Городская открытая олимпиада школьников по физике.
Финальный этап. Теоретический тур. Ответы и баллы. 8 класс.

Задача 1.

Разность показаний весов дает нам что за 10 минут выкипело $m_{A1} = 0,5$ кг азота. Обозначим мощность теплообмена с окружающей средой N (Дж/мин) получим

$$\lambda_A \cdot 0,5 = N \cdot 10. \qquad (1)$$

Во втором эксперименте в емкости присутствует вода массы – m_B, и взвешивая мы так же учитываем ее. Таким образом выкипело $m_{A2} = 1.4 - 0.6 + m_B = 0,8 + m_B$ кг азота. На выпаривание этой массы азота пошла энергия от охлаждения воды до 0° и ее превращения в лед, охлаждения льда до -196°, а так же энергия из окружающей среды равная $N \cdot 5$. Тогда закон сохранения энергии дает

$$\lambda_A \cdot (0,8 + m_B) = C_B \cdot m_B \cdot (24^\circ - 0^\circ) + \lambda_\Lambda \cdot m_B + C_\Lambda \cdot m_B \cdot (0^\circ - (-196^\circ)) + N \cdot 5, \qquad (2)$$

Выражая N из (1) и подставляя в (2), мы можем выразить искомую массу воды

$$m_B = \frac{0,55 \cdot \lambda_A}{C_B \cdot 24^\circ + \lambda_\Lambda + C_\Lambda 196^\circ - \lambda_A} \approx 0.169 \text{ кг}. \qquad (3)$$

- **1 балла** Записано уравнение теплового баланса (2), в котором потеряно не более 2-х слагаемых в левой части
- **1 балла** В уравнение теплового баланса для второго эксперимента подставлена мощность из теплового баланса для второго эксперимента
- **1 балла** Получен правильный ответ, в частности учтена масса воды в левой части уравнения (2)

Задача 2.

Посчитаем, какое давление создается при каждом методе передвижения Трубочиста. Если он идет босяком, то минимальное давление, которое должна выдерживать дорожка равно $P_1 = mg/S_1 = 20$ кПа. Если он идет в лаптях $P_2 = 10$ кПа, а давление доски $P_3 = 1$ кПа. Отложив на графике горизонтальные прямые соответствующие давлениям P_1, P_2 и P_3 можно сразу понять, где возможен какой метод передвижения.

Правильная стратегия для Иванушки – как можно реже использовать доску и, по возможности, избегать ходить в лаптях, если можно идти то же расстояние босяком, так быстрее. Из рисунка понятно, что доску использовать придется минимум два раза. Чтобы минимизировать использование лаптей первый раз положить доску нужно в точке 1 м, любой другой вариант не подойдет, так как придется идти в лаптях. Второй раз есть несколько вариантов использования доски, но положить ее нужно не раньше $5,5$ м и не позже 6 м. На данном пути Иванушка будет 3 м идти босяком, 1 м идти в лаптях, и 6 м идти по доске.

Чтобы посчитать среднюю скорость разделим общий путь на общее время движения. Общее время получается равно

$$t_O = 3/V_{Б} + 1/V_\Lambda + 6/V_D = 30\, c.$$

Тогда средняя скорость равна $V_{cp} = 10/30 = 1/3$ м/с.

- **1 балла** Предложен вариант, в котором Иванушка не утонет
- **1 балла** Предложен вариант с оптимальным временем
- **1 балла** Получена средняя скорость

Задача 3.

Пусть m – масса одного кирпичика, ρ – искомая плотность, а ρ_0 – плотность воды. Когда кирпичик лежит в лодочке, он вытесняет объём воды m/ρ_0. Когда же на дне, – только m/ρ.

Перекладывая все кирпичики из лодочки в воду, Вовочка уменьшает вытесняемый лодочкой объём воды на $n(m/\rho_0 - m/\rho)$. Это уменьшает уровень воды в бассейне.

Добавляя кирпичики с берега, Вовочка увеличивает уровень воды, так как новые кирпичики вытесняют дополнительно объём km/ρ.

Приравнивая, получаем

$$n\left(\frac{m}{\rho_0} - \frac{m}{\rho}\right) = \frac{km}{\rho} \qquad \Leftrightarrow \qquad \frac{n}{\rho_0} - \frac{n}{\rho} = \frac{k}{\rho} \qquad \Leftrightarrow \qquad n(\rho - \rho_0) = k\rho_0.$$

Отсюда ответ $\rho = (k+n)\rho_0/n = 1600$ кг/м^3.

- **1 балла** Есть понимание того, что уровень воды при выкидывании кирпичиков за борт уменьшится
- **1 балла** Получено на сколько уменьшится вытесняемый лодочкой объем воды
- **1 балла** С учетом кирпичиков с берега, получен правильный ответ

Задача 4.

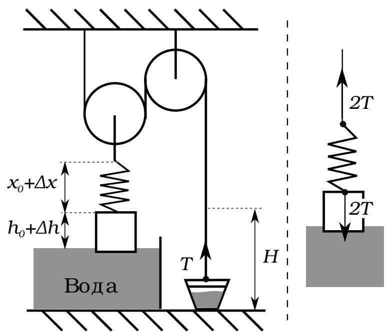
Перейдем в систему отсчета, вращающуюся вокруг центральной оси так, что собственная ось малой шестеренки неподвижна, пока Раздолбайкин ее проворачивает. В этой системе отсчета большая шестеренка делает один оборот вокруг центральной оси, а малая два оборота вокруг своей оси. Действительно, обозначим диаметр малой шестеренки D, длина окружности большой шестеренки равна $2 \cdot \pi \cdot D$, она совершает один оборот, значит малая по ней проезжает это же расстояние. Длина окружности малой $\pi \cdot D$, значит она должна совершить два оборота.

Диаметр внешнего колеса равен сумме диаметров большой и малой шестерни, то есть $4 \cdot D$. Во вращающейся системе отсчета малая шестерня проезжает по колесу $2 \cdot \pi \cdot D$, тем самым проворачивая ее на 1/2 оборота. Заметим, что в этой системе отсчета большая шестерня крутится в одну сторону, а малая шестерня и колесо – в другую

Теперь перейдя обратно в неподвижную систему отсчета, к количеству оборотов малой шестеренки вокруг своей оси прибавится еще один. Так же один оборот прибавится и колесу. Итого, малая шестеренка проходит 3 оборота вокруг своей оси за одно обращение вокруг центральной, а колесо 1 целый и 1/2 оборота.

- **1 балла** Получено количество оборотов без учета вращения оси малой шестерни вокруг центральной оси (2 оборота шестерня,1/2 – колесо)
- **1 балла** Получено правильное число оборотов для малой шестерни
- **1 балла** Получено правильное число оборотов для колеса

Задача 5.



Обозначим за Δx изменение растяжения пружины от начального состояния к моменту, когда ведро коснулось земли (см. Рис.). За Δh обозначим изменение положения груза относительно поверхности воды в течение этого процесса. Так как размер бруска много меньше размера бассейна, изменением уровня жидкости можно пренебречь. Положение подвижного блока изменилось на $(\Delta x + \Delta h)$. При этом подвижный блок поднялся на вдвое меньшее расстояние, чем опустилось ведро, что дает нам

$$H/2 = (\Delta x + \Delta h) \tag{4}$$

Чебурашка медленно засыпает песок, поэтому будем считать, что в каждый момент силы в системе уравновешены. Тогда, сила натяжения нити в течение всего процесса изменилась на значение силы тяжести насыпанного песка $\Delta T = M_\Pi g$, где M_Π – масса песка. Со стороны подвижного блока сила, действующая на пружину, изменилась на $2\Delta T$, следовательно $k\Delta x = 2\Delta T$. Откуда

$$\Delta x = M_\Pi \frac{2 \cdot g}{k}.$$

С другой стороны, на столько же должна измениться сила, действующая со стороны бруска на пружину (см. Рис.). Сила, с которой брусок тянет пружину изменилась на значение силы Архимеда, которая действовала на объема бруска поднявшийся из воды $\Delta V = a^2 \cdot \Delta h$, где $a = 0,4$ м – длина стороны бруска. Тогда получим что $\rho g \Delta V = 2\Delta T$. Подставляя выражение для объема и ΔT получаем

$$\Delta h = M_\Pi \frac{2}{\rho a^2}.$$

Теперь подставим выражения для Δx и Δh в (4), и выразим массу песка

$$M_\Pi = \frac{H}{4(g/k + 1/(\rho a^2))} = 24 \text{ кг}.$$

- **1 балла** Получено соотношение (4)
- **1 балла** Правильно расписаны изменения сил, действующих на пружину и на брусок
- **1 балла** Соотношения для Δx и Δh подставлены в (4) и найден ответ

Задача 6.

Чтобы плот начал двигаться барабаны A и B надо вращать против часовой стрелки, обозначим его скорость плота относительно земли за V (см. Рис. 6.1). При этом за один оборот барабана плот проходит расстояние равное $\pi \cdot D$, где D – диаметр верхнего цилиндра. Так как проскальзывания нет, а диаметр нижнего в два раза больше, лента пройдет за один оборот в два раза большее расстояние $2 \cdot \pi \cdot D$. Значит скорость ленты в системе отсчета плота по модулю равна $2V$.

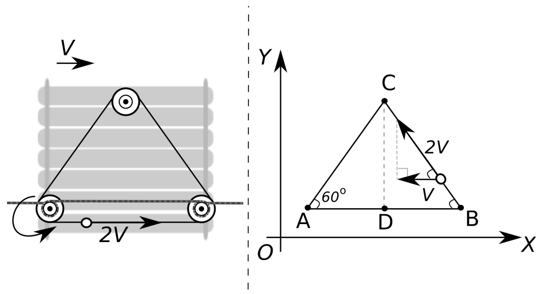


Рис. 6.1

Найдем проекцию скорости лампы на ось OX в системе отсчета плота при движении лампы по стороне BC (см. Рис. 6.1). В равностороннем треугольнике ABC все углы составляют $60°$. Горизонтальная проекция скорости на ось OX является катетом прямоугольного треугольника прилежащего к углу к $60°$. Таким образом, проекция равна половине гипотенузы и направлен против движения $V_x = -V$. При движении по CA аналогично, как для стороны BC, только скорость по оси OY поменяет направление.

Для перехода в систему отсчета земли и неподвижного воздушного шара, к составляющей скорости по оси OX нужно прибавить V. Когда лампа движется по стороне AB, относительно земли она движется вдоль оси OX со скоростью $3 \cdot V$. Когда она движется по сторонам BC и CD вдоль оси OX скорость равна нулю, и лампа движется вверх и вниз по OY, соответственно.

Длина стороны AB составят треть общей длины ленты и равна 10 м. Из рассмотрения движения относительно плота получаем, что по AB лампа движется в течение времени $t_{AB} = 10/(2 \cdot V)$. Значит в системе отсчета земли она пройдет $l = 3 \cdot V/t_{ab} = 15$ м. Так как размеры барабанов пренебрежимо малы, когда лампа движется по BC и CD перемещение по оси OX равно нулю. По оси OY в это время она сначала проходит вверх, а затем вниз расстояние равное высоте CD треугольника ABC ($CD = 5\sqrt{3}$ м см. Рис. 6.1). Таким образом картинка на фотоснимке будет состоять из горизонтальных и вертикальных линий (см. Рис. 6.2).

Плот проходит путь равный расстоянию между берегами за вычетом удвоенной длины стороны AB, так как сам имеет какой-то размер причалив к берегу, $L_{\Pi} = 300 - AB = 290$ м. В системе отсчета плота лампа пройдет в два раза больший путь равный $L_{\Lambda} = 580$ м, так как модуль ее скорости всегда $2V$. Число оборотов, которые сделает лампа мы можем получить поделив пройденный ею путь на общую длину ленты – $N = L_{\Lambda}/30 = 19$ целых оборота и $1/3$ оборота. Через одну треть оборота с начального положения лампа будет на середине стороны BC, причем двигаться перед этим в системе отсчета аэростата она будет вверх. Таким образом на изображении будут видны 19 вертикальных линии, а последняя линия будет в два раза короче, чем остальные линии.

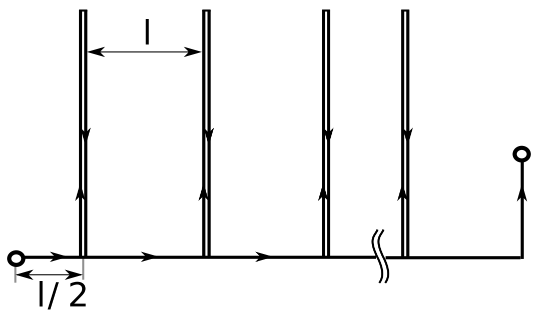
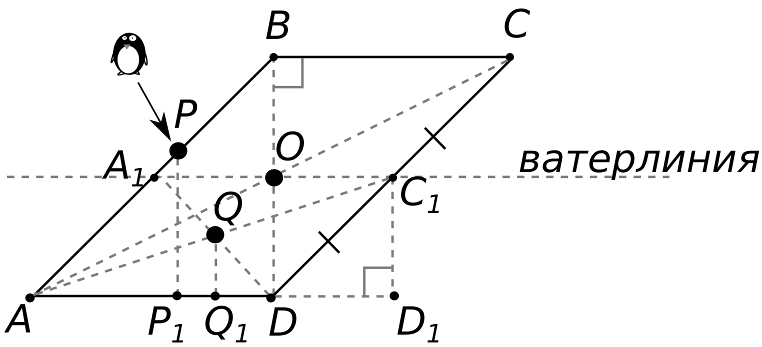


Рис. 6.2

- **1 балл** Найдены проекции скоростей лампы на разных сторонах треугольника в СО плота
- **1 балла** Найдены скорости в СО земли, нарисована картинка
- **1 балла** Правильно найдено количество линий

Задача 7.



Желаемая конфигурация с вертикальной стороной BD изображена на рисунке (вид сбоку). Очевидно, что пингвинчику нужно выбрать точку на грани $ABFE$, причем посередине между сторонами AB и EF, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать плоскую задачу, только смотря на вид сбоку.

По условию вместе с сидящим пингвинчиком кусок пенопласта будет погружен на половину своего объема. На рисунке это соответствует тому, что погружена часть AA_1C_1D, причем, $DC_1 = C_1C$. Центр тяжести кустка пенопласта находится на пересечении диагоналей параллелограмма $ABCD$ в точке O. С другой стороны центр плавучести (точка приложения силы Архимеда) находится на пересечении диагоналей параллелограмма AA_1C_1D в точке Q на рисунке. К точке O приложена сила тяжести, направленная вниз, а к точке Q – сила Архимеда, действующая вверх. Эти силы стремятся вращать кусок пенопласта, соответственно пингвинчик должен сесть так, чтобы скомпенсировать это вращение. Тогда, считая центром вращения точку Q, по правилу рычага произведение силы тяжести пингвинчика $m_\Pi g$ на плечо P_1Q_1 должно быть равно произведению силы тяжести пенопласта Mg на ее плечо Q_1D, сокращая на g получим

$$P_1Q_1 \cdot m_\Pi = Q_1D \cdot M.$$

Для того чтобы найти Q_1D рассмотрим треугольник AC_1D_1. Заметим, что $C_1D_1 = OD$, в свою очередь $OD = BD/2$, по условию $BD = BC = 2$ м. Таим образом $C_1D_1 = 1$ м. Треугольник DD_1C_1 – равносторонний, а значит $DD_1 = C_1D_1 = 1$ м, откуда $AD_1 = AD + DD_1 = 3$ м. Треугольники AC_1D_1 и AQQ_1 подобны по трем углам, значит $AQ_1/AD_1 = AQ/AC_1$. Точка Q является пересечением диагоналей параллелограмма AA_1C_1D, а значит делит диагональ AC_1 пополам. Тогда получаем $AQ_1 = AD_1/2 = 1,5$ м. Отсюда $Q_1D = AD - AQ_1 = 0,5$ м. Воспользовавшись правилом рычага получаем

$$P_1Q_1 = Q_1D \cdot \frac{9}{13,5} = \frac{1}{3}.$$

Далее несложно найти $AP_1 = 7/6$, далее из теоремы Пифагора находим $AP = \frac{7\sqrt{2}}{6}$.

- **1 балла** Найдены центр тяжести и центр плавучести
- **1 балла** Записано правило рычага для сил, действующих на кусок пенопласта
- **1 балла** При помощи геометрических соотношений найден ответ