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

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

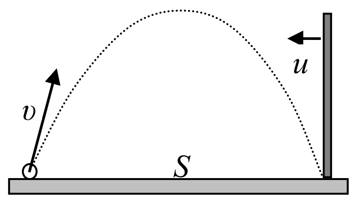
Критерии оценивания

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

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

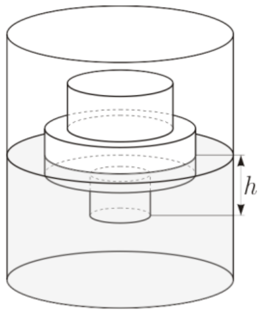
Окончательно $\upsilon = \sqrt{\upsilon_г^2 + \upsilon_в^2} \approx 15$ м/с, горизонтальная дальность полета шарика (начальное расстояние между катапультой и стенкой) $S = \upsilon_г(t_1 + t_2)$ = 3 м, скорости стенки u_1 = 2 м/с и u_2 = 0,5 м/с.

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
$F_а$, 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.**

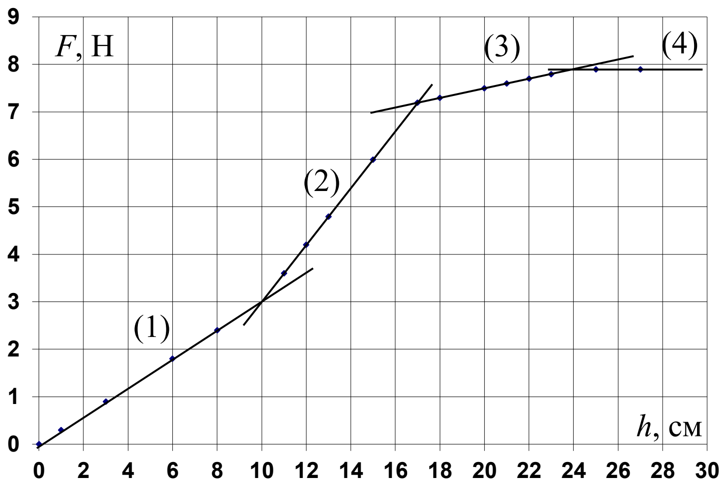


График зависимости $F(h)$ имеет три излома, которые соответствуют изменению площади сечения тела и полному его погружению. Заметим, что положение изломов находится путем экстраполяции линейных зависимостей до их пересечения (в точках 10 см, 17 см и 24 см), поэтому опираться только на табличные данные 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**

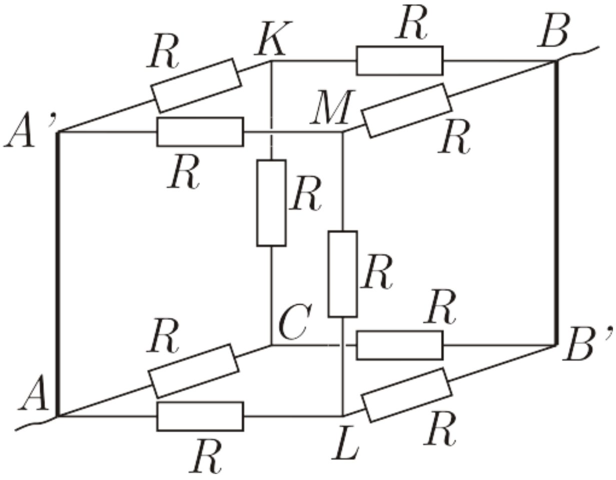
Критерии оценивания

- 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%) **1 балл**
  иначе **– 0 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; 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

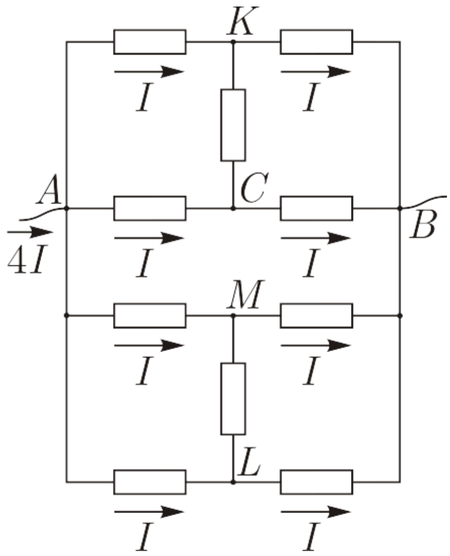
Куб собран из одинаковых резисторов сопротивлением R. Два резистора заменили на идеальные перемычки, как указано на рисунке.



- Найдите общее сопротивление получившейся системы между контактами A и B.
- 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 A (или B)?
- 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 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

$$R_\text{о} = \frac{U_\text{о}}{I_\text{о}} = \frac{2IR}{4I} = \frac{1}{2}R\,.$$

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

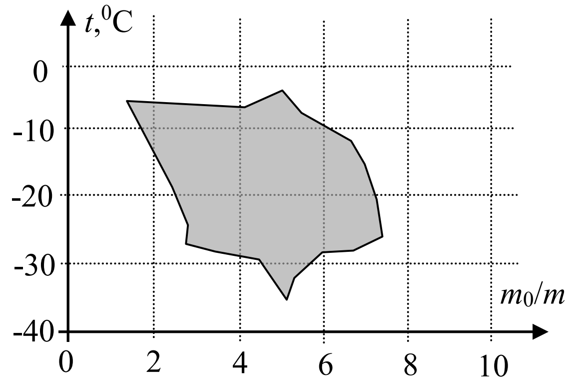
Критерии оценивания

- 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**

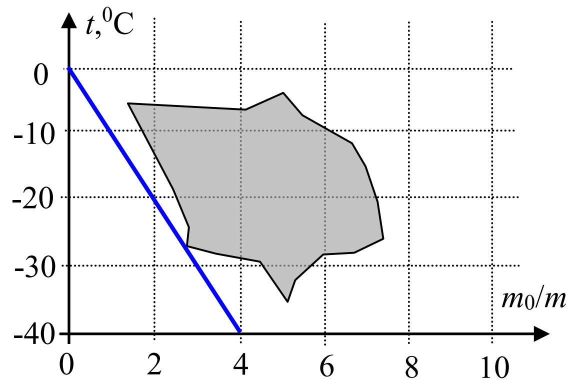
5. Ледяное пятно

Определите, какая максимальная масса $m_п$ водяного пара, взятого при температуре 100^0С, 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: $m_{\text{п}}(L + c(t_{\text{кип}} - t_0)) = mc_1(t_0 - t)$, откуда $m_{\text{п}} = \dfrac{mc_1(t_0 - t)}{L + c(t_{\text{кип}} - t_0)}$, или с учетом того, что $t_0 = 0^0$С, получим: $m_{\text{п}} = \dfrac{-mtc_1}{L + ct_{\text{кип}}}$ (здесь и далее учтено, что $t < 0$).

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

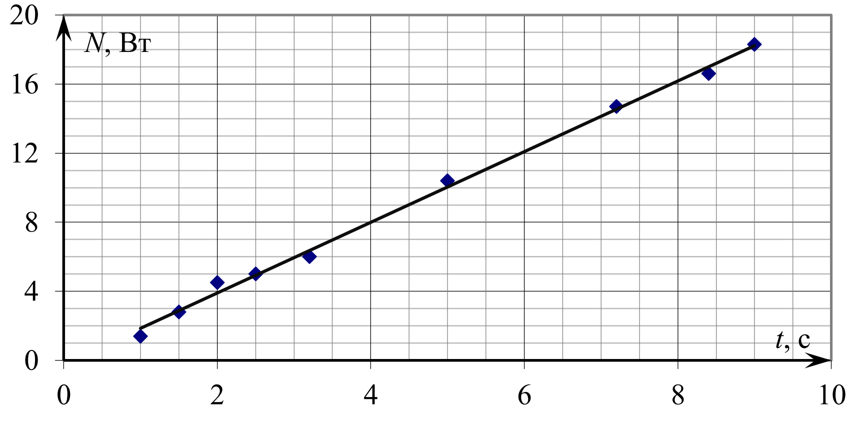
В результате проведенного эксперимента получена зависимость мощности N постоянной горизонтальной силы от времени t ее действия на изначально покоящийся на гладком горизонтальном столе брусок массы m = 2 кг. Некоторые измерения могли оказаться не очень точными.

- 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**

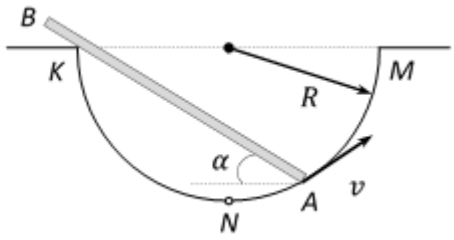
3… Интерполяция для τ = 6 с ....**2 балла**

4… Определение силы по угловому коэффициенту наклона...............................**4 балла**

- Определение силы по любому однократному измерению ....0 баллов
- Определение силы усреднением нескольких измерений.......... 1 балл

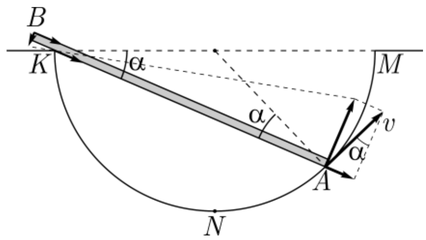
Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на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



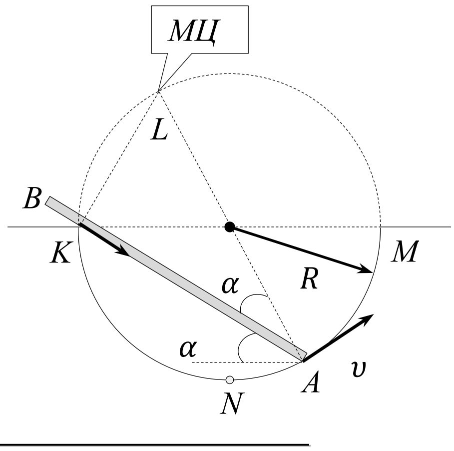
Скорость точки стержня, касающейся уступа K, направлена вдоль стержня и, следовательно, она равна $\upsilon \sin\alpha$. Так как стержень жёсткий, то проекции скоростей остальных точек стержня на направление вдоль стержня также равны $\upsilon \sin\alpha$, значит, $u_{\parallel} = \upsilon \sin\alpha$.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

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**

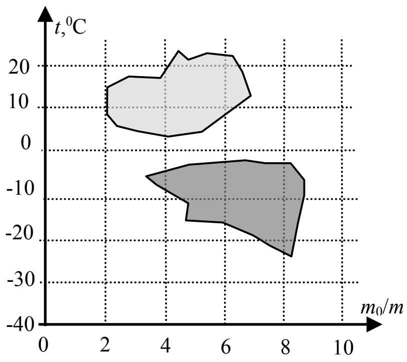
4. Выражены длины AK и KB через угол α и радиус ....**(1+1) балла**

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.

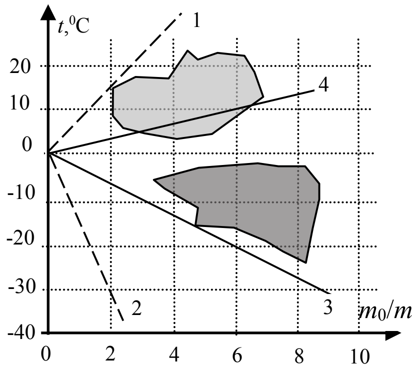
В калориметре смешали некоторое количество воды и льда. Их точные массы и начальные температуры неизвестны, но эти значения лежат в выделенных на диаграмме заштрихованных областях. Найдите максимальное количество теплоты, которое могло быть передано водой льду, если после установления теплового равновесия 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, $Q = mc(t - t_0) = mct$ ($t_0 = 0^0$C). $Q = Q_{\text{макс}}$ 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

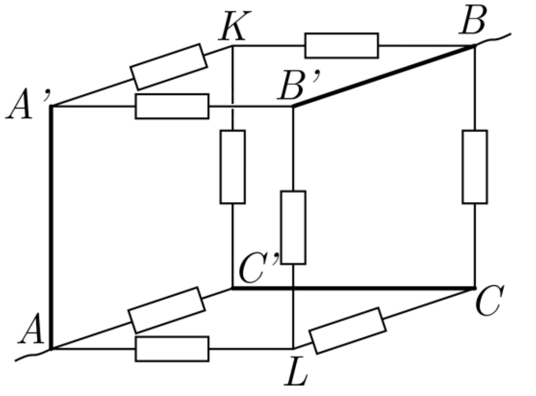
1. Учет отсутствия процессов плавления/кристаллизации 1 балл
2. Уравнение для расчета количества теплоты 1 балл
3. Идея, что равным количествам теплоты соответствуют точки, лежащие на прямой, проходящей через $t_0=0^0$C 1 балл
4. Идея нахождения максимального Q по угловому коэффициенту наклона прямой, 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

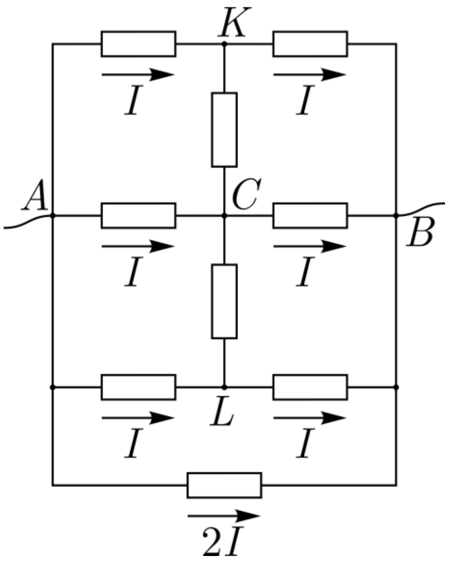
Куб собран из одинаковых резисторов сопротивлением R. Три резистора заменили на идеальные перемычки, как указано на рисунке.



- 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

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

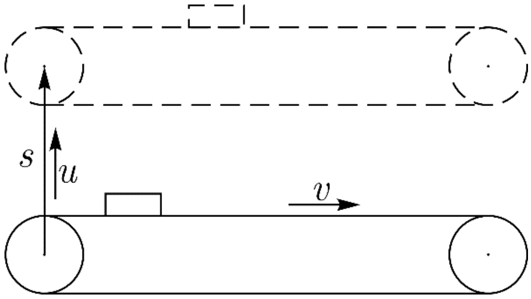
По условию $I = 2\text{А}$. Следовательно, сила тока, входящего в узел А, равна $5I = 10\text{А}$. Сила тока через идеальную перемычку *AA'* равна сумме сил токов через резисторы в ветвях *A'K* и *A'B'*: $3I = 6\text{А}$.

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



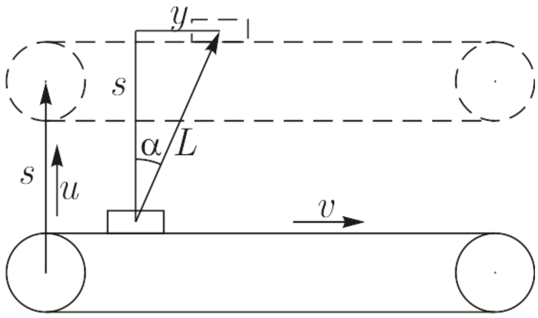
По шероховатому горизонтальному полу движется лежащий на боку ленточный транспортёр так, что плоскость ленты вертикальна. Скорость ленты транспортёра равна υ. Транспортёр перемещается по полу с постоянной скоростью *u* перпендикулярно основным участкам его ленты. За некоторое время транспортёр сместился 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 $\dfrac{\upsilon}{u} \ge \mu_2$. 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

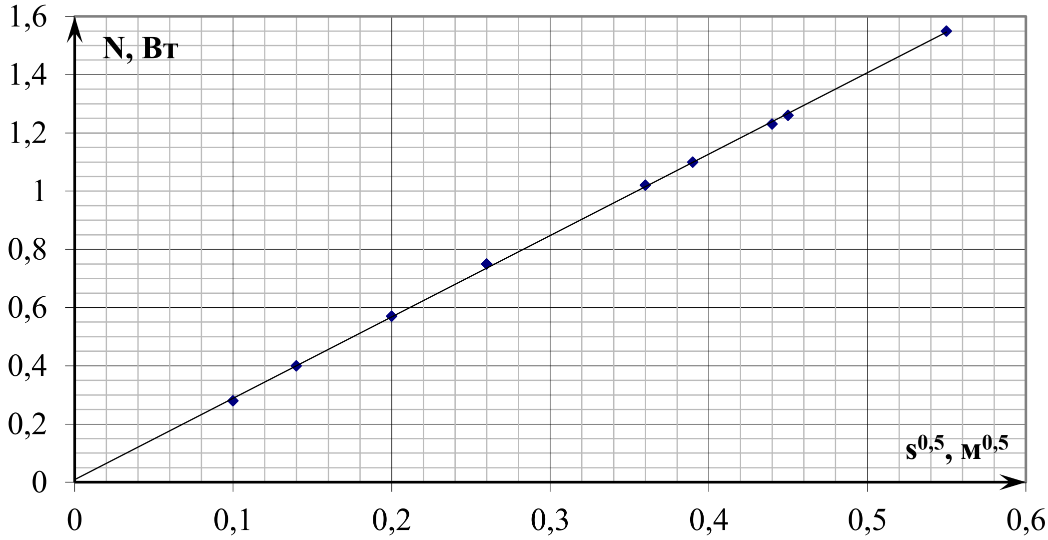
На изначально покоящийся на гладком горизонтальном столе брусок массы m = 2 кг, начали действовать постоянной горизонтальной силой $\boldsymbol{F}$. В результате была получена зависимость мощности N от перемещения s бруска. Некоторые измерения могли оказаться не очень точными.

- 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 $A = Fs = \frac{m\upsilon^2}{2}$, то $N = \sqrt{\frac{2F^3 s}{m}}$ 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 $k = \frac{\Delta N}{\sqrt{\Delta s}} = \sqrt{\frac{2F^3}{m}} \approx$ 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**

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 = $3{,}086 \cdot 10^{19}$ м, гравитационная постоянная $\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2·кг$^{-2}$.

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.

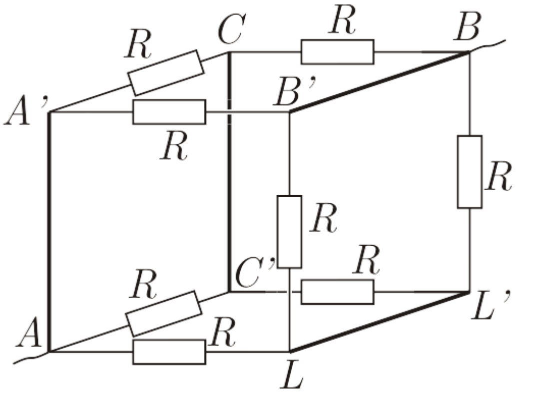
Критерии оценивания

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**

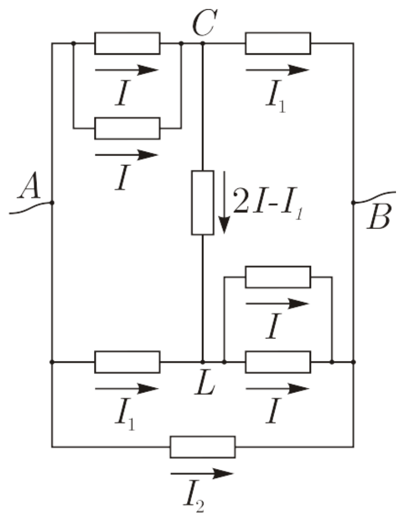
3. Четыре в кубе

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 $R_0 = \dfrac{U_0}{I_0} = \dfrac{5IR}{2}\dfrac{1}{6I} = \dfrac{5}{12}R$.

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':

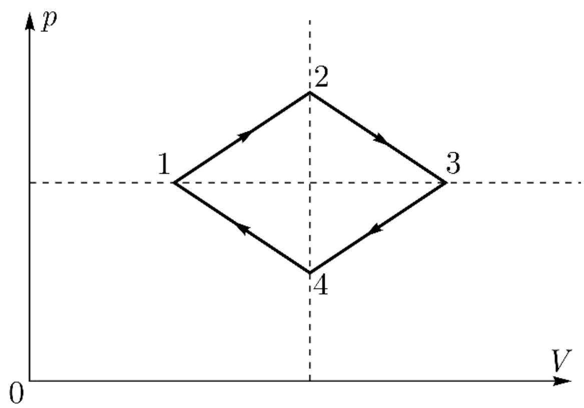
$$7I/2 = 0{,}7 \text{ А}.$$

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 $A/2$.

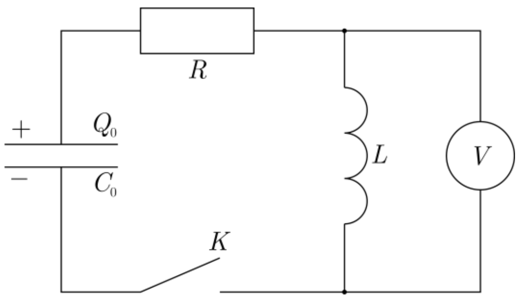
Сегодня, 20 января, на портале **online.mipt.ru** *составители данного комплекта проведут онлайн-разбор решений задач. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 16.00; 8 класс – 17.00; 9 класс – 18.30; 10 класс – 20.00; 11 класс – 19.00. Для участия в разборе необходимо зарегистрироваться на 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 $W_C(0) = \frac{1}{2} Q U_C = \frac{Q_0^2}{2C_0}$, $\qquad W_C(t_1) = \frac{1}{2} Q U_C = \frac{Q_0^2}{2C_0}\left(1 - \frac{1}{2}\right)\left(1 + 1\right) = \frac{Q_0^2}{2C_0}$.

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**

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**