

## Фазовые переходы

### Содержание

1	Всероссийская олимпиада школьников по физике . . . . .	1
2	Московская олимпиада школьников по физике . . . . .	3
3	«Физтех» . . . . .	7
4	«Росатом» . . . . .	8
5	«Курчатов» . . . . .	9

### 1 Всероссийская олимпиада школьников по физике

ЗАДАЧА 1. (*Всеросс., 2018, МЭ, 8*) В калориметре содержатся равные массы воды и льда при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . В калориметр дополнительно вливают воду, масса которой равна суммарной массе воды и льда, первоначально находившихся в нём. Температура добавленной воды равна  $t_1 = 60^\circ\text{C}$ . Какая температура  $t$  установится в калориметре? Удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг.

$$t \approx 10,1^\circ\text{C}$$

ЗАДАЧА 2. (*Всеросс., 2013, МЭ, 8*) Некий изобретатель заявил, что ему удалось сделать супер-ящик, стенки которого совершенно не проводят теплоту. Он предложил использовать такие ящики для запасания энергии вместо аккумуляторных батарей. По его замыслу, на специальном инновационном заводе в ящик при нормальном атмосферном давлении закачивают некоторое вещество, имеющее температуру  $72^\circ\text{C}$ , и закрывают ящик. Потом его привозят на место использования и остужают до температуры окружающей среды, а выделившуюся при этом теплоту используют в общественно полезных целях.

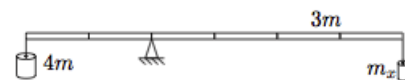
1) Какое вещество позволяет получить из супер-ящика больше теплоты при температуре окружающей среды  $30^\circ\text{C}$ : вода или спирт, и во сколько раз?

2) Во сколько раз увеличится эффективность использования супер-ящика с этим веществом при температуре окружающей среды  $-20^\circ\text{C}$ ?

Температура кипения воды равна  $100^\circ\text{C}$ , спирта —  $78^\circ\text{C}$ ; удельная теплоемкость воды равна  $4,2$  кДж/(кг · °C), спирта —  $2,4$  кДж/(кг · °C), льда —  $2,1$  кДж/(кг · °C); удельная теплота плавления льда —  $330$  кДж/кг; плотность воды —  $1,0$  г/см<sup>3</sup>, спирта —  $0,8$  г/см<sup>3</sup>.

$$1) \text{ Вода, в } 1,75 \text{ раз; } 2) \text{ в } 4,5 \text{ раза}$$

ЗАДАЧА 3. («Максвелл», 2014, 8) На рычаге массой  $3m$  висят две льдинки (см. рисунок). Точка опоры делит рычаг в соотношении 1 : 2. К короткому плечу рычага подвешена льдинка массой  $4m$ .



1. Какую массу должна иметь льдинка, подвешенная к длинному плечу, чтобы система находилась в равновесии?

2. Льдинки одновременно начали нагревать. Во сколько раз должны отличаться мощности подводимого к льдинкам тепла, чтобы равновесие сохранилось? Льдинки находятся при температуре плавления.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{4m}{m_x}$$

ЗАДАЧА 4. («Максвелл», 2017, РЭ, 8) Уличный фонарь представляет собой прозрачный куб ребром  $a = 20$  см, в центр которого помещена небольшая лампочка мощностью  $P = 100$  Вт. После снегопада на фонаре появилась «шапка» из снега высотой  $h = a$ . Наступила оттепель. Температура воздуха установилась около  $0^\circ\text{C}$ . За тёмное время суток ( $\tau = 10$  часов), пока светил фонарь, «шапка» наполовину растаяла (рис.). Считая, что снег отражает примерно  $\alpha = 90\%$  света, определить его пористость  $\varepsilon$  (пористость снежного пласта равно отношению объёма, занятого воздухом, к общему объёму снежного пласта). Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг, плотность льда  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>. Считать снежную «шапку» непрозрачной.

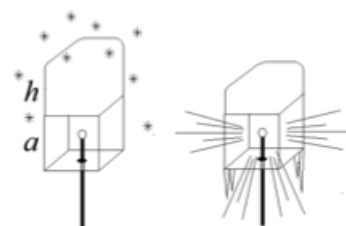
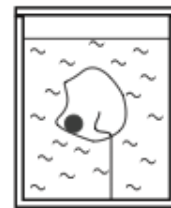


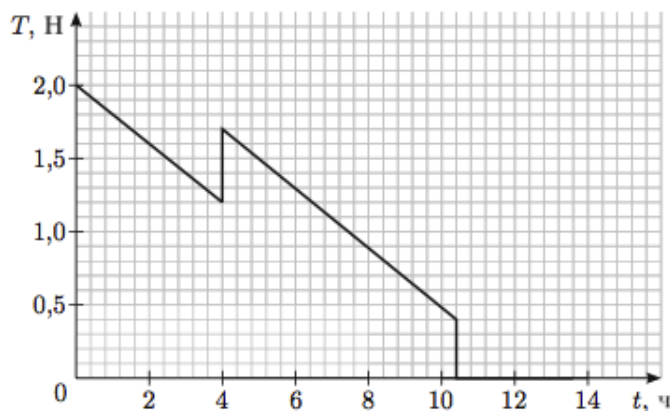
Рис. 4

$$Q_{\text{пл}} = \frac{P \alpha \varepsilon}{4\pi(r-1)} - 1 = \varepsilon$$

ЗАДАЧА 5. («Максвелл», 2013, 8) В большом сосуде с водой находится кусок льда с замороженными в него маленьким стальным шариком и тонкой лёгкой невесомой нитью (см. рисунок справа). Кусок погружён в воду полностью и прикреплён с помощью конца нити ко дну сосуда. В сосуде находится нагреватель постоянной мощности. Вся система теплоизолирована и в начальный момент времени находится в тепловом равновесии. На графике (см. рисунок внизу) представлена зависимость силы натяжения нити  $T$  от времени  $t$  с момента включения нагревателя. Плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность льда  $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$ , плотность стали  $\rho_{\text{с}} = 7800 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 334 \text{ кДж/кг}$ ,  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .



Найдите:  
 1) мощность нагревателя  $N$ ;  
 2) массу льда  $m_0$  в куске в начале эксперимента;  
 3) изменение  $\Delta V$  объёма системы (вода + кусок льда с шариком) за время от начала эксперимента до момента, когда сила  $T$  натяжения нити обратится в нуль.



$$1) N = \frac{v_{\text{д}} - v_{\text{л}}}{\Delta t} \left| \frac{\Delta V}{\Delta t} \right| = 16,7 \text{ Вт}; 2) m_0 = 2,25 \text{ кг}; 3) \Delta V = 210 \text{ мл}$$

## 2 Московская олимпиада школьников по физике

ЗАДАЧА 6. (МОШ, 2017, 8) Вася принёс домой с улицы 3 кг «мокрого» снега. «Мокрым» называют снег, содержащий воду. Температура снега  $0^\circ\text{C}$ . Чтобы превратить снег в воду, в него пришлось влить 2 л кипящей воды при  $100^\circ\text{C}$ . При этом температура общей массы получившейся воды осталась равной  $0^\circ\text{C}$ . Определить процентное содержание по массе влаги (воды), которое было в снеге.  $c_{\text{в}} = 4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ,  $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$ . Потерями тепла пренебречь. Какая температура общей массы получившейся воды установилась бы, если бы добавили не 2 л кипятка, а 3 л?

$$v = 1 - \frac{m_{\text{л}}}{m_{\text{в}}} \approx 15\%; 17^\circ\text{C}$$

ЗАДАЧА 7. (МОШ, 2006, 8) В калориметре находился лёд массой  $m_{\text{л}} = 0,5$  кг при температуре  $t_{\text{л}} = -20^\circ\text{C}$ . Удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2100$  Дж/(кг · °C), а его удельная теплота плавления  $\lambda = 340$  кДж/кг. В калориметр впустили пар массой  $m_{\text{п}} = 60$  г при температуре  $t_{\text{п}} = 100^\circ\text{C}$ . Какая температура установится в калориметре? Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4100$  Дж/(кг · °C), удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \cdot 10^6$  Дж/кг. Теплоёмкостью калориметра и потерями тепла пренебречь. Ответьте на тот же вопрос, если начальная масса льда равна  $m_{\text{л1}} = 0,3$  кг.

$$0,87; 0,0$$

ЗАДАЧА 8. (МОШ, 2016, 8) В калориметре находится некоторое количество льда. После того как в калориметр на время  $\tau_1$  опустили нагреватель, в нём оказался лёд, имеющий температуру на  $2^\circ\text{C}$  большую, чем в начале. Какое время  $\tau_2$  может потребоваться для дальнейшего нагревания содержимого калориметра тем же нагревателем ещё на  $2^\circ\text{C}$ ? Удельная теплоёмкость воды  $c_2 = 4200$  Дж/(кг · °C), льда  $c_1 = 2100$  Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330$  кДж/кг. Потерями в окружающую среду и теплоёмкостью калориметра можно пренебречь. Процессы теплообмена внутри калориметра считать достаточно быстрыми.

$$1,9; 0,8 \geq \tau_2 \geq 1$$

ЗАДАЧА 9. (МОШ, 2012, 8) Сосуд в форме куба с ребром 1 дм на  $2/3$  заполнен льдом, имеющим температуру  $0^\circ\text{C}$ . Туда быстро долили воду, имеющую температуру  $+100^\circ\text{C}$ , и сосуд оказался заполненным доверху. Считая, что теплообмен с окружающей средой отсутствует и что лёд не всплывает, определите, весь ли лёд растает и на сколько опустится уровень воды в сосуде к тому времени, когда система придёт в состояние теплового равновесия. Плотности воды и льда  $1000$  кг/м<sup>3</sup> и  $900$  кг/м<sup>3</sup> соответственно, удельные теплоёмкости воды и льда  $4200$  Дж/(кг · °C) и  $2100$  Дж/(кг · °C) соответственно, удельная теплота плавления льда  $335$  кДж/кг.

$$1,17 \text{ л} \text{ растает не весь; уровень воды понизится приблизительно на } 4,6 \text{ мм}$$

ЗАДАЧА 10. (МОШ, 2008, 8) В чашку налили раствор кофе при температуре  $t_1 = 100^\circ\text{C}$  и бросили туда несколько кубиков льда, взятого при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Когда лёд растаял, температура раствора оказалась равной  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ . На сколько процентов уменьшилась концентрация кофе в растворе? Теплообмен раствора кофе с окружающей средой не учитывать. Удельные теплоёмкости раствора кофе и воды одинаковы и равны  $c = 4,2$  кДж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330$  кДж/кг.

*Замечание.* Под концентрацией понимается отношение массы чистого кофе ко всей массе раствора.

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\lambda + 2c\Delta t}{\lambda + c\Delta t}; \text{ уменьшилась на } 28\%$$

ЗАДАЧА 11. (МОШ, 2007, 8) В сосуде находился лёд при температуре  $t_{\text{л}} = 0^\circ\text{C}$ . Туда влили воду массой  $m_{\text{в}} = 0,4$  кг, взятую при температуре  $t_{\text{в}} = 60^\circ\text{C}$ . Какая температура установилась в сосуде, если конечный объём его содержимого равен  $V = 1$  л? Чему равна масса содержимого сосуда? Плотности воды и льда  $\rho_{\text{в}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{\text{л}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>, их удельные теплоёмкости  $c_{\text{в}} = 4200$  Дж/(кг · °C) и  $c_{\text{л}} = 2100$  Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг. Теплоёмкостью сосуда и потерями тепла пренебречь.

$$1,6; 0 \approx \left(\frac{\lambda}{c_{\text{л}}\rho_{\text{л}}} + 1\right) \left(\frac{c_{\text{в}}}{c_{\text{л}}} - 1\right) m_{\text{в}} + \lambda m_{\text{л}} = m; 0,0$$

Задача 12. (МОШ, 2006, 8) В калориметре находится  $m = 100$  г расплавленного металла галлия при температуре его плавления  $t_{пл} = 29,8^\circ\text{C}$ . Его начали медленно охлаждать, оберегая от внешних воздействий, и в результате температура понизилась до  $t = 19,8^\circ\text{C}$ , а галлий остался жидким. Когда переохлаждённый таким образом жидкий галлий размешали палочкой, он частично перешёл в твердое состояние. Найдите массу отвердевшего галлия и установившуюся в калориметре температуру. Удельная теплота плавления галлия  $\lambda = 80$  кДж/кг, удельная теплоёмкость жидкого галлия  $c = 410$  Дж/(кг · °C). Теплоёмкостью калориметра и палочки пренебречь.

$$m' = \frac{\lambda}{(t - t_{пл})c} = x \text{ г}$$

Задача 13. (МОШ, 2009, 8) Школьник Петя на каникулах залил с дедушкой каток на даче площадью около  $100 \text{ м}^2$ . После морозов началась оттепель с дождём и снегом, а потом снова ударили морозы  $-10^\circ\text{C}$ . Приехав в субботу на дачу, Петя обнаружил, что примерно 5% площади катка покрылось «грибами» из льда — наростами толщиной около 1 см и площадью примерно  $100 \text{ см}^2$ . Пете очень хотелось покататься на коньках, и он решил выровнять каток, «выгладив» его горячим утюгом. Примерно сколько времени понадобится для этого, и успеет ли Петя покататься в воскресенье? Мощность утюга — 2 кВт, удельная теплоёмкость льда  $c_{л} = 2,1$  Дж/(г · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 340$  Дж/г, удельная теплоёмкость воды  $c_{в} = 4,2$  Дж/(г · °C), плотность льда  $\rho_{л} = 0,9$  г/см<sup>3</sup>. Можно считать, что каждый «гриб» достаточно разгладить до высоты 1 мм, при разглаживании вода нагревается до  $+50^\circ\text{C}$ , потери теплоты на нагревание окружающего утюг воздуха малы, а потери времени на распределение воды по достаточной площади льда и на переход к следующему «грибу» составляют около 20 секунд.

$$t \approx 6,9 \text{ ч}$$

Задача 14. (МОШ, 2009, 8) В трёх калориметрах находится по  $M = 20$  г воды одинаковой температуры. В калориметры погружают льдинки, также имевшие одинаковые температуры (но другие): в первый — льдинку массой  $m_1 = 10$  г, во второй — массой  $m_2 = 20$  г, в третий — массой  $m_3 = 40$  г. Когда в калориметрах установилось равновесие, оказалось, что масса первой льдинки стала равной  $m'_1 = 9$  г, а масса второй льдинки осталась прежней. Какой стала масса третьей льдинки  $m'_3$ ?

$$m'_3 = (m_3 - m_1) \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} + m_1 = 3 \text{ г}$$

Задача 15. (МОШ, 2011, 8) В Москве построили 30 снегоплавильных пунктов, в которых собранный с улиц снег расплавляется и уже в жидком виде отправляется на очистку. Для плавления снега используется тёплая вода из канализации, причем сейчас используется только 1% от сбрасываемого в канализацию количества теплоты. Оцените, сколько процентов от сбрасываемой в канализацию тёплой воды надо израсходовать, чтобы перетопить весь выпадающий на улицы и площади снег.

Известно, что на одного москвича в среднем приходится  $10 \text{ м}^2$  площади улиц, тротуаров и площадей. Каждый житель сливает в канализацию в среднем 100 л воды в сутки, при этом средняя температура воды на входе в сливное отверстие равна  $+30^\circ\text{C}$ . Средняя месячная норма осадков зимой для Москвы  $\approx 50$  мм (в пересчёте на воду). Теплота плавления снега, как и льда, равна примерно  $3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг, плотность воды равна  $1000 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоёмкость воды  $4200$  Дж/(кг · °C).

$$\alpha \approx \frac{30 \cdot 10^3}{4200} = 7,1\%$$

Задача 16. (МОШ, 2017, 8) В г. Москве в районе Очаково работает мощная тепловая электрическая станция с названием «ТЭЦ-25». Максимальная электрическая мощность этой станции составляет  $W_1 = 1370$  МВт. Кроме выработки электроэнергии, эта станция может одновременно поставлять теплоту с мощностью  $W_2 = 4088$  Гкал/ч для снабжения соседних районов города горячей водой и для обогрева домов. Станция работает на природном газе метане ( $\text{CH}_4$ ), при сгорании  $m_0 = 16$  г которого выделяется количество теплоты  $Q = 797$  кДж. В атмосферу через трубы вместе с продуктами сгорания всегда выбрасывается 20% энергии, полученной в результате сгорания топлива. В летнем режиме, когда дома отапливать не нужно, станция работает на 80% своей максимальной электрической мощности, и при этом 30% выделившейся при сгорании метана теплоты всё равно приходится отводить в атмосферу при помощи испарения воды в специальных устройствах — градирнях. Удельная теплота парообразования воды  $L = 2256$  кДж/кг, одна калория равна примерно 4,2 Дж.

- 1) Каков у станции расход топлива (в кг/с) зимой?
- 2) Каков КПД использования тепловой энергии при её преобразовании в электрическую зимой?
- 3) Какое количество воды ежесекундно превращается в пар (в л/с) в градирнях станции летом?
- 4) Какая мощность поставляется потребителям горячей воды в домах летом?

$$P_{\text{э}} = \eta_{\text{эл}} W_1 = 0,8 \cdot 1370 = 1096 \text{ МВт}$$

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{т}}} = \frac{1096}{1370} = 0,799 \approx 80\%$$

Задача 17. (МОШ, 2018, 8) Очень толстый слой льда имеет температуру  $0^\circ\text{C}$ . Полярник решил провести эксперимент. Для этого он сделал во льду небольшую лунку и накрыл её слоем теплоизолятора, в который была вставлена тонкая трубка. Через эту трубку полярник очень медленно заливал в лунку неизвестную горячую жидкость с удельной теплоёмкостью  $c$  и плотностью  $\rho$ . Жидкость плавил лёд, и глубина лунки увеличивалась. Полярник обнаружил, что существует некоторое минимальное значение начальной температуры жидкости  $t_0$ , при котором в лунку можно залить сколь угодно большое количество жидкости, и лёд будет продолжать плавиться. При этом поверхность образующейся воды никогда не поднимется до верхнего края лунки. Найдите это минимальное значение  $t_0$ . Удельная теплота плавления льда  $\lambda$ , а также плотности воды и льда  $\rho_{\text{в}}$  и  $\rho_{\text{л}}$  известны.

$$\frac{v \, d - a \, d}{v \, d \, a \, d \, \sqrt{\quad}} = 0$$

Задача 18. (МОШ, 2011, 8) В сосуд, где находилось  $V = 4$  литра воды при температуре  $t = 20^\circ\text{C}$ , опускают сильно нагретую стальную деталь массой  $m = 2,4$  кг. При этом часть воды быстро испаряется, так, что температура оставшейся части воды практически не успеваешь измениться. После установления теплового равновесия температура воды в сосуде оказывается равной  $t_{\text{р}} = 25^\circ\text{C}$ . Найдите начальную температуру стальной детали. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200$  Дж/(кг·°C), удельная теплоёмкость стали  $c_{\text{с}} = 460$  Дж/(кг·°C). Удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \cdot 10^6$  Дж/кг, плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Всеми потерями теплоты из сосуда, кроме испарения, пренебречь.

$$Q_{\text{с}} = m_{\text{с}} c_{\text{с}} (t_{\text{р}} - t) \approx \frac{m_{\text{с}} c_{\text{с}}}{(t_{\text{р}} - t_{\text{с}}) c_{\text{с}} + \lambda} \left( \frac{(t_{\text{р}} - t_{\text{с}}) c_{\text{с}}}{(t_{\text{р}} - t_{\text{с}}) c_{\text{с}} + \lambda} m_{\text{с}} - \lambda d \right) + m_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{р}} - t) = 0$$

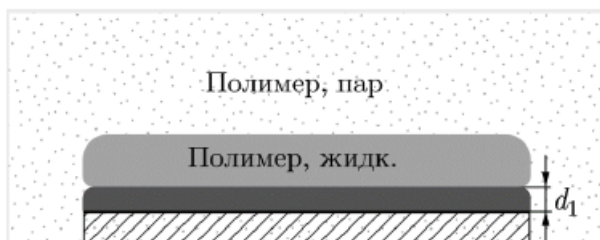
Задача 19. (МОШ, 2015, 8) Туристы развели костёр и поставили кипятиться воду в котелке с плоским дном и вертикальными стенками, заполнив котелок на  $n = 3/4$  его объёма. Когда вода закипела, котелок не сняли с костра, и спустя время  $t_1 = 10$  мин после начала кипения количество воды в котелке уменьшилось на  $\eta_1 = 34\%$ . В этот момент начался дождь, но туристы продолжали поддерживать костёр, поскольку группа людей с продуктами задержалась. За следующие  $t_2 = 8$  мин количество воды в котелке уменьшилось ещё на  $\eta_2 = 8\%$  от своего первоначального значения. Известно, что пустой котелок, поставленный вертикально на землю, наполнился бы под дождём доверху за время  $t_3 = 64$  мин. Определите температуру дождевых капель до их попадания в котелок. Удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · °С), удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \cdot 10^6$  Дж/кг. Считайте, что подводимая к воде в котелке тепловая мощность всё время поддерживается постоянной. Интенсивность дождя не меняется.

$$\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \approx \left[ 1 - \left( \frac{v_1}{c_1} - \frac{r_1}{c_1} \right) \frac{c_1}{\epsilon_1 \rho_1 u} \right] \frac{c_1}{L} - \text{ник} L = L$$

Задача 20. (МОШ, 2007, 8) Вазон для цветов, стоящий на улице, имеет плоское дно и вертикальные стенки. Толщина слоя земли в вазоне равна  $h = 15$  см, а температура земли равна  $t = 11$  °С. На улице похолодало, и пошёл снег. Снежинки состоят из льда, имеют массу  $m = 50$  мкг, объём  $V = 0,5$  см<sup>3</sup> и температуру  $t_0 = 0$  °С. Они падают вертикально с постоянной скоростью  $v = 1$  м/с. В объёме воздуха  $V_0 = 1$  м<sup>3</sup> находится  $N_0 = 100$  снежинок. За какое время  $\tau$  на земле в вазоне нарастёт слой снега толщиной  $H = 10$  см? Считайте, что вся земля в вазоне равномерно пропитывается водой, имеет в любой момент одинаковую температуру во всём объёме и почти не обменивается теплом со стенками вазона и с воздухом. Плотность земли  $\rho = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость земли  $c = 900$  Дж/(кг · °С), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг.

$$\text{ник} \frac{c_1}{L} \approx \left( \frac{L}{H} + \frac{m \chi}{\rho_1 d} \right) \frac{c_1 N_0}{V_0} = L$$

Задача 21. (МОШ, 2018, 8) На пластинку из тугоплавкого текстолита нанесён слой оловянно-припоя (температура плавления 190 °С) толщиной  $d_1 = 20$  мкм. Эту пластинку, взятую при комнатной температуре 20 °С, погружают в насыщенный пар специальной полимерной жидкости (Galden), температура которого равна 200 °С. Пар конденсируется на слое припоя, вследствие чего припой плавится. Определите толщину слоя сконденсировавшейся жидкости к тому моменту, когда весь слой припоя расплавится.



Учитывайте теплообмен только между припоем и конденсирующимся полимером. Жидкий припой с текстолитом и жидкий полимер с припоем не стекают. Плотность, удельная теплоёмкость и удельная теплота плавления припоя:  $\rho_1 = 8100$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_1 = 230$  Дж/(кг · °С),  $\lambda = 60$  кДж/кг. Плотность, удельная теплоёмкость и удельная теплота испарения жидкого полимера:  $\rho_2 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_2 = 970$  Дж/(кг · °С),  $L = 60$  кДж/кг. Считайте, что теплота испарения не зависит от температуры.

$$\text{ник} \frac{c_1}{L} \approx \left( \frac{L + c_2 \Delta T}{\rho_2 L} \right) \frac{c_2}{L} \rho_2 = c_2$$

### 3 «Физтех»

ЗАДАЧА 22. («Физтех», 2014, 8–11) В калориметр, содержащий 100 г воды при температуре  $20^\circ\text{C}$ , бросают лёд массой 20 г при температуре  $-20^\circ\text{C}$ . Найдите установившуюся температуру в калориметре. Удельные теплоёмкости воды и льда равны соответственно  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$  и  $2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ . Удельная теплота плавления льда  $332 \text{ кДж}/\text{кг}$ . Ответ дать в градусах Цельсия. Если ответ не целый, то округлить до десятых.

8'1

ЗАДАЧА 23. (Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 8–9) Затратив количество теплоты  $Q_1 = 12 \text{ МДж}$ , из некоторой массы льда, взятого при температуре  $-t_1^\circ\text{C}$ , получили воду при температуре  $+2t_1^\circ\text{C}$ . Известно, что  $1/3$  часть от затраченного количества теплоты пошла на нагревание воды. Кроме того, известно, что удельная теплоёмкость льда в 2 раза меньше удельной теплоёмкости воды. Определите количество теплоты, которое пошло на превращение льда в воду. Ответ выразить в кДж. Если ответ не целый, то округлить до целых.

0002

ЗАДАЧА 24. (Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 8) В калориметре смешали  $m_1 = 150 \text{ г}$  льда при температуре  $t_1 = -12^\circ\text{C}$  и  $m_2 = 20 \text{ г}$  пара при температуре  $t_2 = +100^\circ\text{C}$ . Чему равна масса воды в системе после установления теплового равновесия? Ответ выразить в граммах, округлив до целых. Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330 \text{ кДж}/\text{кг}$ . Удельная теплота парообразования воды  $L = 2300 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

021

ЗАДАЧА 25. (Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 9) В калориметре смешали  $m_1 = 600 \text{ г}$  льда при температуре  $t_1 = -40^\circ\text{C}$  и  $m_2 = 12 \text{ г}$  пара при температуре  $t_2 = +100^\circ\text{C}$ . Чему равна масса воды в системе после установления теплового равновесия? Ответ выразить в граммах, округлив до целых. Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330 \text{ кДж}/\text{кг}$ . Удельная теплота парообразования воды  $L = 2300 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

0

ЗАДАЧА 26. (Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 10) В калориметре смешали  $m_1 = 500 \text{ г}$  льда при температуре  $t_1 = -28^\circ\text{C}$  и  $m_2 = 10 \text{ г}$  пара при температуре  $t_2 = +100^\circ\text{C}$ . Чему равна масса воды в системе после установления теплового равновесия? Ответ выразить в граммах, округлив до целых. Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330 \text{ кДж}/\text{кг}$ . Удельная теплота парообразования воды  $L = 2300 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

ε



## 4 «Росатом»

ЗАДАЧА 27. («Росатом», 2017, 8–9) В калориметр, содержащий некоторое количество воды с неизвестной температурой, положили кусок льда с температурой  $t_1 = -50^\circ\text{C}$ . После установления равновесия весь лёд превратился в воду с температурой  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . После того как в калориметр положили ещё восемь таких же кусков льда с той же температурой  $t_1 = -50^\circ\text{C}$ , вся вода превратилась в лёд с температурой  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Найти начальную температуру воды. Удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 336 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

$$0,02 = \frac{\gamma - (t_1 - 0) \cdot c_{\text{л}}}{\gamma + (t_1 - 0) \cdot c_{\text{л}}} + 0 = x_1$$

## 5 «Курчатов»

ЗАДАЧА 28. («Курчатов», 2015, 8–9) Литр воды имеет комнатную температуру  $20^\circ\text{C}$  и находится в открытом сверху тонкостенном сосуде. В воду быстро (за время меньше чем 1 с) опустили разогретую до  $800^\circ\text{C}$  тонкую медную плоскую пластину массой 0,64 кг, удерживая её клещами. Пластина лежит в вертикальной плоскости. Верхний край пластины оказался вровень с уровнем воды в сосуде. Движениями пластины воду перемешали и сразу же опустили в воду термометр. Что он показал? Удельная теплоёмкость меди  $0,38 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , воды —  $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота парообразования воды  $2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$ .

$$24,7^\circ\text{C}$$