

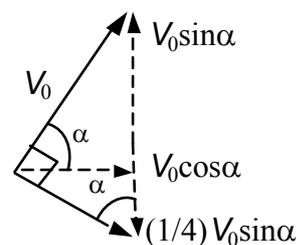
Межрегиональная олимпиада школьников
"Будущие исследователи – будущее науки" 2014/2015
Физика. Финальный тур. *Время выполнения – 180 минут.*

10 класс

1. (25 баллов) Вектор скорости тела, брошенного под углом к горизонту, повернулся на 90° через $5/8$ полного времени полета. Во сколько раз отличаются горизонтальная дальность полета и максимальная высота подъема тела?

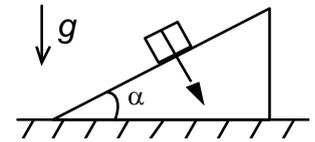
Ответ: Горизонтальная дальность полета в 2 раза больше максимальной высоты подъема тела.

Решение: Полное время полета тела, брошенного под углом к горизонту, как известно, определяется формулой $t_n = 2V_0 \sin \alpha / g$, где V_0 – величина начальной скорости, а α – угол, под которым бросили тело. Следовательно, в рассматриваемом случае вектор скорости тела повернулся на 90° через время $t_1 = (5/8)t_n = 5V_0 \sin \alpha / (4g)$ после броска. Вертикальная компонента скорости тела через



это время имела величину $|V_0 - gt_1| = (1/4)V_0 \sin \alpha$. Учитывая, что горизонтальная компонента скорости тела не меняется и равна по величине $V_0 \cos \alpha$, удобно построить диаграмму скоростей, представленную на рисунке. Для большого прямоугольного треугольника на рисунке можно записать соотношение $(5/4)V_0 \sin^2 \alpha = V_0$. Отсюда получаем $\sin \alpha = 2/\sqrt{5}$. Используя известные формулы для горизонтальной дальности полета $L = 2V_0^2 \sin \alpha \cos \alpha / g$ и высоты подъема $H = V_0^2 \sin^2 \alpha / (2g)$, находим их отношение $L/H = 4 \cot \alpha$ или, с учетом найденного $\sin \alpha$, окончательно имеем $L/H = 2$.

2. (30 баллов) Клин массы m с углом α при основании находится на горизонтальном столе. На наклонную грань клина положили груз и начали на него действовать с постоянной силой, направленной перпендикулярно наклонной грани клина (см. рис.). Трение между грузом и клином, клином и столом отсутствует. Чему равно ускорение груза, если известно, что оно направлено вертикально (10 баллов)? С какой силой клин при этом давит на стол (20 баллов)? Ускорение свободного падения g считать известным.



Ответ: Ускорение груза равно g . Клин давит на стол с силой $mg/\sin^2 \alpha$.

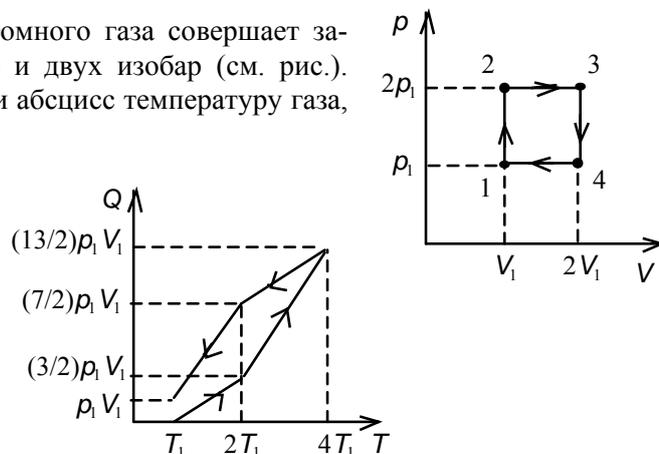
Решение: Записывая второй закон Ньютона для груза в проекции на неподвижную ось, параллельную наклонной грани клина (вдоль нее действует только проекция силы тяжести), находим, что проекция ускорения груза на эту ось равна $g \sin \alpha$. Отсюда находим ускорение груза $a_r = g$.

Между ускорением груза a_r и ускорением клина $a_{\text{кл}}$ (направленным горизонтально вправо) существует кинематическая связь: проекции этих ускорений на направление, перпендикулярное наклонной грани клина, равны (в этом направлении груз и клин движутся вместе), т.е. $a_r \cos \alpha = a_{\text{кл}} \sin \alpha$. Находим отсюда ускорение клина $a_{\text{кл}} = g \tan \alpha$. Обозначив силу, с которой груз давит на клин, через N , запишем второй закон Ньютона для клина в проекции на горизонтальную ось: $ma_{\text{кл}} = N \sin \alpha$. Отсюда следует, что $N = mg \cos \alpha / \sin^2 \alpha$. Сила, с которой клин давит на стол, находится как сумма действующей на клин силы тяжести mg и вертикальной проекции силы N : $mg + mg \cos \alpha / \sin^2 \alpha = mg/\sin^2 \alpha$.

3. (20 баллов) Один моль идеального одноатомного газа совершает замкнутый процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар (см. рис.). Изобразить данный процесс, откладывая по оси абсцисс температуру газа, а по оси ординат – полученное газом тепло.

Ответ: Изображение процесса на плоскости T, Q приведено на рисунке, $T_1 = p_1 V_1 / R$.

Решение: Полученное газом тепло Q находим по формуле $Q = C \Delta T$, где C – теплоемкость газа, а ΔT – изменение его температуры. Теплоемкость одного моля идеального одноатомного газа в изохорном процессе равна $C_v = 3R/2$, в изобарном $C_p = 5R/2$.



4. (25 баллов) В кинетической теории газов при рассмотрении парных соударений между молекулами используется тот факт, что относительная скорость молекул в результате соударения не изменяется по величине. Докажите сохранение величины относительной скорости молекул, моделируя их одинаковыми гладкими шарами, испытывающими абсолютно упругий (не обязательно лобовой) удар. Учтите, что при лобовом соударении одинаковых упругих шаров происходит обмен скоростями.

Решение: Относительная скорость равна разности скоростей молекул-шаров. Разложим скорость каждого из двух соударяющихся шаров на две взаимно перпендикулярные компоненты – нормальную (вдоль прямой, соединяющей центры шаров) и тангенциальную (поперек этой прямой). Тангенциальные компоненты скоростей не меняются при соударении, а нормальными компонентами шары обмениваются. В результате разность тангенциальных компонент двух шаров не меняется, а разность нормальных компонент меняет направление на противоположное, сохраняя свою величину. Таким образом, величина вектора относительной скорости не меняется.

Сохранение относительной скорости легко доказать в общем виде (для молекул с произвольным соотношением масс и с произвольным законом взаимодействия при сохранении механической энергии). Для этого нужно рассмотреть соударение в системе отсчета, связанной с центром масс двух сталкивающихся молекул.