

а связь соответствующих ускорений имеет вид

$$a_k = 2a_2 + a_1.$$

С учетом равенства ускорений грузов получаем  $a_1 = a_2 = a_k/3$ . Поскольку ускорения грузов в каждый момент времени одинаковы, а в начальный момент времени грузы покоятся, то скорости грузов также одинаковы и составляют  $v_1 = v_2 = \frac{v}{3}$ .

М.Семенов

**Ф1790.** В покоящемся сосуде объемом  $V = 31$  л с очень жесткими и совершенно не проводящими тепло стенками находится воздух при нормальных условиях и вода массой  $m = 9$  г. Сосуд практически мгновенно приобретает скорость  $u$  и движется поступательно. После установления теплового равновесия воздух в сосуде имеет влажность  $\phi = 50\%$ . Найдите скорость  $u$ . Удельная теплота парообразования воды  $L = 2,2$  Мдж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг·К), давление насыщенных паров воды при нормальных условиях  $p = 600$  Па, удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме  $c_V = 720$  Дж/(кг·К), средняя молярная масса воздуха  $M = 0,029$  кг/моль.

В начальный момент масса водяного пара  $m_{\text{п}}$  очень мала по сравнению с массой воды в сосуде  $m$ . (Массу пара можно найти из уравнения Менделеева–Клапейрона:

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{воды}} p V}{RT_0} \approx 0,15 \text{ г} \ll m = 9 \text{ г}$$

(здесь  $M_{\text{воды}} = 18$  г/моль – молярная масса воды,  $T_0 = 273$  К)). Поэтому можно считать, что вся вода вначале находилась в жидком состоянии.

После разгона сосуда при установившейся температуре внутри него содержится не больше чем  $m = 9$  г водяного пара при влажности  $\phi = 50\% = 0,5$ . Если бы при этой же температуре водяной пар был насыщенным, то в том же объеме находилось бы  $m/0,5 = 18$  г водяного пара, т.е. 1 моль. Известно, что вода при атмосферном давлении кипит при  $100^\circ\text{C}$ , т.е. давление насыщенных паров воды при температуре  $T_1 = 373$  К равно  $p_{\text{атм}} = 10^5$  Па. Из уравнения Менделеева–Клапейрона находим, что при давлении  $10^5$  Па и температуре  $373$  К один моль водяного пара (18 г) занимает объем

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_{\text{атм}}} \approx 31 \text{ л} = V,$$

откуда следует, что в сосуде установилась температура, равная как раз  $T_1 = 373$  К.

В условии сказано, что стенки сосуда являются очень жесткими, а это означает, что объем сосуда не изменяется. Стенки сосуда совершенно не проводят тепло, т.е. энергия, которой обладали воздух и вода, не теряется в результате теплопередачи. Перейдем в систему отсчета, движущуюся поступательно со скоростью  $u$ . В этой системе сосуд сначала имел скорость  $-u$ , а затем резко остановился. Воздух и вода имели, как целое, кинетическую энергию и внутреннюю энергию. После остановки сосуда суммарная энергия воды и воздуха осталась прежней, но теперь кинетическая энергия движения воды и воздуха, как целого, превратилась в дополнительную внутреннюю энергию. Из уравнения

Менделеева–Клапейрона находим, что масса воздуха в сосуде равна

$$m_{\text{в}} = \frac{M p_{\text{атм}} V}{RT_0} \approx 39,6 \text{ г}.$$

Суммарная масса воды и воздуха составляет  $m + m_{\text{в}} \approx 48,6$  г. Изменение внутренней энергии можно подсчитать по частям. Воздух при постоянном объеме нагрелся на  $100^\circ\text{C}$ . На это потребовалось количество теплоты

$$Q_1 = m_{\text{в}} c_V (T_1 - T_0) \approx 2850 \text{ Дж}.$$

Изменение внутренней энергии воды определяется только конечным и начальным состояниями системы и не зависит от процесса перехода. Поэтому можно считать, что сначала воду нагрели до  $100^\circ\text{C}$ , а затем перевели ее в парообразное состояние. На нагревание воды пошло количество теплоты

$$Q_2 = mc(T_1 - T_0) \approx 3780 \text{ Дж}.$$

На парообразование потребовалось количество теплоты

$$Q_3 = mL \approx 19800 \text{ Дж}.$$

Общее изменение внутренней энергии системы равно кинетической энергии, которую имели вода и воздух:

$$\frac{(m + m_{\text{в}})u^2}{2} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \approx 26430 \text{ Дж},$$

откуда находим искомую скорость:

$$u \approx 10^3 \text{ м/с}.$$

С.Варламов

**Ф1791.** Одно колено гладкой изогнутой трубки с круглым внутренним сечением площадью  $S$  вертикально, а другое наклонено к горизонту под углом  $\alpha$  (рис.1). В трубку налили жидкость плотностью  $\rho$  и массой  $M$  так, что ее уровень в наклонном колене выше, чем в вертикальном, которое закрыто легким поршнем, соединенным с вертикальной пружиной жесткостью  $k$ . Найдите период малых колебаний этой системы. Ускорение свободного падения равно  $g$ .

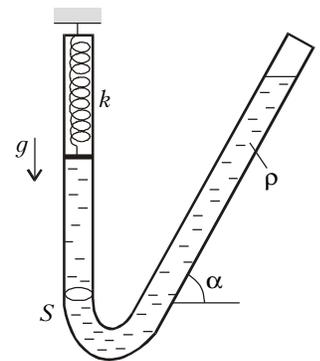


Рис.1

При малых колебаниях в отсутствие трения сумма кинетической и потенциальной энергий постоянна:

$$E_k + E_p = \text{const}.$$

Смещение столба жидкости  $x$  (рис.2) мы будем отсчитывать от равновесного положения, при котором сила упругости сжатой пружины

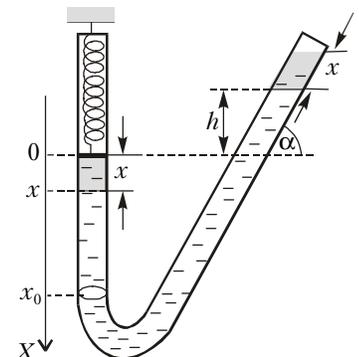


Рис.2