



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

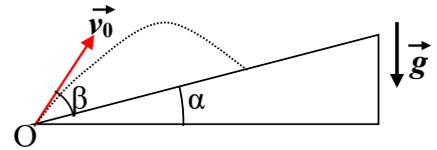
Профиль: «Физика»

Класс участия: 10

Вариант задания: 1

Задача 1.

Снежкомётная машина стоит в точке O у основания горки, наклоненной под углом α к горизонту. Из машины вылетают снежки, имеющие одинаковую начальную скорость v_0 (см. рисунок). Угол β , отсчитываемый от поверхности горки, под которым



вылетают снежки, может меняться. Оказалось, что когда $\beta = \beta_0 = 15^\circ$, снежки падают на горку максимально далеко на расстоянии $L_{\max} = 5,36$ м от точки O . Чему равны угол α наклона горки и начальная скорость v_0 снежков? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Ответ. $\alpha = 90^\circ - 2\beta_0 = 60^\circ$, $v_0 = \cos \alpha \sqrt{\frac{gL_{\max}}{1 - \sin \alpha}} = \sin(2\beta_0) \sqrt{\frac{gL_{\max}}{1 - \cos(2\beta_0)}} = 10$ м/с.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1	Записаны все формулы кинематики, необходимые для решения задачи	2
2	Получена формула для дальности L	1
3	При наличии верной формулы для дальности $L(\beta)$ проделаны необходимые преобразования, с целью получить максимальное значение функции $L(\beta)$. 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	3
4	Получен правильный ответ для угла наклона горки α	1
5	Получен правильный ответ для начальной скорости v_0 .	1
ИТОГО		8



Задача 2.

Объём некоторой порции кислорода увеличился на 2%, а абсолютная температура при этом увеличилась на 1%. На сколько процентов изменилось давление этой порции кислорода? Определите (в процентах) какая часть полученной кислородом теплоты перешла в работу? Удельная теплоемкость кислорода при постоянном объеме равна $c_V = 650$ Дж/кг·К. Масса порции кислорода остается постоянной, остальные параметры меняются монотонно.

Ответ. Давление уменьшилось на 1%, $\frac{A}{Q} = \frac{1}{1 + \frac{\mu c_V}{R} \cdot \frac{\Delta T/T}{\Delta V/V}} = 44,4\%$.

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 2		
№	Элемент решения	Баллы
1	Записаны уравнения, необходимые для определения p_2/p_1	1
2	Имеется правильный ответ на первый вопрос (давление уменьшилось на 1%)	1
3	Записано выражение для работы A газа	1
4	Записано выражение для ΔU через удельную теплоемкость c_V	1
5	Записано выражение для Q	1
6	При наличии всех верных формул проделаны необходимые преобразования и получено выражение для A/Q 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
7	Получен правильный числовой ответ для A/Q	1
ИТОГО		8



Задача 3.

Два космических тела, вследствие гравитационного взаимодействия между ними, движутся так, что расстояние между этими телами остается неизменным и равным L . Масса первого тела $m_1 = m$, а второго – $m_2 \ll m$. В другой части Вселенной найдены еще два космических тела массами $m_3 = m$ и $m_4 = 3m$, у которых также расстояние между ними при их движении остается неизменным и равным L . Чему равно отношение периодов вращения второго тела (из первой пары космических тел) и третьего тела (массой m_3 из второй пары). Считать, что размеры всех четырех космических тел малы, по сравнению с расстоянием L . Первая и вторая пары космических тел не содержат вблизи себя массивных космических объектов, гравитационное поле которых существенно влияло бы на движение рассматриваемых космических тел.

Ответ. $\frac{T_2}{T_3} = 2$.



Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 3		
№	Элемент решения	Баллы
1	Записана связь угловой скорости (линейной скорости) и периода	1
2	Записан второй закон Ньютона при движении по окружности под действием силы тяготения для первой пары косм. тел.	2
3	При наличии всех верных уравнений проделаны необходимые алгебраические преобразования для получения формулы для периода T_2 второго тела 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
4	Получена верная формула для периода T_2 второго тела	1
5	Записаны все необходимые уравнения для описания движения второй пары тел.	3
6	При наличии всех верных уравнений проделаны необходимые алгебраические преобразования для получения формулы для периода T_{34} второй пары косм. тел. 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	3
7	Получена верная формула для периода T_3 третьего тела	1
8	Получен правильный ответ для отношения T_2/ T_3	1
ИТОГО		14



Задача 4.

Мячик подняли на большую высоту от поверхности Земли и бросили вертикально вниз без начальной скорости. Мячик подлетает к земле со скоростью $v = 10$ м/с. Если же мячик бросить с поверхности земли вертикально вверх со скоростью $v_0 = 2v$, то он поднимется на максимальную высоту за время $t = 1,1$ с. Чему равна максимальная высота подъема мячика в этом случае? На мячик в процессе движения действует сила сопротивления воздуха прямо пропорциональная мгновенной скорости мячика. Считать, что ускорение свободного падения не меняется с высотой и равно $g = 10$ м/с². Силой Архимеда пренебречь.

Ответ.
$$h_{\max} = \frac{(v_0 - gt)v}{g} = \frac{(2v - gt)v}{g} = 9 \text{ м.}$$

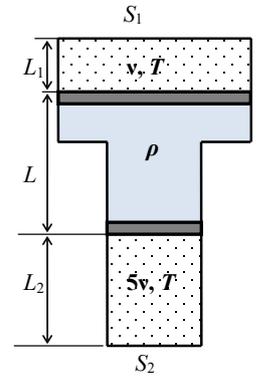
Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 4		
№	Элемент решения	Баллы
1	Установлено, что с большой высоты мячик падает с постоянной скоростью	2
2	Записано уравнение (1) для нахождения скорости v при падении с большой высоты	2
3	Записан второй закон Ньютона ((2) или (3)) (или закон изменения импульса) при движении мячика вверх для малого Δt	2
4	При наличии верных уравнений проделаны необходимые преобразования и получена формула (4) 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	5
5	При наличии всех верных необходимых формул проделаны преобразования с целью получения выражения для h_{\max}	1
6	Получена верная формула для нахождения макс. высоты	1
7	Получен правильный числовой ответ	1
ИТОГО		14



Задача 5.

Вертикально расположенный сосуд, имеющий форму двух соединенных между собой цилиндров, площади горизонтальных сечений которых равны $S_1 = 2S$ и $S_2 = S$, содержит воду, находящуюся в среднем отсеке между двумя невесомыми теплонепроницаемыми поршнями (см. рисунок). Вода полностью заполняет отсек длиной L между поршнями. В верхнем отсеке сосуда над поршнем площади S_1 находится идеальный газ в количестве ν моль при температуре T и давлении $p_1 = 2,5$ кПа, а в нижнем отсеке под поршнем площади S_2 – другой идеальный газ в количестве 5ν моль при такой же температуре T . Поршни находятся в равновесии, когда расстояния от оснований сосуда до поршней равны $L_1 = l = L/2$, $L_2 = 2l$. Стенки сосуда гладкие. Вода не протекает через поршни, газы через поршни не просачиваются.



1) Чему равно расстояние L между поршнями?

2) Температуру газа в нижнем отсеке увеличивают в 1,5 раза, при этом температура газа в верхнем отсеке не изменяется. Поршни, оставаясь в своих цилиндрах, занимают новое положение равновесия. Каким станет при этом давление газа в верхнем отсеке?

Ответ. $L = \frac{4p_1}{\rho g} = 1$ м, $p_1' = 2p_1 = 5$ кПа.



Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 5		
№	Элемент решения	Баллы
1	Записаны уравнения (1) – (3) в начальном состоянии	3
2	При наличии верных уравнений (1) – (3) проделаны необходимые алгебраические преобразования.	1
3	Получена формула (5) для расстояния L	1
4	Получен правильный числовой ответ для L	1
5	Записаны уравнения (6) – (8) в конечном состоянии	3
6	Установлено, что если верхний поршень поднимается на x , то нижний – на $2x$	1
7	При наличии правильных формул (1) – (8) проделаны необходимые преобразования и получено уравнение (9) или (10) 3 балла, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	5
8	Найдено решение уравнения (10) и получена формула для искомого давления p'_1 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
9	Получен правильный числовой ответ для давления p'_1	1
ИТОГО		18

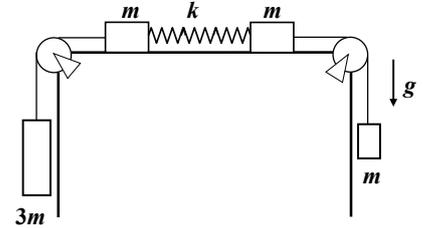


Задача 6.

Механическая система, состоящая из четырех грузов, массы которых приведены на рисунке, и однородной массивной пружины жесткости k , движется с ускорением $a = \frac{g}{4}$, где g – ускорение свободного падения. Поверхность – гладкая, нити невесомы и нерастяжимы.

Блоки невесомые, трение в блоках отсутствует.

Пружина не провисает. 1) Определите массу пружины. 2) Чему равно удлинение пружины в процессе движения системы?



Ответ. $m_0 = 2m$, $x = \frac{7mg}{4k}$.



Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1	Записаны все необходимые уравнения динамики	2
2	При наличии всех верных уравнений динамики, проделаны необходимые преобразования с целью найти массу пружины 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
3	Получен верный ответ для массы пружины	1
4	При выводе формулы для деформации пружины используется разбиение пружины на малые элементы (витки)	1
5	Правильно записана формула для жесткости одного элемента пружины k_g	2
6	Записаны необходимые уравнения динамики для получения выражения для силы упругости T_i	2
7	При наличии всех верных уравнений проделаны необходимые преобразования (суммирование или интегрирование) с целью получения формулы для x : (*),(*a), (*б) или аналогичных формул 2 балла, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные, но получен верный ответ для x 1 балл, если приведена верная формула для деформации пружины, но без вывода 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки и не приведено верной формулы для растяжения пружины	4
8	Проведены необходимые расчеты сил, например сил F_l, F_n , с целью получения окончательной формулы для деформации x	2
9	Получен верный ответ для растяжения пружины x	2
ИТОГО		18



Задача 7.

Парашютирование или посадка на парашюте является одним из наиболее эффективных и надёжных способов посадки спускаемого космического аппарата или модуля на планеты, обладающие достаточно плотной атмосферой. В герметичном отсеке посадочного модуля, заполненном газом, обычно создают условия, близкие к нормальным. Это позволяет разгрузить корпус и облегчить условия функционирования приборов.

Атмосфера Марса достаточно разреженная, из-за чего реализация спуска только на парашюте затруднительна, т.к. он в этом случае будет иметь колоссальные размеры, а соответственно и массу. Поэтому парашют используется только для частичного торможения, а финальная часть посадки современных модулей осуществляется с помощью реактивной платформы.

Оцените, парашют какой площади потребовался бы при спуске на Марс посадочного модуля в форме шара объёмом 750 дм^3 с общей массой $m_0 = 800 \text{ кг}$, заполненного газовой смесью массой $m = 0,88 \text{ кг}$, если скорость парашютирования $v = 7,5 \text{ м/с}$, а парашют вводится на скорости $v_0 = 150 \text{ м/с}$, коэффициент лобового сопротивления $C_x = 0,3$.

С какой силой по модулю и направлению действует на корпус аппарата, наполняющий его газ сразу после раскрытия парашюта?



Дополнительная информация

Сила аэродинамического (лобового) сопротивления (торможения) определяется соотношением, [Н]

$$F = C_x \frac{\rho v^2}{2} S$$

где C_x – коэффициент лобового сопротивления, ρ – плотность атмосферы, v – скорость аппарата, S – площадь миделя (максимального сечения).

Средняя молярная масса атмосферы Марса составляет 43 г/моль. Посадка осуществляется в экваториальной плоскости. Масса Марса $6,42 \cdot 10^{23}$ кг, средний радиус 3400 км. Давление и температура атмосферы у поверхности Марса составляют 610 Па и -28°C .

Ответ: $S = \frac{2m_0 GMRT}{r^2 C_x \rho v^2} = 27266 \text{ м}^2$. $F_0 = G \frac{Mm}{r^2} \left(\frac{p\mu V}{RTm_0} + \frac{v_0^2}{v^2} \right) \approx G \frac{Mm}{r^2} \cdot \frac{v_0^2}{v^2} =$

1304 Н. Сила F_0 направлена вертикально вниз.

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 7		
№	Элемент решения	Баллы
1	Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	0-5
2	Составлена система уравнений и математическая модель	0-5
3	Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	0-5
4	Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	0-5
ИТОГО		max 20