

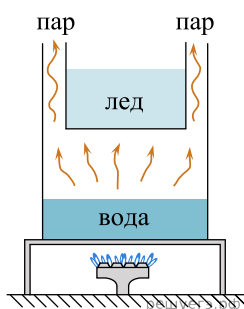
1. В калориметре находился 1 кг льда. Чему равна первоначальная температура льда, если после добавления в калориметр 20 г воды, имеющей температуру  $20^\circ\text{C}$ , в калориметре установилось тепловое равновесие при  $-2^\circ\text{C}$ ? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.

2. В калориметре находился лед при температуре  $t_1 = -5^\circ\text{C}$ . Какой была масса  $m_1$  льда, если после добавления в калориметр  $m_2 = 4$  кг воды, имеющей температуру  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ , и установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной  $t = 0^\circ\text{C}$ , причем в калориметре была только вода?

3. В калориметре находился 1 кг льда. Какой была температура льда, если после добавления в калориметр 15 г воды, имеющей температуру  $20^\circ\text{C}$ , в калориметре установилось тепловое равновесие при  $-2^\circ\text{C}$ ? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.

4. В 2012 году зима в Подмоскowie была очень холодной, и приходилось использовать системы отопления дачных домов на полную мощность. В одном из них установлено газовое отопительное оборудование с тепловой мощностью 17,5 кВт и КПД 85%, работающее на природном газе — метане  $\text{CH}_4$ . Сколько пришлось заплатить за газ хозяевам дома после месяца (30 дней) отопления в максимальном режиме? Цена газа составляла на этот период 3 рубля 30 копеек за 1 кубометр газа, удельная теплота сгорания метана  $50,4$  МДж/кг. Можно считать, что объем потребленного газа измеряется счетчиком при нормальных условиях. Метан имеет молярную массу  $\mu = 16$  г/моль. Ответ округлите до десятков рублей.

5. На газовую плиту поставили сосуд, в котором находится 0,5 литра воды при температуре  $+20^\circ\text{C}$ . В верхней части сосуда имеется емкость с 1 кг льда при температуре  $0^\circ\text{C}$  (см. рис.). Пары воды могут выходить из сосуда, обтекая емкость со льдом. Что и при какой температуре окажется в верхней емкости к моменту, когда вся вода в сосуде испарится? Считать, что на нагревание емкости расходуется 50% теплоты, полученной водой в сосуде. Испарением воды при температуре ниже  $+100^\circ\text{C}$ , а также теплоемкостью стенок сосуда и емкости пренебречь.



6. Среднеквадратичная скорость молекул идеального одноатомного газа, заполняющего закрытый сосуд, равна  $\bar{v} = 450$  м/с. Как и на сколько изменится среднеквадратичная скорость молекул этого газа, если давление в сосуде вследствие охлаждения газа уменьшить на 19%?

7. В теплоизолированном цилиндре, разделенном на две части тонким невесомым теплопроводящим поршнем, находится идеальный одноатомный газ. В начальный момент времени поршень закреплен, а параметры состояния газа — давление, объем и температура — в одной части цилиндра равны  $p_1 = 1$  атм,  $V_1 = 1$  л и  $T_1 = 300$  К, а в другой, соответственно,  $p_2 = 2$  атм,  $V_2 = 1$  л и  $T_2 = 600$  К. Поршень отпускают, и он начинает двигаться без трения. Какое давление газа установится в цилиндре спустя достаточно долгое время, когда будет достигнуто состояние равновесия? Теплоемкостями цилиндра и поршня можно пренебречь.

8. Для отопления обычной московской квартиры площадью  $S = 60 \text{ м}^2$  в месяц требуется при сильных морозах, судя по квитанциям ЖКХ, примерно 1 гигакалория теплоты (1 кал  $\approx 4,2$  Дж). Она получается в основном при сжигании на московских теплостанциях природного газа — метана с КПД  $\eta$  преобразования энергии экзотермической реакции в теплоту около 50%. Уравнение этой химической реакции имеет вид:



где  $Q \approx 1,33 \cdot 10^{18}$  Дж (на одну молекулу метана).

Представим себе, что пары воды, получившиеся в результате сжигания метана, сконденсировались, заморозились на морозе и выпали в виде снега на крыше дома, равной по площади квартире. Будем считать плотность такого снега равной  $100 \text{ кг/м}^3$ . Какова будет толщина  $h$  слоя снега, выпавшего за месяц в результате этого процесса?

9. Некоторое количество азота находится в замкнутом сосуде при температуре 300 К и давлении 2 атм. Когда температуру сосуда повысили до 3000 К, часть молекул азота распалась на атомы, и в результате этого давление увеличилось до 30 атм. Какая часть молекул азота распалась на атомы?

10. В калориметре находится лед при температуре  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ . В него добавляют 50 г воды, имеющей температуру  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной  $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите первоначальную массу льда в калориметре. Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.

11. Два сосуда объемами 20 л и 30 л, соединенные трубкой с краном, содержат влажный воздух при комнатной температуре. Относительная влажность в сосудах равна соответственно 30% и 40%. Если кран открыть, то какой будет относительная влажность воздуха в сосудах после установления теплового равновесия, считая температуру постоянной?

12. В калориметр поместили  $m = 200$  г льда при температуре  $t_1 = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ , затем сообщили льду количество теплоты  $Q = 120$  кДж и добавили в калориметр еще  $M = 102$  г льда при температуре  $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какая температура  $t_3$  установилась в калориметре в состоянии равновесия? Теплообменом содержимого калориметра с окружающей средой и теплоемкостью калориметра можно пренебречь.

13. В начальный момент времени газ имел давление  $p_1 = 1,8 \cdot 10^5$  Па при  $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Затем газ изотермически сжали в  $k = 4$  раз. В результате давление газа увеличилось в 3 раза. Определите относительную влажность в начальный момент времени. Потерями вещества пренебречь.

14. Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. Объем каждого сосуда  $V = 1 \text{ м}^3$ . В первом сосуде находится  $\nu_1 = 1$  моль гелия при температуре  $T_1 = 400$  К; во втором —  $\nu_2 = 3$  моль аргона при температуре  $T_2$ . Кран открывают. После установления равновесного состояния давление в сосудах  $p = 5,4$  кПа. Определите первоначальную температуру аргона  $T_2$ .

15. Железный шарик радиусом  $r = 2$  см заморожен в ледяной шар радиусом  $R = 3$  см. Их охладил до температуры  $t_1 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$  и опустили в калориметр, в котором находится вода массой  $m = 200$  г при температуре  $t_2 = +30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какая температура  $t$  установится в калориметре после достижения равновесного состояния? Потерями теплоты пренебречь.

16. В комнате размером  $3 \times 5 \times 6$  м при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  влажность воздуха равна 35%. После включения увлажнителя воздуха, производительность которого равна  $0,36$  л/ч, влажность в комнате стала равна 70%. За какое время это произошло? Давление насыщенного пара при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $2,33$  кПа.

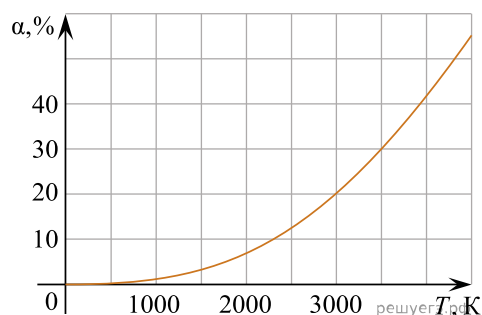
17. В комнате площадью  $30 \text{ м}^2$ , при температуре  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха 20% (давление насыщенных паров  $3160$  Па), включают увлажнитель воздуха, который увлажняет со скоростью  $0,36$  л/ч, спустя 3 ч относительная влажность воздуха равняется 60%. Найти высоту комнаты.

18. В калориметр, содержащий 200 г воды при температуре 15 °С, добавили 20 г мокрого снега. Температура в калориметре стала равна 10 °С. Сколько воды было в снеге?

19. В комнате размерами 4 × 5 × 3 м, в которой воздух имеет температуру 10 °С и относительную влажность 30%, включили увлажнитель воздуха производительностью 0,2 л/ч. Чему станет равна относительная влажность воздуха в комнате через 1,5 ч? Давление насыщенного водяного пара при температуре 10 °С равно 1,23 кПа. Комнату считать герметичным сосудом.

20. Для получения и поддержания температуры 0 °С, одной из двух реперных точек на шкале Цельсия, в лабораторной практике часто используют следующий метод. В теплоизолированный стакан наливают дистиллированную воду комнатной температуры, поливают воду сверху жидким азотом, перемешивая смесь ложкой до тех пор, пока не образуется масса серого цвета, состоящая из мелких кристалликов льда и воды. Это обеспечивает нужную температуру в течение длительного времени — смесь помещают в сосуд Дьюара, где она медленно тает при 0 °С. Какой объем  $V$  жидкого азота требуется израсходовать для получения массы  $m = 300$  г такой смеси, содержащей 75% льда и 25% воды (по массе), из воды при 25 °С? Теплоемкостями стакана и ложки, а также потерями теплоты можно пренебречь. Плотность жидкого азота  $\rho_{\text{ж}} = 808$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплота парообразования  $L = 197,6$  кДж/кг.

21. Объем 0,1 литра водорода нагревают при постоянном давлении от 300 до 3000 К. При высоких температурах молекулы водорода распадаются на отдельные атомы. На графике показана зависимость доли распавшихся молекул от температуры. Чему равен конечный объем газа?



22. В калориметр, содержащий  $M = 250$  г воды при температуре  $t_1 = 20$  °С, опускают железный шар массой  $m = 100$  г, находящийся при температуре  $t_2 = 600$  °С. Какая температура  $t_3$  установится в калориметре после достижения теплового равновесия? Считайте, что при контакте раскаленного металла с водой она быстро превращается в пар и образовавшиеся пары воды сразу улетучиваются. Другими потерями теплоты можно пренебречь.

23. В сосуде под поршнем находится влажный воздух с относительной влажностью 60% при постоянной температуре 100 °С. В начальном состоянии его давление составляет  $p_1 = 1,6 \cdot 10^5$  Па. Определите, во сколько  $k$  раз нужно уменьшить объем в сосуде, чтобы давление возросло в 3 раза?

24. В закрытом сосуде находится азот под давлением 2 атм с начальной температурой 280 К. Газ нагревают до температуры 3000 К, при этом давление газа увеличивается до 30 атм и часть молекул распадается на атомы. Какая часть молекул распалась?

25. В комнате при 20 °С относительная влажность 40%. При физической нагрузке через легкие человека приходит 15 л воздуха за 1 минуту. Выдыхаемый воздух имеет температуру 34 °С и влажность 100%. Давление насыщенного пара при 20 °С равно 2,34 кПа, а при 34 °С составляет 5,32 кПа. Какую массу воды теряет тело человека за 1 час за счет дыхания? Считать, что выдыхаемый воздух имеет такой же объем, какой проходит через легкие человека. Влажность воздуха в комнате не меняется.

26. Царь-колокол был отлит в 1730 году по указу Анны Иоанновны из оловянистой бронзы и имеет массу 202 тонны. Его так и не смогли поднять на колокольню, и в 1737 году во время «великого пожара» в Москве его, по одной из версий, усиленно обливали водой, чтобы он не расплавился (температура плавления бронзы около 1000 °С). В результате из-за неравномерного охлаждения колокол растрескался и от него откололся кусок массой  $M$  около 12 тонн. Пусть этот кусок охлаждали водой, температура которой была равна 20 °С. Оцените, какой объем занимает водяной пар сразу после испарения воды, вылитой на осколок, если он охлаждается от 900 °С до 100 °С. Считайте, что вся вода при попадании на металл сразу испаряется.

27. Школьный класс имеет размеры пола 8 м × 12 м и высоту потолка 4,5 м. Осенью при атмосферном давлении 740 мм рт. ст. температура в классе равнялась 18 °С, а зимой, после похолодания и включения отопления температура повысилась до 24 °С при давлении 765 мм рт. ст. На сколько изменилось число молекул азота в классе? В воздухе содержится 78% азота по объему. Молярная масса воздуха равна 29 г/кмоль, объемом учителя, учеников, мебели и учебных пособий можно пренебречь.

28. Сосуд объемом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г и давлении 200 кПа. Соотношение массы водорода к массе гелия в смеси равно 1,5. Чему равна температура в сосуде?

29. В откачанный сосуд объемом  $V = 30$  л, имеющий жесткие стенки, напустили  $\nu_1 = 0,4$  моля аргона со среднеквадратичной скоростью движения атомов  $\bar{v}_1 = 250$  м/с и  $\nu_2 = 0,6$  моля неона со среднеквадратичной скоростью движения атомов  $\bar{v}_2 = 500$  м/с. Какое равновесное давление установится в этом сосуде, если его теплоемкостью и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь?

30. В сосуд с водой при температуре  $t_1 = 50$  °С опускают шарик с температурой  $t_2$ . После установления теплового равновесия температура стала  $t_3 = 40$  °С. Не вынимая первый шарик, в сосуд опускает еще один шарик с температурой  $t_2$ . После установления теплового равновесия  $t_4 = 34$  °С. Найдите температуру шариков  $t_2$ . Теплообменом с окружающей средой и сосудом можно пренебречь.

31. Сосуд разделен тонкой перегородкой на две части, отношение объемов которых  $\frac{V_2}{V_1} = 3$ . В первой части сосуда находится воздух с относительной влажностью  $\varphi_1 = 80\%$ . Если убрать перегородку, то относительная влажность воздуха в сосудах после установления теплового равновесия будет равна 50%. Определите начальную влажность во втором сосуде, считая, что температура воздуха в частях сосуда одинакова и не изменилась после снятия перегородки.

32. В закрытом сосуде при температуре 100° находится влажный воздух с относительной влажностью воздуха 60% под давлением 100 кПа. Объем сосуда изотермически уменьшили в 2,5 раза. Во сколько раз нужно увеличить абсолютную температуру воздуха без изменения объема сосуда, чтобы получить такое же конечное давление? Объемом сконденсировавшейся воды пренебречь.

33. В емкость с водой при температуре  $t_1$  добавили шарик с  $t_2 = 10^\circ$  и температура стала  $t_3 = 40^\circ$ . Не вынимая этот шарик, добавили еще один такой же при температуре  $t_2$ , и температура стала  $t_4 = 34^\circ$ . Найдите  $t_1$ .

34. Свинцовая пуля массой  $m_1 = 10$  г при температуре  $t_1 = 100$  °С, летящая со скоростью  $v = 500$  м/с, попадает в неподвижную медную сферу массой  $m_2 = 200$  г, содержащую внутри лед массой  $m_3 = 50$  г при температуре  $t_2 = 0$  °С, и застревает там, при этом сфера не вращается. Какая температура  $t_3$  установится в системе после достижения теплового равновесия, если пуля и сфера находятся в невесомости и не обмениваются теплотой с другими телами?

35. Свинцовая пуля массой  $m_1 = 8$  г при температуре  $t_1 = 100$  °С, летящая со скоростью  $v = 400$  м/с, попадает в неподвижную медную сферу массой  $m_2 = 200$  г, содержащую внутри лед массой  $m_3 = 50$  г при температуре  $t_2 = 0$  °С, и застревает там, при этом сфера не вращается. Какая температура  $t_3$  установится в системе после достижения теплового равновесия, если пуля и сфера находятся в невесомости и не обмениваются теплотой с другими телами?

36. Определить массу воды  $m$ , которую теряет человек за  $\tau = 1$  ч в процессе дыхания, исходя из следующих данных. Относительная влажность вдыхаемого воздуха  $\varphi_1 = 60\%$ , относительная влажность выдыхаемого воздуха  $\varphi_2 = 100\%$ . Человек делает в среднем  $n = 15$  вдохов в минуту, выдыхая каждый раз  $V = 2,5$  л воздуха. Температура вдыхаемого и выдыхаемого воздуха принять  $t = 36$  °С, давление насыщенного водяного пара при этой температуре  $p_n = 5,9$  кПа. Молярная масса воды  $M = 18$  г/моль.

37. В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути длиной  $l = 76$  мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха  $\varphi_1$  в ней равна 80%. Какой станет относительная влажность этого воздуха  $\varphi_2$ , если трубку поставить вертикально, открытым концом вниз? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст. Температуру считать постоянной.

38. Сосуд разделен тонкой перегородкой на две части. В первой части сосуда находится воздух с относительной влажностью  $\varphi_1 = 60\%$ , во второй части находится воздух с относительной влажностью  $\varphi_2 = 70\%$ . После того, как убрали перегородку, в сосуде установилась относительная влажность воздуха 65%. Найдите отношение объемов частей сосуда. Считать, что температура воздуха в частях сосуда одинакова и не изменилась после снятия перегородки.

39. Два теплоизолированных сосуда объемом  $1$  м<sup>3</sup> соединены трубкой с закрытым краном. В первом сосуде содержится 1 моль гелия при температуре 450 К, во втором — 3 моль неона при температуре 300 К. Какое давление установится в сосудах после открытия крана?

40. Теплоизолированный сосуд разделён тонкой теплоизолирующей перегородкой на две части, отношение объёмов которых  $\frac{V_2}{V_1} = 4$ . Обе части сосуда заполнены одинаковым одноатомным идеальным газом. Давление в первой из них равно  $p_0$ , во второй —  $2p_0$ . Каким станет давление в сосуде, если перегородку убрать?

41. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда  $t_1 = 0$  °С. Если сообщить ему количество теплоты  $Q$ , то весь лёд растает и образовавшаяся вода нагреется до температуры  $t_2 = 30$  °С. Какая доля льда  $k$  растает, если сообщить ему количество теплоты  $q = \frac{Q}{2}$ ? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь.

42. В школьном физическом кружке изучали уравнение теплового баланса. В одном из опытов использовали два калориметра. В первом калориметре находилось 400 г воды, во втором 300 г льда и 200 г воды при 0 °С. Какой была первоначальная температура воды в первом калориметре, если после добавления в него всего содержимого второго в первом калориметре установилась температура 3 °С? Теплоёмкостью калориметров пренебречь.

43. В двух сосудах находится одинаковое количество воды при одинаковой температуре. В первый сосуд добавляют 0,42 кг воды при температуре 100 °С, а во второй — 0,42 кг пара при температуре 100 °С. Конечная температура воды в сосудах после установления теплового равновесия отличается на 50 °С. Найдите начальную массу воды в каждом сосуде. Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью сосудов пренебречь.