доходит по стержню до некоторой точки A' (рис.2), для которой $\cos\alpha' = u/v$, и затем идет по прямой $A'B$. Время распространения этого сигнала равно

$$t_2 = \frac{l - a/\mathrm{tg}\,\alpha'}{v} + \frac{a}{u\sin\alpha'} =$$

$$= \frac{l}{v} + a\left\{\frac{1}{u\sin\alpha'} - \frac{1}{v\,\mathrm{tg}\,\alpha'}\right\} = \frac{l}{v} + a\sqrt{\frac{1}{u^2} - \frac{1}{v^2}}.$$

Объединяя рассмотренные случаи, получаем ответ для минимального времени распространения звука между точками A и B:

при $\frac{u}{v} > \frac{l}{\sqrt{a^2 + l^2}}$ время распространения сигнала равно $t_1 = \frac{\sqrt{a^2 + l^2}}{u}$;

при $\frac{u}{v} < \frac{l}{\sqrt{a^2 + l^2}}$ время распространения сигнала равно $t_2 = \frac{l}{v} + a\sqrt{\frac{1}{u^2} - \frac{1}{v^2}}$.

Отметим, что при выполнении условий $u < v$ и $\cos\alpha > u/v$ сигнал может распространяться как по пути $AA'B$, так и по путям $AB'B$ и $AA''B''B$ (см. рис.2). При этом сигналы, распространяющиеся по всем трем путям, достигнут точки B одновременно, но их интенсивности будут различными. Сигналы, прошедшие по путям $AA'B$ и $AB'B$, преломляются на границе стержень–вода по одному разу и будут иметь примерно одинаковые амплитуды, а сигналы, прошедшие по всем путям типа $AA''B''B$, преломляются по два раза и будут гораздо слабее.

Заметим также, что после первого сигнала, пришедшего в точку B, будет слышен довольно продолжительный гул, так как звук излучают все точки стержня, по которому бежит волна от удара, но эти сигналы приходят позже. Ситуация в этом случае напоминает ту, которая имеет место при пролете сверхзвукового самолета или при ударе молнии: вначале наблюдатель слышит удар, а затем раскаты.

Д.Харабадзе

Ф1789. *В системе, изображенной на рисунке 1, нить невесома и нерастяжима, блоки невесомы, трения нет. Вначале нить удерживают так, что груз массой m висит неподвижно, а груз массой $2m$ касается пола. Затем конец нити начинают тянуть вверх с постоянной скоростью v. Как при этом будут двигаться оба груза?*

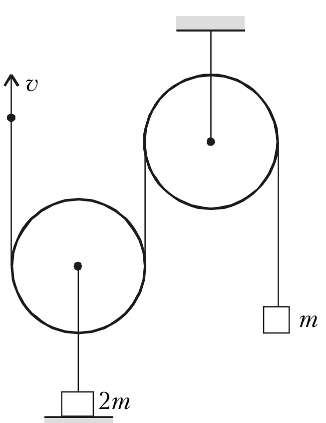

Рис.1

Из условия задачи следует, что сила натяжения нити везде вдоль нити одна и та же. До начала движения, очевидно, эта сила равна $F_0 = mg$, а груз массой $2m$ на пол не давит. В начале движения сила увеличивается на некоторую величину ΔF на короткое время Δt, за счет чего грузы начинают двигаться вверх со скоростями v_1 и v_2. По закону изменения импульса можно записать

$$\Delta F\Delta t = mv_1,\ 2\Delta F\Delta t = 2mv_2,$$

откуда следует, что

$$v_1 = v_2.$$

В дальнейшем эти скорости будут оставаться постоянными, а сила натяжения снова станет равной $F_0 = mg$. Поскольку конец нити вытягивают со скоростью v, а длина нити L неизменна, можно записать для двух моментов времени выражения для длины нити через координаты блоков и грузов (рис.2):

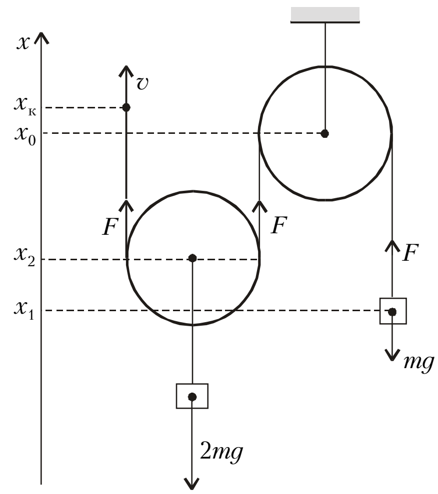

Рис.2

$$x_к - x_2 + x_0 - x_2 + x_0 - x_1 + 2\pi R = L,$$

$$\left(x_к + vt\right) - \left(x_2 + v_1t\right) + x_0 - \left(x_2 + v_1t\right) + {}$$
$$+ x_0 - \left(x_1 + v_1t\right) + 2\pi R = L.$$

Вычитая из второго уравнения первое, получаем

$$vt - 3v_1t = 0,$$

или

$$v_1 = v_2 = \frac{v}{3}.$$

Задачу можно решить и другим способом, рассматривая уравнения движения грузов на этапе их разгона от состояния покоя до конечной скорости. Обозначая ускорения грузов с массами m и $2m$ через a_1 и a_2 соответственно, получаем уравнения движения (см. рис.2):

$$F - mg = ma_1,$$

$$2F - 2mg = 2ma_2.$$

Отсюда получаем $a_1 = a_2$. Из уравнения кинематической связи следует, что

$$x_к - 2x_2 - x_1 = \mathrm{const},$$

следовательно, скорости грузов v_1 и v_2 и скорость конца нити $v_к$ связаны соотношением

$$v_к = 2v_2 + v_1,$$