Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап
2024-2025 учебный год

10 класс

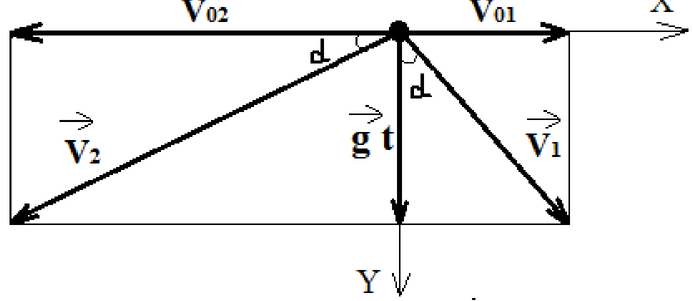
Время выполнения - 3 часа 50 минут (230 минут)
Максимальное количество баллов – _50_

Задача 1. «Две частицы» (10 баллов). Из одной точки горизонтально в противоположных направлениях одновременно вылетают две частицы с начальными скоростями ϑ_{01} = 1 м/с и ϑ_{02} = 3 м/с. Через какое время угол между скоростями частиц станет равным 90^0? Ускорение свободного падения принять равным g = 10 м/с^2.

Задача 1. «Две частицы». Решение.

Способ 1. Введем систему координат в плоскости движения частиц. Её начало поместим в точку вылета, ось X направим горизонтально вдоль вектора скорости $\overrightarrow{\vartheta_{01}}$, а ось Y – вниз. Тогда через время t проекции вектора скорости первой частицы $\overrightarrow{\vartheta_1}$ на оси координат будут равны: $\vartheta_{1x} = \vartheta_{01}$; $\vartheta_{1y} = gt$. Проекции вектора скорости второй частицы $\overrightarrow{\vartheta_2}$ на оси координат будут равны: ϑ_{2x} = - ϑ_{02}, $\vartheta_{2y} = gt$. Используем понятие скалярного произведения двух векторов. С одной стороны $(\vec{\vartheta}_1 \cdot \vec{\vartheta}_2) = \vartheta_1\vartheta_2 cos\alpha = 0$, т.к. угол α = 90^0, а с другой $(\vec{\vartheta}_1 \cdot \vec{\vartheta}_2) = \vartheta_{1x}\vartheta_{2x} + \vartheta_{1y}\vartheta_{2y} = -\vartheta_{01}\vartheta_{02} + g^2t^2$. Решая совместно эти два уравнения, получим $t = \frac{\sqrt{\vartheta_{01}\vartheta_{02}}}{g} = \frac{\sqrt{3}}{10} \approx 0{,}17c$.

Способ 2. Сделаем рисунок. Введем систему координат в плоскости движения частиц. Её начало поместим в точку вылета, ось X направим горизонтально вдоль вектора скорости $\overrightarrow{\vartheta_{01}}$, а ось Y – вниз. Через время t векторы скорости первой частицы $\overrightarrow{\vartheta_1}$ и второй $\overrightarrow{\vartheta_2}$ изменят свою величину и направление, будут составлять некоторые углы с осью OX, а между собой угол 90^0. Сделаем параллельный перенос векторов $\overrightarrow{\vartheta_1}$ и $\overrightarrow{\vartheta_2}$ в начало координат. Используем геометрический способ решения.



Выразим тангенс угла α из одного прямоугольного треугольника $tg\alpha = \frac{\vartheta_{01}}{gt}$ и другого $tg\alpha = \frac{gt}{\vartheta_{02}}$. Разделим одно выражение на другое $1 = \frac{g^2t^2}{\vartheta_{02}\vartheta_{01}}$, отсюда $t = \frac{\sqrt{\vartheta_{01}\vartheta_{02}}}{g} = \frac{\sqrt{3}}{10} \approx 0{,}17$ с.

Критерии проверки:

Способ 1.

1. Введена система координат и найдены проекции векторов скорости через время t на оси координат – 3 балла.
2. Записано скалярное произведение векторов скорости через их проекции на оси координат – 2 балла.
3. Указано, что скалярное произведение равно 0 и составлено уравнение – 2 балла.
4. Получено выражение для времени – 2 балла.
5. Проведено вычисление времени – 1 балл.

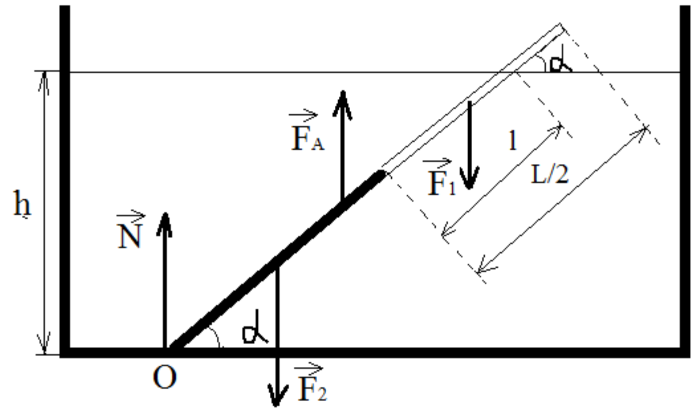
Способ 2.

1. Введена система координат, сделан правильный рисунок, найдены проекции векторов скорости через время t на оси координат – 3 балла.
2. Выбраны два прямоугольных треугольника с одинаковым углом, выражены тангенсы этого угла в выбранных треугольниках – 3 балла.
3. Получено уравнение, из которого найдено выражение для времени – 3 балла.
4. Проведено вычисление времени – 1 балл.

При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.

Задача 2. «Поднимающийся стержень» (10 баллов). На дне бассейна лежит тонкий стержень длиной L=2 м, состоящий из двух половин с одинаковыми площадями поперечного сечения и плотностями ρ_1 = 0,5 г/см^3 и ρ_2 = 2,0 г/см^3. В бассейн медленно наливают воду плотностью ρ_0 = 1,0 г/см^3. При какой глубине h воды в бассейне стержень будет составлять с поверхностью воды угол α = 30^0? При какой минимальной глубине h_1 воды он будет стоять на дне бассейна в вертикальном положении?

Задача 2. «Поднимающийся стержень». Решение. Средняя плотность стержня $\frac{(\rho_1+\rho_2)}{2} = 1{,}25$ г/см^3 больше плотности воды ρ_0 = 1,0 г/см^3, поэтому плавать он не будет, и после добавления воды в бассейн будет опираться более тяжёлым концом на дно. Тяжёлая половина будет полностью в воде, а лёгкая может быть погружена лишь частично (обозначим её l), площадь поперечного сечения стержня– S. Силы, действующие на стержень: N – сила реакции опоры, $F_1 = (1/2)LS\rho_1 g$ и $F_2 = (1/2)LS\rho_2 g$ – силы тяжести, действующие на лёгкую и тяжёлую половины стержня соответственно, $F_A = S\rho_0 g(L/2+l)$ – сила Архимеда. Силы тяжести приложены к серединам соответствующих половин стержней, сила Архимеда приложена к середине погруженной части стержня.



Запишем условие равновесия для стержня – сумма моментов всех сил должна быть равна нулю. Выберем ось вращения, проходящую через точку О перпендикулярно плоскости рисунка и запишем моменты всех сил относительно этой оси: $M_N = 0$; $M_{F2} = \frac{LS\rho_2 g}{2}\cdot\frac{Lcos\alpha}{4}$; $M_{F1} = \frac{LS\rho_1 g}{2}\cdot\frac{3Lcos\alpha}{4}$;

$$M_{FA} = -\rho_0 g S\left(\frac{L}{2}+l\right)\cdot\frac{\left(\frac{L}{2}+l\right)}{2}cos\alpha.$$

Составим уравнение: $\frac{LS\rho_1 g}{2}\cdot\frac{3Lcos\alpha}{4} + \frac{LS\rho_2 g}{2}\cdot\frac{Lcos\alpha}{4} - \rho_0 g S\left(\frac{L}{2}+l\right)\cdot\frac{\left(\frac{L}{2}+l\right)}{2}cos\alpha = 0$ и выразим из него $\left(\frac{L}{2}+l\right) = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{3\rho_1+\rho_2}{\rho_0}}$. Найдём глубину бассейна

$h = \left(\frac{L}{2}+l\right)sin\alpha = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{3\rho_1+\rho_2}{\rho_0}}\sin\alpha$. Подставляя данные получим $h \approx 0{,}94$ м. Найдем глубину h_1, при которой стержень будет стоять вертикально:

$h_1 = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{3\rho_1+\rho_2}{\rho_0}}\sin 90^0 \approx 1{,}88$ м.

Критерии проверки:

1. Обосновано расположение стержня в бассейне при добавлении воды –1 балл
2. Сделан рисунок и указаны все силы, действующие на стержень – 1 балл
3. Выбрана ось вращения и найдены моменты всех сил относительно этой оси – 2 балла
4. Использовано условие равновесия для стержня и составлено уравнение – 2 балла
5. Записано выражение для глубины воды – 1 балл
6. Решено уравнение и получен числовой ответ для глубины воды – 2 балла
7. Найдена глубина воды, при которой стержень расположится вертикально – 1 балл.

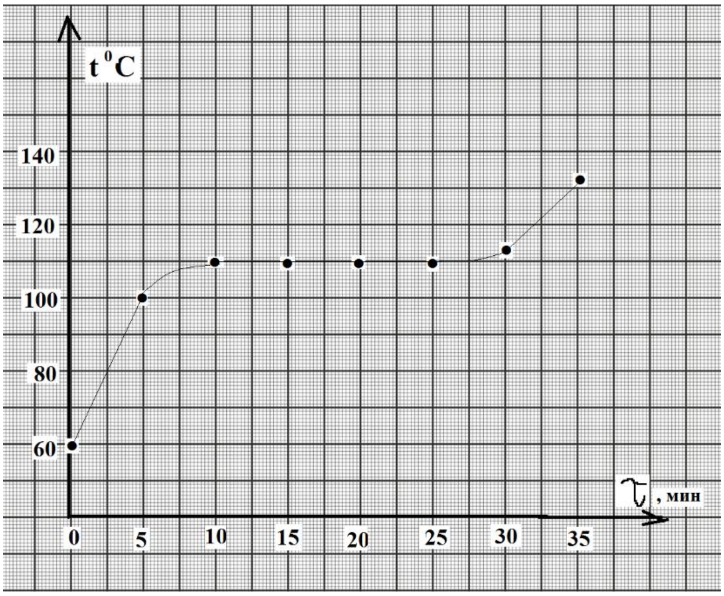
При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.

Задача 3. «Эксперимент» (10 баллов). Для выполнения задания школьникам должна быть выдана миллиметровая бумага!!! Некоторое количество вещества нагревают, поддерживая мощность нагревателя неизменной, и записывают в таблицу температуру в фиксированные моменты времени:

τ, *мин*	0	5	10	15	20	25	30	35
$t, ^0C$	60	100	110	110	110	110	112	132

Известна удельная теплоемкость вещества в твердом состоянии: $c = 1000$ *Дж/(кг·К)*. Построить график, найти по данным эксперимента удельную теплоёмкость вещества в жидком состоянии и удельную теплоту плавления.

Задача 3. «Эксперимент». Решение.



В интервале времени *0-5 мин* вещество в твердом состоянии нагревается, вся энергия нагревателя идёт на увеличение температуры вещества: $P(\tau_2 - \tau_1) = mc(t_2^0 - t_1^0)$. Выразим неизвестные величины $\frac{P}{m} = c\frac{(t_2^0 - t_1^0)}{(\tau_2 - \tau_1)} = 1000\frac{(100-60)}{(5-0)\cdot 60} = \frac{400}{3}\frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$. В интервале *5-10 мин* переходный процесс, а в промежутке *10-25 мин* температура вещества не меняется, идёт процесс плавления: $P(\tau_6 - \tau_3) = m\lambda$. Найдем удельную теплоту плавления $\lambda = \frac{P(\tau_6 - \tau_3)}{m} = \frac{400\cdot(25-10)\cdot 60}{3} = 120\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. В интервале 2*5-30 мин* переходный процесс, а в промежутке *30-35 мин* расплавленное вещество нагревается в жидком состоянии, можно найти удельную теплоемкость в жидком состоянии: $P(\tau_8 - \tau_7) = mc_ж(t_8^0 - t_7^0)$. Выразим $c_ж = \frac{P(\tau_8 - \tau_7)}{m(t_8^0 - t_7^0)} = \frac{400(35-30)\cdot 60}{3(132-112)} = 2\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

Критерии проверки:

1. Построен график зависимости температуры от времени, описаны все процессы, происходящие с веществом при нагревании – 3 балла.
2. Записано уравнение для нагревания вещества в твердом состоянии и найдено соотношение между мощностью нагревателя и массой вещества (не заданы в условии задачи) – 3 балла.
3. Записано уравнение для плавления вещества и найдена удельная теплота плавления – 2 балла.
4. Записано уравнение для нагревания вещества в жидком состоянии и найдена удельная теплоемкость вещества в жидком состоянии – 2 балла

При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.

Задача 4. «Чайник» (10 баллов). При проверке работы электрического чайника мощностью 550 Вт оказалось, что вода в нём нагревается почти до

100 ^{0}С, но не закипает. Когда чайник подключили к сети с напряжением в 2 раза больше, вода закипела. Чайник рассчитан на 1,5 литра воды и заполнен полностью. За какое время вода в чайнике выкипит наполовину? Удельная теплота парообразования воды равна 2,3 МДж/кг.

Задача 4. «Чайник». Решение. Вода нагревается почти до 100 ^{0}С, но не закипает. Это означает, что мощность нагревателя становится равной интенсивности теплообмена с окружающей средой, которая зависит от площади поверхности, через которую происходит теплообмен, и разности температур нагретого тела и окружающей среды. Поскольку в обоих случаях чайник прогрет до 100 ^{0}С, то мощность тепловых потерь одинакова и равна 550 Вт. При подключении к напряжению в два раза больше мощность нагревателя увеличивается в 4 раза. Используя закон сохранения энергии получаем уравнение: $4Pt = Pt + \frac{1}{2}M\lambda$. Решая уравнение находим время выкипания воды $t = \frac{\lambda M}{6P} = \frac{2{,}3\cdot 10^6\cdot 1{,}5}{6\cdot 550} = 1100\text{ с} \approx 18{,}3\text{ мин}.$

Критерии проверки:

1. Указано почему вода не закипает– 2 балла.
2. Указано, что при увеличении напряжения в два раза, мощность увеличится в четыре – 2 балла.
3. Составлено уравнение на основе закона сохранения энергии – 3 балла.
4. Получено выражение для времени выкипания – 2 балла.
5. Получен числовой ответ – 1 балл.

При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.

Задача 5. «Стеклоподъёмник» (10 баллов). При включении электродвигателя стеклоподъемника одной двери автомобиля стекло поднимается из нижнего в верхнее положение за время t_1. Если включить одновременно два стеклоподъемника, то стекла поднимутся за время t_2 ($t_2 > t_1$).

1) За какое время t_3 поднимутся три стекла автомобиля при одновременной работе трёх стеклоподъёмников?

2) За какое время t_4 поднимутся все четыре стекла автомобиля при одновременной работе всех четырёх стеклоподъёмников?

Электродвигатели стеклоподъемников подключаются параллельно.

Считайте, что сила, необходимая для подъема стекла, не зависит от скорости подъёма, а сила тяги мотора стеклоподъёмника пропорциональна силе тока, идущего через него $F = \beta I$, где β – коэффициент пропорциональности.

Задача 5. «Стеклоподъёмник». Решение. Закон сохранения энергии при работе одного стеклоподъёмника:

$$IUt_1 = I^2(r + R)t_1 + sF, \qquad (1)$$

где U – эдс аккумулятора, r – его внутреннее сопротивление, R – сопротивление обмотки электродвигателя, I – сила тока, создающая необходимую силу тяги F, s – перемещение стекла при подъёме.

При работе двух стеклоподъёмников сила тока, текущего через аккумулятор, в два раза больше и закон сохранения энергии выглядит так:

$$2IUt_2 = (2I)^2\left(r + \frac{R}{2}\right)t_2 + 2sF, \qquad (2)$$

Для трёх стеклоподъёмников:

$$3IUt_3 = (3I)^2\left(r + \frac{R}{3}\right)t_3 + 3sF, \qquad (3)$$

Для четырёх стеклоподъёмников:

$$4IUt_4 = (4I)^2\left(r + \frac{R}{4}\right)t_4 + 4sF, \qquad (4)$$

Для решения системы перейдем к уравнениям для мощностей, разделив каждое уравнение на соответствующее время:

$$IU = I^2(r + R) + \frac{sF}{t_1}, \qquad (5)$$

$$2IU = (2I)^2(r + R/2) + \frac{2sF}{t_2}, (6)$$

$3IU = (3I)^2(r + R/3) + \frac{3sF}{t_3}$, (7)

$4IU = (4I)^2(r + R/4) + \frac{4sF}{t_4}$, (8)

Вычитаем из уравнения (6), прежде сократив на 2 все слагаемые, уравнение (5) и получим:

$$0 = I^2 r + 0 + sF\left(\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1}\right) \qquad (1')$$

Вычитаем из уравнения (7), прежде сократив на 3 все слагаемые, уравнение (6) (сокращенное на 2) и получим:

$$0 = I^2 r + 0 + sF\left(\frac{1}{t_3} - \frac{1}{t_2}\right) \qquad (2')$$

Решая совместно (1') и (2') (например, вычитанием) получим:

$\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_3} = \frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2}$, откуда $t_3 = \frac{t_2 t_1}{2t_1 - t_2}$.

Аналогично находим $t_4 = \frac{t_2 t_1}{3t_1 - 2t_2}$

Критерии проверки:

1. Записан закон сохранения энергии при работе 1 стеклоподъёмника – 2 балла.
2. Записан закон сохранения энергии при работе 2-х, 3-х и 4-х стеклоподъёмников – 3 балла.
3. Решена система уравнений (1), (2) и (3) и найдено время для 3-х стеклоподъёмников – 3 балла.
4. Решена система уравнений (1), (2) и (4) и найдено время для 4-х стеклоподъёмников – 2 балла

При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.