rho hS$)	1 балл
4. Постоянство разности уровней и равенство их изменений (0,5 + 0,5)	1 балл
5. Связь объёма и y для начального участка ($V = 2sy$)	0,5 балла
6. Анализ начального участка графика и нахождение сечения трубки ($s=(1/2)(\Delta V/\Delta y)_{нач} = 2 см^2$)	1 балл
7. Связь объёма и y для конечного участка ($\Delta V = S\Delta y + s\Delta y$)	0,5 балла
8. Анализ конечного участка графика и нахождение сечения поршня ($S + s = (\Delta V/\Delta y)_{кон} = 27{,}2$ см^2, а $S = 25{,}2$ см^2)	1 балл
9. Нахождение массы поршня ($M = \rho hS = 504$ г)	1 балл
10. Нахождение объёма конической части ($V_x = \Delta V - s\Delta y = 50$ см^3)	2 балла

Задача 3. Жидкое равновесие

1. Учет равномерного распределения силы давления по дну сосуда	1 балл
2. Условие равновесия тела $2m$	1 балл
3. Условие равновесия тела m_x	1 балл
4. Правило моментов для рычага	2 балла
5. Обосновано и найдено минимальное значение m_x	2 балла
6. Обосновано и найдено максимальное значение m_x	2 балла
7. Явно указан диапазон допустимых масс m_x	1 балл

Задача 4. Электротермодинамика.

1. Отмечено соотношение (1)	2 балла
2. Найдена установившаяся температура	2 балла
3. Найдены Δt_1 и Δt_2	2 балла
4. Найдены ΔR_1 и ΔR_2	2 балла
5. Показано, что $\Delta R = 0$, т.е. $R = R_1 + R_2$.	2 балла

Задача 5. **Электрический тетраэдр.**

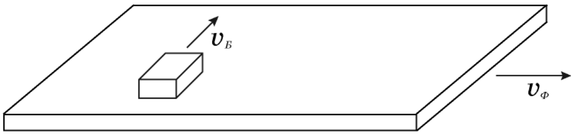
Ответ на вопрос (а)

1.	Идея пренебречь сопротивлением амперметров на участках *AB* и *CD*	1 балл
2.	Установлено, что при этом все вольтметры подключены параллельно	1 балл
3.	Получен верный ответ для показаний амперметра *AD* и всех вольтметров	1 балл
4.	Идея определения силы токов через амперметры *AB* и *CD* через первое правило Кирхгофа	1 балл
5.	Получен верный ответ для силы тока через амперметры *AB* и *CD*	2 балла

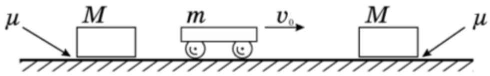
Ответ на вопрос (б)

1.	Идея исключить вольтметры *BD* и *AC* на начальном этапе решения	1 балл
2.	Получен верный ответ для показаний амперметров с использованием п.1 и показания вольтметра *BC*	1 балл
3.	Идея определения показаний вольтметров *BD* и *AC* через сумму напряжений на амперметрах	1 балл
4.	Получен верный ответ для показаний вольтметров *BD* и *AC*	1 балл

10 класс



Задача 1. Просто трение. На гладкой горизонтальной поверхности льда лежит лист фанеры, на котором находится стальной брусок. Одновременно листу фанере и бруску сообщают скорости υ и $\sqrt{3}\upsilon$ относительно льда, причём их направления взаимно перпендикулярны. В процессе дальнейшего движения, из-за наличия трения, скорости бруска и доски изменяются. Определите минимальные скорости фанеры и бруска (относительно льда) в процессе их движения. Масса бруска равна массе фанеры.



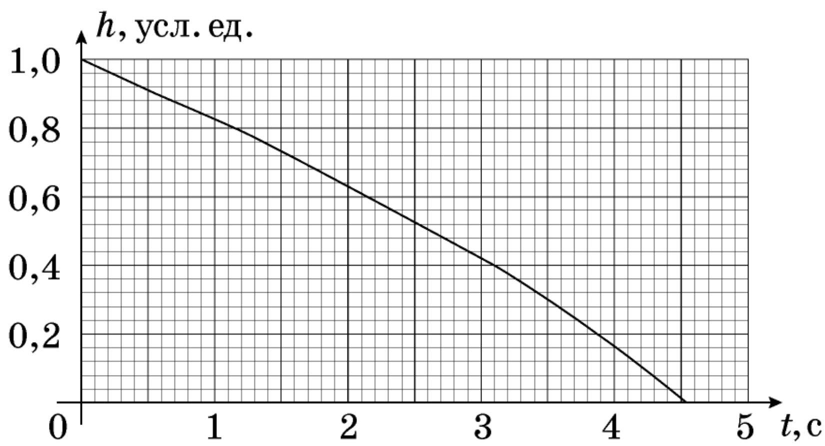
Задача 2. Расталкивание. На горизонтальной поверхности покоятся два бруска массой M каждый. Между брусками помещают тележку массой m ($m = M/3$) и сообщают ей начальную скорость υ_0. Найдите, насколько сдвинутся бруски в результате абсолютно упругих столкновений с тележкой, если за время между столкновениями они успевают останавливаться. Время соударения тележки с брусками бесконечно мало. Коэффициенты трения между брусками и полом равен μ. Ускорение свободного падения g.

Задача 3. Из глубин... Со дна глубокого озера всплывает пузырёк воздуха. На него действует сила сопротивления $F = kr\upsilon$, где r – радиус пузырька, υ – его скорость, k - постоянная. Вблизи дна радиус пузырька $r_0 = 1{,}0$ мм. На рис. 1 представлен график зависимости глубины h на которой находится пузырёк, от времени t, прошедшего от начала его движения.

1) Какова глубина озера?

2) За какое время τ_1 всплывёт пузырёк, радиус которого у дна водоёма равен $r_1 = 0{,}5$ мм?

3) За какое время τ_2 пузырёк, радиус которого у дна водоёма равен $r_0 = 1{,}0$ мм, всплывёт со дна водоёма глубиной H = 10 м?

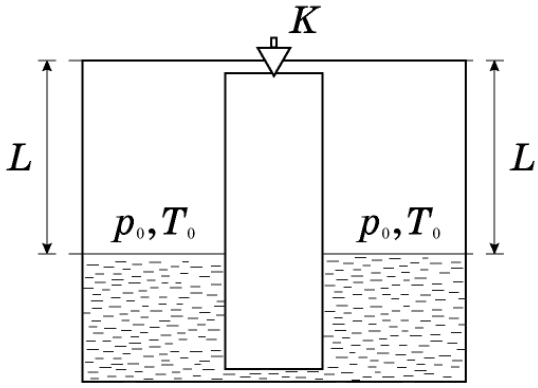


18 января, на портале http://abitu.net/vseros *будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

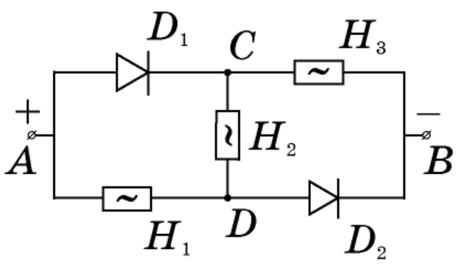
Примечание 1. Давление водяных паров в пузырьке, поверхностное натяжение воды, изменение формы пузырька и изменение температуры воздуха в пузырьке не учитывайте.

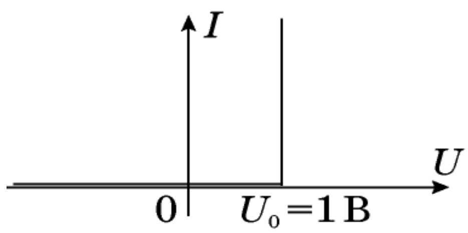
Примечание 2. Плотность воды $\rho = 1,0 \cdot 10^3$ кг/м^3, атмосферное давление $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$ Па, $g = 10$ м/с^2, объем пузырька $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

Задача 4. Частичный нагрев. Два одинаковых вертикальных цилиндра соединены сверху и снизу трубками пренебрежимо малого объёма. В верхней трубке имеется кран *K*, который исходно открыт. В цилиндры налита жидкость плотности ρ. Оставшийся объём цилиндров высоты L заполнен газом с давлением p_0 и комнатной температурой T_0. При неизменной температуре газа в левом цилиндре газ в правом нагрели до температуры T и закрыли вентиль. Нагреватель отключили. Когда воздух в правом цилиндре остыл до комнатной температуры, разность уровней жидкости в цилиндрах стала $2h$. Найдите температуру T, если в левом цилиндре температура газа всё время оставалась комнатной. Ускорение свободного падения g.



Задача 5. Нелинейная электрическая цепь. Электрическая цепь (верхний рисунок) состоит из двух одинаковых диодов (D_1 и D_2), трёх одинаковых нелинейных элементов (H_1, H_2 и H_3) и батарейки, поддерживающей постоянное напряжение $U_{AB} = 5,0$ В. Идеализированная вольтамперная характеристика диода приведена на нижнем рисунке. Сила тока, протекающего через нелинейный элемент, может быть определена по формуле: $I = kU^2$, где U – напряжение на элементе, $k = 0,1\, A/B^2$ – постоянный коэффициент. Определите: 1) напряжения U_H на нелинейных элементах; 2) силы токов, протекающих через диоды.

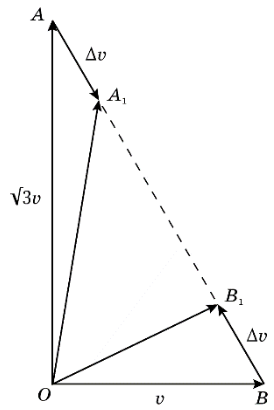




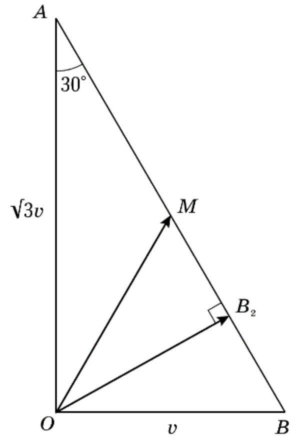
18 января, на портале http://abitu.net/vseros *будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

10.1. Просто трение

Возможное решение



Рассмотрим векторы начальных скоростей бруска и фанеры и их изменения за некоторый малый промежуток времени Δt. На рисунке вектор OA соответствует скорости бруска, вектор OB скорости фанеры в начальный момент времени. Векторы изменений их скоростей равны по модулю (так как массы равны) и направлены вдоль вектора их относительной скорости AB (скорость бруска относительно фанеры – вектор AB, а сила трения, действующая на брусок направлена от A к B и наоборот для листа фанеры).



Через время Δt концы векторов новых скоростей OA_1 и OB_1, по-прежнему лежат на AB и силы трения, действующие на тела, по-прежнему направлены вдоль AB. Скорости бруска и фанеры будут изменяться до тех пор, пока не выровняются по величине и направлению, а точки A_1 и B_1 не окажутся на середине AB. Дальнейшее очевидно из геометрии. Скорость бруска уменьшается, пока не достигнет постоянного значения OM, $OM = AB/2 = \upsilon$. Минимальная скорость листа фанеры достигается прежде, чем скорости установятся – длина вектора OB_2 равна $OB_2 = OA\sin 30^\circ = \sqrt{3}\upsilon/2$.

Таким образом, минимальная скорость бруска относительно льда при движении равна υ, а фанеры, соответственно $\sqrt{3}\upsilon/2$.

10.2. Расталкивание

Возможное решение

1. После первого столкновения скорость правого бруска $u_1 = 2m\upsilon/(M+m) = \upsilon/2$, скорость тележки $\upsilon_1 = \upsilon(m - M)/(M+m) = -\upsilon/2$ (из законов сохранения энергии и импульса). Знак минус означает, что тележка начнёт двигаться влево.

2. Из законов сохранения энергии и импульса при столкновении с левым бруском получим, что тележка будет двигаться вправо со скоростью $\upsilon/4$. А скорость правого бруска после второго столкновения с тележкой станет $\upsilon_2 = \upsilon/8 = \upsilon_1/4$. Соответственно $\upsilon_3 = \upsilon_2/4$ и т.д.

3. А) Кинетические энергии правого бруска будут изменяться также в геометрической прогрессии. но с показателем 1/16. Отсюда можно найти полное перемещение правого бруска, а затем и левого.

Б) Можно заметить, что после каждого столкновения отношение кинетических энергий правого и левого брусков остаётся одинаковым и равным 4, тогда $L_{\text{Лев}} = L_{\text{Прав}}/4$. С учётом работы силы трения имеем $m\upsilon^2/2 = \mu Mg\left(L_{\text{Лев}} + L_{\text{Прав}}\right)$, а так как $m = M/3$, то $L_{\text{Прав}} = 2\upsilon^2/(15\mu g)$ и и $L_{\text{Лев}} = \upsilon^2/(30\mu g)$.

10.3. Из глубины...

Возможное решение

Массу пузырька воздуха можно не учитывать, поэтому сила F сопротивления движению равна силе Архимеда $F_А$: $F = F_A$, или иначе: $kr\upsilon = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$.

Отсюда найдём $\upsilon = \frac{4\pi}{3}\frac{r^2\rho g}{k}$.

В соответствии с законом Бойля-Мариотта (pV = const) запишем:

$$\frac{4\pi}{3}r_0^3\left(p_0 + \rho g h_0\right) = \frac{4\pi}{3}r^3\left(p_0 + \rho g h\right).$$

Зависимость радиуса пузырька от глубины такова:

$$r = r_0\left(\frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0 + \rho g h}\right)^{1/3}.$$

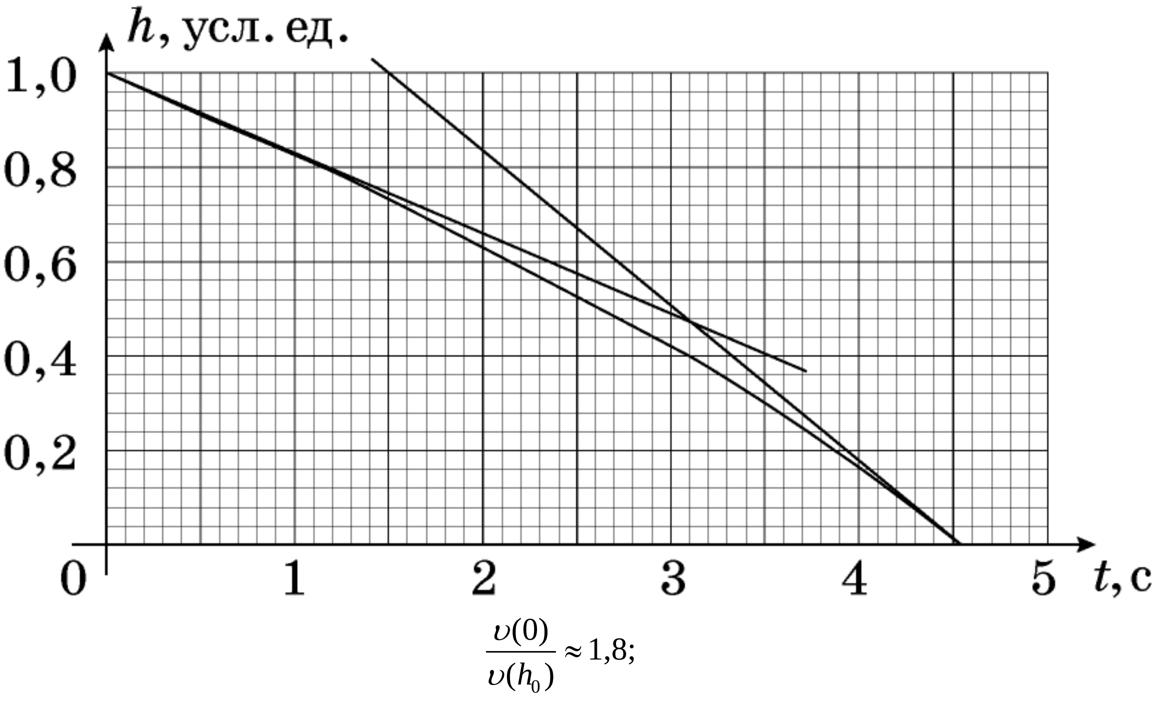
Откуда

$$\upsilon = \frac{4\pi\rho g r_0^2}{3k}\left(\frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0 + \rho g h}\right)^{2/3}.$$

Скорости пузырька вблизи дна $\upsilon\left(h_0\right)$ и у поверхности $\upsilon\left(0\right)$ относятся как

$$\frac{\upsilon\left(0\right)}{\upsilon\left(h_0\right)} = \left(\frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0}\right)^{2/3}.$$

Отношение скоростей можно определить через отношение угловых коэффициентов касательных, проведенных к графику зависимости $h(t)$ в соответствующих точках. Для нашего графика (данного в условии)



$$\frac{\upsilon(0)}{\upsilon(h_0)} \approx 1,8;$$

$$\frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0} \approx 2{,}4;$$

$$h_0 \approx 14 \text{ м.}$$

Для ответа на второй вопрос задачи достаточно заметить, что на любой глубине скорость пузырька, пропорциональна квадрату его начального радиуса. Соответственно, для пузырька с начальным радиусом 0,5 мм скорость будет в четыре раза меньше, чем для пузырька радиусом r_0 = 1 мм, а время движения будет в четыре раза больше, то есть примерно 18 с.

При ответе на третий вопрос задачи найдем радиус пузырька, имевшего r_0 = 1 мм на глубине 14 м, когда он достигнет глубины 10 м.

$$r_0' = r_0 \left(\frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0 + \rho g h} \right)^{1/3} = r_0 \left(\frac{24}{20} \right)^{1/3}$$

Такой же пузырек в соответствие с графиком движется от глубины 10 м до поверхности t' = 2,9 с. Пузырек, имеющий на этой глубине радиус r_0 = 1 мм будет двигаться в $\left(\frac{r_0'}{r_0} \right)^2$ раз медленнее, то есть достигнет поверхности за время

$$t = t' \left(\frac{r_0'}{r_0} \right)^2 \approx 3{,}3 \text{ с.}$$

10.4. Частичный нагрев

Возможное решение

1. Пусть S сечение цилиндров, ν полное число молей газа, R газовая постоянная. Из уравнения состояния идеального газа для начальной ситуации имеем: $2p_oSL = \nu RT_o$.
2. При открытом вентиле давление газа слева и справа одинаково, обозначим его p.
3. Из уравнения состояния в применении к каждому цилиндру при открытом вентиле и разных температурах имеем: $pSL = \nu_1RT_o$; $pSL = \nu_2RT$, где ν_1 и ν_2 число молей слева и справа.
4. Так как суммарное число молей неизменно, то $\nu = \nu_1 + \nu_2$.
5. Отсюда выражаем давление $p = 2p_oT/(T + T_o)$.
6. После закрытия вентиля число молей газа слева и справа остаются прежними. В конце температура везде T_o, а объёмы газа слева и справа соответственно $(L + h)S$ *и* $(L – h)S$.
7. Разница давлений газа при перепаде уровней $p_1 – p_2 = 2\rho gh$.
8. Выразим давления через уравнение состояния и предыдущие соотношения:
   $\nu_1RT_o/(L + h)S – \nu_2RT_o/(L – h)S = pL/(L + h) – pLT_o/T(L – h) = 2\rho gh$.
9. Подставив $p = 2p_oT/(T + T_o)$ получим уравнение для искомой T:
   $p_oLT/(T + T_o)(L + h) – p_oLT_o/(T + T_o)(L - h) = \rho gh$.
10. Откуда $T = T_o(L + h)(p_oL + \rho gh(L – h))/(L – h)(p_oL – \rho gh(L + h))$.

10.5. Нелинейная электрическая цепь

Возможное решение

Каждый диод может быть открыт или закрыт. Всего возможны три варианта:

а) оба диоды закрыты;

б) один диод закрыт (например, D_1), другой (D_2) отрыт;

в) оба диоды открыты.

Случай (а) $U_{AD} = U_{DC} = U_{CB} = U_{AB}/3$. $U_{AC} = U_{AD} + U_{DC} > U_0$ – не подходит.

Случай (б) $U_{DB} = 1\ В$; $U_{DC} = U_{CB} = 0,5\ В$; $U_{AC} = 4,5\ В > U_0$ – не подходит.

Случай (в) $U_{AC} = U_{AD} = U_0 = 1\ В$.

$U_1 = U_3 = U_{AB} - U_0 = 4\ В$.

$U_2 = U_{AB} - 2U_0 = 3\ В$.

$I_{D1} = I_{D2} = I_{N3} + I_{N2} = kU_3^2 + kU_2^2 = 2,5\ А$.

10 класс
Критерии оценивания

Задача 1. Просто трение.

1. Утверждение, что силы трения направлены параллельно относительной скорости бруска и фанеры — 1 балл
2. Вывод о том, что направление относительной скорости и сил трения остается неизменным в процессе всего движения — 3 балла
3. Обоснованно получены минимальные скоростей бруска и фанеры по 3 балла — 6 баллов

Примечание. За математические ошибки при верной физической модели, позволяющей получить корректный результат, но допущенной математической ошибке снимается 1 балл.

Задача 2. Расталкивание.

1. Нахождение скоростей после 1-го столкновения — 3 балла
2. Нахождение скоростей после последующих столкновений — 3 балла

3А. Нахождение отношения энергий и перемещений из геометрической прогрессии $L_{\text{Прав}} = 2\upsilon^2/(15\mu g)$ и $L_{\text{Лев}} = \upsilon^2/(30\mu g)$ — 4 балла

3Б. См. решение варианта Б — 4 балла

Баллы за 3А и 3Б не суммируются, это разные варианты решений!

Задача 3. Из глубин...

1. Указано, что из-за малости массы воздуха в пузырьке, можно приравнивать силу сопротивления движению силе Архимеда — 1 балл
2. Получено выражение для связи скорости пузырька с его размером — 1 балл
3. С использованием закона Бойля-Мариотта получено уравнение для связи радиуса пузырька на глубине h с начальным размером пузырька и глубиной — 1 балл
4. Получено выражение для зависимости скорости пузырька от начального размера и глубины — 1 балл
5. Обоснованно получен ответ для глубины озера, в пределах 15-25 метров — 2 балла
6. Обоснованно получен ответ для времени всплытия пузырька с радиусом 0,5 мм — 1 балл
7. Идея ответа на третий вопрос задачи через сравнение времен всплытия пузырьков разных радиусов с одной глубины и верный пересчет размера пузырька для глубины 10 м именно для этой цели (1 балл +1 балл) — 2балла
8. Получен обоснованный ответ на третий вопрос задачи в пределах 1,5 - 3,5 секунд — 1 балл

Задача 4. Частичный нагрев.

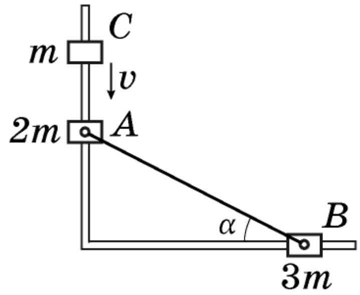
1.	Уравнение состояния для начальной ситуации ($2p_oSL = \nu RT_o$)	1 балл
2.	Равенство давлений при открытом вентиле	0,5 балла
3.	Уравнение состояния в случае разных температур ($pSL = \nu_1 RT_o; pSL = \nu_2 RT$)	1 балл
4.	Неизменность суммарного числа молей ($\nu = \nu_1 + \nu_2$)	0,5 балла
5.	Нахождение давления p ($p = 2p_oT/(T + T_o)$)	1 балл
6.	Ситуация после закрытия вентиля и остывания	1 балл
7.	Перепад давлений ($p_1 - p_2 = 2\rho gh$)	1 балл
8.	Уравнения для искомого T	2 балла
9.	Нахождение искомого T (*См. ответ в тексте*)	2 балла

Задача 5. Нелинейная электрическая цепь.

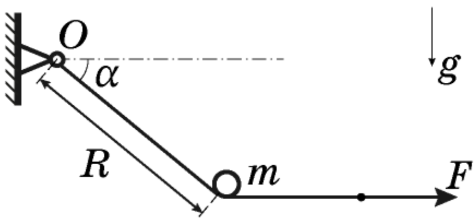
1.	Доказано, что диоды открыты, ток через диоды течет, напряжения на диодах равно 1 В	2 балла
2.	Получено значение напряжения на элементах Н1 и Н3	2 балла
3.	Получено значение напряжения на Н2 с верным указанием направления тока через него или полярности напряжения (при неверно указанной полярности пункт оценивается в 1 балл, то же самое, если направление тока или полярность напряжения вообще не упоминается)	2 балла
4.	Верно найдены токи через все элементы	2 балла
5.	Использовано первое правило Кирхгофа для нахождения тока через диоды	1 балл
6.	Обоснованно получен верный ответ для тока через диоды	1 балл

11 класс

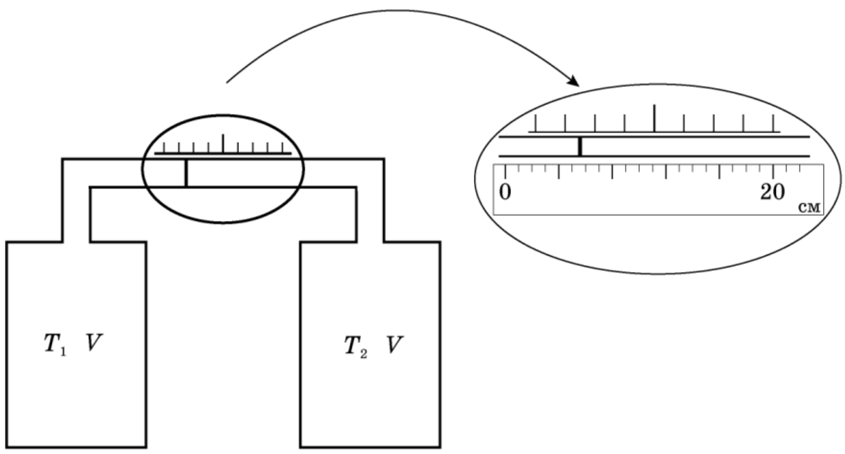
Задача 1. Три муфты. Три муфты (A, B и C) массы которых равны $2m$, $3m$ и m, соответственно, могут скользить без трения по двум горизонтальным направляющим, пересекающимся под прямым углом. Муфты A и B с помощью шарниров соединены с лёгким, жёстким, неупругим стержнем так, что угол между стержнем и направляющей, на которой надета муфта B, равен α. Между муфтой C, движущейся со скоростью v, и покоящейся муфтой A, происходит неупругое столкновение. Определите скорости муфт сразу после соударения.



Задача 2. Отрыв цилиндра. Тонкая лёгкая нерастяжимая лента прикреплена к стене в точке O (см. рис.). На ленте удерживают небольшой цилиндр массой m так, что наклонный участок ленты длины R образует угол α с горизонталью. К свободному концу ленты приложили силу F и цилиндр отпустили. Найдите его скорость в момент отрыва от ленты. Сила F все время направлена горизонтально и постоянна по величине. Считайте, что трения нет, ускорение свободного падения равно g.

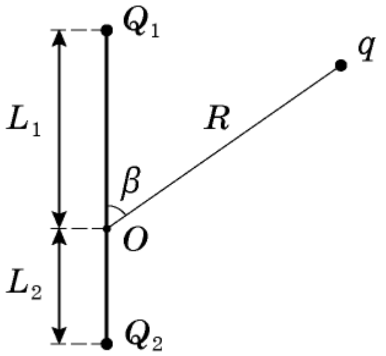


Задача 3. Дифференциальный термометр. Два одинаковых сосуда с объемами $V = 1{,}0$ л каждый соединены трубкой длиной $L = 300$ см и поперечным сечением $S = 1$ см^2 с небольшим поршнем внутри, который может скользить в ней без трения (см. рис.). Когда температуры газов в сосудах равны $T_0 = 300$ К поршень располагается посередине трубки. При незначительных изменениях температур в сосудах, поршень смещается вдоль шкалы, нанесенной рядом. Перерисовав в тетрадь, проградуируйте эту шкалу (оцифруйте ее деления в градусах Кельвина) чтобы по ней можно было считывать разность температур $\Delta T = T_1 - T_2$ (с учетом знака!). Будет ли эта шкала линейной? На выносном рисунке рядом со шкалой помещена линейка.



18 января, на портале http://abitu.net/vseros *будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

Задача 4. И так можно измерять. В точке O к стержню привязана непроводящая нить длиной R с зарядом q на конце. Известный эталонный заряд Q_2 и измеряемый заряд Q_1 установлены на расстояниях L_2 и L_1 от точки O. Все заряды одного знака и могут считаться точечными.



- Найдите величину заряда Q_1, если в состоянии равновесия нить отклонена на угол β от отрезка, соединяющего заряды Q_2 и Q_1.
- Какой величины заряды Q_1 можно измерить таким способом в случае, если $L_1 = 2L_2$, $R = 3L_2$?

Задача 5. Составной конденсатор. Электрическая цепь состоит из катушки индуктивностью L, трёх пластин (1, 2, 3) площадью S и ключа. Расстояние между пластинами равны d и $2d$ (рис. 1). Внешние пластины имеют заряды q и $-q$.

1) Определите максимальную силу тока через катушку после замыкания ключа.

2) Определите максимальную силу тока через катушку после замыкания ключа в случае, если половина пространства между пластинами 1 и 2 заполнена диэлектриком с проницаемостью ε (рис. 2).

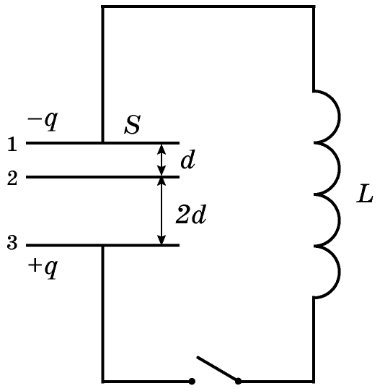


Рис. 1

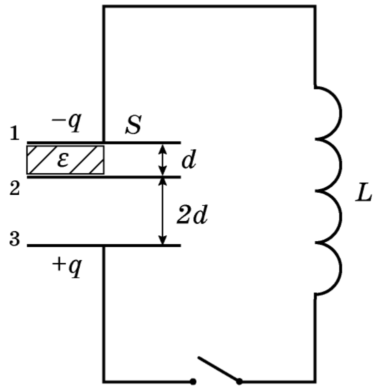


Рис. 2

18 января, на портале http://abitu.net/vseros *будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале http://abitu.net/vseros

11.1. Три муфты

Возможное решение

Пусть в результате удара через стержень передаётся импульс p: $p = \int F(t)dt$, где F – сила упругости.

Запишем изменение импульса для муфт A и C:

$$m\upsilon - p\sin\alpha = 3m\upsilon_{AC}.$$

Тогда изменение импульса для муфты B равно

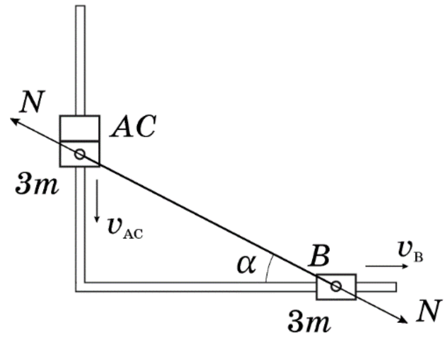
$$p\cos\alpha = 3m\upsilon_B.$$

Из кинематической связи следует: $\upsilon_{AC}\mathrm{tg}\alpha = \upsilon_B$.

Решая полученные уравнения найдём:

$$\upsilon_{AC} = \upsilon\frac{\cos^2\alpha}{3};$$

$$\upsilon_B = \upsilon\frac{\sin(2\alpha)}{6}.$$



11.2. Отрыв цилиндра

Возможное решение

При отсутствии трения натяжение вдоль ленты одинаково по величине и $T = F$ для любого участка ленты.

Если сила давления на ленту со стороны шайбы $\vec{N}$, а $\vec{T}_1$ и $\vec{T}_2$ натяжения ленты справа и слева от обхватывающего шайбу участка, то $\vec{N} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0$. При пренебрежимо малой массе этого участка сумма векторов сил, приложенных к нему равна нулю.

В момент отрыва шайба от ленты $\vec{N} = 0$, а $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0$. Так как натяжение направлено вдоль ленты, то отрыв цилиндра от ленты происходит в момент, когда вся лента становится горизонтальной.

При переходе в горизонтальное положение свободный конец ленты смещается по горизонтали на $x = R(1 - \cos\alpha)$ и работа силы F, приложенной к этому концу, $A = Fx = FR(1 - \cos\alpha)$.

Эта работа идёт на приращение механической энергии цилиндра:

$$A = FR(1-\cos\alpha) = m\upsilon^2/2 + mgR\sin\alpha, \text{ откуда } m\upsilon^2/2 = R\left[F(1-\cos\alpha) - mg\sin\alpha\right],$$

$$\text{или } \upsilon = \sqrt{2R\left[F(1-\cos\alpha)/m - g\sin\alpha\right]}.$$

Ответ имеет смысл если подкоренное выражение положительно.

11.3. Дифференциальный термометр

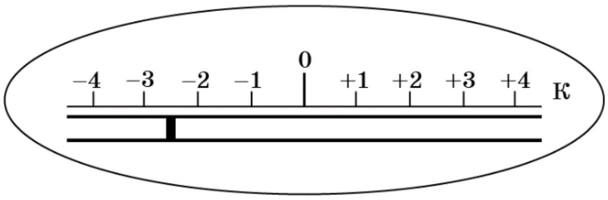
Возможное решение

Для начального состояния газов в сосудах можно записать уравнение Менделеева-Клапейрона: $\frac{p_0(V+LS/2)}{T_0}=\nu R$, здесь p_0 – давление газа вначале, а $V_0=V+LS/2$.

Если температура в левом сосуде повысится на ΔT_1, а в правом понизится на ΔT_2 и поршень сместится влево на ΔL, то новые уравнения состояния примут вид: $\frac{p(V_0+\Delta LS)}{T_0+\Delta T_1}=\nu R$ и $\frac{p(V_0-\Delta LS)}{T_0-\Delta T_2}=\nu R$. Приравнивая левые части с учетом $\Delta LS << V$, получим: $\Delta L=\frac{V_0(\Delta T_1+\Delta T_2)}{2ST_0}$, откуда, учитывая, что $\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2$, окончательно $\Delta L=\frac{V_0\Delta T}{2ST_0}$. Из выведенного уравнения следует, что при малых изменениях температур сосудов малые смещения поршня связаны линейно с разностью температур ΔT.

Заметим, что 4-м делениям шкалы термометра соответствует 9 см. Следовательно, цена деления шкалы $\Delta T^{дел}=\frac{2ST_0\Delta L_1}{V+LS/2}\approx 1{,}2$ К.

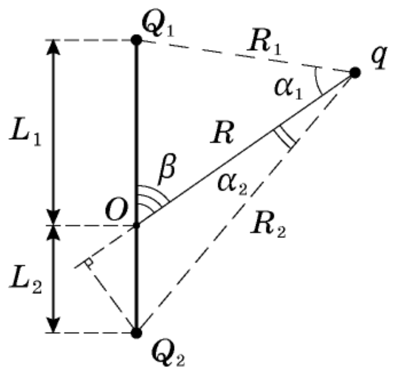
Таким образом, шкала термометра, показывающего разность температур T_1–T_2 должна выглядеть так:



11.4. И так можно измерять

Возможное решение

Условие равновесия заряда на конце нити: равенство нулю суммы кулоновских сил со стороны Q_1 и Q_2 и натяжения нити, направленного к точке O.



Исключим натяжение, рассмотрев составляющие кулоновских сил, поперечные нити. Из условия равновесия следует

$$\frac{Q_1\sin\alpha_1}{R_1^2}=\frac{Q_2\sin\alpha_2}{R_2^2}, \qquad (1)$$

где R_1 и R_2 расстояния от конца нити до зарядов, а α_1 и α_2 углы, образуемые кулоновскими силами с нитью.

Поскольку $R_1\sin\alpha_1=L_1\sin\beta,\ R_2\sin\alpha_2=L_2\sin\beta$ (2)

и $\frac{Q_1L_1}{R_1^3}=\frac{Q_2L_2}{R_2^3}$, то $Q_1=Q_2\left(\frac{L_2}{L_1}\right)\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$ (3)

Из теоремы косинусов находим $R_1^2 = R^2 + L_1^2 + 2RL_1\cos\beta,\ R_2^2 + L_2^2 + 2RL_2\cos\beta$, (4)

Откуда находим $Q_1 = Q_2\left(\frac{L_2}{L_1}\right)\left(\frac{R^2 + L_1^2 - 2RL_1\cos\beta}{R^2 + L_2^2 + 2RL_2\cos\beta}\right)^{3/2}$ (5)

При нити, отклонённой от прямой, соединяющей заряды Q_1 и Q_2, равновесие устойчиво так как с изменением β возникнет возвращающая сила. При $\beta = 0$ и 180° равновесие будет при любом Q_1, но оно не обязательно устойчиво.

Минимальный измеримый заряд $Q_{\min}$ достигается при стремлении β к 0, а максимальный $Q_{\max}$ – к 180°. (6)

При указанных в условии значениях $L_1 = 2L_2,\ R = 3L_2$ получим, что при $Q_{\min} = \frac{1}{128}Q_2$ и $Q_{\max} \geq \frac{10^3}{128}Q_2 = \frac{125}{16}Q_2$. (7)

Более компактная запись решения получается, если задачу решать в векторном виде.

11.5. Составной конденсатор

Возможное решение

1) Три пластины представляют собой два последовательно соединённых конденсатора емкостью $C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d},\ C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{2d}$. Заряд на обоих конденсаторах равен q. Ёмкость эквивалентного конденсатора $C_{\text{Экв}} = \frac{\varepsilon_0 S}{3d}$.

Запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{q^2}{2C_1} + \frac{q^2}{2C_2} = \frac{LI_{\max}^2}{2}. \qquad (1)$$

Из записанных уравнений найдём $I_{\max} = q\sqrt{\frac{3d}{\varepsilon_0 SL}}$.

2) Верхний конденсатор можно представить как два, соединённых параллельно:

$C_{11} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S/2}{d},\ C_{12} = \frac{\varepsilon_0 S/2}{d}$. Их суммарная емкость $C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{2d}(1+\varepsilon)$.

В рассматриваемом случае закон сохранения выглядит так же как (1). После подстановки в него выражений для C_{11} и C_{12}, получим:

$$I_{\max} = q\sqrt{\frac{2d}{\varepsilon_0 SL}\frac{2+\varepsilon}{1+\varepsilon}}.$$

11 класс
Критерии оценивания

Задача 1. Три муфты

1.	Идея связи изменения импульсов шайб на разных стержнях с проекцией силы реакции стержня	2 балла
2.	Получено соотношение для изменения импульсов шайб $\Delta p_{AC} = \Delta p_B \mathrm{tg}\alpha$	2 балла
3.	Получено соотношение для связи υ_{AC} и υ_B	2 балла
4.	Обоснованно получен верный ответ для υ_{AC}	2 балла
5.	Обоснованно получен верный ответ для υ_B	2 балла

Задача 2. Отрыв цилиндра

1.	Отмечено, что $\vec{N} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0$	1 балл
2.	Показано, что, отрыв цилиндра от ленты происходит в момент, когда вся лента принимает горизонтальное положение	1 балл
3.	Найдено смещение конца ленты к моменту отрыва цилиндра	2 балла
4.	Найдена работа A силы F к моменту отрыва цилиндра от ленты	2 балла
5.	Отмечено, что работа A пошла на приращение механической энергии цилиндра	1 балл
6.	Записан закон сохранения механической энергии	2 балла
7.	Получено выражение для скорости цилиндра	1 балл

Задача 3. Дифференциальный термометр

1.	Уравнения состояния для новых температур сосудов	2 балла
2.	Связь между смещением поршня и разностью температур	3 балла
3.	Вывод о линейности шкалы	1 балл
4.	Определение цены деления шкалы термометра	2 балла
5.	Рисунок с оцифрованной шкалой	2 балл

Задача 4. **И так можно измерять**

1.	Условие равновесия заряда на конце нити (условие (1))	2 балла
2.	Установлены тригонометрические соотношения (2)	1 балл
3.	Получено выражение (3)	1 балл
4.	Получено выражение (4)	1 балл
5.	Получено выражение (5)	2 балла
6.	Записано условие устойчивости равновесия	1 балл
7.	Получен ответ (7)	2 балла

Задача 5. Составной конденсатор

Случай (1)

1.	Записан закон сохранения энергии	2 балла
2.	Получено выражение для максимума силы тока	2 балл
3.	Найдена максимальная сила тока	1 балл

Случай (2)

4.	Записан закон сохранения энергии	2 балла
5.	Получено выражение для максимума силы тока	2 балл
6.	Найдена максимальная сила тока	1 балл

Задание 7.1. Механический «черный» ящик.

Оборудование: «чёрный» ящик с пластиковой трубкой внутри (начало и конец трубки выступают наружу); 2 шприца; пластиковый стакан с водой; линейка; нить; пластиковая тарелка; салфетки.

Задание. С помощью предложенного вам оборудования определите следующие параметры пластиковой трубки:

1) Внешний диаметр D трубки.
2) Внутренний диаметр d трубки.
3) Длину L_0 всей трубки.

Опишите ваши измерения и сделайте поясняющие рисунки.

Примечания:

1) Укажите в отчёте номер «чёрного» ящика, который вам выдан.
2) Вскрывать «чёрный» ящик или вытаскивать из него трубку запрещено.
3) Внутренний и внешний диаметры трубки считайте неизменными по всей её длине.
4) Длина окружности $L_d = \pi d$, где d – её диаметр, $\pi \approx 3{,}14$; площадь круга $S = \pi d^2/4$, объем цилиндра равен произведению площади основания на высоту.
5) Шприц № 1 объемом 5 мл и шприц № 2 - инсулиновый объемом 1 мл.
6) Тарелка и салфетки используются для поддержания порядка на рабочем месте.

Задание 7.2. Клякса.

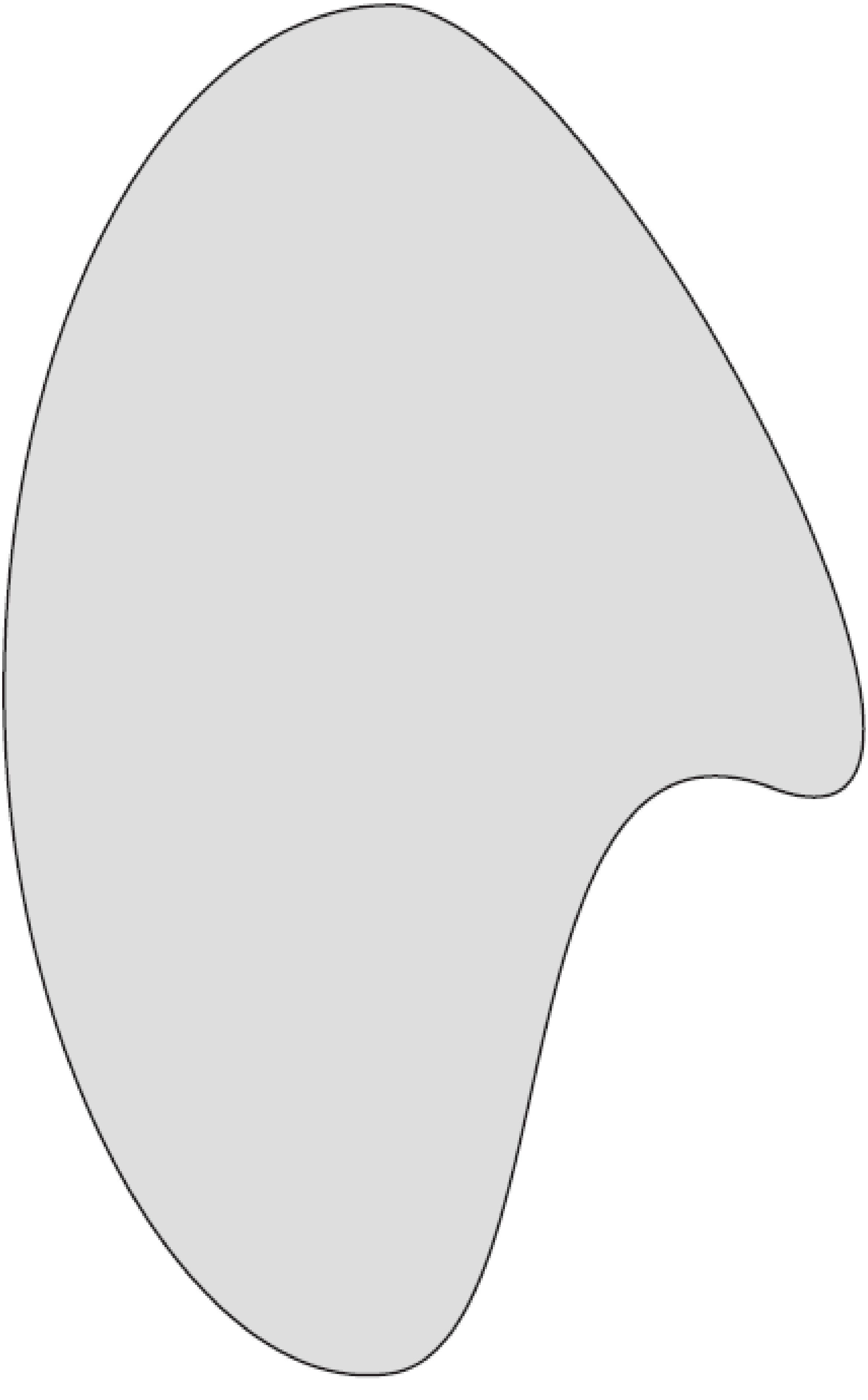
Оборудование: лист бумаги с изображением кляксы, карандаш, линейка, ножницы.

Задание.

Вырежьте кляксу из листа. Определите: 1) площадь кляксы; 2) массу кляксы; 3) объемную плотность ρ бумаги.

Примечание. Поверхностная плотность выданной вам бумаги σ = 80 г/м^2.

Лист с изображением кляксы можно разрезать, но помните, что новый лист вам не выдадут!



Задание 7.1. Механический «черный» ящик

Возможное решение

1. Для определения внешнего диаметра трубки воспользуемся методом рядов. Плотно намотаем N витков нити на трубку, затем с помощью линейки измерим длину L намотки. Тогда длина окружности трубки равна L/N, а внешний диаметр $D = \frac{L}{\pi N}$ (результат зависит от используемого оборудования). В авторском исполнении $D \approx 4,4$ мм.

2. Для определения внутреннего диаметра трубки в шприц № 2 наберем объем воды V_1 = 1 мл. Присоединим шприц к длинном концу трубки аккуратно выдавим всю воду из шприца в трубку. С помощью линейки измерим длину $L_{зап}$ заполненной части трубки. В авторском исполнении $L_{зап} = 160$ мм. Вычислим площадь внутреннего сечения трубки $S = \frac{V_1}{L_{зап}}$, а затем и внутренний диаметр $d = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} \approx 3$ мм.

3. Для определения полной длины трубки заполним её водой из шприца № 1. По шкале шприца определим израсходованный объем воды V_0. Используя результаты предыдущего пункта найдём $L_0 = L_{зап}V_0 / V_1$. Выдуем всю воду из трубки и повторим опыт еще 2 раза, результаты усредним.

Примечание. Инсулиновый шприц используется для более точного определения внутреннего диаметра трубки, так как его цена деления 0,02 мл.

Критерии оценивания:

1. Понятное описание хода работы, наличие схематических рисунков		**1 балл**
2. Найден внешний диаметр трубки		**3 балла**
a.	Использован метод рядов	0,5 балла
b.	Измерена длина нити при $N \geq 5$	1 балл
c.	Выведены необходимые формулы	0,5 балла
d.	Получен результат с точностью не хуже 10%.	1 балл
3. Найден внутренний диаметр		**3 балла**
a.	Предложен метод, с использованием шприца № 2	1 балл
b.	Водой заполнено более половины длинного конца трубки	0,5 балла
c.	Выведены необходимые формулы	0,5 балла
d.	Получен результат с точностью не хуже 10%.	1 балл
4. Длина трубки		**3 балла**
a.	Предложен правильный метод	1 балл
b.	Опыт проделан два и более раз	1 балл
	один раз	0,5 балла
c.	Получен результат с точностью не хуже 10%.	1 балл

Задание 7.2. Клякса

Возможное решение

1. Для определения площади кляксы S наносим на нее сетку из клеток размером 1 см на 1 см. Подсчитываем общее число целых клеток N_1 и не целых клеток N_2. Умножаем N_1 на 1 см^2, N_2 на 0,5 см^2 и суммируем результаты.
2. Находим массу кляксы по формуле $m = S \cdot \sigma$.
3. Разрезаем кляксу на большое число N_3 бумажных полосок. Складываем полоски в стопку и разрезаем получившуюся толстую полоску на N_4 отрезков. Складываем их в стопку и измеряем её толщину D. Толщину листа бумаги определим по формуле $d = \dfrac{D}{N_3 N_4} \approx 0{,}1$ мм.
4. Объемная плотность бумаги $\rho = \dfrac{\sigma}{d} \approx 800$ кг/м^3.

Рекомендации организаторам

1. Кляксу нужно распечатать на листе А4 и вырезать из бумаги.
2. Карандаш нужен заточенный.
3. Ножницы, так же как и все остальное, выдаются каждому участнику.
4. Линейка должна быть длиной 30 – 40 см.

Критерии оценивания

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Предложен способ измерения площади кляксы	**1**
2.	Измерена площадь с точностью не хуже 10%	**1**
3.	Записана формула для вычисления массы (0,5 балла) и получено численное значение с единицами измерений (0,5 балла)	**1**
4.	Предложен метод измерения толщины бумаги (метод рядов)	**1**
5.	Явно приведены результаты измерений: N и D.	**1**
6.	Количество полосок $N > 50$	**1**
7.	Измеренная толщина попадает в диапазон [0,09 – 0,11] мм Измеренная толщина попадает в диапазон [0,08 – 0,12] мм	**2** 1
8.	Вычислена объемная плотность ρ бумаги Записана формула $\rho = \sigma / d$ Измеренная плотность попадает в диапазон [660 – 1 000] кг/м^3	**2** 1 1

Задание 8.1. Вариации на тему!

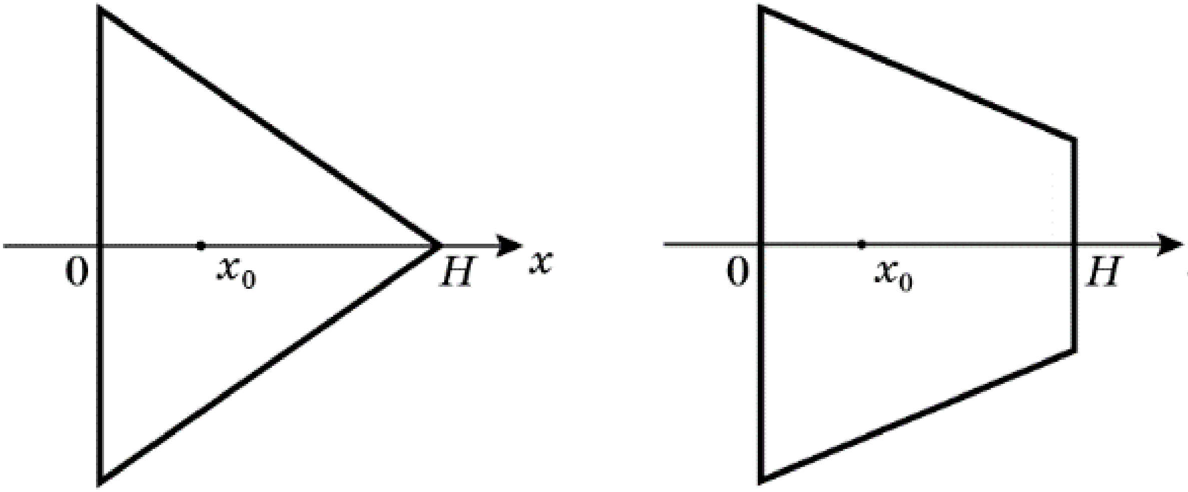
Оборудование: три листа картона, ножницы, карандаш, линейка, три листа миллиметровой бумаги.

Задание.

Центр тяжести плоской однородной симметричной фигуры лежит на оси симметрии. Докажите экспериментально, что положение центра тяжести описывается уравнением:

$$x_0 = kH\ .$$

Для этого проведите серию измерений для двух типов геометрических фигур: равнобедренного треугольника и равнобокой трапеции, основания которой относятся как **2 : 1**.



- Для фигур с разными значениями H определите положения центра тяжести x_0.
- Постройте график полученных зависимостей $x_0(H)$ (не менее чем для 7 точек в возможно большем диапазоне измеряемых величин).
- С помощью графика определите значения k для треугольника и трапеции.

Задание 8.2. Плотность риса

Оборудование: два блюдца (одно пустое, другое с рисом), одноразовый стаканчик, наполненный водой примерно на две трети, кусок марли, нить хлопчатобумажная, электронные весы.

Задание. Определите плотность зерен риса.

Внимание! В течение всего времени, отведенного на выполнение задания, дополнительные порции воды и риса вам не выдадут!

Блюдца используйте лишь в качестве поддона для риса, чтобы он не рассыпался по столу. Использовать блюдца для других целей нельзя! Плотность воды $\rho = 1\ 000$ кг/м^3.

Задание 8.1. Центр тяжести

Возможное решение

Вырезая из картона равнобедренные треугольники с разной высотой H, определяем положение их центра тяжести x_0, например, уравновешивая их на краю стола. Строим график полученной зависимости из которого находим $k_1 = 1/3$.

Повторяя аналогичные измерения для равнобоких трапеций, находим $k_2 = 4/9$.

Критерии оценивания

1. Описание метода измерения x_0		1 балл
2. Результаты измерений (таблица) (по 1 баллу для треугольника и для трапеции)		2 балла
3. Графики зависимости $x_0(H)$ для треугольника и трапеции		4 балла
Подписаны величины и единицы измерений	0,5 балла х 2	
Выбран удобный масштаб	0,5 балла х 2	
Нанесены на график экспериментальные точки	0,5 балла х 2	
Проведена прямая (не ломаная)	0,5 балла х 2	
4. Получены значения k (по 1 баллу для треугольника и для трапеции)		2 балла
5. Сделан вывод о справедливости линейной связи x_0 и H		1 балл

Задание 8.2. Плотность риса

Возможное решение

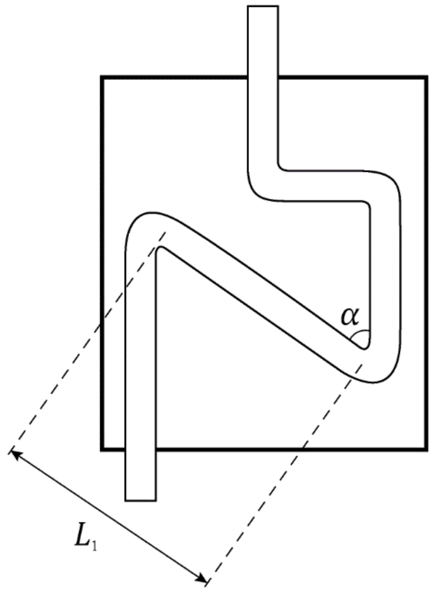
В кусок марли насыпаем порцию риса 50 г. Сворачиваем марлю в мешочек, внутри которого оказался рис, завязываем получившийся узелок нитью, оставляя небольшой свободный конец, за который удобно держать узелок. Определяем массу узелка с рисом. Определяем массу стаканчика с водой. Теперь устанавливаем стаканчик на весы и опускаем в него узелок с рисом, удерживая его за нить так, чтобы он не касался дна и стенок. Узелок должен быть полностью погружен в воду. На рис со стороны воды действует сила Архимеда $F_A = \rho_0 g V$, где ρ_0- плотность воды, V - объём риса. По третьему закону Ньютона с такой же силой рис действует на воду, увеличивая вес стаканчика с водой на F_A. Таким образом, показания весов увеличатся на $\Delta m g = F_A = \rho_0 V g$, и, следовательно, объем риса $V = \frac{\Delta m}{\rho_0}$, где Δm -увеличение показания весов при погружении риса в воду. Тогда плотность риса

$$\rho = \frac{m}{V} = \rho_0 \frac{m}{\Delta m}.$$

Измерения следует повторить несколько раз и усреднить полученные результаты.

Критерии оценивания

1.	Описание метода измерения плотности риса		1 балл
2.	Использование порции риса массой более 50 г.		1 балл
3.	Определена масса порции риса		1 балл
4.	Определен объем риса в узелке		3 балла
	Вывод формулы $V = \frac{\Delta m}{\rho_0}$	2 балла	
	Измерение объема	1 балл	
5.	Найдена плотность риса		2 балла
	В пределах 10% от контрольного значения	2 балла	
	В пределах от 10% до 20%	1 балл	
6.	Проведены повторные измерения		2 балла
	Однократное повторение	1 балл	



Задание 9.1. Гидравлический «серый ящик». Внутри выданного вам «серого ящика» размещена трубка постоянного сечения, концы которой выведены наружу. Схема расположения трубки внутри «серого ящика» показана на рисунке. Направление стрелки на ящике совпадает с направлением параллельных участков трубки. Определите:

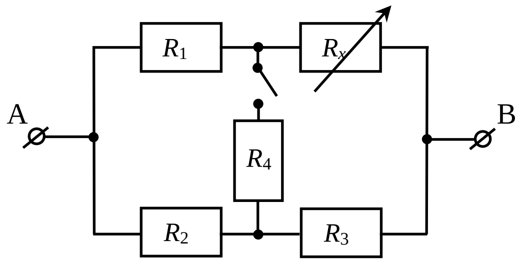
1) полную длину трубки L_0;
2) длину наклонного участка L_1;
3) угол α.

Оборудование: «серый ящик», стакан с подкрашенной жидкостью, штатив с муфтой и лапкой, 2 шприца, линейка, нить, небольшой грузик (гайка), канцелярская кнопка, лист миллиметровой бумаги, 4 – 5 полосок скотча (наклеены на край стола), одноразовая пластиковая тарелка, салфетки.

Примечания

1) Разбирать «серый ящик» и/или вытаскивать из него трубку запрещается.
2) Не делайте пометки на «сером ящике». Вы можете приклеить к «серому ящику» лист миллиметровой бумаги и на нём делать необходимые пометки.
3) Шприц № 1 объемом 5 мл (или 10 мл) и шприц № 2 - инсулиновый объемом 1 мл.
4) Заполнение трубки жидкостью производите медленно, избегая возникновения воздушных пузырей (разрывов столбика жидкости). Во время отсоединения шприца трубка должна быть пережата непосредственно у шприца. Аккуратное разжимание трубки обеспечит её медленное заполнение жидкостью и позволит избежать возникновения пузырей.
5) При смещении столбика жидкости атмосферное давление воздуха в трубке из-за вязкости устанавливается не сразу. Кроме того, определенное сопротивление движению столбика жидкости оказывают силы поверхностного натяжения. Легкое постукивание по «серому ящику» при выполнении эксперимента будет способствовать ускорению процесса установления состояния равновесия.
6) Перед каждым последующим заполнением трубки её следует продувать.
7) Тарелка и салфетки используются для поддержания порядка на рабочем месте.

Задание 9.2. Электрический «серый ящик». Внутри «серого ящика» находятся 5 резисторов, один из которых переменный (см. рисунок). Сопротивления двух резисторов известны и равны R_1 = 1,0 кОм и R_2 = 2,0 кОм. Определите сопротивления резисторов R_3, R_4 и найдите, в каком диапазоне изменяется сопротивление переменного резистора R_x.



Оборудование: Мультиметр, «серый ящик» с выведенным наружу ключом и регулировочной ручкой переменного резистора.

Задание 9.1. Гидравлический «серый ящик»

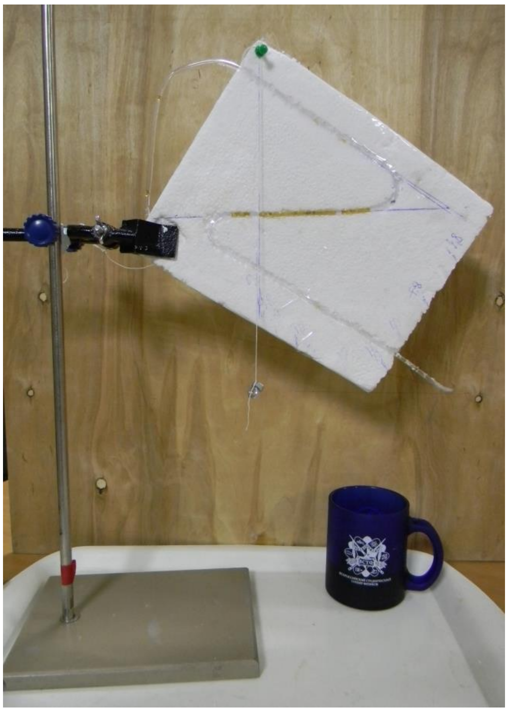
Возможное решение

1. Определение длины трубки.

С помощью шприца № 2 аккуратно заполним выступающий длинный конец трубки жидкостью объемом V_1. Измерим длину $L_{зап}$ столбика жидкости в трубке. Для определения полной длины трубки заполним её водой из шприца № 1. По шкале шприца определим израсходованный объем жидкости V_0. Найдём $L_0 = L_{зап} V_0 / V_1$.

2. Определение α.

Закрепим «серый ящик» (СЯ) в штативе таким образом, чтобы стрелка была в вертикальном положении. На фото справа СЯ представлен без передней крышки. Будем последовательно заливать в трубку порции жидкости начиная с объема V_0 и уменьшая объем этих порций с определенным шагом. Если объем залитой жидкости превышает суммарный объем V_2 наклонной и правой вертикальной частей трубки, то после отсоединения шприца жидкость выливается из трубки через нижний конец (эффект сифона). Вытекание жидкости прекратится, когда ее объем станет равным V_2. Начиная с этого момента, после каждого заливания порции жидкости аккуратно поворачиваем ЧЯ в штативе на угол β против часовой стрелки до момента срабатывания сифона, что соответствует заполнению наклонного участка трубки. С помощью отвеса фиксируем угол поворота СЯ относительно вертикали, соответствующий данному объему заливаемой жидкости (фото снизу).



Начиная с некоторого объема заливаемой жидкости V_3 угол β_0, при котором срабатывает сифон, перестанет изменяться. Объем V_3 соответствует объему наклонного участка трубки, а угол β_0 его горизонтальному положению. Отсюда следует, что $\alpha = 90^\circ - \beta_0$, а $L_1 = L_{зап} V_3 / V_1$.

Задание 9.2. Электрический «серый ящик»

Возможное решение

Подсоединим омметр к выводам «серого ящика» (СЯ) и убедимся, что его показания изменяются в зависимости от положения ключа и регулятора переменного резистора. В случае, когда мост сбалансирован, общее сопротивление цепи не должно зависеть от того, замкнут или разомкнут ключ. Изменяя сопротивление переменного резистора, сбалансируем мост (периодически проверяя, изменяется или нет общее сопротивление в зависимости от положения ключа). Запишем показание омметра Ω_1 = 2,0 кОм для сбалансированного моста. Так как в этом случае отношение сопротивлений $\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_x}{R_1} = \alpha$, то $\Omega_1 = (\alpha + 1)\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$. С учетом приведенных в условии данных, значение α = 2, а сопротивление резистора R_3 = 4,0 кОм.

Теперь, зная сопротивление трех резисторов, можно найти диапазон значений сопротивлений переменного резистора. Для этого, не замыкая ключа, определим минимальное и максимальное (в зависимости от положения регулятора) сопротивление всей цепи. В общем виде $R_x = \frac{\Omega(R_1 + R_2 + R_3) - R_1(R_2 + R_3)}{R_2 + R_3 - \Omega}$, где Ω - показания омметра.

Минимальное показание омметра $\Omega_{мин} \approx 0{,}71$ кОм, а максимальное $\Omega_{макс} \approx 3{,}0$ кОм. Из чего следует, что $0 < R_x < 5{,}0$ кОм.

Сопротивление резистора R_4 можно определить, замкнув ключ при том положении регулятора, когда омметр показывает минимальное сопротивление (сопротивление переменного резистора равно нулю). Показание омметра Ω_4 = 0,71 кОм. С учетом того, что $\Omega_4 = \frac{R_1(R_2 + R_{34})}{R_1 + R_2 + R_{34}}$, где $R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$, получим

$$R_4 = R_3 \frac{(R_1 + R_2)\Omega_4 - R_1 R_2}{R_1(R_2 + R_3) - (R_1 + R_2 + R_3)\Omega_4} \approx 0{,}5 \text{ кОм}.$$

Погрешность можно грубо оценить по числу значащих цифр, входящих в формулы величин. Разумные значения погрешности 5-10%.

Задание 9.1. Гидравлический «серый ящик».

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Понятное описание хода работы, наличие схематических рисунков	**1**
2.	Определение L_0 Предложен метод, точность которого сопоставима с точностью авторского метода Опыт проделан не менее трех раз, результаты усреднены Получен результат с отклонением от правильного не более, чем на 10%	**3** 1 1 1
3.	Определение L_1 Предложена разумная и реализуемая идея Точность метода не хуже 10% Выполнены все необходимые измерения Выполнены повторные измерения или серия опытов с последующим усреднением Получен результат с точностью не хуже 10%	**5** 1 1 1 1 1
4.	Определение α Предложена разумная идея Предложенная идея реализуема на данном оборудовании Точность метода не хуже 15% Выполнены все необходимые измерения Выполнены повторные измерения или серия опытов с последующим усреднением Получен результат с точностью не хуже 15%	**6** 1 1 1 1 1 1

Итого: 15 баллов

Задание 9.2. Электрический «серый ящик».

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Идея расчета сбалансированного моста	**2**
2.	Теоретическое обоснование метода	**2**
3.	Явные результаты измерений	**2**
4.	Явный учет возможности ненулевого минимального сопротивления переменного резистора	**2**
5.	Правильно найдена величина сопротивления R_3	**2**
6.	Правильно найден диапазон сопротивлений переменного резистора	**2**
7.	Правильно найдена величина сопротивления R_4	**2**
8.	Оценка погрешности измерений	**1**

Итого: 15 баллов

Задача 10.1. Золушка.

Задание

1. Представьте себе мешок с пшеном (50 кг), стоящий на полу. При помощи выданного вам оборудования, найдите, чему равна плотность **крупы** на дне мешка.
2. Измерьте плотность **зерен** пшена.
3. Измерьте плотность драже.

Оборудование: пшено (в стаканчике), драже (10 шт), шприц (20 мл), весы.

Примечание. При определении плотности зерен рассматривайте крупу как плотную упаковку одинаковых шариков. Объем шара $V_ш = 4/3\pi r^3$, где r – радиус шара.

LII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап
19 января 2018 года. Экспериментальный тур.

Задание 10.2. Ох уж эти ВАХи!

1) Снимите вольтамперную характеристику (ВАХ) выданного вам «черного ящика» и нарисуйте схему электрической цепи, с помощью которой вы проводили измерения.

2) Изобразите полученную ВАХ на графике.

3) Предложите вариант схемы электрической цепи, которая может располагаться внутри «чёрного ящика».

4) Определите сопротивление(я) резистора(ов) в «чёрном ящике».

Электрическая цепь, находящаяся внутри «чёрного ящика», содержит не более 3-х элементов (это могут быть резисторы, диоды, лампочки), но только один из них нелинейный. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов (диода и лампочки) схематически изображены на рис. 1 и рис. 2.

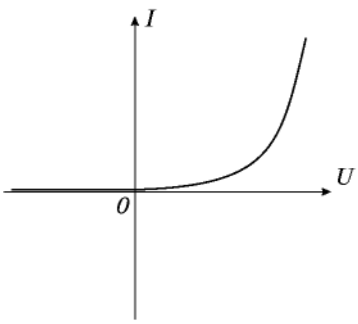


Рис.1 ВАХ диода

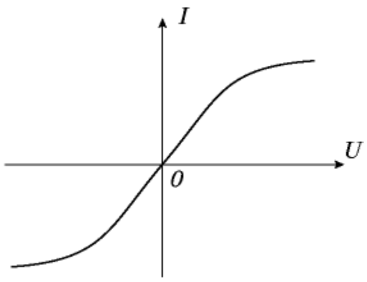


Рис.2 ВАХ лампочки

<u>Оборудование</u>: «черный ящик», резистор сопротивлением 10 Ом, переменный резистор, батарейка (источник тока), вольтметр (мультиметр), соединительные провода, миллиметровая бумага для построения графиков.

<u>Примечание</u>: если в качестве вольтметра вам выдали мультиметр, то вы имеете право использовать его только в режиме вольтметра.

Задание 10.1. Золушка

Возможное решение

1. Измеряем массу M пустого шприца. Насыпаем в шприц пшено. Измеряем массу $m_{\text{общ}}$ шприца с пшеном и объем V, занимаемый крупой. Для моделирования состояния зерна на дне мешка прижимаем зерно поршнем шприца. Плотность крупы $\rho_{\text{кр}} = \frac{m_{\text{общ}} - M}{V} \approx 0{,}8$ г/см^3. Если зерно насыпать в шприц и не уплотнять, измеренная плотность окажется на 10-15% меньше ($\rho_{\text{кр}} \approx 0{,}7$ г/см^3).

2. Предположим, что крупа подобна кристаллической структуре, элементарной ячейкой которой является куб, в каждой из вершин которого находится центр зерна и еще у одного центр совпадает с центром куба (объемно-центрированная кубическая решетка). Найдем плотность упаковки такой решетки $k = \frac{V_0}{V_я}$, где $V_0 = NV_ш$ – объем, занимаемый зернами, N – число зерен, приходящихся на одну ячейку, $V_я = a^3$ - объем ячейки. Ребро куба a можно связать с радиусом зерна r: $a\sqrt{3} = 4r$ (на большой диагонали куба укладывается два диаметра зерна). N подсчитаем таким образом: каждое из 8 зерен, центры которых находятся в вершинах кубах, принадлежит 8 соседним ячейкам, поэтому на каждую ячейку приходится по 1/8 зерна, и еще одно зерно находится в центре куба: $N = 8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = 2$. После подстановки, $k = \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \approx 0{,}68$. Плотность зерен $\rho_{\text{зер}} = \frac{\rho_{\text{кр}}}{k} \approx 1{,}2$ г/см^3. Для гранецентрированной кубической решетки аналогичный расчет дает k = 0,74 и $\rho_{\text{зер}} = \frac{\rho_{\text{кр}}}{k} \approx 1{,}1$ г/см^3. Это наиболее плотная упаковка, наряду с гексагональной. У простой кубической решетки (1 зерно на 1 ячейку) $k = 0{,}52$, тогда $\rho_{\text{зер}} = \frac{\rho_{\text{кр}}}{k} \approx 1{,}5$ г/см^3.

3. Измеряем массу m_1 5-6 драже. Далее насыпаем в шприц небольшое количество пшена так, чтобы у дна образовалась «подушка» из зерна, на которую бросаем одно драже. Аккуратно насыпаем зерно, чтобы заполнить промежутки между драже и стенками шприца и подготовить «подушку» для следующего драже. Так продолжаем, пока общий объем смеси $V_{\text{общ}}$ не станет равен 20 мл (сверху при этом должен находиться слой зерна под давлением поршня). Измеряем массу шприца с драже и пшеном m_2. Масса пшена $m_{\text{пш}} = m_2 - m_1 - M$. Так как размер зерен пшена много меньше размера драже, можем считать, что крупа заполнила все промежутки, и их объем был равен $V_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пш}}}{\rho_{\text{кр}}}$. Тогда объем, занимаемый самим драже, $V_{\text{др}} = V_{\text{общ}} - V_{\text{пр}}$, а его плотность $\rho_{\text{др}} = \frac{m_1}{V_{\text{др}}} = (1{,}4 - 1{,}6)$ г/см^3.

Рекомендации для жюри

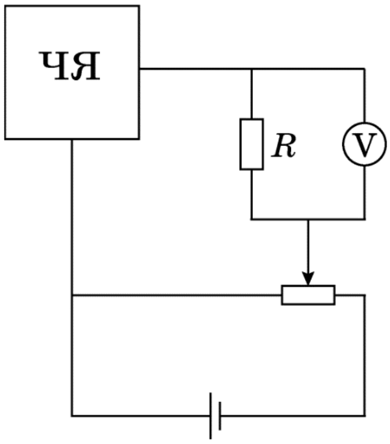
1. Жюри необходимо как можно точнее измерить все искомые плотности. Результаты ваших измерений могут несколько отличаться от приведенных в решении, так как и крупа, и драже могут быть разных сортов.

2. Мы также проводили измерения плотности зерен, набирая в шприц с крупой воду. Такой способ не требует никаких первоначальных гипотез о плотности упаковки зерен в крупе. Полученный результат $\rho_{\text{зер}} \approx 1,3$ г/см^3 соответствует плотности упаковки k = 0,62.

Задание 10.2. Ох уж эти ВАХи!

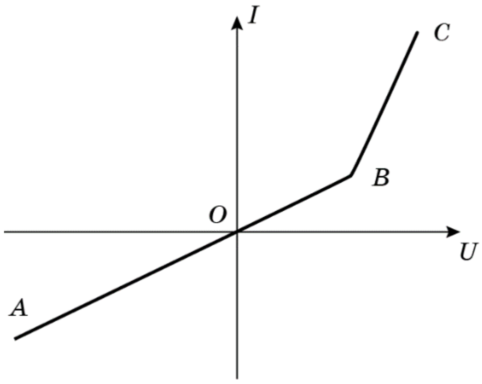
Возможное решение

Соберем электрическую цепь (рис. справа). При таком соединении приборов мы сможем регулировать напряжение, подаваемое на «черный ящик» в наиболее широком диапазоне. Регулируя сопротивление переменного резистора, будем измерять вольтметром напряжение на известном резисторе, и на «черном ящике».



Силу тока через «черный ящик» найдем с помощью закона Ома для резистора R.

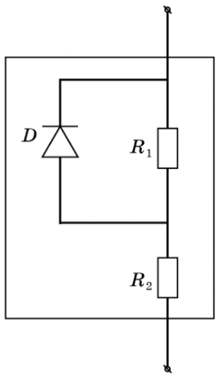
По полученным данным построим ВАХ «черного ящика» для разных полярностей его подключения. Получится график примерно следующего вида:



Характерный изгиб ВАХ и разный вид графика при различной полярности говорят о наличии диода. Ветвь для отрицательных напряжений соответствуют закрытому состоянию диода. Поскольку ток при этом течет и зависимость $I(U)$ линейна, делаем вывод о том, что параллельно диоду присоединён резистор. Правая ветвь ВАХ после открытия диода идет не слишком круто вверх, что свидетельствует о наличие резистора, соединенного последовательно со диодом.

Возможные варианты схем.

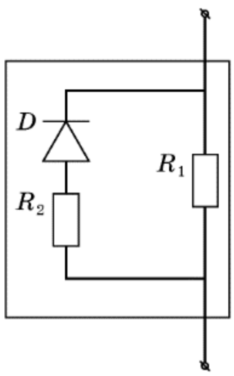
Схема 1.



При $U < 0$ (участок AO) ток через диод не идёт, поэтому общее сопротивление цепи $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$ можно найти из закона Ома.

При $U > 0$ на участке BC отношение $\dfrac{\Delta U}{\Delta I} = R_2$. Отсюда $R_1 = R_{\text{общ}} - R_2$.

Схема 2.



При $U < 0$ (участок AO) ток через диод не идёт, поэтому сопротивление R_1 можно найти из закона Ома.

При $U > 0$ на участке BC отношение $\dfrac{\Delta U}{\Delta I} = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

Отсюда $R_2 = \dfrac{R_1 R_{12}}{R_1 - R_{12}}$.

Задача 10.1. Золушка.

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Предложен способ измерения плотности крупы на дне мешка, включая расчетную формулу	**1**
2.	Измерена плотность крупы (точность не хуже 5%) Если точность хуже 5%, но в пределах 10% - 1 балл	**2**
3.	Выполнено повторное измерение	**1**
4.	Предложен способ расчета плотности зерен (нужно учесть воздушные промежутки, для этого рассмотреть структуру крупы)	**1**
5.	Правильно найдена плотность упаковки (в соответствии с выбранным типом кристаллической решетки) Если сделана разумная оценка $0{,}5 < k < 0{,}75$ без вывода формул – 1 балл	**2**
6.	Вычислена плотность зерен: при $k = 0{,}52$ $\rho_{\text{зер}} \approx 1{,}5 \text{г/см}^3$, при $k = 0{,}68$ $\rho_{\text{зер}} \approx 1{,}2 \text{г/см}^3$, при $k = 0{,}74$ $\rho_{\text{зер}} \approx 1{,}1 \text{г/см}^3$.	**1**
7.	Предложен способ измерения плотности драже («крупа вместо воды»)	**1**
8.	Правильный метод определения объема промежутков (через плотность крупы)	**1**
9.	Выполнены необходимые измерения (m_1, m_2, $V_{общ}$)	**1**
10.	Выполнены повторные измерения (не менее двух) Если повторное измерение одно – 1 балл	**2**
11.	Определена плотность драже $\rho_{\text{др}} = (1{,}4 - 1{,}6) \text{г/см}^3$ Если $\rho_{\text{др}} = (1{,}3 - 1{,}4) \text{г/см}^3$, или, $\rho_{\text{др}} = (1{,}6 - 1{,}7) \text{г/см}^3$ – 1 балл	**2**

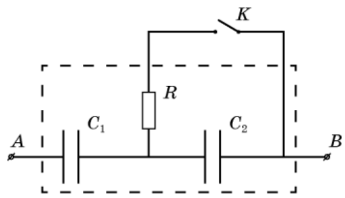
Итого: 15 баллов

Задание 10.2. Ох уж эти ВАХи!

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Идея регулирования напряжения (потенциометр)	**1**
2.	Идея использования вольтметра в качестве амперметра	**1**
3.	Приведена схема электрической цепи	**1**
4.	Выполнены измерения для ВАХ при одной полярности подключения «серого ящика»	**2**
	Не менее 10 измерений	2
	От 7 до 9 измерений	1
	От 5 до 6 измерений	0,5
5.	Выполнены измерения для ВАХ при другой полярности подключения «серого ящика»	**2**
	Не менее 10 измерений	2
	От 7 до 9 измерений	1
	От 5 до 6 измерений	0,5
6.	Построен график для одной полярности	**1**
	Подписаны оси	0,25
	Грамотно выбран масштаб по осям	0,25
	Нанесены точки	0,25
	Проведена гладкая кривая	0,25
7.	Построен график для другой полярности	**1**
	Подписаны оси	0,25
	Грамотно выбран масштаб по осям	0,25
	Нанесены точки	0,25
	Проведена гладкая кривая	0,25
8.	Указано, что внутри «серого ящика» есть диод	**1**
9.	Указано, что внутри «серого ящика» есть два резистора	**1**
10.	Приведена одна из двух возможных схем соединения элементов в «сером ящике»	**2**
11.	Определено значение резистора R_1	**1**
12.	Определено значение резистора R_2	**1**

Итого: 15 баллов

Задание 11.1. Электролитический «серый ящик». В «сером ящике» с выводами A и B и выведенным наружу ключом K собрана электрическая цепь, схема которой представленная на рисунке. Определите ёмкости конденсаторов C_1, C_2 и сопротивление резистора R.



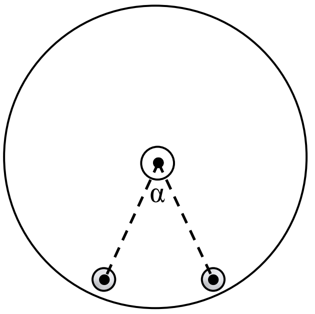
Оборудование: батарейка, мультиметр в режиме вольтметра, конденсатор известной емкости C_0 = 1000 мкФ, миллиметровая бумага для построения графиков, секундомер.

Примечание. Все использующиеся в работе конденсаторы электролитические. Они должны подключаться в цепь с учетом полярности, указанной на ящике и выводах конденсатора C_0. Учтите, что при неверном подключении оборудование может выйти из строя, а вам его не заменят

Задание 11.2. Наклоненный маятник.

Задание

1. В этой задаче изучаются свободные колебания выданного вам маятника на горизонтальной поверхности стола. Свободные колебания маятника являются затухающими. Затухание количественно характеризуется декрементом затухания (от лат. *decrementum* — уменьшение, убыль). Декремент затухания d равен натуральному логарифму отношения двух последовательных максимальных отклонений A колеблющейся величины в одну и ту же сторону: $d = ln(A_1/A_2)$. Закрепите **поочередно** при помощи магнита у **края** диска маленькую и большую гайку, и, проведя необходимые **измерения**, выясните, в каком случае декремент затухания колебаний маятника меньше. Опишите ваши измерения и приведите их результаты.



2. Выберите гайку, для которой декремент затухания колебаний маятника **меньше**. Закрепите при помощи магнитов две такие гайки у края диска, как показано на рисунке. Исследуйте зависимость периода T малых колебаний маятника от угла α между радиусами, проведенными из центра диска к центрам гаек. Постройте график зависимости $T(\alpha)$. Сделайте вывод о характере зависимости $T(\alpha)$.

Оборудование: Маятник с прикрепленным транспортиром, две большие и две маленькие гайки, два магнита, секундомер, 2 листа миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графиков).

Задание 11.1. Электролитический «серый» ящик»

Возможное решение

1. Измерим напряжение U_0 батарейки и занесём в отчёт полученный результат.

2. Подключим батарейку к выводам A и B при разомкнутом ключе K. При этом конденсаторы зарядятся до напряжения

$$U_1 = U_0 \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \qquad U_2 = U_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2}.$$

3. Отключим батарейку, замкнём ключ K и, выждав некоторое время (~ 30 с), измерим напряжение U_{AB} на клеммах A и B. Убедимся, что U_{AB} с течением времени практически не изменяется, т.е. C_2 разрядился, а C_1 через вольтметр разряжается очень медленно. Тогда

$$U_{AB} = U_1 = U_0 \frac{C_2}{C_1 + C_2}.$$

Из полученных соотношений найдём:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{U_0}{U_{AB}} - 1. \qquad (1)$$

4. Разрядим конденсаторы, замкнув выводы A и B. Разомкнём ключ K и, зарядив конденсатор C_0, подключим его к клеммам A и B и измерим напряжение

$$U'_{AB} = \frac{C_0 U_0}{C_0 + C_{12}}, \text{ где } C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \qquad (2)$$

5. Решая совместно уравнения (1) и (2), получим

$C_1 = 1\ 000$ мкФ; $C_2 = 470$ мкФ.

6. Чтобы найти сопротивление резистора R, подключим к клеммам A и B (при разомкнутом ключе K) батарейку. Отключим батарейку и вместо неё подключим вольтметр (мультиметр). Замкнём ключ K и снимем зависимость напряжения $U_{AB}(t)$ от времени. Сила тока, протекающего через резистор

$$I(t) = \frac{U_2(t)}{R} = -\frac{\Delta q_2}{\Delta t} = -\frac{C_2 \Delta U_2(t)}{\Delta t},$$

где Δq_2 - изменение заряда на конденсаторе C_2. Величину $\frac{U_2(t)}{\Delta t}$ можно определить, проведя касательную к графику $U_{AB}(t)$. Значение $U_2(t) = U_0(t) - U_1$.

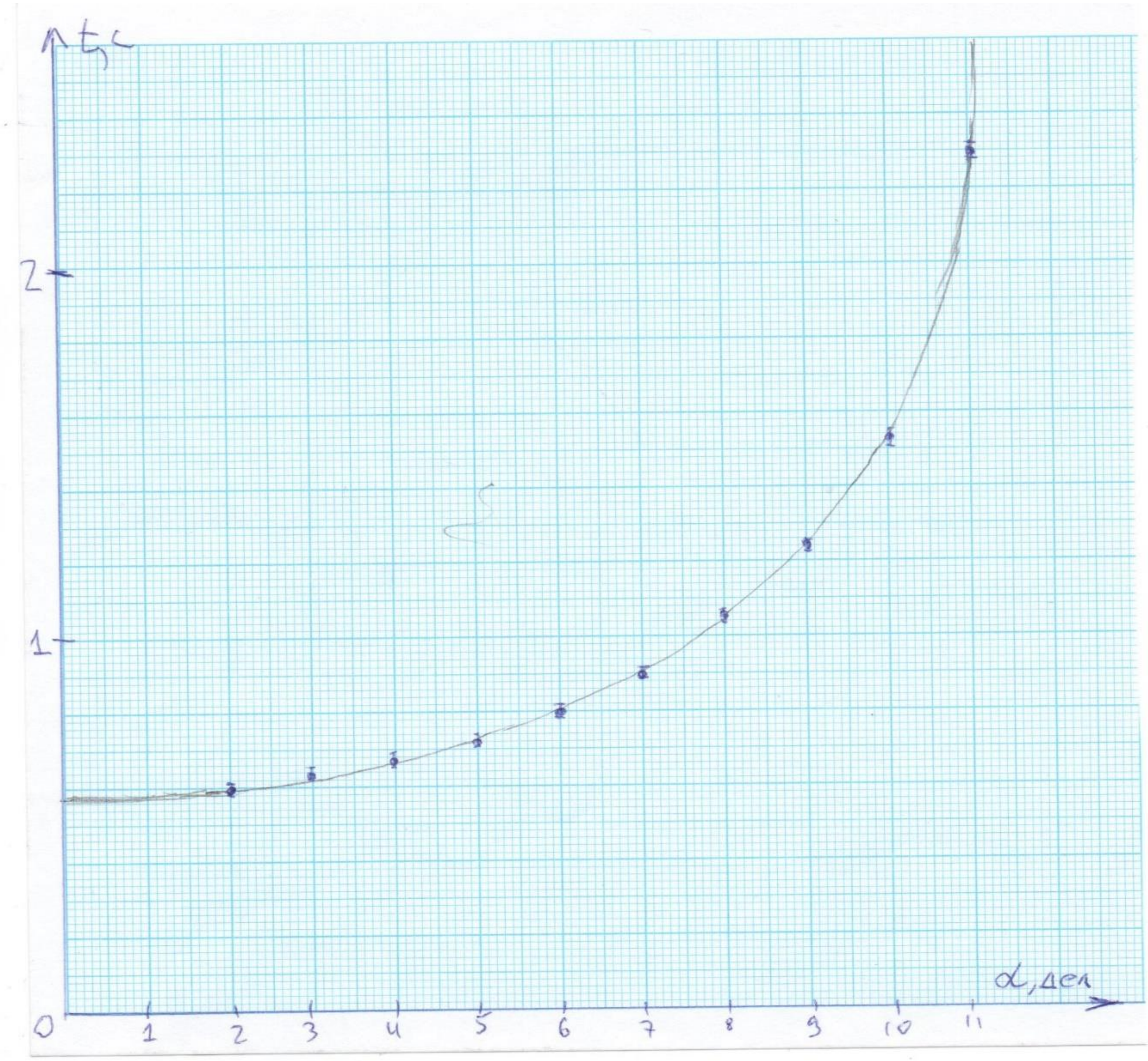
7. Находим сопротивление $R = -\dfrac{U_2(t)}{C_2 \dfrac{\Delta U_2(t)}{\Delta t}}$.

Задание 11.2. Наклонённый маятник

Возможное решение

1. Будем измерять число колебаний за которое угловая амплитуда уменьшается в два раза, например, с $\varphi_0 = 30^\circ$ до $\varphi_1 = 15^\circ$. Для большой гайки это число примерно в два раза больше чем для маленькой. Следовательно, декремент затухания колебаний маятника с большой гайкой меньше. Выбираем её для выполнения второй части задания.

2. Измеряем период колебаний для α в диапазоне $30^\circ < \alpha < 150^\circ$ с шагом 15°.



3. По результатам измерений строим график зависимости $T(\alpha)$.

4. Делаем вывод о характере зависимости: она монотонно возрастающая и $\dfrac{\Delta T}{\Delta \alpha}$ непрерывно растёт во всём диапазоне.

Задание 11.1. Электролитический «серый ящик».

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Измерение напряжение U_0 батарейки	**1**
2.	Идея нахождения отношения C_2/C_1 с расчетной формулой	**1**
3.	Выполнены необходимые измерения для нахождения C_2/C_1	**1**
4.	Выполнены повторные измерения	**1**
5.	Найдено отношение C_2/C_1	**1**
6.	Идея нахождения общей емкости конденсаторов C_1 и C_2 , соединенных последовательно, с расчетной формулой	**1**
7.	Выполнены необходимые измерения для нахождения общей емкости конденсаторов C_1 и C_2 , соединенных последовательно	**1**
8.	Выполнены повторные измерения	**1**
9.	Найдена общая емкость конденсаторов C_1 и C_2 , соединенных последовательно	**1**
10.	Вычислены емкости конденсаторов C_1 и C_2	**1**
11.	Идея нахождения сопротивления R с расчетной формулой	**1**
12.	Выполнены необходимые измерения для нахождения сопротивления R (не менее 7 измерений) Если 5-6 измерений	**2** 1
13.	Обработка результатов измерений $U(t)$	**1**
14.	Найдено сопротивление R	**1**

Итого: 15 баллов

Задание 11.2. Наклоненный маятник.

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Предложен метод сравнения декрементов затухания - измерение числа полных колебаний, за которое амплитуда уменьшается в одно и то же количество раз для каждой из гаек	**1**
2.	Проведены необходимые измерения и записаны их результаты	**1**
3.	Сделан правильный вывод – декремент затухания для маятника с большой гайкой **меньше**	**1**
4.	Проведены измерения периода для 9-10 значений α для 7-8 значений для 5-6 значений	**3** 2 1
5.	Период измерялся через время t, за которое маятник совершает N полных колебаний, при этом $t \geq 10$ с	**1**
6.	Повторные измерения t при одном и том же α если повторение однократное	**2** 1
7.	Построен график зависимости $T(\alpha)$: нанесены точки подписаны оси указаны единицы измерения указан масштаб по осям масштаб выбран так, что график занимает не менее 50% по каждой оси проведена линия тренда (не ломаная)	**4** 1 0,5 0,5 0,5 0,5 1
8.	Сделан правильный вывод о зависимости $T(\alpha)$: при увеличении α период монотонно возрастает скорость возрастания $\frac{\Delta T}{\Delta \alpha}$ также непрерывно растет при увеличении α	**2** 1 1

Итого: 15 баллов