

Ключи ответов

Решение каждой задачи оценивается целым числом баллов от 0 до 10.

В исключительных случаях допускаются оценки, кратные 0,5 балла.

Проверка работ осуществляется Жюри олимпиады согласно стандартной методике оценивания решений:

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
8-9	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение
6-7	Решение в целом верное, однако, содержит существенные ошибки (не физические, а математические)
5-6	Найдено решение одного из двух возможных случаев
3-4	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений не полна и невозможно найти решение
1-2	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0	Решение неверное, или отсутствует

Максимальный балл за работу – 50.

№ 1

Происшествия с игрушечным вертолетом

Однажды у вертолета заглох мотор, и он начал падать вертикально вниз с постоянной скоростью $v_1 = 4$ м/с. После ремонта мотор стал развивать постоянную силу тяги. Из-за этого, при вертикальном подъеме вертолет выходил на скорость $v_2 = 2$ м/с. С какой постоянной скоростью он двигался в горизонтальном полете? Считать силу сопротивления воздуха пропорциональной квадрату скорости. Вертолет считайте одинаково обтекаем во всех направлениях.

Решение:

По условию сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости, то есть задаётся формулой kv^2 . При свободном падении сила тяжести равна силе сопротивления:

$$mg = kv_1^2, \quad \text{откуда} \quad k = \frac{mg}{v_1^2}.$$

Обозначим силу тяги мотора после ремонта F_T . При вертикальном взлёте сила тяги равна сумме силы тяжести и силы сопротивления:

$$F_T = mg + kv_2^2 = mg \left(1 + \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right).$$

При горизонтальном полёте сила тяги компенсирует силу тяжести, направленную вертикально и силу сопротивления, направленную горизонтально:

$$F_T = (mg)^2 + (kv_3^2)^2 = (mg)^2 \left(1 + \left(\frac{v_3}{v_1} \right)^4 \right)$$

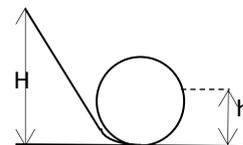
Решая два уравнения в системе получен ответ: $v_3 = 3,46$ м/с

Примерные критерии оценивания

За второй закон Ньютона для свободного падения	2 балла
Выражена сила тяги при вертикальном взлёте	3 балла
Выражена сила тяги при горизонтальном полёте	3 балла
Получен ответ в символьной форме	1 балл
Числовой ответ	1 балл

№ 2 Мертвая петля.

Гладкая горка плавно переходит в мертвую петлю радиуса R . Тело начинает движение с высоты H . Вывести, как зависит в процессе движения сила давления тела на петлю от h - высоты поднятия тела над нижней точкой? Найти на какой высоте сила давления будет равна по величине силе тяжести тела, если $H = 2,85R$?



Решение:

1. Сила давления тела на петлю по третьему закону Ньютона равна силе реакции опоры.

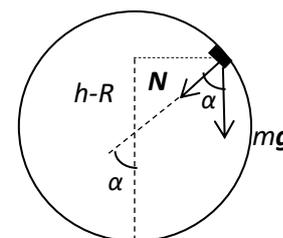
2. Второй закон Ньютона в проекции на нормальное ускорение: $N + mg \cos \alpha = m \frac{v^2}{R}$

3. Из рисунка видно: $\cos \alpha = \frac{h-R}{R}$

4. По закону сохранения энергии: $mg(H - h) = \frac{mv^2}{2}$

5. Объединяя три выражения, находим: $F_{\partial} = N = \frac{mg}{R}(2H + R - 3h)$

6. При подстановке чисел получим второй ответ: $F_{\partial} = mg$ при $h = 1,9R$



Критерии оценивания решения:

За пункт 1 - **1 балл**;

За пункт 2 - **2 балла**;

За пункт 3 - **1 балл**;

За пункт 4 - **2 балла**;

За пункт 5 - **3 балла**;

Получены второй ответ задачи - **1 балл**.

№ 3

Чёрный ящик

Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд разделен на две части подвижным поршнем. В обеих частях сосуда содержится один и тот же идеальный газ. Расстояние между поршнем и дном сосуда h_1 . Сосуд переворачивают так, что дном становится его верхняя плоскость. В новом положении расстояние между дном сосуда и поршнем составляет h_2 . Найти отношение α массы газа, содержавшегося в той части сосуда, которая первоначально находилась сверху, к массе газа, содержавшегося в другой части сосуда. Высота сосуда H . Температуру считать постоянной, толщиной поршня пренебречь.

Решение:

Обозначим через m_1, p_{01} и m_2, p_{02} массы и давления газа, содержащегося соответственно в нижней и верхней частях сосуда в его начальном положении, S – площадь поршня. По условию $m_2 = \alpha m_1$

1. Уравнения состояния газов в нижней и верхней частях сосуда: $p_{01} = \frac{m_1 RT}{\mu h_1 S}$; $p_{02} = \frac{\alpha m_1 RT}{\mu (H - h_1) S}$

2. Уравнения состояния газов в нижней и верхней частях сосуда после переворачивания:

$$p_1 = \frac{m_1 RT}{\mu(H-h_2)S}; \quad p_2 = \frac{\alpha m_1 RT}{\mu h_2 S}.$$

3. Условие равновесия поршня: $p_{01} - p_{02} = p_2 - p_1$.

4. Подставляя сюда найденные выше давления, получаем равенство: $\frac{1}{h_1} - \frac{\alpha}{H-h_1} = \frac{\alpha}{h_2} - \frac{1}{H-h_2}$

5. Отсюда: $\alpha = \frac{m_2}{m_1} = \frac{(H-h_2+h_1)(H-h_1)h_2}{(H-h_1+h_2)(H-h_2)h_1}$

Критерии оценивания решения:

За пункт 1 - 2 балла;

За пункт 2 - 2 балла;

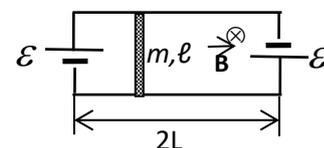
За пункт 3 - 3 балла;

За пункт 4 - 1 балл;

Получен ответ задачи - 2 балла.

№ 4 Колебания переключки.

Параллельные рельсы длиной $2L$ закреплены на горизонтальной плоскости на расстоянии ℓ друг от друга. К их концам подсоединены две одинаковые батареи с ЭДС ε (см. рисунок). На рельсах лежит переключка массой m , которая может поступательно скользить вдоль них. Вся система помещена в однородное вертикальное магнитное поле с индукцией B .



Считая, что сопротивление переключки мало, а сопротивление единицы длины каждого из рельсов равно ρ , найдите период T малых колебаний, возникающих при смещении переключки от положения равновесия, пренебрегая затуханием, внутренним сопротивлением источников, сопротивлением контактов, а также индуктивностью цепи.

Решение:

Введем обозначения (см. рис.).

1. Положение равновесия переключки – середина рельсов, в силу симметрии ток через неё не идет.

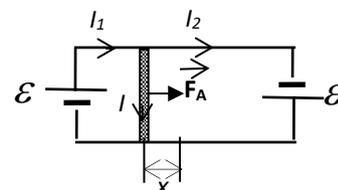
2. Отклоним переключку на малое расстояние x от середины рельсов. И запишем:

$$\varepsilon = I_1 2\rho(L-x) + IR; \quad \varepsilon = I_2 2\rho(L+x) - IR; \quad I_1 = I + I_2$$

3. Решая систему уравнений, находим: $I = \frac{\varepsilon}{L(\rho L+R)} x$

4. Тогда при движении на переключку действует сила Ампера, пропорциональная смещению из положения равновесия и направленная к нему $F_A = I\ell B = \frac{\varepsilon \ell B}{L(\rho L+R)} x$

5. Из уравнения движения находим частоту и затем период колебаний: $T = 2\pi \sqrt{\frac{mL(\rho L+R)}{\varepsilon \ell B}}$



Критерии оценивания решения:

За пункт 1 - 1 балл;

За пункт 2 - 5 баллов;

За пункт 3 - 2 балла;

За пункт 4 - 1 балл;

Получен ответ задачи - 1 балл.

№ 5

Движение заряженной частицы.

В пространство, где созданы однородные параллельные электрическое и магнитное поля, влетает заряженная частица. Заряд и масса её - q и m соответственно. Начальная скорость частицы v_0 перпендикулярна векторам \mathbf{E} и \mathbf{B} . Через какое время Δt скорость частицы увеличится в $n = 1,5$ раза?

Решение.

1. Сила Лоренца направлена всегда перпендикулярно скорости частицы и поэтому работы не производит. Следовательно, перпендикулярная к полям составляющая скорости частицы остаётся постоянной и равной v_0 .
2. Электрическое поле будет действовать на частицу вдоль вектора \mathbf{E} и увеличивать продольную составляющую скорости: $v_{||} = at = \frac{qE}{m}t$.
3. Величина скорости: $v^2 = v_0^2 + \frac{q^2 E^2}{m^2} t^2$.
4. Искомое время: $\Delta t = \frac{\sqrt{1,25}mv_0}{qE}$.

Критерии оценивания решения:

- За пункт 1 - **3 балла**;
- За пункт 2 - **3 балла**;
- За пункт 3 - **2 балла**;
- За пункт 4 - **2 балла**;