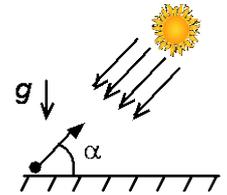


ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

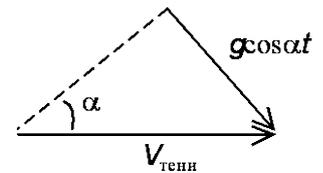
10 класс

1. (30 баллов) Камень брошен со скоростью V_0 под углом α к горизонту навстречу солнечным лучам (см. рис.). Через какое время скорость, с которой тень от камня движется по земле, окажется равной скорости камня (15 баллов)? Найти максимальную скорость тени (15 баллов). Ускорение свободного падения g считать известным.

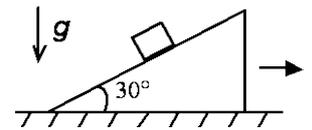


Ответ: Скорость тени окажется равной скорости камня через время $V_0 \sin \alpha / g$. Максимальная скорость тени равна $2V_0 \cos \alpha$.

Решение: На движении тени не сказывается движение камня вдоль солнечных лучей. В направлении, перпендикулярном солнечным лучам, начальная скорость камня равна нулю, его ускорение постоянно и равно проекции ускорения свободного падения, т.е. $g \cos \alpha$, а скорость равна $g \cos \alpha t$. Как видно из рисунка, скорость тени вдоль земли равна $g \cos \alpha t / \sin \alpha$ и достигает максимума при максимальном t , т.е. в момент падения камня на землю ($t = 2V_0 \sin \alpha / g$). Скорость тени равна скорости камня в момент, когда камень движется параллельно земле, т.е. в высшей точке его траектории ($t = V_0 \sin \alpha / g$).



2. (25 баллов) На горизонтальном столе находится клин с углом 30° при основании, на наклонной грани которого лежит груз массы m . Коэффициент трения между грузом и клином равен $0,8$. После того, как клин привели в ускоренное движение вдоль стола (см. рис.), груз стал двигаться в направлении, перпендикулярном наклонной грани клина. С какой силой клин давит на груз (10 баллов)? Чему равно ускорение клина (15 баллов)? Ускорение свободного падения g считать известным.



Ответ: Клино давит на груз с силой $(5/8)mg$. Ускорение клина равно $(\sqrt{3} - 5/4)g$.

Решение: Записывая второй закон Ньютона для груза в проекции на ось, параллельную наклонной грани клина, находим, что сила трения $F_{тр}$ равна $mg \sin 30^\circ$. При скольжении $F_{тр} = \mu N$, где μ - коэффициент трения, а N - сила нормальной реакции (в данной задаче - сила давления клина на груз). Отсюда находим, что $N = mg \sin 30^\circ / \mu = (5/8)mg$. Записывая второй закон Ньютона в проекции на ось, перпендикулярную наклонной грани клина, находим ускорение груза $a = g \cos 30^\circ - g \sin 30^\circ / \mu$. Проекция ускорения клина на эту ось равна ускорению груза (груз не отрывается от наклонной грани клина). Следовательно, ускорение клина равно $a / \sin 30^\circ = 2a = (\sqrt{3} - 5/4)g$.

3. (30 баллов) В сосуде под поршнем находятся один моль идеального одноатомного газа и тело с теплоемкостью $3R/2$, где $R = 8,31$ Дж/(К·моль) – универсальная газовая постоянная. Газ занимает объем V , его давление равно p . Поддерживая давление постоянным, объем газа медленно увеличивают вдвое. Затем газ изобарно возвращают к прежнему объему, сжимая его настолько быстро, что не успевает произойти теплообмен между газом и находящимся в сосуде телом. После возвращения к исходному объему теплообмен с окружающей средой прекращается. Какая температура установится в сосуде? Теплоемкостью стенок сосуда и поршня пренебречь.

Ответ: В сосуде установится температура $3pV/(2R)$.

Решение: Из уравнения Клапейрона-Менделеева следует, что после изобарного расширения газа его температура станет равной $2pV/R$. В силу медленности процесса расширения такой же будет и температура находящегося в сосуде тела. После сжатия газа его температура станет равной pV/R , а температура тела останется прежней $2pV/R$, поскольку не успеет произойти теплообмен между газом и телом. В результате последующего теплообмена между газом и телом в сосуде установится температура $3pV/(2R)$.

4. (15 баллов) В модели идеального газа пренебрегают суммарным объемом молекул по сравнению с объемом сосуда, т.е. молекулы рассматривают как материальные точки. Так, например, в уравнение Клапейрона-Менделеева в качестве доступного для движения молекул объема входит весь объем сосуда. Однако, пренебрегая размером молекул, нельзя объяснить наличие соударений между ними. Между тем, именно соударения играют определяющую роль в процессах установления равновесия в газах. Считая молекулы воздуха шариками с диаметром $3,5 \cdot 10^{-8}$ см, оценить время между двумя последовательными

ми соударениями молекулы воздуха при нормальных условиях. Нормальное давление считать равным 10^5 Па, температуру равной 273 К. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Ответ: Время между двумя последовательными соударениями составит $\sim 2 \cdot 10^{-10}$ с.

Решение: Длину свободного пробега молекулы λ (среднее расстояние между двумя последовательными соударениями) можно оценить по формуле $\lambda = 1/(\pi d^2 n)$, где d – диаметр молекулы, а n – концентрация молекул (число молекул в единице объема). Концентрацию n можно найти из формулы $p = nkT$, где p – давление, а T – абсолютная температура. При нормальных условиях получаем $n \approx 2,7 \cdot 10^{25}$ м⁻³. Подставляя в формулу для λ диаметр d и концентрацию n , находим $\lambda \approx 10^{-7}$ м. Взяв тепловую скорость молекулы воздуха равной примерно 500 м/с, находим, что время между последовательными соударениями молекулы составляет около $2 \cdot 10^{-10}$ с.