Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль «Инженерное дело»

Специализация «Физика»

Класс участия: 10

Вариант: 2

Задача 1 (5 *баллов*). При длительном наблюдении звезды *X* выяснилось, что вокруг нее по круговым орбитам вращаются две планеты A и B. Период обращения планеты A в $k = 2{,}828$ раз больше, чем планеты B. Орбиты планет лежат в одной плоскости, размеры планет и звезды X малы, по сравнению с расстояниями между планетами и звездой. В некоторый момент времени угол XAB оказался равным 30°. Чему в этот же момент времени равен угол AXB? Считайте, что за время наблюдения звезда X остается неподвижной, а движение планет происходит в системе отсчета, связанной со звездой, которую будем считать инерциальной системой отсчета.

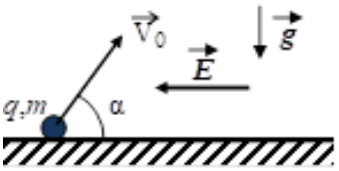
Ответ: $\angle AXB = 60°$.

Критерии оценивания задачи 1.

Элементы решения	**Балл**
Записано уравнение движение планеты по орбите	1
Получена связь периода T и радиуса орбиты r	1
При наличии всех необходимых верных формул проделаны математические действия, направленные на получения ответа 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги, или преобразования недостаточные, но ведут к верному ответу.	2
Получен верный ответ (без полного решения ответ не оценивается)	1
Всего баллов	5

Задача 2 (10 *баллов*). Небольшой шарик массой m = 30 г, имеющий положительный заряда q = 20 мКл, бросили с горизонтальной поверхности под углом α к горизонту (см. рисунок). На шарик в процессе его движения действуют однородное гравитационное поле, а также однородное электрическое поле напряженностью E = 15 В/м, силовые линии которого параллельны горизонтальной поверхности. Чему равен угол α, если известно,

что шарик вернулся в исходную точку? На каком максимальном расстоянии r от исходной точки находился шарик в процессе полета, если при возвращении в исходную точку он имел скорость V = 2 м/с? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения g = 10 м/с^2. Начальная скорость шарика V_0 не задана.



Ответ: $\alpha = \text{arcctg}\left(\frac{qE}{mg}\right) = 45^\circ$, $r = \frac{V^2 \sin\alpha}{2g} = 0{,}14$ м.

Критерии оценивания задачи 2.

Элементы решения	**Балл**
Записана формула для горизонтального ускорения шарика	1
Получена формула для угла α	2
Получен правильный числовой ответ для α (без необходимых формул и преобразований ответ не оценивается)	1
Доказано, что скорость падения равна v_0	1
Записаны уравнения, необходимые для получения максимального расстояния r	1
При наличии всех необходимых верных формул проделаны алгебраические преобразования и получено выражение для r 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
Получен правильный числовой ответ для r (без необходимых формул и преобразований ответ не оценивается)	1
Получена формула для угла α	1
Всего баллов	10

Задача 3 (10 *баллов*). Ученик 10 класса при выполнении проекта сделал модель устройства для видеосъемки под водой. Средняя плотность модели получилась равной ρ = 1150 кг/м^3, поэтому модель тонула в воде. Ученик прикрепил к ней несколько воздушных шариков. В результате испытаний в соленой морской воде оказалось, что при погружении на глубину, не превышающую критической величины h_c = 7 м, модель с прикрепленными к ней шариками всплывает, а при погружении на большую глубину тонет. Какой критической глубины достигает модель с теми же шариками при погружении в пресную речную воду? Считайте,

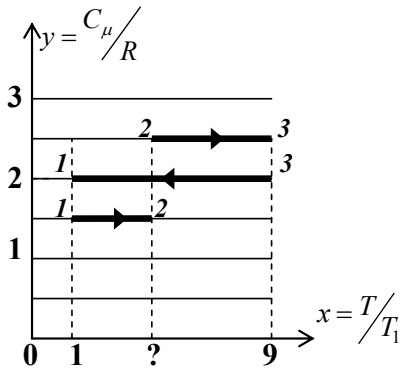
что в обоих опытах погружения температуры воды и воздуха не меняются, атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Плотность пресной воды $\rho_п = 1000$ кг/м^3, плотность соленой воды $\rho_с = 1050$ кг/м^3. Массой шариков и воздуха в них можно пренебречь. Ускорение свободного падения g = 10 м/с^2.

Ответ: $h_n = \dfrac{1}{\rho_n g}\left(\dfrac{\rho_n(\rho-\rho_c)(p_0+\rho_c g h_c)}{\rho_c(\rho-\rho_n)} - p_0\right) = 1\text{м}.$

Критерии оценивания задачи 3.

Элементы решения	**Балл**
Записаны уравнения равновесия модели в соленой и пресной воде	2
Записаны выражения для давления воздуха в шариках в соленой и пресной воде	2
Записаны уравнения Клапейрона для воздуха в шариках в соленой и пресной воде	2
При наличии всех необходимых верных формул проделаны преобразования, с целью получения ответа к задаче.	2
1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	
Получена верная конечная формула ответа	1
Получен правильный числовой ответ (без полного решения ответ не оценивается).	1
Всего баллов	10

Задача 4 (10 *баллов).* Тепловая машина, рабочим телом которой является идеальный одноатомный газ, совершает замкнутый цикл *1-2-3-1*. График этого цикла изображен на рисунке в безразмерных осях $x = T/T_1$ и $y = C_\mu/R$, где T – абсолютная температура, T_1 –температура газа в состоянии *1* (будем считать ее известной), C_μ – молярная теплоемкость газа в каждом процессе цикла, R = 8,31 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. Масса газа в цикле остается неизменной. Чему равна температура газа в состоянии *2*? Постройте график зависимости давления p от объёма V для этого цикла и посчитайте КПД цикла *1-2-3-1*.



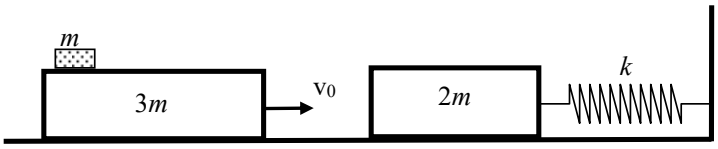
Ответ: $T_2 = 3T_1$, график на рисунке, $\eta = \dfrac{\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1}}{5\sqrt{T_3} + 3\sqrt{T_1}} = \dfrac{1}{9} = 11{,}1\%$.

Критерии оценивания задачи 4.

Элементы решения	**Балл**
По значениям молярной теплоемкости верно установлены процессы 1-2, 2-3, 3-1.	3
Построен правильный график цикла 1-2-3-1.	1
Записаны все необходимые уравнения и получен верный ответ для T_2 1 балл, если имеются все необходимые верные уравнения для получения T_3, но ответ не получен или получен неверный ответ	2
Верно установлено на каких участках газ получает тепло	1
Получен верный ответ для полученного в цикле тепла $Q_{пол.}$	1
Получен правильный ответ для работы газа за цикл А	1
Правильно посчитан КПД цикла	1
Всего баллов	10

Задача 5 (15 *баллов).* По гладкой горизонтальной поверхности движется с постоянной скоростью длинный брусок массой $3m$, на котором удерживается за счет трения грузик массой m (см. рисунок). Данный брусок сталкивается абсолютно неупруго с другим неподвижным бруском массой $2m$, находящимся на горизонтальной поверхности и прикрепленным к неподвижной стене недеформированной пружиной жесткости k. После столкновения бруски и грузик движутся вместе, сжимая пружину. Когда сжатие пружины достигнет величины x_1, грузик начинает скользить по бруску. 1) Определите коэффициент трения μ между грузиком и бруском. 2) Чему равна начальная скорость v_0

бруска с грузиком, если максимальное сжатие пружины равно $x_2 > x_1$? Считать, что грузик при своем движении по бруску не достигает границы между брусками.



Ответ: $\mu = \dfrac{kx_1}{6mg}$, $v_0 = \sqrt{\dfrac{3k}{40m}\left(x_1^2 + 6x_2^2 - 2x_1x_2\right)}$.

Критерии оценивания задачи 5.

Критерии оценивания	**Балл**
Записан закон сохранения импульса при абсолютно неупругом столкновении брусков	1
Записаны уравнения динамики для момента начала движения грузика	2
При наличии всех необходимых верных формул проделаны алгебраические преобразования и получено выражение для коэффициента трения μ 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
Получен верный ответ для коэффициента трения μ (без необходимых формул и преобразований ответ не оценивается)	1
Записаны необходимые уравнения и получена скорость всех тел в момент начала скольжения грузика	2
Получены уравнения, описывающие максимальное сжатие брусков	2
При наличии всех верных формул проделаны необходимые алгебраические преобразования с целью получения начальной скорость v_0 2 балла, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные, но приводят к верному ответу 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	4
Получен верный ответ для начальной скорости v_0 (без полного решения ответ не оценивается)	1
Всего баллов	15