

**Межрегиональная олимпиада «Будущие исследователи – будущее науки»  
по физике. Финальный тур – 2013 г.**

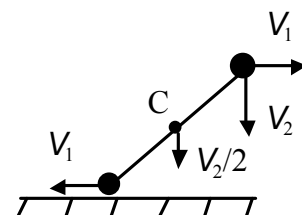
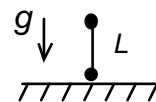
**10 класс**

1. (25 баллов) Скорость тела, брошенного с земли в момент времени  $t = 0$ , оказалась направленной под углом  $45^\circ$  к горизонту в моменты  $t_1$  и  $t_2$ . Найти дальность полета тела. Ускорение свободного падения равно  $g$ .

**Решение:**

Полное время полета тела, очевидно, равно  $t_1 + t_2$ . Горизонтальную компоненту скорости тела  $V_{\text{гор}}$  можно найти из условия ее равенства вертикальной компоненте в момент  $t_2$ :  $V_{\text{гор}} = V_{\text{верт}}(t_2) = g(t_2 - t_1)/2$ , где  $(t_2 - t_1)/2$  – время движения тела от момента достижения верхней точки параболической траектории  $(t_2 + t_1)/2$  до момента  $t_2$ . Умножая  $V_{\text{гор}}$  на время полета, находим дальность полета  $g(t_2^2 - t_1^2)/2$ .

2. (30 баллов) Гантель из двух одинаковых шариков, соединенных жестким невесомым стержнем длины  $L$ , поставлена вертикально на гладкий горизонтальный стол (см. рисунок). Из-за неустойчивости гантель начинает падать. Чему будет равна скорость центра масс гантели в момент, когда стержень повернется на  $45^\circ$  (15 баллов)? Чему будет равно ускорение центра масс в момент, когда скорость нижнего шарика достигнет максимума (15 баллов)? Ускорение свободного падения равно  $g$ .



**Решение:**

Скорость нижнего шарика направлена горизонтально (см. рисунок), ее значение в момент поворота гантели на  $45^\circ$  обозначим через  $V_1$ . Из условия сохранения (нулевого) импульса системы вдоль горизонтальной оси следует, что компонента скорости верхнего шарика вдоль этой оси также равна  $V_1$  и направлена в противоположную сторону. Обозначим вертикальную компоненту скорости верхнего шарика через  $V_2$ . Записывая закон сохранения энергии

$$mgL \left[ 1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right] = 2 \frac{mV_1^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2}$$

и условие равенства проекций скоростей шариков на направление стержня

$$V_1 = V_2 - V_1,$$

находим  $V_2$  и скорость центра масс  $V_c$ , равную  $V_2/2$ :

$$V_c = \frac{V_2}{2} = \sqrt{\frac{gL}{3} \left[ 1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right]}.$$

В момент, когда скорость нижнего шарика достигает максимума, ускорение этого шарика обращается в нуль. Отсюда следует, что обращается в нуль и сила, действующая на шарик со стороны стержня. Иными словами, в рассматриваемый момент времени стержень оказывается недеформированным – он переходит из сжатого состояния в растянутое (поперечная деформация стержня невозможна из-за его невесомости). Недеформированный стержень не действует и на верхний шарик, следовательно ускорение этого шарика определяется только силой тяжести и равно  $g$ . Ускорение центра масс равно  $g/2$  и направлено вертикально вниз.

3. (30 баллов) В закрытом цилиндрическом сосуде невесомый поршень, который может скользить по стенкам без трения, разделяет воздух и двухфазную систему вода-пар. Начальная температура в сосуде равна  $20^\circ\text{C}$ . До какого значения следует поднять температуру в сосуде, чтобы объем воздуха уменьшился в 3 раза? Пар остается насыщенным, зависимость давления насыщенного пара от температуры приведена в таблице.

Температура пара, $^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Давление пара, кПа	2,33	3,15	4,23	5,6	7,35	9,5	12,3	15,7	19,9

**Решение:**

Используя уравнение Клапейрона-Менделеева, свяжем начальное и конечное состояния воздуха в сосуде:  $p_1 V_1 / T_1 = p_2 V_2 / T_2$ . Учитывая, что  $V_1 / V_2 = 3$ ,  $p_1 = 2,33$  кПа (давление воздуха равно давлению пара) и  $T_2 = 293$  К, получаем  $p_2 [\text{кПа}] = 6,99 \cdot (273 + t_2^\circ) / 293$ , где  $t_2^\circ$  – искомая температура. Используя таблицу, подбираем такое значение  $t_2^\circ$ , чтобы (примерно) выполнилось полученное соотношение:  $t_2^\circ \approx 40^\circ$ .

4. (15 баллов) Шарик скачет над массивной горизонтальной плитой, отражаясь от нее абсолютно упруго. Если потенциальную энергию принять за нуль на уровне плиты, то максимальные значения потенциальной и кинетической энергий будут равны. Сравнить средние за период значения этих энергий.

**Решение:**

Поскольку скорость шарика уменьшается с высотой, то большую часть периода шарик находится на высотах  $h > H/2$ , где  $H$  – максимальная высота подъема. Следовательно, среднее значение потенциальной энергии  $\langle W_{\text{п}} \rangle$  больше  $mgH/2$ . Поскольку  $\langle W_{\text{п}} \rangle + \langle W_{\text{к}} \rangle = mgH$ , где  $\langle W_{\text{к}} \rangle$  – среднее значение кинетической энергии, то  $\langle W_{\text{к}} \rangle$  меньше  $mgH/2$  и, значит,  $\langle W_{\text{п}} \rangle$  **больше**  $\langle W_{\text{к}} \rangle$ . Точный расчет дает  $\langle W_{\text{п}} \rangle = 2mgH/3$  и  $\langle W_{\text{к}} \rangle = mgH/3$ .