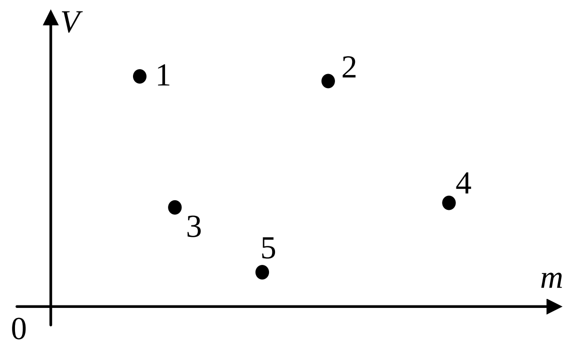
7 класс

1. Где тут плотность?

В лаборатории провели измерtния массы и объема пяти тел, изготовленных из четырех материалов: березы, $\rho_Б = 0{,}7$ г/см^3, алюминия, $\rho_{Ал} = 2{,}7$ г/см^3, железа, $\rho_Ж = 7{,}8$ г/см^3 и свинца, $\rho_С = 11{,}3$ г/см^3.



Затем результаты нанесли на график, по одной оси которого отложили объемы тел V_i, а по другой их массы m_i. Здесь индекс i может принимать значения 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно номерам точек на графике. К сожалению, со временем масштаб по осям был утрачен, а экспериментаторы в спешке забыли записать, какому веществу какая экспериментальная точка соответствует. Определите:

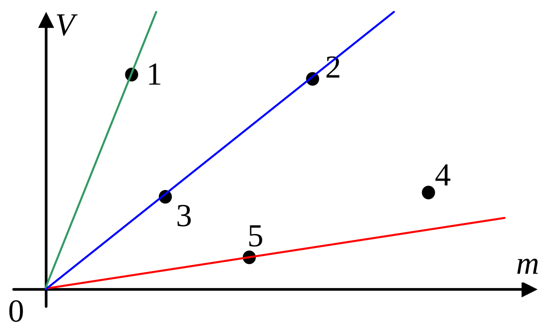
- из какого материала изготовлено тело самой большой массы?
- у тела с каким номером была самая маленькая плотность? Чему она равна?
- какой точке соответствует тело, изготовленное из свинца?
- какие тела сделаны из одинакового материала? Определите из какого.

Примечание! Применять свои линейки для нанесения на график масштаба нельзя. Подобные решения будут оценены в ноль баллов.

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

Возможное решение

Тарасова Е.



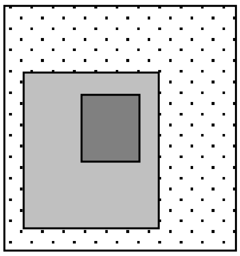
Самой большой массой обладает тело 4. Его координата по оси m самая большая. По определению, плотность $\rho = m/V$. На данных осях точки для всех тел, обладающих одинаковой плотностью, должны лежать на одной прямой проходящей через начало координат, так как для них (автоматически) равно отношение m/V. Из этого следует, что плотности тел 2 и 3 одинаковы. Чем больше плотность тела, тем больше отношение m/V, а прямая, идущая из начала координат через эти точки, должна идти под меньшим углом. Из этого следует, что самая маленькая плотность у тела 1, а самая большая у тела 5. Телу 4 соответствует плотность меньшая, чем у тела 5, но большая чем у 3 и 2, следовательно, тело 4 изготовлено из железа, 5 – из свинца, 2 и 3 – из алюминия, а 1 – из березы.

Критерии оценивания

- Определено тело с самой большой массой (есть обоснование) — 1 балл
- Идея связать плотность с углом наклона прямой из начала координат — 3 балла
- Найдено тело с самой большой плотностью — 2 балла
- Найдено тело с минимальной плотностью — 2 балла
- Найдены тела с одинаковой плотностью — 2 балла

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

2. Кубик в кубе



Однородный кубик со стороной a и плотностью ρ поместили внутрь куска глины с плотностью 4ρ, которому придали форму куба со стороной $2a$. Получившийся куб облепили пластилином плотностью 2ρ, в результате чего получился куб со стороной $3a$ (см. рисунок). Определите среднюю плотность получившейся системы.

Возможное решение

Слободянин В.

Среднюю плотность системы можно рассчитать, определив объемы глины и пластилина, и выразив их через объем $V = a^3$ маленького кубика. Заметим, что эти объемы не зависят от взаимного расположения кубика, глины и пластилина, и равны соответственно $\left(2^3 - 1^3\right)V = 7V$ и $\left(3^3 - 2^3\right)V = 19V$.

Тогда
$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho V + 4\rho \cdot 7V + 2\rho \cdot 19V}{27V} = \frac{67\rho}{27} \approx 2{,}5\rho.$$

Критерии оценивания

1. Выражены объемы глины и пластилина (по 3 балла) 6 баллов
2. Получена формула для расчета средней плотности 1 балл
3. Получено значение средней плотности 3 балла

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

3. Встретились две трубы

На трубопрокатном заводе по конвейерам с одинаковой скоростью движутся во встречных направлениях две трубы разной длины. Мимо друг друга трубы проезжают за время $t_1 = 5$ с (время измеряется от момента, когда поравняются передние торцы труб, движущиеся навстречу друг другу, до момента, когда поравняются задние торцы). В результате поломки, один из конвейеров начал движение в обратном направлении с вдвое большей скоростью. За какое время t_2 трубы проедут мимо друг друга теперь? Рассмотрите возможные варианты.

Возможное решение

Кармазин С.

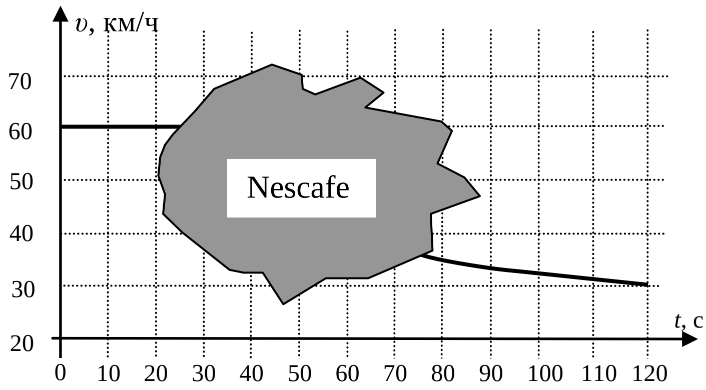
Задачу удобно решать в системе отсчета, связанной с трубой, скорость υ которой не изменялась. Обозначим длину этой трубы l_1, а длину другой трубы l_2. Можно считать, что встречная труба проехала мимо неподвижной, когда она переместилась на расстояние $L = l_1 + l_2$. В первом случае труба двигалась со скоростью 2υ. Время $t_1 = L/(2\upsilon)$ разъезда труб не зависит от того, какая именно труба находится в движении, длинная или короткая. Во втором случае, скорость подвижной трубы относительно неподвижной равна υ. В результате, время обгона составляет $t_2 = L/\upsilon = 2t_1 = 10$ с. Это время тоже не зависит от длины подвижной трубы.

Критерии оценивания

1. Выражение для времени t_1 — 3 балла
2. Выражение для времени t_2 — 3 балла
3. Численный ответ — 1 балл
4. Рассмотрены разные варианты и указано, что ответ не зависит от того, какая именно труба изменила скорость — 3 балла

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

4. Кофе на средней скорости



Машина половину пути ехала равномерно; затем, въехав на плохой участок дороги, стала двигаться медленнее, но тоже с постоянной скоростью. На графике приведена зависимость **средней** скорости машины от времени движения. К сожалению, при движении по плохой дороге на график пролили кофе, и часть информации пропала.

Определите:

- путь, пройденный машиной за все время движения;
- время движения на первой половине пути;
- величину скорости машины на втором участке;
- значение средней скорости через 60 с после начала движения.

Возможное решение **Замятнин М.**

Весь пройденный путь можно найти, умножив значения средней скорости (на всём пути) на все время движения, найденные из графика:

$\upsilon_{ср}$ = 30 км/час = 30 000 м/3 600 с = 25/3 м/с.

Отсюда находим путь $S = \upsilon_{ср} t_0$ = 25/3 (м/с) ·120 с = 1000 м.

Половине пути соответствует расстояние 500 м. Скорость на первом участке составляет 60 км/ч = 50/3 м/с, следовательно, время движения на нем t_1 = 500 м:50/3 м/с = 30 с.

Время движения на втором участке t_2 = 120 с – 30 с = 90 с = (1/40) ч, откуда, скорость движения на нем υ_2 = 0,5 км:(1/40) ч = 20 км/ч.

К моменту времени 60 с машина половину времени ехала со скоростью υ_1 и половину с υ_2, следовательно, $\upsilon_{ср}(60\text{ с}) = \frac{\upsilon_1 + \upsilon_2}{2}$ = 40 км/ч.

Критерии оценивания

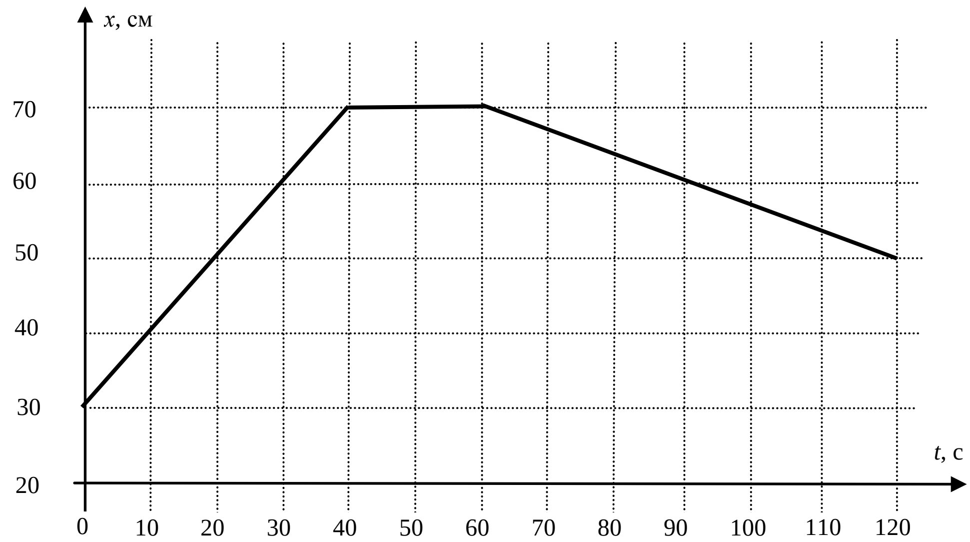
1. Найден путь, пройденный машиной	2 балла
2. Найдено время движения на первом участке	2 балла
3. Определена скорость движения на втором участке	3 балла
4. Найдено значение средней скорости через 60 с	3 балла

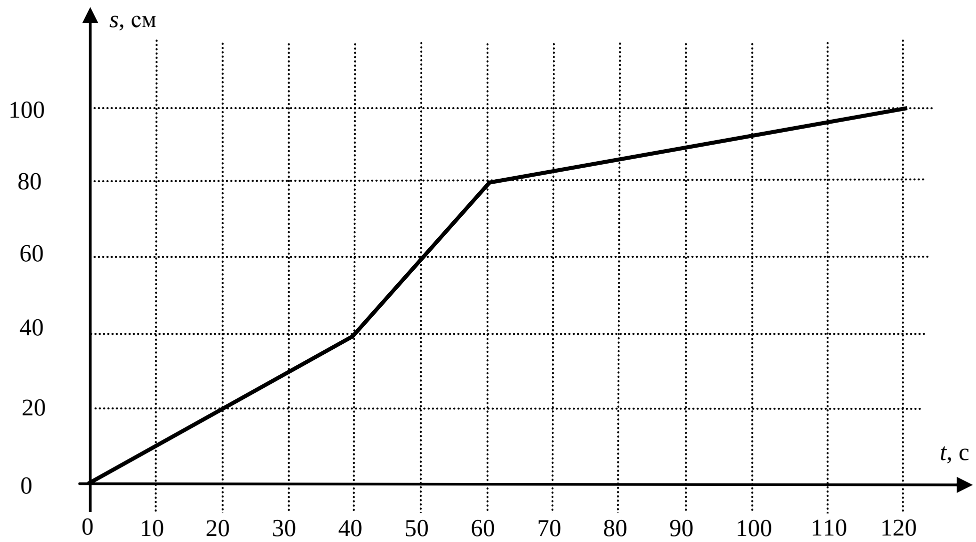
Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

8 класс

1. Столоход

Экспериментатор Глюк на большом лабораторном столе проводил испытания модели вездехода. Координатную ось X он направил вдоль длинного края стола. Зависимости координаты модели $x(t)$ и пройденного им пути $s(t)$ от времени приведены на графиках. Опишите характер движения модели вездехода (словами или сделав рисунок). Определите, с какой максимальной скоростью двигался вездеход? На каком расстоянии друг от друга находятся начальная и конечная точки его движения?





Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

Возможное решение **Замятнин М.**

Из графиков видно, что на первом участке (0 – 40 с) изменение координаты x равно пройденному вездеходом пути. Это означает, что движение происходило вдоль длинного края стола. На втором участке (40 – 60 с), координата x не изменялась, но путь продолжал увеличиваться. Такое возможно, если вездеход двигался в направлении, перпендикулярном оси X, причём часть времени он может ехать в одну сторону, а часть в обратную. На третьем участке (60 - 120 с) уменьшение координаты x совпало с изменением пройденного пути, следовательно, вездеход вновь двигался вдоль длинной стороны стола, но в направлении противоположном первоначальному.

Максимальную скорость вездеход имел на втором участке (самый большой угловой коэффициент наклона графика пути от времени). Из графика находим значение $\upsilon_{макс}$ = 2,0 см/с.

На втором участке смещение модели вездехода может принимать значения от нуля до 40 см в направлении перпендикулярном оси X. Изменение координаты x за все время движения составило 20 см, откуда, по теореме Пифагора, можно найти максимальное расстояние между точками старта и финиша $L = \sqrt{20^2 + 40^2} \approx 45$ см. Таким образом искомое расстояние лежит в пределах от 20 см до 45 см.

Критерии оценивания

1.	Правильно описан характер движения вездехода	3 балла
2.	Найдена максимальная скорость	2 балла
3.	Определено смещение в направлении перпендикулярном оси X	2 балла
4.	Применена теорема Пифагора для нахождения расстояния	2 балла
5.	Дан числовой ответ для расстояния	1 балл

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

2. Куб кубу рознь

Куб из однородного материала плавает, погрузившись на глубину h в жидкость. На какую глубину H в этой же жидкости погрузится куб, имеющий вдвое бóльшую плотность и вдвое бóльшую длину ребра?

Возможное решение **Замятнин М.**

Запишем условие плавания куба с длиной ребра a, имеющего плотность ρ, в жидкости с плотностью $\rho_ж$:

$$\rho_ж h a^2 g = \rho a^3 g \qquad \text{или} \qquad h = a(\rho/\rho_ж).$$

Тогда, для второго куба

$$\rho_ж H(2a)^2 g = (2\rho)(2a)^3 g \qquad \text{или} \qquad H = 4a(\rho/\rho_ж).$$

Из этих уравнений следует, что: $H = 4h$.

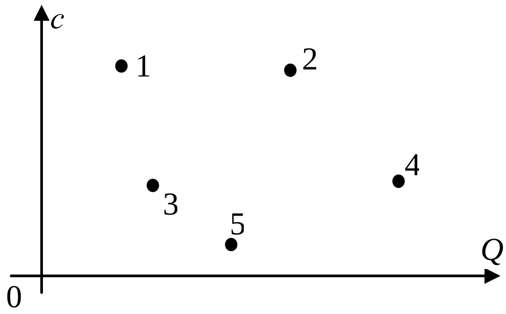
Но это не окончательный ответ. Дело в том, что если $H = 4h > 2a$, то большой куб утонет. Это накладывает более жёсткое условие на плавание маленького куба. Так как $4h > 2a$, то $h < a/2$. Иными словами, глубина погружения маленького куба не должна превышать $a/2$. В противном случае большой куб утонет.

Критерии оценивания

- Условие плавания маленького куба — 2 балла
- Условие плавания большого куба — 3 балла
- Глубина погружения большого куба $H = 4h$ — 1 балл
- Анализ условия плавания большого куба и ограничение $a > 2h$ — 4 балла

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

3. Разное нагревание



В лаборатории провели измерения удельной теплоемкости пяти твердых тел, имеющих одинаковую массу. Изменений агрегатного состояния вещества в процессе эксперимента не происходило. Результаты измерений нанесли на график, по одной оси которого откладывалась удельная теплоемкость *c*, а по другой количество теплоты *Q*, подведённой к телам при их нагревании. К сожалению, масштаб по осям со временем был утрачен. Определите:

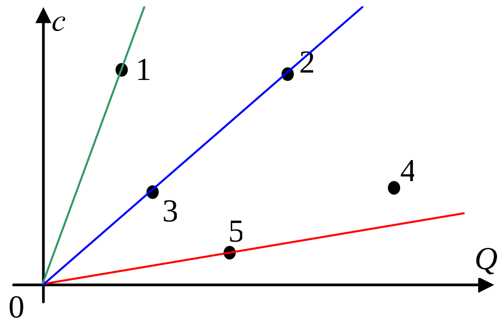
- какому телу было передано больше всего теплоты?
- у какого тела изменение температуры оказалось самым большим, а у какого самым маленьким?
- у каких тел изменения температуры оказались одинаковыми?

Примечание! Применять свои линейки для нанесения на график масштаба нельзя. Подобные решения будут оценены в ноль баллов.

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

Возможное решение

Тарасова Е.



Больше всего теплоты было передано телу 4. Его координата по оси Q самая большая. Если при нагревании твердого тела к нему подводится количество теплоты $Q = mc\Delta t$, то его температура повышается на $\Delta t = Q / mc$. На координатной плоскости (c, Q) для всех тел, имеющих одинаковую массу, температура которых повысилась на одинаковую величину Δt, соответствующие точки лежат на одной прямой, проходящей через начало координат, так как для них отношение $Q/(mc)$ одно и то же. Из этого следует, что изменения температуры тел 2 и 3 одинаковы. Чем больше было повышение температуры, тем больше стало отношение $Q/(mc)$; а прямая, проведённая из начала координат, пойдёт под меньшим углом. Из этого следует, что больше всего нагрелось тело 5, а меньше всего тело 1.

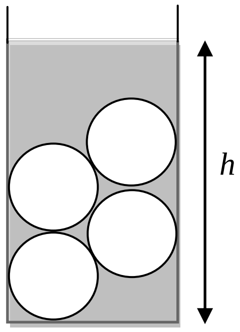
Критерии оценивания

- Определено тело, которому передано больше теплоты (есть обоснование) 1 балл
- Отмечено, что наклон прямой на графике связан с изменением температуры 3 балла
- Найдено тело с максимальным изменением температуры 2 балла
- Найдено тело с минимальным изменением температуры 2 балла
- Найдены тела с одинаковым изменением температуры 2 балла

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

4. Шарики

В цилиндрическом стакане находилось 4 шарика. Экспериментатор аккуратно с помощью шприца добавлял в стакан жидкость и заносил в таблицу значения высоты уровня жидкости в стакане в зависимости от объема добавленной жидкости. Известно, что в процессе эксперимента шарики не всплывали. По результатам измерений определите площадь сечения стакана и объем одного шарика.

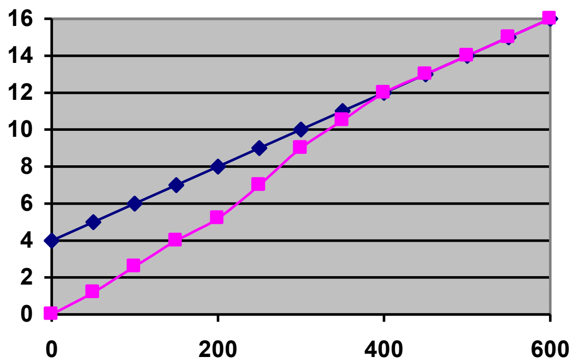


V, см^3	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
h, см	0	1,2	2,7	4,1	5,3	7,0	9,0	10,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0

Возможное решение

Замятнин М.

По табличным данным построим график зависимости $h(V)$. Из графика следует, что линейный характер этой зависимости начинается после объема 400 см^3, и добавляемая жидкость распределяется по всему сечению сосуда равномерно. По угловому коэффициенту наклона этой части графика найдём площадь сечения сосуда:



$$S = \frac{\Delta V}{\Delta h} = \frac{200}{4} = 50 \text{ см}^2.$$

Проведём экстраполяцию линейного участка до нулевого объема добавленной жидкости. В результате получим значение высоты «нулевого» уровня $h_0 = 4$ см. Это позволяет найти суммарный объем четырех и объем одного шарика. $V_1 = Sh_0 / 4 = 50$ см^3.

Решение 2. Из таблицы в условии видно, что, начиная с $V = 400$ см^3 зависимость $h(V)$ является линейной, и добавление каждых 50 см^3 воды приводит к повышению уровня воды на $h = 1$ см. Значит площадь сечения стакана $S = V/h = 50$ см^2. При наличии в стакане $V = 600$ см^3 воды, $h = 16$ см, т.е. объем воды с шариками равен $hS = 800$ см^3. Следовательно суммарный объем шариков равен $V_ш = 200$ см^3, а одного шарика – 50 см^3.

Критерии оценивания

• График зависимости $h(V)$	2 балла
• Найден и правильно интерпретирован линейный участок	2 балла
• Идея нахождения площади сечения по углу наклона графика	1 балл
• Численный результат для площади сечения	1 балл
• Нахождение нулевого уровня	1 балл
• Идея поиска объема одного шарика	2 балла
• Численный результат для объема шарика	1 балл

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00.*
Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале **online.mipt.ru**

9 класс

1. Минимальный путь

Автомобиль, едущий со скоростью υ_0, в некоторый момент начинает движение с таким постоянным ускорением, что за время τ пройденный им путь s оказывается минимальным. Определите этот путь s.

Возможное решение **Слободянин В.**

Чтобы путь, пройденный за время τ, был минимальным, автомобиль должен начать тормозить. Пусть t_1 – время, прошедшее с момента начала торможения до момента остановки автомобиля. (Вместо t_1 в качестве параметра задачи можно ввести конечную скорость υ_1 автомобиля). После этого момента автомобиль начнёт разгоняться в обратном направлении. Пройденный путь

$$s = \frac{\upsilon_0 t_1}{2} + \frac{\upsilon_0}{t_1}\frac{(\tau - t_1)^2}{2} = \frac{\upsilon_0}{2}\left(t_1 + \frac{(\tau - t_1)^2}{t_1}\right).$$

Преобразуем это выражение к виду

$$\frac{2st_1}{\upsilon_0} = t_1^2 + (\tau - t_1)^2.$$

Это квадратное уравнение относительно переменной t_1. Приведём его к виду

$$t_1^2 - \left(\tau + \frac{s}{\upsilon_0}\right)t_1 + \frac{\tau^2}{2} = 0.$$

Дискриминант этого уравнения равен

$$\left(\tau + \frac{s}{\upsilon_0}\right)^2 - \left(\sqrt{2}\tau\right)^2 = \left(\tau + \frac{s}{\upsilon_0} - \sqrt{2}\tau\right)\left(\tau + \frac{s}{\upsilon_0} + \sqrt{2}\tau\right).$$

Из анализа первого сомножителя находим, что путь, пройденный за время τ, минимален при условии

$$s = \left(\sqrt{2} - 1\right)\tau\upsilon_0.$$

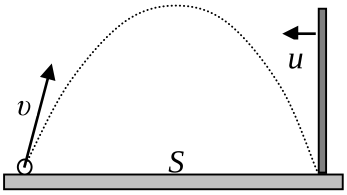
Критерии оценивания

1. В результате анализа движения, например, графика $\upsilon(t)$, указано на то, что скорость в течение времени τ должна сменить знак **2 балла**
2. Записано выражение для пройденного пути (через ускорение, или время t_1 движения автомобиля до остановки, или конечную скорость υ_1) **4 балла**

   2 балла за выражение для пути до остановки и **2 балла** - за оставшуюся часть пути
3. В результате решения квадратного уравнения получено выражение для времени t_1 движения до момента остановки автомобиля или для конечной скорости υ_1 автомобиля **3 балла**
4. Получен окончательный ответ **1 балл**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

2. Отражение в полете



В баллистической лаборатории при проведении эксперимента по изучению упругого отражения от движущихся препятствий производился выстрел маленьким шариком из небольшой катапульты, установленной на горизонтальной поверхности. Одновременно из точки, в которую по расчетам должен был упасть шарик, с постоянной скоростью начинала движение навстречу массивная вертикальная стенка (см. рисунок). После упругого отражения от стенки, шарик падал на некотором расстоянии от катапульты. Затем эксперимент повторяли, изменяя **только** скорость движения стенки. Оказалось, что в двух экспериментах удар шарика о стенку произошел на одной и той же высоте h. Определите эту высоту, если известно, что время полета шарика до отражения в первом случае составило $t_1 = 1$ с, а во втором $t_2 = 2$ с. На какую максимальную высоту H поднимался шарик за весь полет? Чему равна начальная скорость шарика υ, если расстояние между местами его падения на горизонтальную поверхность в первом и втором экспериментах составило $L = 9$ м? Определите скорости равномерного движения стенки u_1 и u_2 в этих экспериментах и начальное расстояние S между стенкой и катапультой. Считайте $g = 10$ м/с^2.

Примечание. В системе отсчёта, связанной со стенкой, модули скорости шарика до и после столкновения одинаковы, а угол отражения шарика равен углу падения.

Возможное решение **Замятнин М.**

Вертикальное перемещение шарика описывается уравнением $h = \upsilon_{в} t - \frac{gt^2}{2}$, которое можно переписать в виде: $t^2 - 2\frac{\upsilon_{в}}{g}t + \frac{2h}{g} = 0$ (здесь $\upsilon_{в}$ – проекция начальной скорости на вертикальную ось). По теореме Виета время всего полета $t_1 + t_2 = \frac{2\upsilon_{в}}{g}$ и $t_1 t_2 = \frac{2h}{g}$, откуда высота, на которой произошел отскок $h = \frac{g t_1 t_2}{2}$=10 м и $\upsilon_{в} = \frac{g(t_1 + t_2)}{2}$=15 м/с. Заметим, что при отражении от стенки вертикальная составляющая скорости шарика не изменяется, поэтому максимальная высота полета определяется лишь начальной вертикальной скоростью $\upsilon_в$ и равна $H = \frac{\upsilon_{в}^2}{2g} = \frac{g(t_1 + t_2)^2}{8}$=11,25 м.

Горизонтальные перемещения шарика и стенки до момента столкновения связаны следующими соотношениями: $\upsilon_{г} t_2 = u_1 t_1$ и $\upsilon_{г} t_1 = u_2 t_2$, так как стенка проходит то расстояние, которое «не успевает» пролететь до падения шарик. Откуда $u_1 = \upsilon_{г} t_2 / t_1$ и $u_2 = \upsilon_{г} t_1 / t_2$.

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

В момент столкновения шарика со стенкой горизонтальная скорость шарика изменяет свое направление на противоположное и увеличивается на удвоенную скорость стенки (это можно показать, рассмотрев упругий отскок из системы отсчета, в которой стенка покоится). Вертикальная скорость шарика при отражении не изменяется, и дальнейший полет до падения длится столько же времени, как и в отсутствии удара. Тогда проекции перемещения шарика от катапульты до мест падения могут быть найдены по формулам:

$$L_1 = \upsilon_г t_1 - (\upsilon_г + 2u_1)t_2 = \upsilon_г\left(t_1 - t_2 - 2\frac{t_2^2}{t_1}\right) \text{ и } L_2 = \upsilon_г t_2 - (\upsilon_г + 2u_2)t_1 = \upsilon_г\left(t_2 - t_1 - 2\frac{t_1^2}{t_2}\right).$$

Здесь за положительное направление принято направление от катапульты к стенке.

Расстояние между точками падения равно $L = L_2 - L_1 = 2\upsilon_г\left(t_2 - t_1 + \frac{t_2^2}{t_1} - \frac{t_1^2}{t_2}\right)$, откуда

$$\upsilon_г = \frac{L}{2}\left(\frac{t_1 t_2}{(t_1 + t_2)^2(t_2 - t_1)}\right) = 1 \text{ м/с}.$$

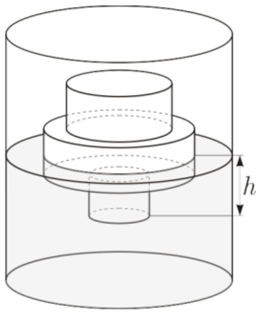
Окончательно $\upsilon = \sqrt{\upsilon_г^2 + \upsilon_в^2} \approx 15$ м/с, горизонтальная дальность полета шарика (начальное расстояние между катапультой и стенкой) $S = \upsilon_г(t_1 + t_2)$ = 3 м, скорости стенки u_1 = 2 м/с и u_2 = 0,5 м/с.

Критерии оценивания

1. Найдена высота, на которой произошло отражение (в т.ч. число 0,5 балла) **1 балл**
2. Найдена максимальная высота полета (в т.ч. число 0,5 балла) **1 балл**
3. Связь между горизонтальной скоростью шарика и скоростями стенки **1 балл**
4. Учтено сохранение вертикальной скорости шарика до и после отражения **1 балл**
5. Определена горизонтальная скорость шарика после отражения **1 балл**
6. Найдены расстояния от катапульты до мест падения шарика **1 балл**
7. Найдено начальное расстояние от катапульты до стенки **1 балл**
8. Найдена начальная скорость шарика **1 балл**
9. Получены численные значения υ, S, u_1, u_2 (по 0,5 балла) **2 балла**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

3. Трехцилиндровый



Тело, склеенное из трех соосных цилиндров разного поперечного сечения и разной высоты, погружают в некоторую жидкость и снимают зависимость силы Архимеда F, действующей на тело, от глубины h его погружения. Известно, что площадь сечения самого узкого (не факт, что самого нижнего) цилиндра S = 10 см^2. Постройте график зависимости $F(h)$ и с его помощью определите высоту каждого из цилиндров, площади сечения двух других цилиндров и плотность жидкости. В процессе эксперимента ось вращения цилиндров оставалась вертикальной, g = 10 м/с^2.

h, см	0	1	3	6	8	11	12	13	15	17	18	20	21	22	23	25	27
F_a, Н	0	0,3	0,9	1,8	2,4	3,6	4,2	4,8	6,0	7,2	7,3	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	7,9

Возможное решение **Гордеев З.**

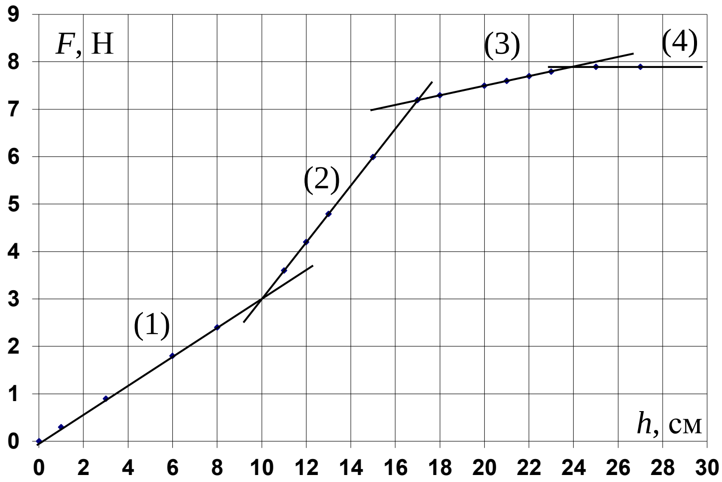


График зависимости $F(h)$ имеет три излома, которые соответствуют изменению площади сечения тела и полному его погружению. Заметим, что положение изломов находится путем экстраполяции линейных зависимостей до их пересечения (в точках 10 см, 17 см и 24 см), поэтому опираться только на табличные данные при определении высот цилиндров нельзя. В области с h < 24 см самый пологий участок графика третий, следовательно, на нем наименьшая площадь поперечного сечения S. Угловой коэффициент наклона первого участка в три раза больше, следовательно, его сечение $3S$ = 30 см^2. На втором участке угловой коэффициент наклона больше в 6 раз, а его площадь сечения $6S$ = 60 см^2. Длины цилиндров 10 см, 7 см и 7 см соответственно. Плотность жидкости можно *h*, см

определить, например, по третьему участку: $\rho = \dfrac{\Delta F}{Sg\Delta h}$=1000 кг/м^3.

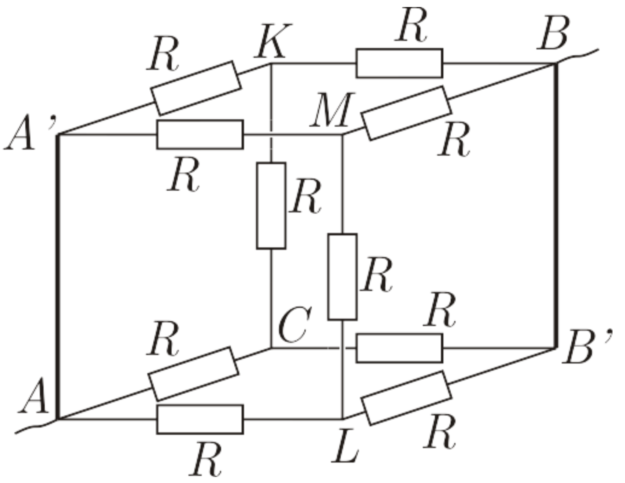
Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Критерии оценивания

• Построен график зависимости $F(h)$		**1 балл**
• На графике выделено 4 участка		**0,5 балла**
• Экстраполяция участков до пересечения		**0,5 балла**
• Определение длин цилиндров – по 1 баллу за каждое		**3 балла**
• Если отклонение менее 1 см, то по 1 баллу Если отклонение от 1 см до 2 см, то 0,5 балла за каждое		
• Определение сечений (по 2 балла за каждое)		**4 балла**
• Если отклонение менее 10%,	2 балла за каждое	
• Если отклонение от 10% до 20%,	1 балл за каждое	
• Если отклонение больше 20%,	0 баллов	
• Определена плотность жидкости (если отклонение менее 10%) иначе **– 0 баллов.**		**1 балл**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

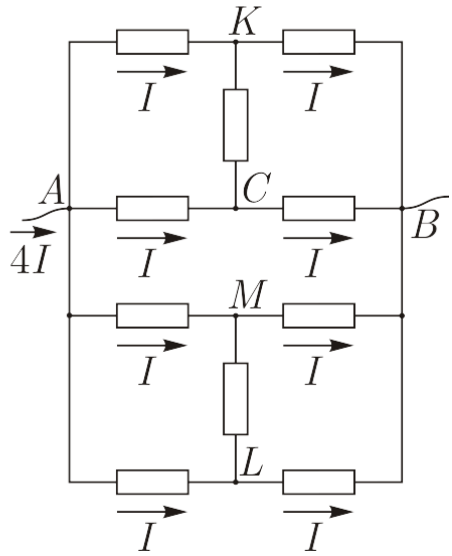
4. Два в кубе



Куб собран из одинаковых резисторов сопротивлением *R*. Два резистора заменили на идеальные перемычки, как указано на рисунке.

- Найдите общее сопротивление получившейся системы между контактами А и В.
- Какие резисторы из оставшихся можно убрать, чтобы это не изменило общее сопротивление системы?
- Если известно, что через большинство резисторов в цепи течет ток I = 2 А, вычислите силу тока в проводе, подсоединенном к узлу А (или В)?
- Вычислите силу тока, текущего через идеальную перемычку АА`?

Возможное решение **Иванов М.**



Изобразим эквивалентную схему и расставим токи в ветвях с учетом закона сохранения заряда и закона Ома (сила токов обратно пропорциональна сопротивлениям параллельных ветвей).

Теперь легко дать ответы на вопросы задачи. В силу симметрии схемы, токи через резисторы в ветвях KC и ML не идут. Следовательно, эти резисторы можно убрать, и это не приведет к перераспределению токов в цепи и изменению общего сопротивления, которое равно

$$R_о = \frac{U_о}{I_о} = \frac{2IR}{4I} = \frac{1}{2}R\,.$$

По условию I = 2 А. Следовательно, сила тока, входящего в узел А, равна $4I$ = 8А. Сила тока через идеальную перемычку АА` равна сумме токов через резисторы в ветвях А`К и А`М: $2I$ = 4 А.

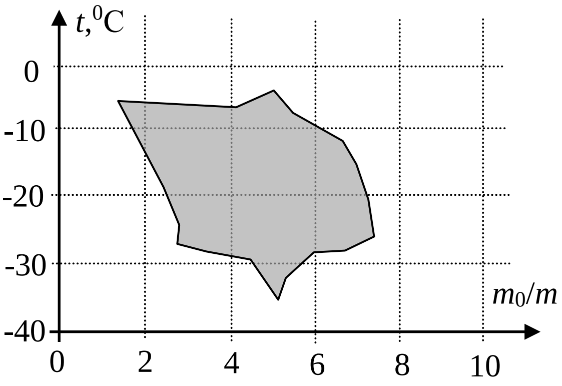
Критерии оценивания

- Правильная эквивалентная схема **2 балла**
- Обосновано отсутствие токов через два резистора **2 балла**
- Найдено общее сопротивление **2 балла**
- Определен общий ток **2 балла**
- Найден ток через перемычку **2 балла**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

5. Ледяное пятно

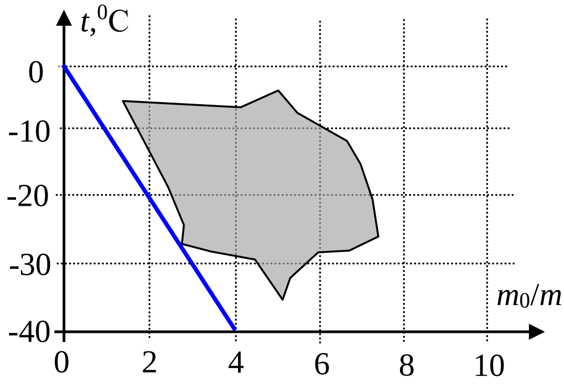
Определите, какая максимальная масса $m_п$ водяного пара, взятого при температуре 100^{0}С, может **потребоваться** для нагревания льда, находящегося в калориметре, до температуры плавления (без плавления). Точная масса льда и его начальная температура не известны, но эти значения могут лежать в области, выделенной на диаграмме серым цветом. Удельная теплота парообразования L = 2,30 МДж/кг, удельная теплота плавления льда λ = 340 кДж/кг, удельная теплоемкость воды c = 4 200 Дж/(кг·^{0}С), удельная теплоемкость льда c_1 = 2 100 Дж/(кг·^{0}С). Масса льда m на диаграмме приведена в условных единицах, показывающих, во сколько раз масса льда меньше, чем m_0 = 1 кг. Теплоемкостью калориметра и потерями тепла пренебречь.



Возможное решение **Замятнин М.**

Запишем уравнение теплового баланса для конденсирующегося (превращающегося в воду) пара, остывающей и кристаллизующейся воды и нагревающегося льда: $m_п(L+c(t_{кип}-t_0)+\lambda)=mc_1(t_0-t)$, откуда $m_п=\dfrac{mc_1(t_0-t)}{L+c(t_{кип}-t_0)+\lambda}$, или с учетом того, что

t_0 = 0^{0}С, получим: $m_п=\dfrac{-mtc_1}{L+ct_{кип}+\lambda}$ (здесь и далее учтено, что t < 0). Максимальная масса пара потребуется при максимальном по модулю значении произведения mt. Одинаковым значениям произведения mt соответствуют точки, лежащие на прямых, проведенных из начала координат. Действительно, для этих прямых выполняется условие $t=\alpha\dfrac{m_0}{m}$, или $mt=\alpha m_0=const$, где α - угловой коэффициент наклона прямой. Чем больше угол наклона прямой, тем больше модуль произведения mt. Из графика видно, что для прямой проведенной из начала координат, касающейся области возможных параметров льда и имеющей максимальный угол наклона, значение коэффициента α = –10^{0}С. Следовательно, максимальная масса пара потребуется при значении произведения mt = –10 кг·^{0}С. С учетом этого, получим $m_п$ ≈ 6,9 г.



Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Возможно и **иное понимание условия**.

Запишем уравнение теплового баланса для конденсирующегося (превращающегося в воду) пара, остывающей воды и нагревающегося льда: $m_{п}(L + c(t_{кип} - t_0)) = mc_1(t_0 - t)$, откуда $m_{п} = \dfrac{mc_1(t_0 - t)}{L + c(t_{кип} - t_0)}$, или с учетом того, что $t_0 = 0^0$C, получим: $m_{п} = \dfrac{-mtc_1}{L + ct_{кип}}$ (здесь и далее учтено, что $t < 0$).

Далее решение совпадает с предыдущей версией. Новый числовой ответ: $m_{п} \approx 7{,}7$ г.

Словосочетание в условии «может потребоваться» отдает некоторое предпочтение ответу 6,9 г, определяющему нижнюю границу диапазона максимальных масс. Т.е. 6,9 г **точно** хватит, для реализации условия задачи - это **необходимая** максимальная масса. Все значения лежащие в диапазоне от 6,9 г до 7,7 г являются избыточными, но не противоречащими условию. Во избежание ненужных лингвистических споров, авторы предлагают считать верными оба ответа, соответствующие границам указанного диапазона при наличии аргументированного решения.

Критерии оценивания

1. Составлено уравнение теплового баланса **2 балла**
2. Правильно указано, при каком условии количество пара максимально **2 балла**
3. Предложен способ нахождения максимального значения модуля *mt* **2 балла**
4. Правильно проведена касательная к области допустимых параметров льда **1 балл**
5. Найдено значение *mt* **1 балл**
6. Определена максимальная масса пара **2 балла**

В п.6 имеет смысл ввести широкие 10% (**1 балл**) и узкие 5% (**2 балла**) «ворота», так как при решении обрабатывается графическая информация. Но, за ответы, попавшие в эти ворота при неверных исходных предположениях (п.п. 3-5), баллы ставиться не должны!

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

10 класс

1. Время мощности

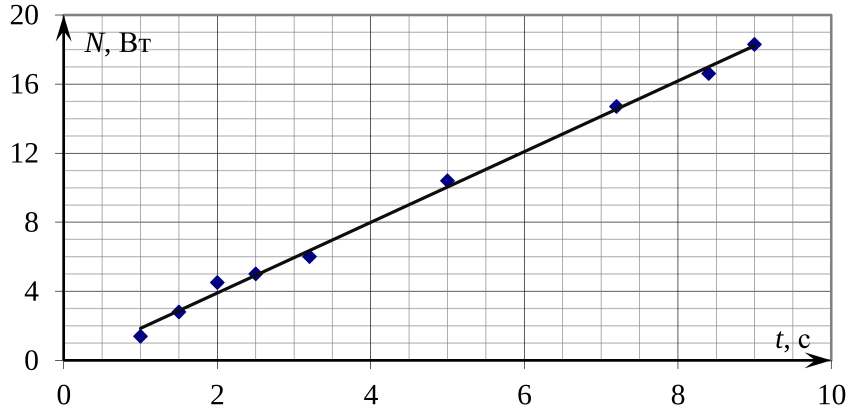
В результате проведенного эксперимента получена зависимость мощности N постоянной горизонтальной силы от времени t ее действия на изначально покоящийся на гладком горизонтальном столе брусок массы m = 2 кг. Некоторые измерения могли оказаться не очень точными.

- определите мощность силы в момент времени τ = 6 с;
- найдите значение силы F.

N, Вт	1,4	2,8	4,5	5,0	6,0	10,4	14,7	16,6	18,3
t, с	1,0	1,5	2,0	2,5	3,2	5,0	7,2	8,4	9,0

Возможное решение **Гордеев З.**

При постоянной силе F мощность $N = F\upsilon = Fat = \frac{F^2}{m}t$,поэтому следует ожидать линейную зависимость $N(t)$. Построим график $N(t)$ по табличным данным. Методом медиан проведем наилучшую прямую из начала координат.



В момент времени τ = 6 с мощность должна составлять 12 Вт. По угловому коэффициенту наклона графика $k = \frac{F^2}{m}$ = 2 Вт/с определяем значение силы $F = \sqrt{km}$ =2 Н.

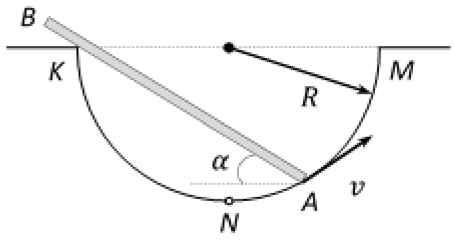
Критерии оценивания

1. Вывод теоретической зависимости мощности от времени............................**2 балла**
2. Построение (культурного) графика ....**2 балла**
3. Интерполяция для τ = 6 с ....**2 балла**
4. Определение силы по угловому коэффициенту наклона...............................**4 балла**
   - Определение силы по любому однократному измерению ....0 баллов
   - Определение силы усреднением нескольких измерений.......... 1 балл

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

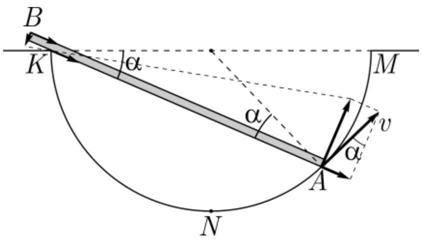
2. В лунке

Стержень AB касается уступа K полусферической лунки радиуса R. Точка A движется равномерно со скоростью υ по поверхности лунки, начиная из нижней точки N, к точке M. Найти зависимость модуля скорости u конца стержня B от угла α, который стержень составляет с горизонтом. Длина стержня AB равна $2R$.



Возможное решение 1 **Бычков А.**

Скорость точки стержня, касающейся уступа K, направлена вдоль стержня и, следовательно, она равна $\upsilon \sin\alpha$. Так как стержень жёсткий, то проекции скоростей остальных точек стержня на направление вдоль стержня также равны $\upsilon \sin\alpha$, значит, $u_{\parallel} = \upsilon \sin\alpha$.



Перпендикулярные составляющие скоростей линейно возрастают с расстоянием от точки K. Тогда

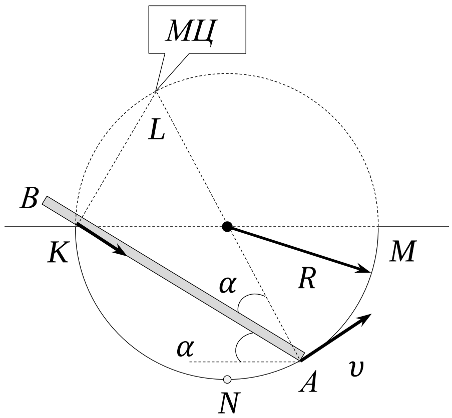
$$\frac{u_{\perp}}{BK} = \frac{\upsilon\cos\alpha}{KA} \Rightarrow u_{\perp} = \upsilon\cos\alpha \frac{2R - 2R\cos\alpha}{2R\cos\alpha} = \upsilon(1-\cos\alpha).$$

Скорость точки B стержня равна:

$$u = \sqrt{u_{\parallel}^2 + u_{\perp}^2} = \sqrt{\upsilon^2(\sin\alpha)^2 + \upsilon^2(1-\cos\alpha)^2} = \upsilon\sqrt{2(1-\cos\alpha)} = 2\upsilon\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$

Возможное решение 2.

Мгновенный центр вращения (точка L) стержня находится на верхней полуокружности KLM, как показано на рисунке. При движении стержня точка L перемещается по дуге этой полуокружности.



Угловая скорость вращения стержня равна:

$\omega = \upsilon/(2R)$. Тогда скорость конца стержня B равна:

$$u = \omega \cdot BL = \frac{\upsilon}{2R}\sqrt{(KL)^2 + (BK)^2} = \frac{\upsilon}{2R}\sqrt{(2R\sin\alpha)^2 + (2R - 2R\cos\alpha)^2} =$$

$$= \upsilon\sqrt{2(1-\cos\alpha)} = 2\upsilon\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Критерии оценивания

1. Указано, что в силу недеформируемости стержня проекции скоростей u и υ на направление вдоль стержня одинаковы $\left(u_{\parallel} = \upsilon_{\parallel}\right)$

или найдено положение мгновенного центра вращения..**3 балла**

2. Указано, что угол BAL равен α ....**1 балл**

3. Найдена связь между проекциями скоростей u и υ на направление перпендикулярно стержню $\left(u_{\perp} / BK = \upsilon_{\perp} AK\right)$ **или** найдена угловая скорость ω ....**2 балла**

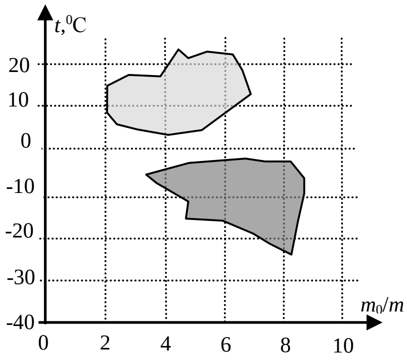
4. Выражены длины AK и KB через угол α и радиус ....**(1+1) балла**

5. Получен ответ...**2 балла**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

3. Вода со льдом.

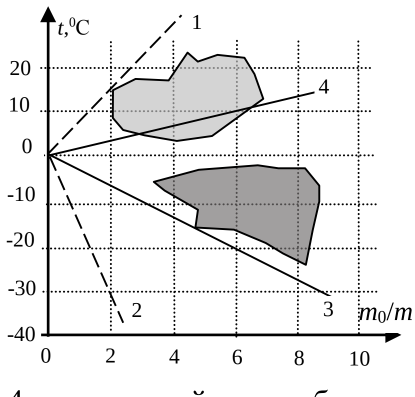
В калориметре смешали некоторое количество воды и льда. Их точные массы и начальные температуры неизвестны, но эти значения лежат в выделенных на диаграмме заштрихованных областях. Найдите максимальное количество теплоты, которое могло быть передано водой льду, если после установления теплового равновесия масса льда не изменилась. Определите возможную массу содержимого калориметра в этом случае. Удельная теплота плавления льда λ = 340 кДж/кг, удельная теплоемкость воды c = 4200 Дж/(кг·^{0}С), удельная теплоемкость льда c_1 = 2100 Дж/(кг·^{0}С). Массы воды и льда на диаграмме приведены в условных единицах, показывающих во сколько раз их массы меньше чем m_0 = 1 кг. Теплоемкостью калориметра и потерями теплоты пренебречь.



Возможное решение **Замятнин М.**

По условию масса льда в результате теплообмена не изменилась, следовательно, количество теплоты, переданное льду остывающей водой, пошло на нагревание льда (по условию процессов плавления/кристаллизации льда не происходило).

Количество теплоты, которое может отдать остывающая вода, $Q = mc(t - t_0) = mct$ (t_0 = 0^{0}С). $Q = Q_{макс}$ при максимальном по модулю значении произведения mt. Одинаковым значениям произведения mt соответствуют точки, лежащие на прямых, проведенных из начала координат. Действительно, для них выполняется условие $t = \alpha\left(m_0 / m\right)$, или $mt = \alpha m_0 = const$, где α - угловой коэффициент наклона прямой. Чем больше угол наклона прямой, тем больше модуль произведения mt. Это условие выполняется для прямой 1, проведенной из начала координат и касающейся области возможных параметров воды. Но такое выделенное водой количество теплоты приведет к плавлению льда, т.к. с учетом теплоемкости льда, которая в два раза меньше удельной теплоемкости воды, прямой 1 будет соответствовать прямая 2, имеющая в два раза больший угловой коэффициент наклона и не касающаяся области возможных параметров льда. Следовательно, максимальное количество теплоты $Q_{макс}$ будет определяться прямой 3, и соответствующей ей прямой 4, проходящей через область возможных параметров воды, для которой значение mt = 10/6 ≈ 1,67 кг^{0}С. Откуда $Q_{макс}$ = 7,0 кДж. Крайние точки пересечения прямой 4 с областью возможных параметров воды определяют диапазон масс добавленной в калориметр воды $\left[m_0 / 6{,}2; m_0 / 3{,}0\right]$ или [0,16; 0,33] кг. Точка касания прямой 3 области возможных параметров льда позволяет найти массу льда в калориметре $\left[m_0 / 4{,}6\right]$ = 0,22 кг. Откуда возможная масса содержимого лежит в диапазоне [0,38; 0,55] кг.



Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Критерии оценивания

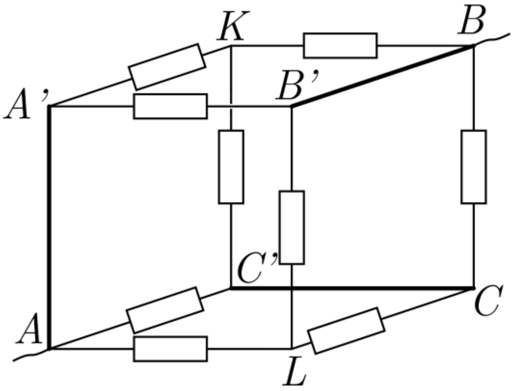
1.	Учет отсутствия процессов плавления/кристаллизации	1 балл
2.	Уравнение для расчета количества теплоты	1 балл
3.	Идея, что равным количествам теплоты соответствуют точки, лежащие на прямой, проходящей через $t_0=0^0$C	1 балл
4.	Идея нахождения максимального Q по угловому коэффициенту наклона прямой, касающейся области возможных параметров	1 балл
5.	Явное указание, что максимальное количество теплоты определяет лед	1 балл
6.	Найдено значение $Q_{макс}$	2 балла
7.	Обоснование существования диапазона возможных масс воды	1 балл
8.	Найден диапазон масс содержимого	2 балла

В п.п. **6** и **8** имеет смысл ввести широкие 10% (**1 балл**) и узкие 5% (**2 балла**) «ворота», так как при решении обрабатывается графическая информация. Но, за ответы, попавшие в эти ворота при неверных исходных предположениях (п.п. 3-5, 7) баллы ставиться не должны!

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

4. Три в кубе

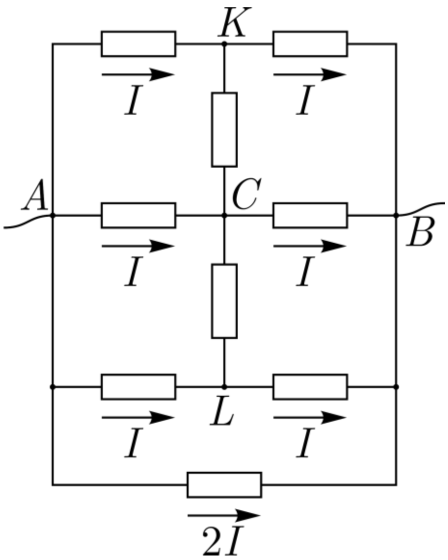
Куб собран из одинаковых резисторов сопротивлением R. Три резистора заменили на идеальные перемычки, как указано на рисунке.



- Найдите общее сопротивление получившейся системы между контактами A и B.
- Какие резисторы из оставшихся можно убрать так, что это не изменит общее сопротивление системы?
- Если известно, что сила тока, текущего через большинство резисторов электрической цепи, равна $I = 2\text{А}$, вычислите силу тока в проводе, подсоединенном к узлу А (или В)?
- Вычислите силу тока, текущего через идеальную перемычку *AA'*?

Возможное решение **Иванов М.**

Изобразим эквивалентную схему и расставим токи в ветвях с учетом закона сохранения заряда и закона Ома (сила тока обратно пропорционально сопротивлениям параллельных ветвей).



Теперь легко дать ответы на вопросы задачи. В силу симметрии схемы токи через резисторы в ветвях *KC* и *CL* не идут. Следовательно, эти резисторы можно убрать, и это не приведет к перераспределению токов в цепи и изменению общего сопротивления, которое равно

$$R_O = \frac{U_0}{I_0} = \frac{2IR}{5I} = \frac{2R}{5}.$$

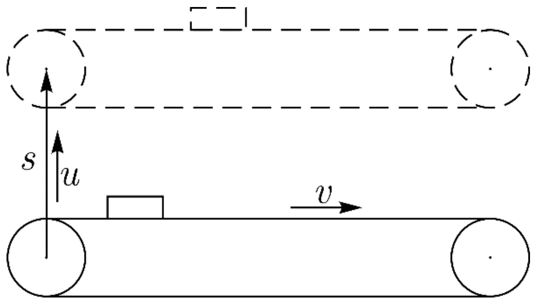
По условию $I = 2\text{А}$. Следовательно, сила тока, входящего в узел А, равна $5I = 10\text{А}$. Сила тока через идеальную перемычку *AA'* равна сумме сил токов через резисторы в ветвях *A'K* и *A'B'*: $3I = 6\text{А}$.

Критерии оценивания

1. Правильная эквивалентная схема...**2 балла**
2. Обосновано отсутствие токов через два резистора ....**2 балла**
3. Найдено общее сопротивление...**2 балла**
4. Определен общий ток ....**2 балла**
5. Найден ток через перемычку ....**2 балла**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

5. Транспортёр на боку



По шероховатому горизонтальному полу движется лежащий на боку ленточный транспортёр так, что плоскость ленты вертикальна. Скорость ленты транспортёра равна υ. Транспортёр перемещается по полу с постоянной скоростью u перпендикулярно основным участкам его ленты. За некоторое время транспортёр сместился на расстояние s. Его новое положение показано на рисунке. Транспортёр толкает по полу брусок массы m, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда. **На рисунке дан вид сверху на эту систему.**

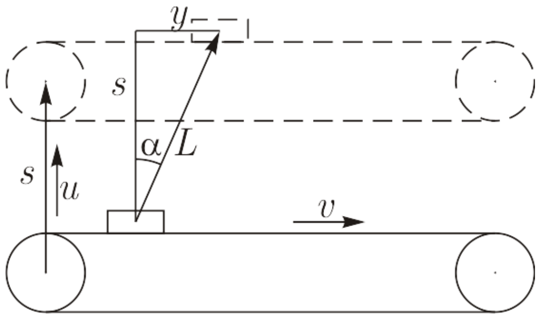
Пренебрегая прогибом ленты и считая движение бруска установившимся, найдите смещение бруска за время s/u.

Определите работу по перемещению бруска совершаемую транспортёром за это время.

Коэффициент трения между бруском и полом равен μ_1, а между бруском и лентой μ_2.

Возможное решение

Фролов А.



Сила трения, действующая со стороны пола на брусок, направлена против вектора скорости бруска и равна $F_{\text{Тр.1}} = \mu_1 mg$. Сила трения, действующая на брусок со стороны транспортёра, $F_{\text{Тр.2}} \le \mu_2 N$, где $N = F_{\text{Тр.1}} \cos\alpha$. С другой стороны $F_{\text{Тр.2}}$ уравновешивается силой $F_{\text{Тр.1}}$: $F_{\text{Тр.2}} = F_{\text{Тр.1}} \sin\alpha$. Здесь возможны два случая.

1-й случай (есть проскальзывание между бруском и лентой):

$$F_{\text{Тр.2}} = \mu_2 N = \mu_2 F_{\text{Тр.1}} \cos\alpha = F_{\text{Тр.1}} \sin\alpha.$$

Отсюда получаем: $\operatorname{tg}\alpha = \mu_2$. Этот случай возможен когда $\frac{\upsilon}{u} \ge \mu_2$. При этом скорость бруска вдоль ленты меньше скорости ленты, т.е. происходит проскальзывание.

2-ой случай (между бруском и лентой нет проскальзывания). Тогда $\upsilon / u = tg\alpha$. Этот случай возможен при $\upsilon / u \le \mu_2$.

Смещение бруска вдоль оси Y найдём из геометрических соображений: $y = s\operatorname{tg}\alpha$. Путь, пройденный бруском в первом случае равен $L = s\sqrt{1+tg^2\alpha} = s\sqrt{1+\mu_2^2}$, а во втором –

$$L = s\sqrt{1+\left(\frac{\upsilon}{u}\right)^2}.$$

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Работа по перемещению бруска в обоих случаях равна $A = LF_{\text{Тр.1}} = \mu_1 mgL$, так как сила, действующая на брусок со стороны транспортера, уравновешивается силой трения со стороны пола (брусок движется с постоянной скоростью). Конкретно:

$$A_1 = \mu_1 mgs\sqrt{1+\mu_2^2}, \qquad A_2 = \mu_1 mgs\sqrt{1+\left(\frac{\upsilon}{u}\right)^2}.$$

Критерии оценивания

Указано направление действия силы $F_{\text{Тр.1}}$	**1 балл**
Найдена реакция опоры N	**1 балл**
Найдена сила трения $F_{\text{Тр.2}}$	**1 балл**
Указаны два случая	**1 балл**
Найдено направление смещения бруска (по 1 баллу за каждый случай)	**2 балла**
Найдено смещение бруска L (по 1 баллу за каждый случай)	**2 балла**
Найдена работа по перемещению бруска (по 1 баллу за каждый случай)	**2 балла**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

11 класс

1. Мощность в пространстве

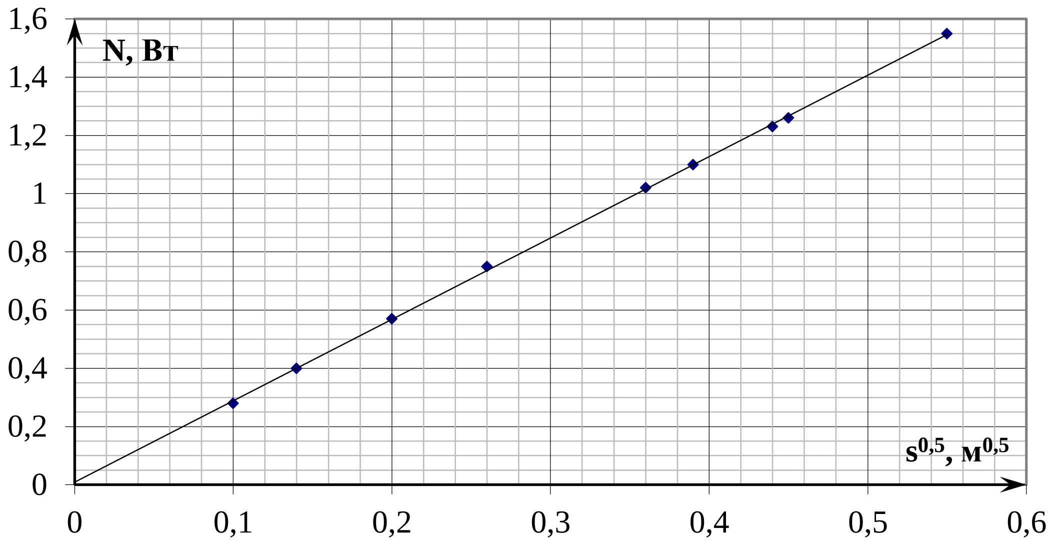
На изначально покоящийся на гладком горизонтальном столе брусок массы m = 2 кг, начали действовать постоянной горизонтальной силой $\boldsymbol{F}$. В результате была получена зависимость мощности N от перемещения s бруска. Некоторые измерения могли оказаться не очень точными.

- В каких координатных осях экспериментальная зависимость мощности от перемещения линейна?
- Определите мощность силы в точке с координатой s_0 = 10 см.
- Найдите значение силы F.

N, Вт	0,28	0,40	0,57	0,75	1,02	1,10	1,23	1,26	1,50
s, см	1,0	2,0	4,0	7,0	13	15	19	20	30

Возможное решение **Гордеев З.**

Так как $N = F\upsilon$ и работа силы $A = Fs = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$, то $N = \sqrt{\dfrac{2F^3 s}{m}}$ и ожидается линейная зависимость $N\left(\sqrt{s}\right)$. *Линейная зависимость будет и в логарифмических координатах.*



Построим график $N\left(\sqrt{s}\right)$ по табличным данным. Проведем через нанесённые точки наилучшую прямую из начала координат.

В точке с координатой s = 10 см мощность должна составлять 0,89 Вт. По угловому коэффициенту наклона графика $k = \dfrac{\Delta N}{\sqrt{\Delta s}} = \sqrt{\dfrac{2F^3}{m}} \approx$ 2,8 Вт/м$^{1/2}$ определяем значение силы $F = \sqrt[3]{k^2 m / 2} \approx$ 2,0 Н.

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Критерии оценивания

- Вывод теоретической зависимости $N(s)$ **2 балла**
- Выбор осей $N\left(\sqrt{s}\right)$ или $N^2(s)$, в которых зависимость линейна **1 балл**
- Построение графика в осях $N\left(\sqrt{s}\right)$ **3 балла**
    - Если построен криволинейный график 1 балл
- Нахождение мощности в точке s = 10 см **1 балл**
    - интерполяция на криволинейном графике 0 баллов
- Нахождение углового коэффициента графика **1 балл**
- Нахождение значения силы **2 балла**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

2. «Тёмная материя»

Скопления звёзд образуют бесстолкновительные системы – галактики, в которых звёзды равномерно движутся по круговым орбитам вокруг оси симметрии системы. Галактика NGC 2885 состоит из скопления звёзд в виде шара (ядра радиусом $r_Я$ = 4 кпк) и тонкого кольца, внутренний радиус которого совпадает с радиусом ядра, а внешний равен 15 $r_Я$. Кольцо состоит из звёзд с пренебрежимо малой по сравнению с ядром массой. В ядре звёзды распределены равномерно.

Было установлено, что линейная скорость движения звёзд в кольце не зависит от расстояния до центра галактики: от внешнего края кольца вплоть до края ядра скорость звёзд υ_0 = 240 км/с. Такое явление может быть объяснено наличием несветящейся массы («тёмной материи»), распределенной сферически симметрично относительно центра галактики вне её ядра.

1) Определите массу $M_я$ ядра галактики.

2) Определите среднюю плотность $\rho_Я$ вещества ядра галактики.

3) Найдите зависимость плотности «тёмной материи» $\rho_Т(r)$ от расстояния до центра галактики.

4) Вычислите отношение массы «тёмной материи», влияющей на движение звёзд в диске, к массе ядра.

Примечание: 1 кпк = 1 килопарсек = $3{,}086\cdot10^{19}$ м, гравитационная постоянная $\gamma = 6{,}67\cdot10^{-11}$ Н·м^2·кг$^{-2}$.

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Возможное решение **Коротков П.**

Из уравнения $\frac{\upsilon_0^2}{r_Я} = \frac{\gamma M_Я}{r_Я^2}$ находим массу ядра галактики: $M_Я = \frac{r_Я \upsilon_0^2}{\gamma} = 1{,}1 \cdot 10^{41}$ кг.

Средняя плотность материи в ядре галактики $\rho_Я = \frac{M_Я}{(4/3)\pi r_Я^3} = \frac{3\upsilon_0^2}{4\pi\gamma r_Я^2} = 1{,}35 \cdot 10^{-20}$ кг/м^3.

Вне ядра галактики $\frac{\upsilon_0^2}{r} = \left(\frac{\gamma}{r^2}\right)\left(M_Я + M_T(r)\right)$. Тогда $\upsilon_0^2 r = \gamma\left(M_Я + M_T(r)\right)$.

После дифференцирования этого выражения получим: $\upsilon_0^2 dr = \gamma dM_T(r) = \gamma\rho(r)4\pi r^2 dr$.

Из последнего уравнения найдём зависимость плотности «тёмной материи» $\rho_Т(r)$ от расстояния до центра галактики: $\rho(r) = \frac{\upsilon_0^2}{4\pi\gamma r^2} = \frac{M_Я}{4\pi r_Я r^2}$.

Масса тёмной материи $M_T = \frac{15 r_Я \upsilon_0^2}{\gamma} - M_Я = 14 M_Я$. Этот же результат можно получить и интегрированием: $M_T = \int_{r_Я}^{15 r_Я} \rho(r) 4\pi r^2 dr = 14 M_Я$.

Таким образом, искомое отношение равно 14.

Критерии оценивания

5) Определена масса $M_я$ ядра галактики **2 балла**

6) Определена средняя плотность $\rho_Я$ вещества ядра галактики **1 балл**

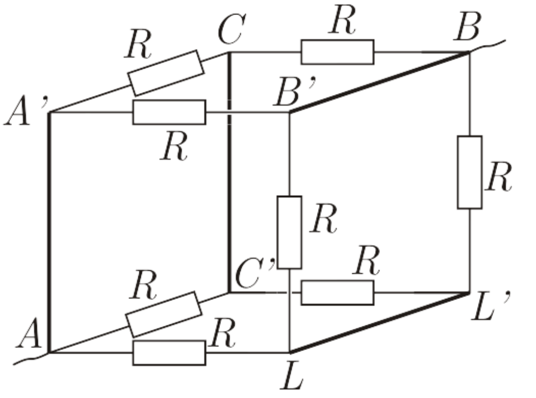
7) Найдена зависимость плотности «тёмной материи» $\rho_Т(r)$ от расстояния до центра галактики **4 балла**

8) Вычислено отношение массы «тёмной материи», влияющей на движение звёзд в диске, к массе ядра **3 балла**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

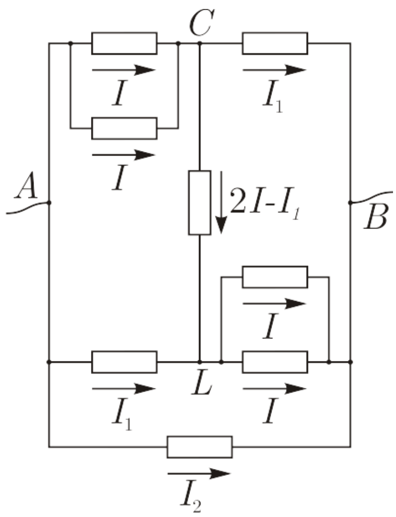
3. Четыре в кубе

Куб собран из одинаковых резисторов, имеющих сопротивления R. Четыре резистора заменены на идеальные перемычки, как указано на рисунке.



- Найдите общее сопротивление получившейся системы между контактами A и B.
- Через какие резисторы сила текущего тока максимальна, а через какие – минимальна? Найдите эти значения силы тока, если сила тока, входящего в узел A равна $I_0 = 1{,}2$ А?
- Какова сила тока, текущего через идеальную перемычку AA'?

Возможное решение **Иванов М.**



Изобразим эквивалентную схему и расставим токи в ветвях с учетом закона сохранения заряда и симметрии соединения резисторов.

Силу тока I_1 найдем, приравняв разность потенциалов между узлами A и L для ветвей AL и ACL:

$I_1R = IR + (2I - I_1)R$, откуда $I_1 = 3I/2$.

Аналогичным образом найдём силу тока I_2:

$U_0 = I_2R = I_1R + IR = 5IR/2$, откуда $I_2 = 5I/2$.

Сила тока $I_0 = 2I + I_1 + I_2 = 5I/2 = 6I$. Отсюда $I = 0{,}2$ А.

Теперь легко дать ответы на вопросы задачи.

Общее сопротивление цепи равно $R_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{5IR}{2}\frac{1}{6I} = \frac{5}{12}R$.

Минимальная сила тока в ветви CL. Она равна $2I - I_1 = I/2 = 0{,}1$ А. Максимальная сила тока в ветви A'B': $I_2 = 0{,}5$ А.

Сила тока, текущего через идеальную перемычку AA', равна сумме токов через резисторы в ветвях A'C и A'B':

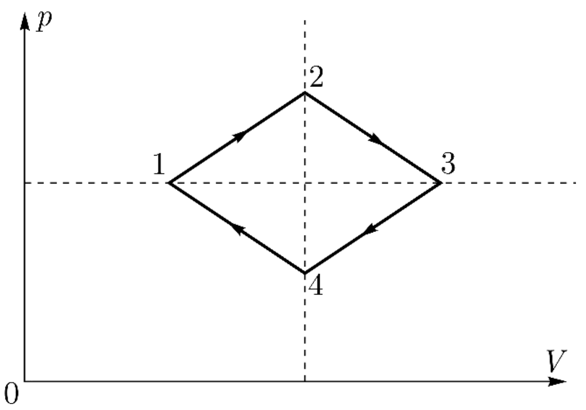
$$7I/2 = 0{,}7 \text{ А}.$$

Критерии оценивания

- Правильная эквивалентная схема **2 балла**
- Найдены токи через резисторы **3 балла**
- Найдено общее сопротивление **2 балла**
- Определены максимальные и минимальные токи **2 балла**
- Найден ток через перемычку **1 балл**

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

4. Ромб. Циклический процесс, совершаемый над идеальным газом, на (p, V) плоскости представляет собой ромб (см. качественный рисунок). Вершины (1) и (3) лежат на одной изобаре, а вершины (2) и (4) – на одной изохоре. За цикл газ совершил работу A.



Насколько отличается количество теплоты Q_{12}, подведённой к газу на участке 1-2, от количества теплоты $\left|Q_{3,4}\right|$, отведённой от газа на участке 3-4?

Возможное решение. **Слободянин В.**

Количество теплоты, подведённое к газу на участке 1-2 равно $Q_{1,2} = U_{1,2} + A_{1,2}$.

Количество теплоты, отведённое от газа на участке 3-4 равно $\left|Q_{3,4}\right| = U_{4,3} + A_{4,3}$.

Сравним изменения величин внутренних энергий.

Пусть давление в точках 1 и 3 равно p_0, а объем в точках 2 и 4 равен V_0. Пусть далее, при переходе из состояния 1 в 2 давление изменяется на Δp, а объем на ΔV. Тогда изменение температуры найдём из следующих соображений:

$$\nu RT_2 = p_0V_0 + V_0\Delta p;$$
$$\nu RT_1 = p_0V_0 - p_0\Delta V;$$
$$\nu R\left(T_2 - T_1\right) = V_0\Delta p + p_0\Delta V.$$

При переходе из состояния 3 в состояние 4 изменение температуры найдём из следующих соображений:

$$\nu RT_3 = p_0V_0 + p_0\Delta V;$$
$$\nu RT_4 = p_0V_0 - V_0\Delta p;$$
$$\nu R\left(T_3 - T_4\right) = p_0\Delta V + V_0\Delta p.$$

Поскольку $T_3 - T_4$ равно $T_2 - T_1$, то равны между собой и изменения величин внутренней энергии: $U_{1,2} = U_{4,3}$.

Работа $A_{1,2}$ больше работы $A_{4,3}$ на величину $A/2$.

Следовательно, и количество теплоты, подведённой к газу на участке 1-2, больше количества теплоты, отведённой от газа на участке 3-4, на $A/2$.

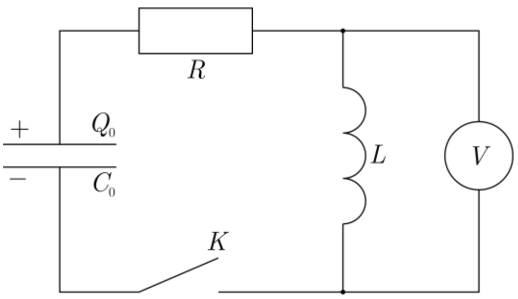
Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Критерии оценивания

1. Использовано 1-е начало термодинамики для участков 1-2 и 3-4 цикла **1 балл**
2. Показано, что изменения температуры на участках 1-2 и 3-4 одинаковы (по модулю) **4 балла**
3. Сделан вывод о том, что изменения внутренней энергии на участках 1-2 и 3-4 равны (по модулю) **1 балл**
4. Показано, что модули работы на участках 1-2 и 3-4 отличаются на A/2 **3 балла**
5. Записан окончательный результат **1 балл**

5. Колебаниям – нет!

В электрической цепи (см. рис.), состоящей из резистора сопротивлением R, катушки индуктивностью L, на конденсаторе емкостью C_0 находится заряд Q_0. В некоторый момент времени замыкают ключ K и одновременно начинают изменять емкость конденсатора так, что идеальный вольтметр показывает постоянное напряжение.



1) Как зависит от времени емкость конденсатора $C(t)$ при изменении t от 0 до $t_1 = \sqrt{C_0 L}$?

2) Какую работу за время t_1 совершили внешние силы? Считайте, что $t_1 = L/R = \sqrt{C_0 L}$.

Подсказка. Количество теплоты, выделившейся на резисторе за время t_1, равно $W_R = \int_0^{t_1} I^2(t) R dt = \frac{Q_0^2}{3C_0}$.

Возможное решение. **Осин М.**

В начальный момент времени ток в цепи не течёт, поэтому $U_L = U_C = \frac{Q_0}{C_0}$.

Поскольку $U_L = L\frac{dI}{dt}$ и остается постоянным (по условию), то: $I = \frac{Q_0}{C_0 L}t$.

По закону Ома для полной цепи

$$U_C = U_L + RI(t) = L\frac{dI}{dt} + RI(t) = \frac{Q_0}{C_0} + \frac{Q_0 R}{C_0 L}t = \frac{Q_0}{C_0}\left(1 + \frac{R}{L}t\right).$$

Заряд на конденсаторе изменяется по закону

$$Q(t) = Q_0 - \frac{Q_0}{C_0 L}\int_0^t \tau d\tau = Q_0\left(1 - \frac{t^2}{2C_0 L}\right).$$

Этот же результат можно получить, вычислив площадь под графиком зависимости $I(t)$.

Окончательно, $C(t) = \frac{Q(t)}{U(t)} = C_0\left(1 - \frac{t^2}{2C_0 L}\right) / \left(1 + \frac{Rt}{L}\right)$.

Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на портале* **online.mipt.ru**

Искомую работу найдем из закона сохранения энергии

$$A = W_R + \Delta W_C + \Delta W_L\,.$$

Энергия, запасенная в конденсаторе,

$$W_C = \frac{1}{2} Q U_C = \frac{Q_0^2}{2C_0}\left(1 - \frac{t^2}{2C_0 L}\right)\left(1 + \frac{R}{L}t\right).$$

Отсюда $W_C(0) = \frac{1}{2} Q U_C = \frac{Q_0^2}{2C_0}$, $\qquad W_C(t_1) = \frac{1}{2} Q U_C = \frac{Q_0^2}{2C_0}\left(1 - \frac{1}{2}\right)(1+1) = \frac{Q_0^2}{2C_0}$.

Окончательно

$$A = \frac{Q_0^2}{3C_0} + 0 + \frac{Q_0^2}{2C_0} = \frac{5Q_0^2}{6C_0}.$$

Примечание. Условие, что напряжение на индуктивности остается постоянным, может выполняться только конечное время, поэтому в вопросе (1) стоит ограничение $t < t_1 = \sqrt{C_0 L}$.

Критерии оценивания

1.	Получена зависимость $I(t)$	**1 балл**
2.	Получена зависимость $U(t)$	**2 балла**
3.	Получена зависимость $Q(t)$	**2 балла**
4.	Найдена зависимость $C(t)$	**1 балл**
5.	Записан закон сохранения энергии	**1 балл**
6.	Показано, что энергия конденсатора не изменилась	**2 балла**
7.	Вычислена работа внешних сил	**1 балл**

7 класс

Задание. Понять умом и измерить общим аршином

Определите длины сторон спичечного коробка, длину и толщину одной спички. Подробно опишите последовательность действий. Все результаты измерений выразите в вершках! Использовать любое дополнительное оборудование, кроме указанного в условии, нельзя!

Оборудование: Нить длиной 1 аршин. Коробок спичек со спичками.

Примечание: Аршин – старорусская мера длины равна 16 вершкам.

Внимание! Спички детям – не игрушка, зажигать спички запрещено!

Примечание для организаторов: нить должна быть тонкой и **малорастяжимой!** Длина нити ровно 71 см!

Возможное решение **Подлипский О., Замятнин М.**

Задача осложняется тем, что в ненатянутом состоянии нить собирается «гармошкой» и становится короче на несколько сантиметров, и чтобы ее натянуть, и затем приложить к ней несколько раз спичечный коробок, не хватает рук. Использовать всевозможные прижимы по условию запрещено. Остается слегка натягивая нить, наматывать её на коробок вдоль трех различных направлений (*а, в, с*). В результате измерений получим:

$2(a+c)$ = 5,6 оборота = 1/5,6 аршин

$2(a+в)$ = 7,2 оборота = 1/7,2 аршин

$2(в+c)$ = 4,1 оборота = 1/4,1 аршин

Решим полученную систему уравнений и найдем стороны, для этого сложим первые два уравнения и вычтем из них третье.

$4a = \frac{1}{5{,}6} + \frac{1}{7{,}2} - \frac{1}{4{,}1} = 0{,}0736$ аршин или $a = 0{,}0184$ аршин = 0,29 вершка. Аналогично найдем $в = 0{,}0510$ аршин = 0,82 вершка и $c = 0{,}0709$ аршин = 1,13 вершка.

Толщину спички можно определить методом рядов, выкладывая спички на столе, плотно друг к другу, чередуя направления головок. Так, вдоль стороны **в** коробка, укладывается 16 спичек, следовательно, толщина спички в/16=0,051 вершка.

Для определения толщины спички можно наматывать нить на одну спичку, делая несколько оборотов, и сравнивая длину намотанной нити с длинной стороной коробка. Но этот способ менее точный, так как начинает сказываться толщина самой нити.

Длина спички несколько меньше длины самой большей стороны коробка. Если выложить спички в линию, то вдоль 1 аршина умещается примерно 17 спичек, следовательно, длина одной спички L = 1/17 аршина = 0,94 вершка.

Приведенные в решении численные значения являются примерными и могут несколько отличаться для разных коробков и спичек.

Критерии оценивания

1. Описание метода измерений сторон коробка	2 балла
2. Результаты измерений	1 балл
3. Определение сторон коробка (по 1 баллу за сторону)	3 балла
4. Описание метода измерений длины и толщины спички	1 балл
5. Результаты измерений	1 балл
6. Определение толщины спички	1 балл
7. Определение длины спички	1 балл

- При использовании неточных методов измерений баллы за метод не ставятся.
- Возможно введение авторских «ворот» для измеряемых величин и более тонкая система оценивания с учетом эти ворот. Значения величин должны определяться организаторами самостоятельно в зависимости от приобретенного оборудования.

7 класс

Задание. С Новым годом, или шарик и кубик

Оборудование: Ёлочный шарик, шприц объемом 20 мл, стакан с водой, лист миллиметровой бумаги (для построения графика).

Задание. Из геометрии известно, что объем $V_ш$ шара с диаметром D в 1,91 раза меньше объема $V_к$ куба с длиной ребра $a = D$.

1. Заполните таблицу зависимости объема куба $V_к$ от длины его ребра a по результатам проведенного вами теоретического расчета.

a, см	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
$V_к$, см^3										

2. Постройте график полученной зависимости ($V_к(a)$), соединив плавной кривой нанесенные точки. На горизонтальной оси следует отложить длину ребра куба a, а на вертикальной оси – соответствующий объем $V_к$ куба.
3. С помощью шприца и воды определите внутренний объем выданного вам елочного шара.
4. Используя построенный в пункте 2 график определите **внутренний** диаметр шара.

После завершения работы шарик можно забрать с собой. Не забудьте вылить из него воду!!!

Возможное решение: **Кармазин С., Слободянин В.**

Заполненная таблица имеет вид

a, см	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
$V_к$, см^3	≈166	216	≈275	343	≈422	512	≈614	729	≈860	1000

При построении графика следует правильно выбрать масштабы по вертикальной и горизонтальной осям.

Определяем объем шарика с помощью шприца и воды. Умножаем этот объем на 1,91. По графику определяем, какому значению длины ребра кубика равен диаметр соответствующего шарика.

Примечание для организаторов: Шарики должны иметь диаметр (не менее 6 см и не более 9 см). Стакан рекомендуется брать емкостью 0,5 л.

Система оценивания:

1. Заполнена таблица **2 балла**
2. Построен график:
   оформлены оси, правильно выбран масштаб,
   правильно нанесены точки и проведена гладкая кривая **3 балла**
3. Измерен объем шарика **3 балла**
4. Получены значения диаметра шарика **2 балла**

8 класс

Задание. Ластик со скрепками

Определите плотность груза (ластика – резинки). Опишите предпринятые действия, которые привели к увеличению точности результата эксперимента.

Плотность воды $\rho_В$ = 1000 кг/м^3.

Приборы и оборудование: Неоднородная трубка, нитки, одинаковые скрепки (50 штук), груз, стаканчик с водой, салфетки для поддержания порядка, ножницы по требованию.

Внимание! При выполнении эксперимента оборудование, кроме перечисленного в задании, использовать запрещено.

Указания для организаторов

Надо предусмотреть несколько ножниц на аудиторию для разки ниток, либо изначально выдать каждому участнику 3-4 нитки длиной около 50 см.

Вместо ластика можно использовать любое не намокающее тело, имеющее плотность от 1,5 до 2,5 кг/дм^3. Желательно, чтобы формы тела была неправильная и без мелких полостей. Ластик надо выбирать крупный (имеющий массу около 40 г).

Скрепки нужны металлические (можно в оплетке), не самые крупные (длиной 25-30 мм) с суммарной массой равной примерно половине массы ластика (50 штук должны иметь массу около 20 г). Для каждого участника все скрепки должны быть одинаковыми!

Емкость стакана с водой 0,2 – 0,5 л.

Неоднородную трубку можно изготовить из пластиковой (ПВХ) водопроводной трубы $d = 16$ мм, длиной L около 40 см, забив внутрь пластилин так, чтобы центр тяжести трубки оказался примерно на трети ее длины. Важно, чтобы трубка не гнулась под собственным весом и под весом ластика и скрепок. Желательно, чтобы положения центра масс трубок у разных участников отличались незначительно.

Линеек, миллиметровой бумаги и других измерителей плеч рычага у детей быть не должно.

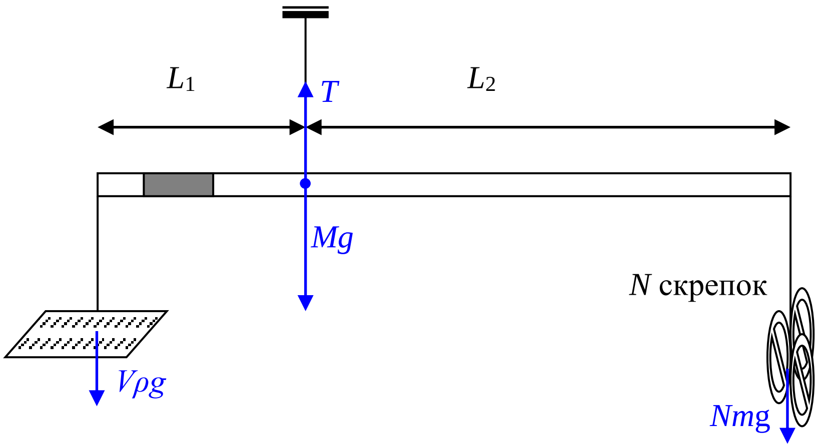
трубка пластиковая $d = 16$ мм разрезать по $L = 40$ см

скрепки 28 мм (в коробке 100 шт.)

Возможное решение **Замятнин М.**

Для определения плотности ластика воспользуемся методом гидростатического взвешивания. Задача осложняется неоднородностью рычага и отсутствием измерителей длин.

Добьемся равновесия неоднородного рычага на нити, и определим положение его центра тяжести. Затем уравновесим на рычаге ластик максимально возможным количеством скрепок. При подвешивании тел надо стремиться использовать самые большие расстояния от центра тяжести рычага. При этом важно обратить внимание на то, что общая масса всех скрепок примерно вдвое меньше массы ластика. Центр тяжести рычага тоже находится не посередине, а примерно на трети его длины, поэтому для повышения точности измерений, более тяжелое тело необходимо подвесить к короткому плечу рычага. Пусть для равновесия ластика в воздухе потребовалось N_1 скрепок в воздухе.



По правилу моментов относительно точки подвеса рычага

$$V\rho g L_1 = N_1 m g L_2,$$

где m – масса одной скрепки, V – объем ластика.

Не изменяя расстояния между точками крепления нитей, полностью погрузим ластик в воду. Добьемся нового равновесия, уменьшив количество скрепок до N_2. Новое уравнение будет иметь вид

$$V(\rho - \rho_0) g L_1 = N_2 m g L_2.$$

Разделив одно уравнение на другое, получим

$$\rho = \rho_0 \frac{N_1}{N_1 - N_2}.$$

Критерии оценивания

1. Идея гидростатического взвешивания	1 балл
2. Описание метода	3 балла
3. Определение центра масс рычага	1 балл
4. Явное указание на действия, увеличивающие плечи рычага	1 балл
5. Результаты измерений	2 балла
6. Значение плотности	2 балла

узкие ворота ±5%	(2 балла)
широкие ворота ±15%	(1 балл)

8 класс

Задание. С Новым годом, или шарик и кубик

Оборудование: Два ёлочных шарика разных размеров, шприц объемом 20 мл, стакан с водой, лист миллиметровой бумаги (для построения графика).

Задание. Из геометрии известно, что объем $V_ш$ шара с диаметром D в 1,91 раза меньше объема $V_к$ куба с длиной ребра $a = D$.

1. Заполните таблицу зависимости объема куба $V_к$ от длины его ребра a по результатам проведенного вами теоретического расчета.

a, см	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
$V_к$, см^3										

2. Постройте график полученной зависимости ($V_к(a)$), соединив плавной кривой нанесенные точки. На горизонтальной оси следует отложить длину ребра куба a, а на вертикальной оси – соответствующий объем $V_к$ куба.
3. С помощью воды и шприца определите внутренние объемы выданных вам елочных шариков.
4. Используя построенный в пункте 2 график определите **внутренние** диаметры шариков.

После завершения работы шарики можно забрать с собой. Не забудьте вылить из них воду!!!

Примечание для организаторов: Шарики должны быть пластмассовые разного диаметра (не менее 6 см и не более 9 см).
Стакан рекомендуется брать емкостью 0,5 л.

Возможное решение: **Кармазин С., Слободянин В.**

Заполненная таблица имеет вид

a, см	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
$V_к$, см^3	≈166	216	≈275	343	≈422	512	≈614	729	≈860	1000

При построении графика следует правильно выбрать масштабы по вертикальной и горизонтальной осям.

Определяем объем шарика с помощью шприца и воды. Умножаем этот объем на 1,91. По графику определяем, какому значению длины ребра кубика равен диаметр соответствующего шарика.

Система оценивания:

1. Заполнена таблица 1 балл
2. Построен график:
   оформлены оси, правильно выбран масштаб,
   правильно нанесены точки и проведена гладкая кривая 3 балла
3. Измерен объем двух шариков (по 2 балла) 4 балла
4. Получены значения диаметров шариков 2 балла

9 класс

Задание 2. Ластик со скрепками

Задание: Определите плотность груза (ластика – резинки). Опишите предпринятые действия, которые привели к увеличению точности результата эксперимента.

Плотность воды $\rho_В$ = 1000 кг/м^3.

Приборы и оборудование: Неоднородная трубка, нитки, одинаковые скрепки (50 штук), груз, стаканчик с водой, салфетки для поддержания порядка, ножницы по требованию.

Внимание! При выполнении эксперимента оборудование, кроме перечисленного в задании, использовать запрещено.

Рекомендации для организаторов

Надо предусмотреть несколько ножниц на аудиторию для разки ниток, либо изначально выдать каждому участнику 3-4 нитки длиной около 50 см.

Вместо ластика можно использовать любое не намокающее тело, имеющее плотность от 1,5 до 2,5 кг/дм^3. Желательно, чтобы формы тела была неправильная и без мелких полостей. Ластик надо выбирать крупный (имеющий массу около 40 г).

Скрепки нужны металлические (можно в оплетке), не самые крупные (длиной 25-30 мм) с суммарной массой равной примерно половине массы ластика (50 штук должны иметь массу около 20 г). Для каждого участника все скрепки должны быть одинаковыми!

Неоднородную трубку можно изготовить из пластиковой (ПВХ) водопроводной трубы $d = 16$ мм, длиной L около 40 см, забив внутрь пластилин так, чтобы центр тяжести трубки оказался примерно на трети ее длины. Важно, чтобы трубка не гнулась под собственным весом и под весом ластика и скрепок. Желательно, чтобы положения центра масс трубок у разных участников отличались незначительно.

Линеек, миллиметровой бумаги и других измерителей плеч рычага у детей быть не должно.

Емкость стакана с водой 0,2 – 0,5 л.

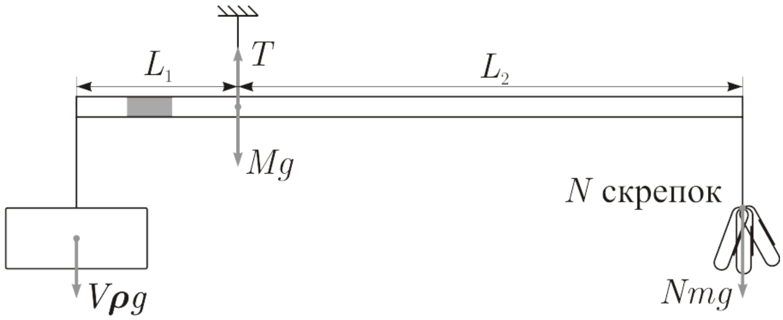
трубка пластиковая d = 16 мм
разрезать по L = 40 см

скрепки 28 мм (в коробке 100 шт.)

Возможное решение **Замятнин М.**

Для определения плотности ластика воспользуемся методом гидростатического взвешивания. Задача осложняется неоднородностью рычага и отсутствием измерителей длин.

Добьемся равновесия неоднородного рычага на нити, и определим положение его центра тяжести. Затем уравновесим на рычаге ластик максимально возможным количеством скрепок. При подвешивании тел надо стремиться использовать самые большие расстояния от центра тяжести рычага. При этом важно обратить внимание на то, что общая масса всех скрепок примерно вдвое меньше массы ластика. Центр тяжести рычага тоже находится не посередине, а примерно на трети его длины, поэтому для повышения точности измерений, более тяжелое тело необходимо подвесить к короткому плечу рычага. Пусть для равновесия ластика в воздухе потребовалось N_1 скрепок в воздухе.



По правилу моментов относительно точки подвеса рычага

$$V\rho gL_1 = N_1 mgL_2 ,$$

где m – масса одной скрепки, V – объем ластика.

<u>Не изменяя расстояния между точками крепления нитей</u>, полностью погрузим ластик в воду. Добьемся нового равновесия, уменьшив количество скрепок до N_2. Новое уравнение будет иметь вид

$$V(\rho - \rho_0)gL_1 = N_2 mgL_2 .$$

Разделив одно уравнение на другое, получим

$$\rho = \rho_0 \frac{N_1}{N_1 - N_2} .$$

Погрешность плотности ластика определяется погрешностью числа скрепок.

Возможные критерии оценивания

1. Идея гидростатического взвешивания	1 балл
2. Описание метода (используем рычаг, который должен быть сбалансирован; в процессе измерений не изменяем точки подвеса ластика и скрепок)	2 балла
3. Вывод расчётной формулы	3 балла
3. Определение центра масс рычага	1 балл
4. Явное указание на действия, увеличивающие плечи рычага	1 балл
5. Результаты измерений	3 балла
6. Значение плотности	3 балла

узкие ворота ±5%	(3 балла)
средние ворота ±10%	(2 балла)
широкие ворота ±15%	(1 балл)

7. Оценка погрешности	1 балл

9 класс

Задание. Соль (хлорид натрия)

Оборудование: Цилиндр измерительный объемом 100 мл, пробирка, стакан с водой, шприц, 2 комплекта порошка поваренной соли (в комплект входит три порции поваренной соли ($NaCl$) массой 5г, 10г, 20г.).

Указание: Перед началом работы тщательно продумайте последовательность ваших действий. При выполнении работы описывайте, что вы делали. Для выполнения задания используйте **только один комплект**. Второй комплект вам выдан для проведения пробного эксперимента. Дополнительные порции соли выдаваться не будут.
Плотность воды $\rho_В$= 1,0 г/см^3.

1. Определите плотность $\rho_П$ порошка хлорида натрия.
2. Определите соотношение масс соли и воды ($\alpha = M_с/M_в$) в насыщенном растворе поваренной соли при комнатной температуре (известно, что $\alpha < 0,5$).

Примечание: насыщенным раствором называется **жидкость** в которой перестает растворяться соль.

3. Определите плотность $\rho_К$ кристаллов хлорида натрия.
4. Оцените погрешность в определении α, $\rho_П$, $\rho_К$.

Указание для организаторов: рекомендуется использовать соль «экстра» мелкого помола.

Порции соли должны быть отмерены с точностью ± 0,1 г.

Шприц рекомендуем брать объемом 20 мл с ценой деления 1 мл.

Цилиндр измерительный объемом 100 мл, должен быть узким, с ценой деления 1 мл/дел.

Емкость стакана с водой 0,2 – 0,5 л.

Возможное решение **Кармазин С., Чжан М.**

1. Для определения плотности порошка соли навеску массой 20 грамм следует высыпать в сухой мерный стакан или в шприц и измерить объем этого количества соли. Организаторам следует заранее определить плотность порошка той партии соли, которая используется в эксперименте. Ориентировочно, $(1100 < \rho < 1200)$ кг/м^3.
2. Для определения отношения α масс соли и воды в насыщенном растворе высыпаем навеску соли массой 5 грамм в пробирку и добавляем фиксируемые порции воды с помощью шприца. Дискретность (шаг) добавляемых порций воды выбирается участником олимпиады самостоятельно. После каждого добавления воды тщательно перемешиваем раствор. Теоретически процедура должна продолжаться до полного исчезновения кристалликов соли в воде. Однако, в соли может находиться некоторое небольшое количество посторонних нерастворимых примесей. Поэтому добиваться абсолютно полного исчезновения осадка не целесообразно. Эксперимент следует продолжать до тех пор, пока количество кристалликов в осадке не изменится при очередном добавлении 1 мл воды. Табличное значение $\alpha = 0{,}36$. Практически, удовлетворительным результатом следует считать $0{,}32 < \alpha < 0{,}35$.
3. Для определения плотности кристаллов хлорида натрия, находящуюся в измерительном цилиндре порцию соли следует залить небольшим количеством воды. Туда же можно вылить содержимое пробирки. В любом случае, необходимо обеспечить насыщенность раствора в мерном стакане, т.е. наличие в нем достаточного количества нерастворенной соли. В этом состоянии фиксируется объем содержимого в стакане. Затем в мерный стакан высыпается навеска соли массой 20 грамм и снова фиксируется объем содержимого. Необходимо, чтобы уровень водя в мерном цилиндре был выше уровня соли. Так как добавленная соль не может раствориться в насыщенном растворе, ее объем равен разности полученных объемов. Табличное значение плотности NaCl $\rho = 2165$ кг/м^3.

Критерии оценивания.

1. Определена плотность порошка поваренной соли **3 балла**
   а) обоснование метода 0,5 балла
   б) результаты измерений 0,5 балла
   в) попадание в узкие ворота (1,1 – 1,2) г/см^3 2 балла
   широкие ворота (1,0 – 1,3) г/см^3 1 балл
2. Определено отношение α масс соли и воды в насыщенном растворе NaCl **5 балла**
   а) обоснование метода 2 балла
   б) результаты измерений 1 балл
   в) попадание в узкие ворота (0,32 – 0,35) 2 балла
   широкие ворота (0,30 – 0,37) 1 балл
3. Определена плотность кристаллического NaCl **6 баллов**
   а) обоснование метода 2 балла
   б) результаты измерений 1 балл
   в) попадание в узкие ворота (2,1 – 2,2) г/см^3 3 балла
   средние ворота (2,0 – 2,3) г/см^3 2 балла
   широкие ворота (1,8 – 2,5) г/см^3 1 балл
4. Оценка погрешностей **1 балл**

   Примечание 1: Числовые значения плотности соли зависят от степени очистки соли заводом изготовителем, поэтому организаторам олимпиады необходимо проделать эксперименты самостоятельно и получить **свои** значения.

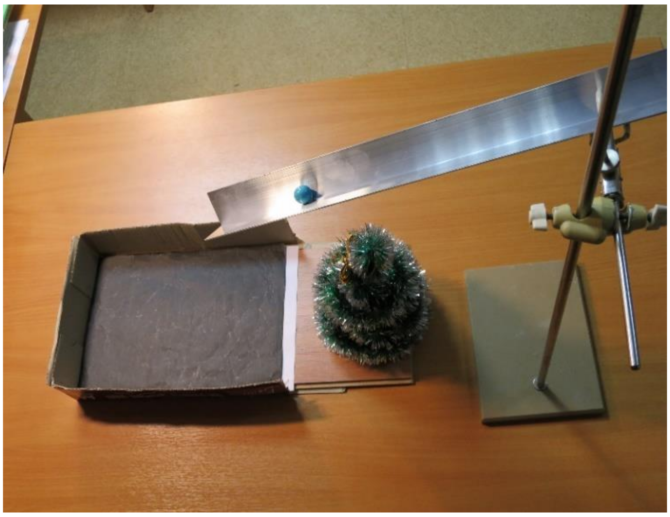
   Примечание 2: за отсутствие единиц измерений в ответе на любой вопрос снимается 1 балл.

10 класс

Задание. Качение шарика

Оборудование: алюминиевый желоб (уголок), штатив с лапкой, металлический шарик, лист линованной бумаги, копировальная бумага, миллиметровая бумага, рулетка (или линейка длиной 50 см), крышка от картонной коробки (для ограничения области перемещения шарика по столу), скотч (по требованию).

1) **Задание:** Соберите установку, аналогичную приведенной на фотографии. Отметьте на жёлобе точку «старта». Установите уголок так, чтобы точка «старта» оказалась над нижним краем жёлоба на высоте $H \approx 20$ см (рис. 1). Нижний край жёлоба должен располагаться на расстоянии $h \approx 15 - 20$ см от поверхности стола. Установите шарик в точку «старта». Предоставьте шарику возможность скатиться по желобу и определите расстояние l по горизонтали, которое шарик пролетел.



2) Проведите аналогичные измерения для 6 – 7 различных значений высоты H при одной и той же точке «старта». Для каждой высоты H проведите несколько измерений и усредните результаты. Полученные данные занесите в таблицу.

3) Обозначьте через $\left(E_X = \dfrac{m\upsilon_x^2}{2}\right)$ ту часть кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением вдоль горизонтальной оси X в момент отрыва шарика от жёлоба.

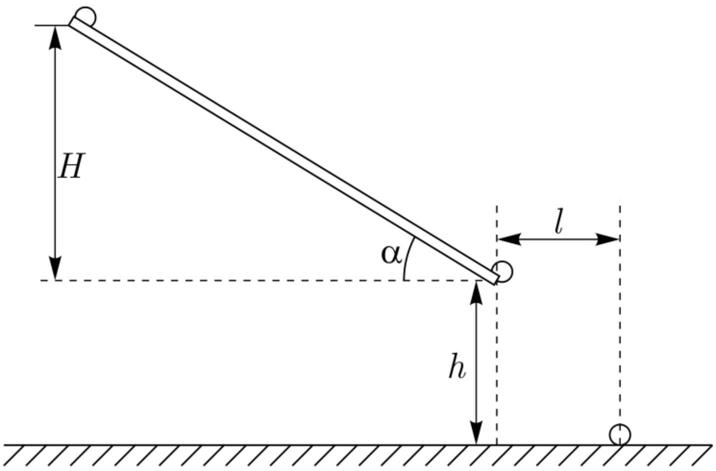


Рис. 1

4) Обозначьте символом $\Delta\Pi$ изменение потенциальной энергии шарика при его скатывании по желобу с высоты H.

5) Введите коэффициент $k = \Delta\Pi / E_X$. Пусть α – угол наклона жёлоба относительно горизонта.

6) Выразите коэффициент k через параметры установки: l, h, H, tg(α).

7) Постройте график зависимости $y(x)$, где $y = k\cos^2\alpha$, а $x = H$. В предположении, что $y = ax + b$, определите коэффициенты a и b, Оцените погрешность полученных значений.

Рекомендации организаторам

1) В качестве жёлоба возьмите алюминиевый уголок 30 мм х 30 мм или 40 мм х 40 мм длиной $L \approx 70$ см.

2) Шарик следует брать диаметром 7 – 20 мм. Он может быть как металлическим, так и изготовленным из поделочного камня (бусы).

3) Для фиксации на столе места падения шарика, участникам олимпиады следует выдать пластину из ламината или деревянную дощечку примерно того же размера (картон мягкий и для этой цели не годится). На ламинате участники олимпиады скотчем закрепляется лист линованной бумаги поверх которого кладут лист копировальной бумаги (см. фотографию установки).

Лист ламината следует поместить в крышку от картонной коробки (например, от коробки для бумаги формата А4). Это нужно для того, чтобы шарик не укатился со стола.

Возможное решение **Слободянин В.**

Теоретическая часть. Пусть сразу после отрыва от желоба шарик имел скорость υ и упал на стол на расстоянии *l* от края желоба (рис. 1). Проекция его скорости на горизонтальное направление равна $\upsilon_x = \upsilon\cos\alpha$, а на вертикальное – $\upsilon_y = \upsilon\sin\alpha$. Здесь α – угол, который образует желоб с горизонтальной плоскостью. Время свободного падения шарика $t = l/\upsilon_x$. В проекции на вертикальную ось движение шарика удовлетворяет уравнению:

$$h = \upsilon_y t + \frac{gt^2}{2} = l\frac{\upsilon_y}{\upsilon_x} + \frac{g}{2}\frac{l^2}{\upsilon_x^2} = l\mathrm{tg}\alpha + \frac{g}{2}\frac{l^2}{\upsilon_x^2}.$$

Из этого уравнения получаем выражение для кинетической энергии шарика, обусловленное его поступательным движением вдоль оси *X*:

$$m\frac{\upsilon_x^2}{2} = \frac{mgl^2}{4\left(h - l\mathrm{tg}\alpha\right)}. \qquad (1)$$

Изменение потенциальной энергии шарика при его скатывания по желобу с высоты *H*: $\Delta\Pi = mgH$.

Отсюда находим искомый коэффициент

$$k = \frac{4H\left(h - l\cdot\mathrm{tg}\alpha\right)}{l^2}. \qquad (2)$$

Экспериментальная часть. Для различных высот H_i снимаем серию измерений и заполняем таблицу.

Таблица 14

H_i, см	20	24	28	32	36	40
l_1						
l_2						
l_3						
l_4						
l_5						
l_6						

График зависимости $y(x)$ должен представлять собой горизонтальную прямую $y \approx 1{,}8$.

Погрешность не должна превосходить 10%.

Комментарий к результату эксперимента (Для жюри). Момент инерции шарика относительно оси, проходящей через его центр масс равен $J = \frac{2}{5}mR^2$.

Расстояние от горизонтальной оси, проходящей через центр масс шарика до точки касания желоба шариком равно $R/\sqrt{2}$. Скорость центра масс, катящегося шарика, равна $\upsilon_C = \omega R/\sqrt{2}$. По теореме Гюйгенса-Штейнера момент инерции шарика, относительно линии АА, проходящей через точки касания желоба шариком, равен $J_{AA} = \frac{2}{5}mR^2 + m\left(R/\sqrt{2}\right)^2 = \frac{9}{10}mR^2$. Из закона сохранения энергии $mgH = \frac{J_{AA}\omega^2}{2} = \frac{\omega^2}{2}\frac{9}{10}mR^2 = \frac{9}{5}\frac{m\upsilon_C^2}{2}$. Отсюда найдем ту часть кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением: $K_\text{пост} = \frac{1}{2}m\upsilon_C^2 = \frac{5}{9}mgH$. Отношение $k\cos^2\alpha = \frac{\Delta\Pi}{K_x} = \frac{9}{5} = 1{,}8$. Фактически, из-за наличия трения, кинетическая энергия оказывается несколько меньше теоретического значения, а коэффициент $k\cos^2\alpha > 1{,}8$.

Критерии оценивания

Получено выражение (1)	**4 балла**
Получено выражение (2)	**1 балл**
Снята серия (5 - 6) измерений и заполнена **таблица 1**	**5 баллов**

По 1 баллу за каждое измерение (если измерений больше 5 – то ставим 5 баллов)

Построен график $k\cos^2\alpha$ от H	**3 балла**
Найдено среднее значение коэффициента $k\cos^2\alpha$	**1 балл**
Оценена погрешность коэффициента $k\cos^2\alpha$	**1 балл**

10 класс

Задание. Соль (хлорид натрия)

Оборудование: Цилиндр измерительный объемом 100 мл, пробирка, стакан с водой, шприц, 2 комплекта порошка поваренной соли (в комплект входит три порции поваренной соли (NaCl) массой 5г, 10г, 20г.), бумажные салфетки.

Указание: Перед началом работы тщательно **продумайте** последовательность ваших действий. При выполнении работы описывайте, что вы делали. Для выполнения задания используйте **только один комплект**. Второй комплект вам выдан для проведения пробного эксперимента. Дополнительные порции соли выдаваться не будут. Плотность воды $\rho_В = 1,0$ г/см^3.

1. Определите плотность $\rho_П$ порошка хлорида натрия.
2. Определите соотношение масс соли и воды ($\alpha = M_с/M_в$) в насыщенном растворе поваренной соли при комнатной температуре (известно, что $\alpha < 0,5$).

Примечание 1: насыщенным раствором называется **жидкость** в которой перестает растворяться соль.

3. Определите плотность $\rho_К$ кристаллов хлорида натрия.
4. Чему равно расстояние a между центрами соседних атомов натрия и хлора (приведите расчётную формулу)? Молярная масса натрия 23 г/моль, молярная масса хлора 35 г/моль.
5. Оцените погрешность в определении α, $\rho_П$, $\rho_К$, a.

Примечание 2: 1) На рисунке представлена кристаллическая решетка хлорида натрия, в которой атомы натрия и хлора чередуются по всем направлениям в пространстве.

2) Число Авогадро $N_A = 6,02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$.

Указание для организаторов: рекомендуется использовать соль «экстра» мелкого помола.

Порции соли должны быть отмерены с точностью ± 0,1 г.

Шприц рекомендуем брать объемом 20 мл с ценой деления 1 мл.

Цилиндр измерительный объемом 100 мл, должен быть узким, с ценой деления 1 мл/дел.

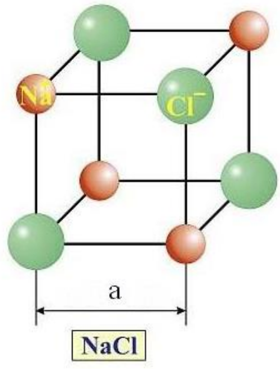
Емкость стакана с водой 0,2 – 0,5 л.

Возможное решение **Кармазин С., Чжан М.**

1. Для определения плотности порошка соли навеску массой 20 грамм следует высыпать в мерный стакан и измерить объем этого количества соли. Организаторам следует заранее определить плотность порошка той партии соли, которая используется в эксперименте. Ориентировочно, ($1100 < \rho < 1200$) кг/м^3.

2. Для определения отношения α масс соли и воды в насыщенном растворе высыпаем навеску соли массой 5 грамм в пробирку и добавляем фиксируемые порции воды с помощью шприца. Дискретность (шаг) добавляемых порций воды выбирается участником олимпиады самостоятельно. После каждого добавления воды тщательно перемешиваем раствор. Теоретически процедура должна продолжаться до полного исчезновения кристалликов соли в воде. Однако, в соли может находиться некоторое небольшое количество посторонних нерастворимых примесей. Поэтому добиваться абсолютно полного исчезновения осадка не целесообразно. Эксперимент следует продолжать до тех пор, пока количество кристалликов в осадке не изменится при очередном добавлении 1 мл воды. Табличное значение $\alpha = 0{,}36$. Практически, удовлетворительным результатом следует считать $0{,}32 < \alpha < 0{,}35$.

3. Для определения плотности кристаллов хлорида натрия, находящуюся в мерном стакане порцию соли следует залить небольшим количеством воды. Туда же можно вылить содержимое пробирки. В любом случае, необходимо обеспечить насыщенность раствора в мерном стакане, т.е. наличие в нем достаточного количества нерастворенной соли. В этом состоянии фиксируется объем содержимого в стакане. Затем в мерный стакан высыпается навеска соли массой 20 грамм и снова фиксируется объем содержимого. Необходимо, чтобы уровень водя в мерном цилиндре был выше уровня соли. Так как добавленная соль не может раствориться в насыщенном растворе, ее объем равен разности полученных объемов. Табличное значение плотности NaCl $\rho = 2165$ кг/м^3.



4. В ячейку кристалла, ребро которой равно расстоянию между центрами атомов натрия и хлора, входит 4 восьмых части атома хлора и 4 восьмых части

атома натрия (см. рисунок), т.е. в ячейку входит по половине того и другого атома. Таким образом масса этой ячейки равна половине суммы масс атомов натрия и хлора $m = ½(M_1+M_2)/N_o$, где M_1 и M_2 – молярные массы натрия и хлора соответственно, а N_o – число Авоградро. Объем этой ячейки равен кубу ребра a. Плотность равна отношению массы к объему. Используя плотность, полученную в пункте 3, вычисляем значение расстояния a. Табличное значение a = 0,281 нм.

Критерии оценивания.

1. Определена плотность порошка поваренной соли		**2 балла**
а) обоснование метода	0,5 балла	
б) результаты измерений	0,5 балла	
в) попадание в узкие ворота (1,1 – 1,2) г/см^3	1 балл	
широкие ворота (1,0 – 1,3) г/см^3	0,5 балла	
2. Определено отношение α масс соли и воды в насыщенном растворе NaCl		**4 балла**
а) обоснование метода	2 балла	
б) результаты измерений	0,5 балла	
в) попадание в узкие ворота (0,32 – 0,35)	1,5 балла	
широкие ворота (0,30 – 0,37)	0,5 балла	
3. Определена плотность кристаллического NaCl		**5 баллов**
а) обоснование метода	1,5 балла	
б) результаты измерений	0,5 балла	
в) попадание в узкие ворота (2,1 – 2,2) г/см^3	3 балла	
средние ворота (2,0 – 2,3) г/см^3	2 балла	
широкие ворота (1,8 – 2,5) г/см^3	1 балл	
4. Определено расстояние между атомами Na и Cl		**3 балла**
За правильные теоретические выкладки, позволяющие найти расстояние a ставить	2 балла	
5. Оценка погрешностей		**1 балл**

Примечание 1: Числовые значения плотности соли зависят от степени очистки соли заводом изготовителем, поэтому организаторам олимпиады необходимо проделать эксперименты самостоятельно и получить **свои** значения.

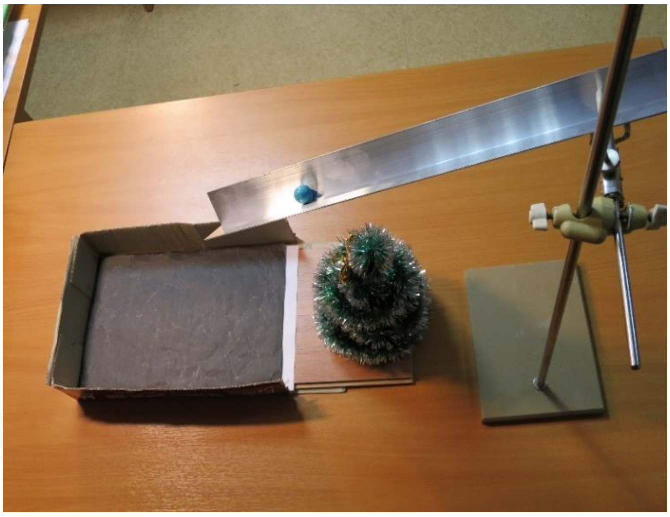
Примечание 2: за отсутствие единиц измерений в ответе на любой вопрос снимается 1 балл.

11 класс

Задание. Качение шарика

Оборудование: алюминиевый желоб (уголок), штатив с лапкой, металлический шарик, лист линованной бумаги, копировальная бумага, миллиметровая бумага, рулетка (или линейка длиной 50 см), крышка от картонной коробки (для ограничения области перемещения шарика по столу), скотч (по требованию).

1) **Задание:** Соберите установку, аналогичную приведенной на фотографии. Отметьте на жёлобе точку «старта». Установите уголок так, чтобы точка «старта» оказалась над нижним краем жёлоба на высоте $H \approx 20$ см (рис. 1). Нижний край жёлоба должен располагаться на расстоянии $h \approx 15 - 20$ см от поверхности стола. Установите шарик в точку «старта». Предоставьте шарику возможность скатиться по желобу и определите расстояние l по горизонтали, которое шарик пролетел.



2) Проведите аналогичные измерения для 6 – 7 различных значений высоты H при одной и той же точке «старта». Для каждой высоты H проведите несколько измерений и усредните результаты. Полученные данные занесите в таблицу.

3) Обозначьте через $\left(E_X = \dfrac{m\upsilon_x^2}{2}\right)$ ту часть кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением вдоль горизонтальной оси X в момент отрыва шарика от жёлоба.

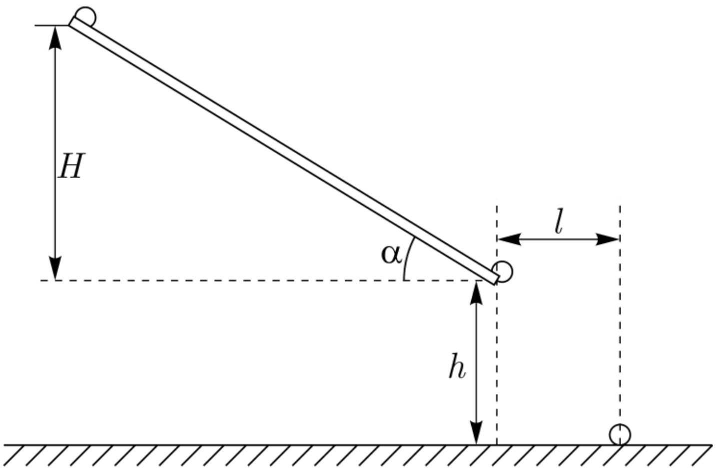


Рис. 1

4) Обозначьте символом $\Delta\Pi$ изменение потенциальной энергии шарика при его скатывании по желобу с высоты H.

5) Введите коэффициент $k = \Delta\Pi / E_X$. Пусть α – угол наклона жёлоба относительно горизонта.

6) Выразите коэффициент k через параметры установки: l, h, H, tg(α).

7) Постройте график зависимости $y(x)$, где $y = k\cos^2\alpha$, а $x = H$. В предположении, что $y = ax + b$, определите коэффициенты a и b, Оцените погрешность полученных значений.

Рекомендации организаторам

1) В качестве жёлоба возьмите алюминиевый уголок 30 мм х 30 мм или 40 мм х 40 мм длиной $L \approx 70$ см.

2) Шарик следует брать диаметром 7 – 20 мм. Он может быть как металлическим, так и изготовленным из поделочного камня (бусы).

3) Для фиксации на столе места падения шарика, участникам олимпиады следует выдать пластину из ламината или деревянную дощечку примерно того же размера (картон мягкий и для этой цели не годится). На ламинате участники олимпиады скотчем закрепляется лист линованной бумаги поверх которого кладут лист копировальной бумаги (см. фотографию установки).

Лист ламината следует поместить в крышку от картонной коробки (например, от коробки для бумаги формата А4). Это нужно для того, чтобы шарик не укатился со стола.

Возможное решение **Слободянин В.**

Теоретическая часть. Пусть сразу после отрыва от желоба шарик имел скорость υ и упал на стол на расстоянии *l* от края желоба (рис. 1). Проекция его скорости на горизонтальное направление равна $\upsilon_x = \upsilon\cos\alpha$, а на вертикальное – $\upsilon_y = \upsilon\sin\alpha$. Здесь α – угол, который образует желоб с горизонтальной плоскостью. Время свободного падения шарика $t = l/\upsilon_x$. В проекции на вертикальную ось движение шарика удовлетворяет уравнению:

$$h = \upsilon_y t + \frac{gt^2}{2} = l\frac{\upsilon_y}{\upsilon_x} + \frac{g}{2}\frac{l^2}{\upsilon_x^2} = l\mathrm{tg}\alpha + \frac{g}{2}\frac{l^2}{\upsilon_x^2}.$$

Из этого уравнения получаем выражение для кинетической энергии шарика, обусловленное его поступательным движением вдоль оси *X*:

$$m\frac{\upsilon_x^2}{2} = \frac{mgl^2}{4\left(h - l\mathrm{tg}\alpha\right)}. \qquad (1)$$

Изменение потенциальной энергии шарика при его скатывания по желобу с высоты *H*: $\Delta\Pi = mgH$.

Отсюда находим искомый коэффициент

$$k = \frac{4H\left(h - l\cdot\mathrm{tg}\alpha\right)}{l^2}. \qquad (2)$$

Экспериментальная часть. Для различных высот H_i снимаем серию измерений и заполняем таблицу. **Таблица 14**

H_i, см	20	24	28	32	36	40
l_1						
l_2						
l_3						
l_4						
l_5						
l_6						

График зависимости $y(x)$ должен представлять собой горизонтальную прямую $y \approx 1{,}8$.
Погрешность не должна превосходить 10%.

Комментарий к результату эксперимента (Для жюри). Момент инерции шарика относительно оси, проходящей через его центр масс равен $J = \frac{2}{5}mR^2$.
Расстояние от горизонтальной оси, проходящей через центр масс шарика до точки касания желоба шариком равно $R/\sqrt{2}$. Скорость центра масс, катящегося шарика, равна $\upsilon_C = \omega R/\sqrt{2}$. По теореме Гюйгенса-Штейнера момент инерции шарика, относительно линии АА, проходящей через точки касания желоба шариком, равен $J_{AA} = \frac{2}{5}mR^2 + m\left(R/\sqrt{2}\right)^2 = \frac{9}{10}mR^2$. Из закона сохранения энергии $mgH = \frac{J_{AA}\omega^2}{2} = \frac{\omega^2}{2}\frac{9}{10}mR^2 = \frac{9}{5}\frac{m\upsilon_C^2}{2}$. Отсюда найдем ту часть кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением: $K_{\text{пост}} = \frac{1}{2}m\upsilon_C^2 = \frac{5}{9}mgH$. Отношение $k\cos^2\alpha = \frac{\Delta\Pi}{K_x} = \frac{9}{5} = 1{,}8$. Фактически, из-за наличия трения, кинетическая энергия оказывается несколько меньше теоретического значения, а коэффициент $k\cos^2\alpha > 1{,}8$.

Критерии оценивания

Получено выражение (1)	**4 балла**
Получено выражение (2)	**1 балл**
Снята серия (5 - 6) измерений и заполнена **таблица 1**	**5 баллов**

По 1 баллу за каждое измерение (если измерений больше 5 – то ставим 5 баллов)

Построен график $k\cos^2\alpha$ от H	**3 балла**
Найдено среднее значение коэффициента $k\cos^2\alpha$	**1 балл**
Оценена погрешность коэффициента $k\cos^2\alpha$	**1 балл**

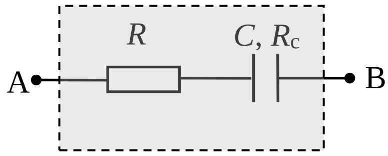
11 класс

Задание. Конденсатор с утечкой

Оборудование: «серый ящик», мультиметр, секундомер.

Схема «серого ящика» приведена на рисунке.

Резистор R, последовательно соединённый с «полупробитым» конденсатором ёмкостью C и сопротивлением утечки R_c.



Задание:

Определить значения R, R_c и C элементов серого ящика. Оцените погрешность полученных значений.

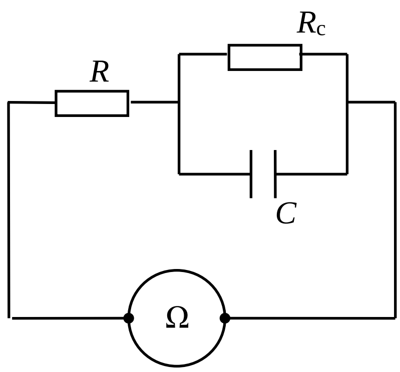
Указание 1: в мультиметре имеется встроенная батарейка с фиксированной ЭДС. В режиме омметра прибор измеряет падение напряжения U_x на неизвестном резисторе R_x и на дисплее отображает значение $R_x \sim U_x$. Все измерения омметром рекомендуется проводить в одном диапазоне «2М» (два мегаОма).

Указание 2: внутреннее сопротивление мультиметра в режиме амперметра много меньше сопротивлений R и R_c, а в режиме вольтметра – может быть сравнимо по порядку величины с сопротивлением утечки.

Рекомендации организаторам

Содержимое серого «ящика» не должно быть видно участникам тура. Номиналы элементов следует закрасить или стереть. Резисторы с конденсатором можно поместить в пластмассовую коробку (например мыльницу или, в крайнем случае, коробок из-под спичек, который нужно тщательно заклеить со всех сторон). Желательно, на коробке разместить выходные клеммы.

1. Сопротивление резистора R ~ 50 -100 кОм.
2. Сопротивление утечки моделируется резистором R_C ~ 400 – 500 кОм, подключенным параллельно конденсатору.
3. Емкость конденсатора С ~ 350 – 400 мкФ (используйте электролитический конденсатор, так как обычный конденсатор такой ёмкости, как правило, имеет внушительные размеры и стоит дороже).
4. Секундомер – желательна модель с памятью промежуточных этапов.
5. Мультиметр (**у которого не должно быть режима измерения ёмкости, модель типа М-830В**).

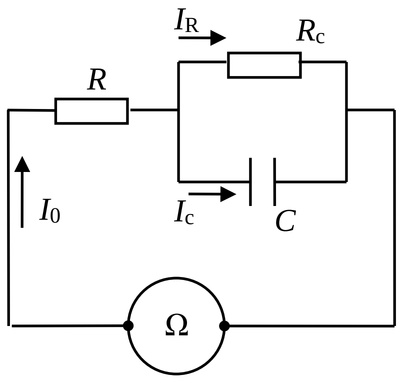


Эквивалентная схема «серого ящика» (конденсатор с утечкой + резистор R), подключенного к омметру «Ω» показана на рисунке.

Возможное решение **Гуденко А.**

Метод № 1 (По скорости заряда конденсатора)

1. Эквивалентная схема «серого ящика» (конденсатор с утечкой + резистор R), подключенного к омметру «Ω» показана на рисунке.



2. Снимаем зависимость $R(t)$ показаний омметра от времени (см. таблицу).

В начальный момент времени $U_c = 0$ и омметр показывает сопротивление $R(0) = R$.

При малых временах, когда напряжение на конденсаторе мало, практически весь ток омметра идёт через конденсатор:

$$I_c \approx I_0 \ (I_R << I_c),$$

При этом напряжение на конденсаторе изменяется по закону:

$$U_c = q/C \approx tI_0/C.$$

Начальный участок зависимости $R(t)$ показаний омметра от времени имеет вид:

$$R(t) = R + t/C.$$

По начальному участку зависимости $R(t)$ (см. график) определяем R и C, а также их погрешности.

Примечание. *Емкость электролитического конденсатора зависит от частоты и принимает максимальное значение на низких частотах. В связи с этим измеренное в работе значение емкости конденсатора может отличаться в большую сторону от значения, указанного на корпусе.*

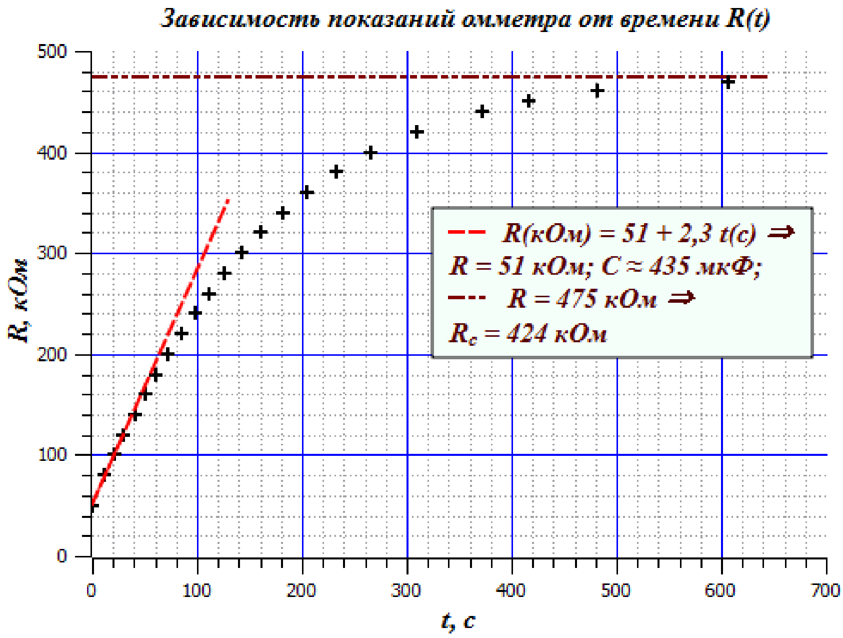
При больших временах конденсатор полностью заряжен, и весь ток идёт через сопротивление R_c, а показания омметра стремятся к константе (см. график)

$$R(\infty) = R + R_c.$$

Следовательно, сопротивление утечки:

$$R_c = R(\infty) - R.$$

Показания омметра от времени $R(t)$	
R, кОм	t, с
50	0
80	12
100	20,7
120	30,3
140	40,3
160	50,2
180	61,2
200	72,5
220	84,8
240	97,6
260	111,6
280	126,6
300	142,7
320	161,0
340	181,5
360	204,8
380	233,1
400	266,3
420	310,1
440	371,5
460	482,0
470	606,1
475	∞



Метод № 2 (По скорости разряда конденсатора)

1. Эквивалентная схема «серого ящика» (конденсатор с утечкой R_C + резистор R), подключенного к омметру «Ω» показана на рисунке.
2. Перед измерениями разряжаем конденсатор. Для этого замыкаем выходы «серого ящика» мультиметром в режиме амперметра и дожидаемся нулевых показаний прибора.
3. Переходим в режим омметра и измеряем сопротивление в начальный момент времени $R(0) = R$. По истечении времени T ~ 10 минут, когда показания омметра практически перестают изменяться (конденсатор полностью заряжен) измеряем $R(\infty) = R + R_C$. Сопротивление R_C находим по формуле: $R_C = R(\infty) - R(0)$.
4. Переключаем мультиметр в режим амперметра и снимаем зависимость показаний амперметра от времени $I(t)$. Начальный участок этой зависимости имеет вид

$$I(t) = I_0(1 - t/R_{II}C), \text{ где } 1/R_{II} = 1/R + 1/R_C).$$

Касательная к начальному участку зависимости $I(t)$ отсекает на оси абсцисс (ось t) величину $\tau = R_{II}C \rightarrow C = \tau/R_{II}$.

Система оценивания:

1. Предложен метод определения искомых величин (теория) **2 балла**
2. Заполнена таблица $R(t)$ **3 балла**
3. Построен график $R(t)$ – оформлены оси, правильно выбран масштаб, правильно нанесены экспериментальные точки и проведена гладкая кривая **3 балла**
4. Определено значение R **2 балла**
   а) числовое значение попало в 10% ворота 2 балла
   б) числовое значение попало в 20% ворота 1 балл
5. Определено значение C **2 балла**
   а) числовое значение попало в 10% ворота 2 балла
   б) числовое значение попало в 20% ворота 1 балл
6. Определено значение R_C **2 балла**
   а) числовое значение попало в 10% ворота 2 балла
   б) числовое значение попало в 20% ворота 1 балл
7. Корректно оценена погрешность R, R_C и C **1 балл**