

Всероссийская олимпиада школьников 2021-2022

физика (муниципальный этап)

Калининград,

10 класс

Общее время выполнения работы – **3 часа 50 минут**.

Максимальное количество баллов – **50 баллов**

При выполнении работы можно пользоваться непрограммируемым калькулятором.

ЗАДАЧА 1 (10 баллов)

На гладкой горизонтальной плоскости лежит неподвижно обруч массой m_1 и диаметром d . Внутри него по плоскости со скоростью v по направлению диаметра начинает двигаться без трения шайба массой m_2 .

Определить время между ударами шайбы в одну и ту же точку обруча. Размерами шайбы пренебречь, а удары считать абсолютно упругими.

РЕШЕНИЕ.

Из законов сохранения импульса и энергии при упругом центральном ударе двух тел

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 u_{1x} + m_2 u_{2x}, \quad (1)$$

$$\frac{m_1 v_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2x}^2}{2} = \frac{m_1 u_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 u_{2x}^2}{2} \quad (2)$$

легко получить, что $v_{1x} + u_{1x} = v_{2x} + u_{2x}$, где индекс x означает проекцию на направление между центрами тел, v , u - скорости до и после удара.

Откуда
$$v_{1x} - v_{2x} = -(u_{1x} - u_{2x}), \quad (3)$$

т.е. относительная скорость тел до и после удара по величине не меняется, меняется только ее направление.

Применяя этот вывод к рассматриваемому случаю и учитывая, что шайба между ударами в одну точку обруча проходит относительно него расстояние $2l$, а ее относительная скорость v постоянна, имеем $t = \frac{2l}{v}$.

ОТВЕТ: $t = \frac{2l}{v}$

Критерии оценивания задачи № 1:

1	Записаны уравнения закона сохранения импульса и энергии	3
2	Получено соотношение между скоростями (4)	2
3	Сделан вывод постоянства величины относительных скоростей	3
4	Получено выражение времени движения	2

ЗАДАЧА 2. (10 баллов)

В некоторый момент времени несжимаемому телу, находящемуся глубоко под поверхностью воды и далеко от дна водоема, сообщили скорость v_0 в направлении вертикально вниз. Плотность воды – ρ_0 ; плотность тела – ρ . Какой путь пройдет тело за время t от начала движения, если трением о жидкость можно пренебречь?

РЕШЕНИЕ.

Если $\rho_0 \leq \rho$, то тело будет безостановочно погружаться с ускорением

$$a = g \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right). \quad (1)$$

За время t оно погрузится на глубину $S = v_0 t + \frac{gt^2}{2} \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right)$. (2)

Если $\rho_0 > \rho$, то тело вначале будет погружаться, а затем всплывать. Время погружения в этом случае равно $\tau = \frac{v_0}{g \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)}$. (3)

Если $t \leq \tau$, глубина погружения составит $S = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)$. (4)

Если $t > \tau$, то путь, пройденный телом от начала движения,

$$S = \frac{v_0^2}{2g \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)} + \frac{g}{2} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right) (t - \tau)^2. \quad (5)$$

ОТВЕТ: 1) $S = v_0 t + \frac{gt^2}{2} \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)$

2) $S = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)$

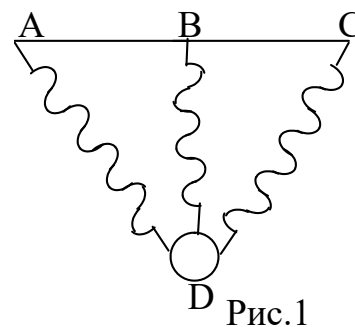
3) $S = \frac{v_0^2}{2g \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)} + \frac{g}{2} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right) (t - \tau)^2$

Критерии оценивания задачи № 2:

1	Найдено ускорение (1)	2
2	Определена глубина погружения (2)	2
3	Найдена глубина погружения (4)	3
4	Найдена глубина погружения (5)	3

ЗАДАЧА 3. (10 баллов)

Грузик подвешен в точке D на трех одинаковых пружинах, закрепленных на горизонтальной линии в точках A, B, C, причем расстояние AB равно длине недеформированной пружины (рис.1). В положении равновесия $\angle ADB = \angle BDC = 30^\circ$. Внезапно пружина АД разорвалась. Найти модуль и направление ускорение грузика сразу после разрыва. Массой пружины пренебречь.



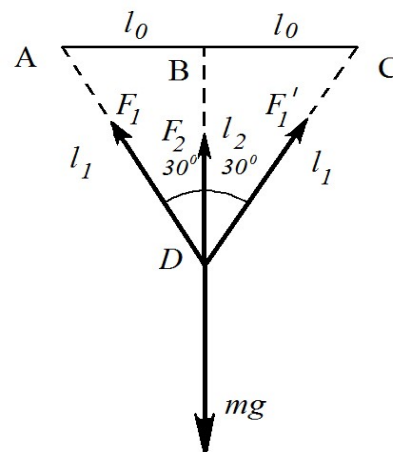
РЕШЕНИЕ

Пусть модули сил натяжения пружин AD и CD равны F_1 , а модуль силы натяжения пружины BD равен F_2 . Условие равновесия по вертикали дает

$$\frac{2F_1\sqrt{3}}{2} + F_2 = mg. \quad (1)$$

По закону Гука имеем

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{k(l_1 - l_0)}{k(l_2 - l_0)} = \frac{l_0}{(\sqrt{3} - 1)l_0}, \quad (2)$$



т.е. $F_2 = (\sqrt{3} - 1)F_1$, $l_1 = 2l_0$, $l_2 = \sqrt{3}l_0$.

Так как после разрыва пружины AD сила ее натяжения обратилась в нуль, то сила, действующая на грузик, стала $-F_1$.

Из (1) находим

$$\sqrt{3}F_1 + (\sqrt{3} - 1)F_1 = mg, \text{ т.е. } F_1 = \frac{mg}{(2\sqrt{3} - 1)}; \quad (3)$$

Отсюда

$$a = -\frac{F_1}{m}, \quad |a| = \frac{g}{(2\sqrt{3} - 1)}. \quad (4)$$

ОТВЕТ: $|a| = \frac{g}{(2\sqrt{3} - 1)}$.

Критерии оценивания задачи № 3:

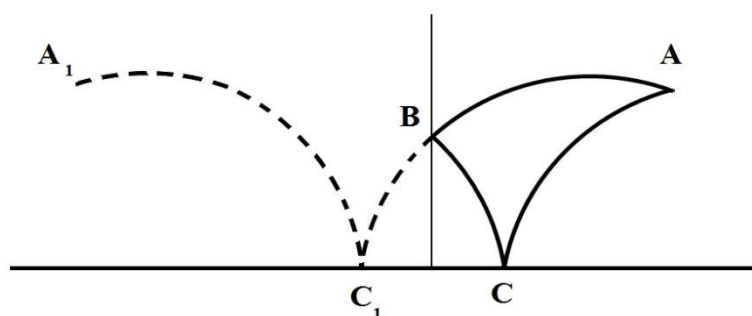
1	Записано условие равновесия (1)	2
2	Найдено соотношение сил и длин пружин до разрыва (2)	3
3	Получено значение силы (3)	3
4	Получено значение ускорения (4)	2

ЗАДАЧА 4. (10 баллов)

Спортсмен стоит на расстоянии 10 метров от вертикальной стены и кидает в неё мяч вытянутыми вверх руками. Мяч вылетает из его рук на высоте 2 метра над землей с начальной скоростью 15 м/с. Далее мяч сначала ударяется о стену, затем о пол и возвращается точно в руки спортсмена (по-прежнему вытянутые над головой), находясь на восходящем участке своей траектории. Определите скорость мяча непосредственно перед ударом о пол и угол, который составляет вектор скорости мяча с горизонтом в этот момент времени. Удары мяча о пол и стену считайте абсолютно упругими.

РЕШЕНИЕ.

На рисунке А-В-С-А – траектория полета мяча. Так как мяч отражается от стены абсолютно упруго, то участок



траектории В-С-А будет симметричен участку В-С₁-А₁ траектории, которую имел бы мяч, если бы стены не было.

Так как удар мяча о пол тоже абсолютно упругий, то участок траектории В-С₁ симметричен участку С₁-А₁ (в некоторой его части). Если перенести участок траектории А₁-С₁ правее, совместив точки А и А₁, то мы получим траекторию полета мяча С₁-В-А₁-А-С₁ с пола на пол (слева направо). Расстояние, которое он пролетает по такой траектории по горизонтали, равно 2L. Скорость мяча у пола можно найти из закона сохранения энергии:

$$mgh + \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2}$$

откуда $V_1 = 16,25$ м/с.

За время полета мяча от пола до пола его вертикальная проекция скорости меняется с $+V_1 \sin \beta$ до $-V_1 \sin \beta$. Тогда время полета $t = \frac{V_1 \sin \beta}{g}$. Дальность полета равна 2L. Отсюда

$$\sin(2\beta) = \frac{2Lg}{V_1^2} = 0,74. \text{ Отсюда } \beta = 24^\circ.$$

ОТВЕТ: $V_1 = 16,25$ м/с, $\beta = 24^\circ$.

Критерии оценивания задачи № 4:

1	Установлена симметричность участков траектории	2
2	Записано уравнение закона сохранения энергии и найдено V_1	3
3	Получены дальность полёта и время полёта	3
4	Найдено значение $\sin 2\beta$ и определено значение угла	2

ЗАДАЧА 5 (10 баллов)

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 (см. таблицу). Известно, что площадь сечения самого узкого (не факт, что самого нижнего) цилиндра $S = 10$ см². Постройте график зависимости $F_a(h)$ 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/с².

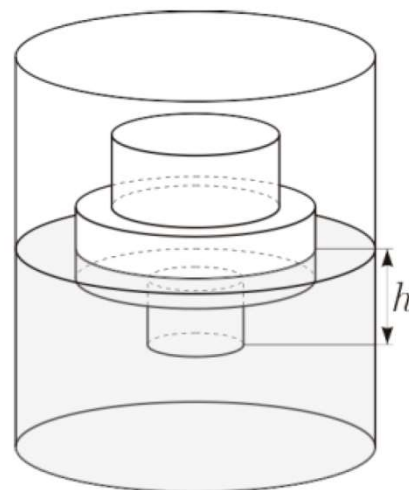
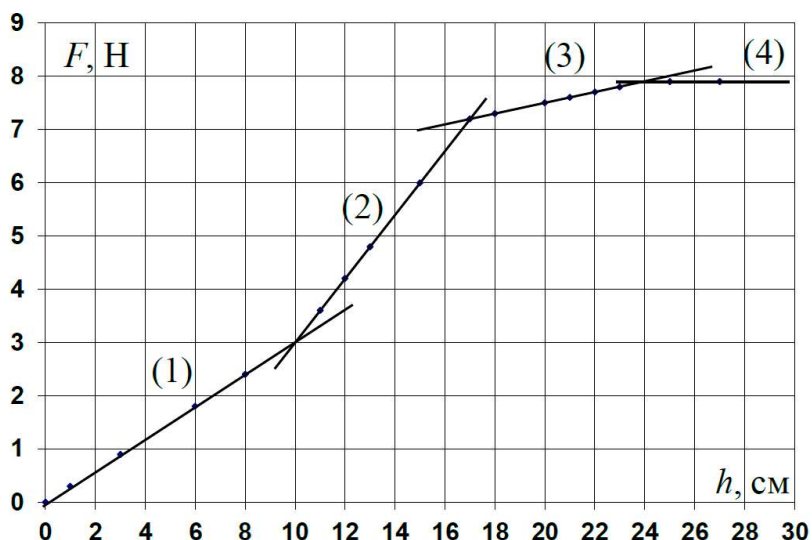


Таблица 1.

$h, \text{ см}$	0	1	3	6	8	11	12	13	15	17	18	20	21	22	23	25	27
$F_a, \text{ Н}$	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

РЕШЕНИЕ

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 $3S = 30 \text{ см}^2$. На втором участке угловой коэффициент наклона больше в 6 раз, а его площадь сечения $6S = 60 \text{ см}^2$. Высоты цилиндров 10 см, 7 см и 7 см соответственно. Плотность жидкости ρ можно определить, например, по третьему участку: $\rho = \Delta F / (Sg\Delta h) = 1000 \text{ кг/м}^3$.

ОТВЕТ: 1000 кг/м^3 .

Критерии оценивания задачи № 5:

1	Построен график	2
2	Методом экстраполяции найдено положение изломов	2
3	Определено положение самого узкого цилиндра	2
4	Найдено значение плотности	3