Ключи муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по *физике*
2020-2021 учебный год
11 класс

*Продолжительность олимпиады: **230 минут**. Максимально возможное количество баллов: **50.***

Общие критерии оценок

Жюри олимпиады оценивает записи, приведенные в чистовике. Черновики не проверяются.

Правильный ответ, приведенный без обоснования или полученный из неправильных рассуждений, не учитывается. Если задача решена не полностью, то этапы ее решения оцениваются в соответствии с критериями оценок по данной задаче.

Решение задач без указаний физических закономерностей и явлений не засчитывается. Не должно быть пропущено логических действий в решении задач.

Если задача решена отличным от авторского способа, то решение оценивается согласно приведённых ниже критериев.

Критерии проверки:

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

Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника. Рекомендуется проверять сначала первую задачу во всех работах, затем вторую и т.д.

Все пометки в работе участника члены жюри делают только красными чернилами. Баллы за промежуточные выкладки ставятся около соответствующих мест в работе (это исключает пропуск отдельных пунктов из критериев оценок). Итоговая оценка за задачу ставится в конце решения. Кроме того, член жюри заносит её в таблицу (см. табл. 1) на первой странице работы и ставит свою подпись (с расшифровкой) под оценкой. В случае неверного решения необходимо находить и отмечать ошибку, которая к нему привела. Это позволит точнее оценить правильную часть решения и сэкономит время в случае апелляции.

Таблица 1

№ задания	Набранные баллы
1	
2	
3	
…	
ИТОГО	

1. (10 баллов)

Теплоход идет с постоянной скоростью υ мимо покоящегося катера, который находится на расстоянии l от курса теплохода. Когда расстояние между теплоходом и катером становится минимальным, катер с ускорением a начинает сближаться с курсом теплохода. На каком расстоянии x от теплохода катер пересечет его курс? Какую относительную скорость он будет при этом иметь?

Возможное решение

1) До точки пересечения с курсом теплохода катер пройдет за время t путь $l = \frac{at^2}{2}$ <2 балла>.

2) В момент начала движения катера теплоход находился в точке пересечения его будущей траектории с курсом теплохода и за время t он пройдет путь $s = \upsilon t = \upsilon\sqrt{\frac{2l}{a}}$, равный искомому расстоянию <3 балла>.

4) Скорость катера в момент, когда он пересечет курс теплохода, $\upsilon_1 = at$, и относительная скорость катера и теплохода $\upsilon_{отн} = \sqrt{\upsilon^2 + \upsilon_1^2}$ <2 балла>.

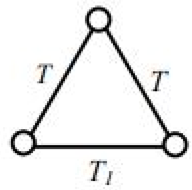
Ответ: $s = \upsilon\sqrt{\frac{2l}{a}}$, $\upsilon_{отн} = \sqrt{\upsilon^2 + 2la}$ <3 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение пути и времени движения катера	$l = \frac{at^2}{2}$	2
2	Определение расстояния от катера до теплохода в момент пересечения катером курса теплохода	$s = \upsilon t$	3
3	Определение относительной скорости в момент пересечение катером курса теплохода	$\upsilon_{отн} = \sqrt{\upsilon^2 + \upsilon_1^2}$	2
6	Получение ответа	$s = \upsilon\sqrt{\frac{2l}{a}}$, $\upsilon_{отн} = \sqrt{\upsilon^2 + 2la}$	3

2. (10 баллов)

Три одинаковых маленьких заряженных металлических шарика соединены непроводящими нитями, образующими правильный треугольник и находятся в равновесии. Силы натяжения двух нитей T, а третьей – T_1. Какими станут силы натяжения нитей, если шарики замкнуть между собой тонким проводником? Зарядом на проводнике пренебречь. Кроме сил натяжения нитей на шарики действуют только силы кулоновского взаимодействия между шариками.



Возможное решение

Предположим, что заряд верхнего шарика Q, нижних – q, а сторона треугольника a.

1) Баланс сил, действующих на шарик в вершине треугольника, дает $T = \frac{kQq}{a^2}$. <2 балла>.

2) Баланс этих же сил, действующих в направлении основания треугольника

$T_1 = \frac{kq^2}{a^2}$. 2 балла>.

3) После замыкания заряды шариков поделятся поровну и станут равны $q_1 = \frac{2q+Q}{3}$.

Из предыдущих уравнений $q = a\sqrt{\frac{T_1}{k}}; Q = \frac{aT}{\sqrt{kT_1}}$ и $q_1 = \frac{aT}{3\sqrt{kT_1}}(T+2T_1)$<2 балла>.

4) Все силы натяжения будут равны T_x, получаемой из условия баланса сил $T_x = \frac{kq_1^2}{a^2}$

<2 балла>.

Ответ: все силы $T_x = \frac{(T+2T_1)^2}{9T_1}$ <2 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Баланс сил, действующих на шарик в вершине треугольника	$T = \frac{kQq}{a^2}$.	2
2	Баланс сил, действующих на шарик при основании в направлении основания	$T_1 = \frac{kq^2}{a^2}$.	2
3	Определение зарядов после замыкания	$q_1 = \frac{2q+Q}{3}$, $q_1 = \frac{aT}{3\sqrt{kT_1}}(T+2T_1)$	2
4	Баланс сил после перераспределения зарядов	$T_x = \frac{kq_1^2}{a^2}$	2
5	Получение ответа	$T_x = \frac{(T+2T_1)^2}{9T_1}$	2

3. <u>(10 баллов</u>)

На дне водоема маленький легкий шарик с эластичной оболочкой наполнили воздухом до объема V_0. Давление воздуха P_0. К шарику привязана цепь длины *l* и массы *m*. Шарик отпустили, и он начал всплывать, затем остановился в равновесии на некоторой высоте. На каком расстоянии от дна он остановится? Температуру газа считать постоянной, плотность жидкости ρ, цепь настолько длинная, что при установлении равновесия шарика часть ее остается на дне. Действующей на цепь силой Архимеда пренебречь. Ускорение свободного падения *g*.

Возможное решение

1) Давление на высоте x над дном $P = P_0 - \rho g x$ <1 балл>.

2) Из закона Бойля-Мариотта на высоте x над дном объем шарика будет $V = V_0 P_0 / P = V_0 P_0 / (P_0 - \rho g x)$ <2 балла>.

3) В положении равновесия равны сила тяжести, действующая на вертикальный кусок цепи длины x и сила Архимеда, действующая на шарик и цепь. Получаем уравнение $\rho g V = \dfrac{mgx}{l} \Rightarrow \dfrac{\rho V_0 P_0}{P_0 - \rho g x} = \dfrac{mx}{l}$. Решая это квадратное уравнение, получаем для точек равновесия два значения - $x_{\min}$ и $x_{\max}$. <2 балла>

4) При малых x выталкивающая сила имеет значительную величину, а вес поднятой цепи пренебрежимо мал, суммарная действующая на шарик сила направлена вверх. При переходе через точку равновесия $x_{\min}$ знак силы меняется. Сила является возвращающей и равновесие вблизи $x_{\min}$ устойчивое. Равновесие вблизи $x_{\max}$ неустойчивое <3 балла>.

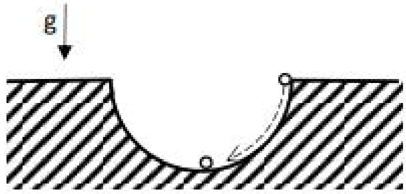
Ответ: $x_{\min} = \dfrac{P_0}{2\rho g}\left(1 - \sqrt{1 - \dfrac{4V_0\rho^2 g l}{mP_0}}\right)$ <2 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Давление на высоте x над дном	$P = P_0 - \rho g x$	1
2	Закона Бойля-Мариотта	$V = V_0 P_0 / P = V_0 P_0 / P_0 - \rho g x$	2
3	Условие механического равновесия	$\rho g V = \dfrac{mgx}{l} \Rightarrow \dfrac{\rho V_0 P_0}{P_0 - \rho g x} = \dfrac{mx}{l}$	2
4	Обоснование устойчивости ближайшей ко дну точки равновесия		3
5	Получение ответа	$x_{\min} = \dfrac{P_0}{2\rho g}\left(1 - \sqrt{1 - \dfrac{4V_0\rho^2 g l}{mP_0}}\right)$	2

4. <u>(10 баллов</u>)

Маленький шарик соскальзывает с края закрепленной полусферической лунки радиуса R на дне которой лежит второй шарик того же размера. После центрального упругого удара первоначально неподвижный шарик в процессе движения поднимается на высоту $2R$ над местом столкновения шариков. Трения нет. На какую максимальную высоту поднимется первый шарик?



Возможное решение

1) Налетающий шарик перед ударом имеет скорость $V = \sqrt{2gR}$ <1 балл>.

2) Так как второй шарик поднимается на высоту $2R$, его скорость после удара равна $V_2 = \sqrt{2 \cdot 2gR} = V\sqrt{2}$ <2 балла>.

3) Обозначим массу налетающего шарика M, второго шарика m, скорость налетающего шарика после удара u и запишем законы сохранения импульса и энергии при ударе

<3 балла>

$$MV = Mu + mV\sqrt{2},$$
$$MV^2/2 = Mu^2/2 + MV^2.$$

4) Решая систему из этих уравнения, получаем $u = V\left(\sqrt{2} - 1\right)$ <2 балла>.

5) Высота подъема первого шарика будет $h = \dfrac{u^2}{2g}$ <1 балл>.

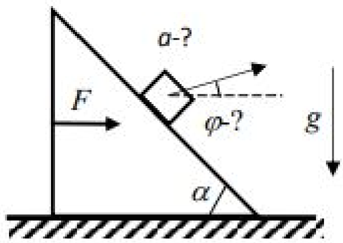
Ответ: $h = R\left(3 - 2\sqrt{2}\right)$ <1 балл>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Определение скорости налетающего шарика	$V = \sqrt{2gR}$	1
2	Определение скорости второго шарика после удара	$V_2 = \sqrt{2 \cdot 2gR} = V\sqrt{2}$	2
3	Законы сохранения импульса и энергии при ударе	$MV = Mu + mV\sqrt{2}$, $MV^2/2 = Mu^2/2 + MV^2$.	3
4	Определение скорости первого шарика после удара	$u = V\left(\sqrt{2} - 1\right)$	2
5	Высота подъема первого шарика в зависимости от ее скорости	$h = \dfrac{u^2}{2g}$	1
6	Получение ответа	$h = R\left(3 - 2\sqrt{2}\right)$	1

5. **<u>(10 баллов)</u>**

Невесомый клин находится на горизонтальной поверхности. На склоне клина находится тело массой m. Слева к клину приложена сила F. Трения нет. Найти ускорение тела. Какой угол с горизонтом составляет это ускорение? Ускорение свободного падения g. Склон клина составляет угол α к горизонту.



Возможное решение

1) Так как клин невесомый, то сумма действующих на него сил равна нулю. Значит, горизонтальная составляющая реакции опоры тела на клин компенсирует силу F:

$N sin\alpha = F$ <2 балла>.

2) На тело действует реакция опоры и сила тяжести <1 балл>.

3) II закон Ньютона для тела, вертикальное направление: $ma_y = N \cdot cos\alpha - mg$ <2 балла>.

4) II закон Ньютона для тела, горизонтальное направление: $ma_x = N \cdot sin\alpha$ <2 балла>.

Ускорение тела $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{\left(\frac{F}{m \cdot sin\alpha}\right)^2 + g^2 - 2\frac{F}{m \cdot sin\alpha} g \cdot cos\alpha}$, угол с горизонтом находим через выражение $tg\varphi = \frac{a_y}{a_x} = \frac{F \cdot cos\alpha - mg \cdot sin\alpha}{F \cdot sin\alpha}$.

Ответ: $a = \sqrt{\left(\frac{F}{m \cdot sin\alpha}\right)^2 + g^2 - 2\frac{F}{m \cdot sin\alpha} g \cdot cos\alpha}$, $tg\varphi = \frac{F \cdot cos\alpha - mg \cdot sin\alpha}{F \cdot sin\alpha}$ <3 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	II закон Ньютона для бруска	$N sin\alpha = F$	2
2	Указание сил, действующих на тело		1
3	II закон Ньютона для тела, вертикальное направление	$ma_y = N \cdot cos\alpha - mg$	2
4	II закон Ньютона для тела, горизонтальное направление	$ma_x = N \cdot sin\alpha$	2
5	Получение ответа	$a = \sqrt{\left(\frac{F}{m \cdot sin\alpha}\right)^2 + g^2 - 2\frac{F}{m \cdot sin\alpha} g \cdot cos\alpha}$, $tg\varphi = \frac{F \cdot cos\alpha - mg \cdot sin\alpha}{F \cdot sin\alpha}$	3