

Физика 9–11

Публикуемая ниже заметка «Как подпрыгнуть выше крыши» предназначена девятиклассникам, заметка «Паровой скалолаз, или Термодинамика для альпиниста» – десятиклассникам, «Зачем закрывать отверстие, или Открытие линзы» – одиннадцатиклассникам.

# Как подпрыгнуть выше крыши

А. СТАСЕНКО

Выше носа не прыгнешь.

Устаревший экспериментальный факт

Что значит подпрыгнуть? Это сложный процесс, сопровождающийся приседанием, распрямлением, отталкиванием носками... и в конце концов приземлением – по возможности «мягким». О прыгании написаны, вероятно, сотни или даже тысячи диссертаций учеными медицинских и физкультурных наук. А сколько рекордов!

У нас более скромная цель: всего лишь подпрыгнуть выше крыши; поэтому нужна простая физическая модель.

Слово «подпрыгнуть» означает, очевидно, отсутствие разбега. Предпо-

ложим, мы можем в прыжке поднять свой центр масс на высоту  $y_m \sim 1$  м над обычным положением (стоя). Поскольку движение происходит в постоянном поле тяготения Земли, легко найти начальную скорость (в момент отрыва):

$$v_0 = \sqrt{2gy_m} \sim 4,5 \text{ м/с}$$

и время полета (от отрыва до касания земли):

$$t_0 = 2\sqrt{\frac{2y_m}{g}} \sim 1 \text{ с.}$$

Здесь мы применили хорошо известные законы для движения точечной

массы с постоянным ускорением и, конечно, воспользовались очень приятным упрощающим предположением: «сопротивлением воздуха пренебречь».

Но как наш центр масс приобретает скорость  $v_0$ ? Присев, мы затем распрямляемся в течение некоторого времени  $\tau$  за счет энергетических затрат собственного организма, так что к моменту отрыва от земли наше тело массой  $m_0$  приобретает кинетическую энергию  $m_0 v_0^2 / 2$ . Этот процесс можно изобразить качественно в виде штриховых кривых на рисунке 1.

Но этак слишком высоко не прыгнешь. И тут приходит мысль о Винни-Пухе, который догадался использовать воздушный шарик, чтобы добраться до меда на дереве. Последуем его примеру.

Наполним шар легким газом – водородом плотностью  $\rho_V = \frac{2}{29} \rho_0$ , где  $\rho_0$  – плотность воздуха. Масса газа в объеме шара равна  $m_V = V \rho_V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_V$ , где  $r$  – радиус шара. Но и оболочка шара обладает какой-то массой, а именно  $m_S = 4\pi r^2 \sigma$ , где  $\sigma$  – поверхностная плотность оболочки. Поэтому теперь при распрямлении придется разгонять не только собственную массу, но еще и массу оболочки  $m_S$ , и массу водорода в оболочке  $m_V$ . И это еще не все. Оказывается, при ускорении любого тела в воздухе (любом другом газе или жидкости) приходится приводить в ускоренное движение и определенную массу окружающей среды – так называемую присоединенную массу. Этот факт качественно отражен на рисунке 2: при перемещении шара вверх закрученный сверху объем воздуха должен как-то очутиться внизу. Если предположить,

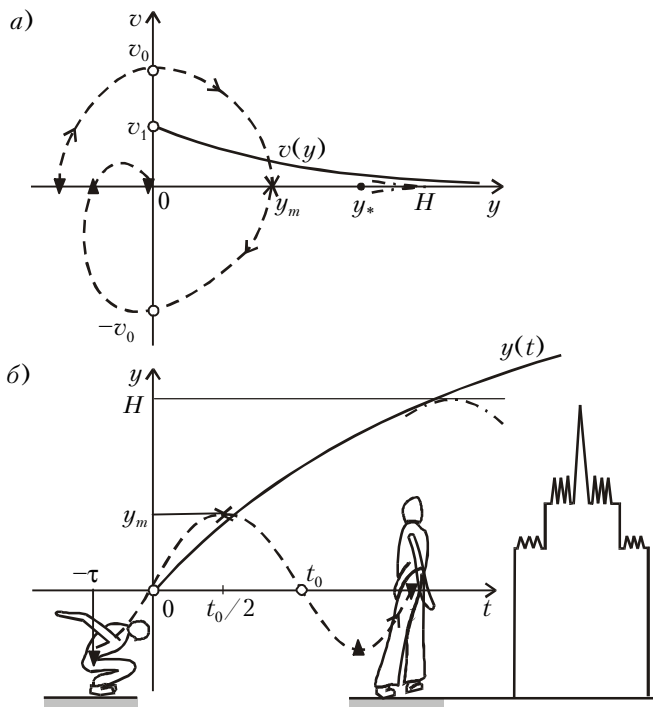


Рис. 1

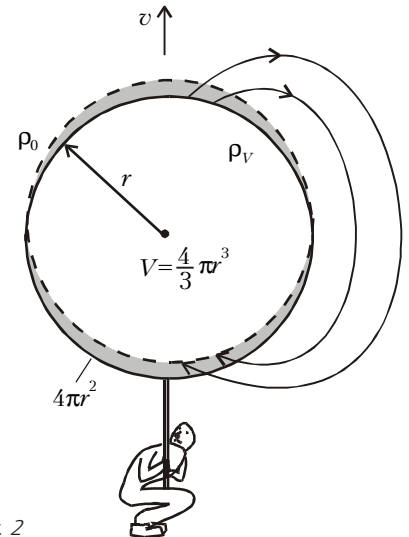


Рис. 2