

ра) найдем по уравнению состояния:

$$pV = p \frac{m_{ж}}{\rho \cdot 10^{-3}} = \frac{m_{п}}{M_{п}} RT,$$

откуда

$$m_{п} = \frac{p m_{ж} M_{п}}{RT \rho \cdot 10^{-3}} = 0,8 \text{ г}.$$

**Задача 9.** В цилиндре под поршнем находится смесь  $v_{ж}$  молей жидкости и  $v_{п}$  молей ее насыщенного пара при температуре  $T$ . К содержимому цилиндра подвели количество теплоты  $Q$  при медленном изобарическом процессе, и температура внутри цилиндра увеличилась на  $\Delta T$ . Найдите изменение внутренней энергии содержимого цилиндра. Объемом, занимаемым жидкостью, пренебречь.

При медленном подводе тепла в изобарическом процессе температура не менялась, пока не испарилась вся жидкость. В дальнейшем температура пара в количестве  $v_{п} + v_{ж}$  увеличилась на  $\Delta T$ . По закону сохранения энергии,

$$Q = \Delta U + p(V_{к} - V_{п}),$$

где  $p(V_{к} - V_{п})$  – работа пара против внешнего давления. По уравнению состояния,

$$pV_{п} = v_{п} RT, \quad pV_{к} = (v_{п} + v_{ж})R(T + \Delta T).$$

Окончательно находим

$$\Delta U = Q - v_{ж} RT - (v_{п} + v_{ж})R\Delta T.$$

**Задача 10.** В цилиндре под поршнем находится один моль ненасыщенного пара при температуре  $T$ . Пар сжимают в изотермическом процессе так, что в конечном состоянии половина его массы сконденсировалась, а объем пара уменьшился в  $k = 4$  раза. Найдите молярную теплоту конденсации пара, если в указанном процессе от системы жидкость–пар пришлось отвести количество теплоты  $Q$  ( $Q > 0$ ). Пар можно считать идеальным газом.

Указание. Работа, совершаемая в изотермическом процессе  $v$  молями пара при расширении от объема  $V_1$  до  $V_2$

$$\text{равна } A = vRT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Конденсация пара начнется в состоянии 2 (см. рисунок), и в дальнейшем до конечного состояния 3 давление меняется не будет. Количество образовавшейся жидкости равно половине первоначального количества пара, т.е.  $v_{ж} = v_{п}/2$ . Количество теплоты, отведенное на участке 1–3, равно

$$Q_{13} = Q_{12} + Q_{23}.$$

На участке 1–2 пар остается ненасыщенным, его внутренняя энергия в изотермическом процессе не меняется, поэтому тепло отводится в количестве, равном работе сжатия внешних сил:

$$Q_{12} = v_{п} RT \ln \frac{V_1}{V_2}.$$

На участке 2–3 конденсация пара и выделение тепла происходят при постоянном давлении и температуре, и  $Q_{23} = \Lambda v_{ж}$ , где  $\Lambda$  – молярная теплота конденсации пара. Кроме того, для этого участка из уравнения состояния находим

$$p_2(V_2 - V_3) = v_{ж} RT.$$

Последнее равенство, уравнение состояния  $p_2 V_2 = v_{п} RT$  и условие  $V_1 = k V_3$  позволяют найти отношение объемов  $V_1/V_2$ :

$$\frac{V_1}{V_2} = k \frac{v_{п} - v_{ж}}{v_{п}}.$$

Таким образом, окончательно находим

$$Q_{13} = Q = v_{п} RT \ln \left( k \frac{v_{п} - v_{ж}}{v_{п}} \right) + \Lambda v_{ж},$$

откуда

$$\Lambda = 2Q - 2RT \ln 2.$$

**Упражнения**

**1.** После теплого летнего дождя относительная влажность воздуха достигла 100%. При этом плотность влажного воздуха (масса пара и воздуха в  $1 \text{ м}^3$ )  $\rho = 1171 \text{ г/м}^3$ , его давление  $p = 100 \text{ кПа}$  и температура  $t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Найдите по этим данным давление насыщенного пара при температуре  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Молярные массы воздуха и пара равны  $M_{в} = 29 \text{ г/моль}$  и  $M_{п} = 18 \text{ г/моль}$  соответственно, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ .

**2.** В цилиндре под поршнем с пружиной заперт водяной пар в объеме  $V_1 = 4 \text{ л}$ . Температура в цилиндре поддерживается постоянной и равной  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . В цилиндр впрыскивается  $m = 4 \text{ г}$  воды, и поршень начинает перемещаться. После установления равновесия часть воды испарилась, а объем цилиндра увеличился в 2 раза. Какая масса пара была в цилиндре вначале? Сколько воды испарилось к концу опыта?

**3.** Влажный термометр психрометра, висящего в комнате, показывает температуру  $13 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_{в} = 286 \text{ К}$ ). Сухой термометр этого психрометра показывает при этом температуру  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_{с} = 288 \text{ К}$ ). Какова относительная влажность воздуха в комнате? Сколько росы выпадет из каждого кубометра влажного воздуха комнаты, если температура в ней понизится и сухой термометр будет показывать температуру  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Давление насыщенного водяного пара при температуре  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $p = 12,8 \text{ мм рт.ст.}$  Также известно, что вблизи комнатной температуры малые относительные изменения давления насыщенного водяного пара  $\Delta p/p$  связаны с малыми относительными изменениями его температуры  $\Delta T/T$  соотношением  $\Delta p/p = 18 \Delta T/T$ .

**4.** Смесь воды и ее насыщенного пара занимает некоторый объем при температуре  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Если смесь нагревать изохорически, то вся вода испаряется при увеличении температуры на  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Чему равно давление насыщенного водяного пара при  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , если в начальном состоянии масса воды составляла 29% от массы всей смеси? Объемом воды по сравнению с объемом смеси пренебречь.

**5.** Насыщенный водяной пар находится в цилиндре под поршнем при температуре  $t = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ . При медленном изотермическом уменьшении объема цилиндра пар начинает конденсироваться. К моменту, когда сконденсировалось  $m = 5 \text{ г}$  пара, объем пара уменьшился на  $\Delta V = 4,5 \text{ л}$ . Какая работа была совершена внешней силой в этом процессе? Сколько пара было в цилиндре вначале, если в конце опыта вода занимала 0,5% объема цилиндра?

Информацию о журнале «Квант» и некоторые материалы из журнала можно найти в ИНТЕРНЕТЕ по адресам:

Курьер образования  
<http://www.courier.com.ru>

Vivos Voco!  
<http://vivovoco.nns.ru>  
(раздел «Из номера»)

Московский детский клуб «Компьютер»  
[math.child.ru](http://math.child.ru)