

Фазовые переходы

Содержание

1	Всероссийская олимпиада школьников по физике	1
2	Московская олимпиада школьников по физике	4
3	«Физтех»	9
4	«Росатом»	10
5	«Курчатов»	11

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.

$$t \approx 10,7^\circ\text{C}$$

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°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°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°C ?

Температура кипения воды равна 100°C , спирта — 78°C ; удельная теплоёмкость 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/см³, спирта — $0,8$ г/см³.

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

ЗАДАЧА 3. (*Всеросс., 2019, МЭ, 8*) В открытый сверху сосуд, в котором находилась вода объёмом $V = 1$ л при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$, бросили кусок железа массой $m = 100$ г, температура которого была равна $t_0 = 500^\circ\text{C}$. Часть воды очень быстро испарилась. Через некоторое время температура воды стала равной $t_2 = 24^\circ\text{C}$. Сколько граммов воды испарилось? Удельная теплоёмкость воды $c_1 = 4200$ Дж/(кг·°C), её удельная теплота парообразования при температуре кипения $L = 2,3$ МДж/кг, а плотность — $\rho = 1000$ кг/м³. Удельная теплоёмкость железа $c_2 = 460$ Дж/(кг·°C). Сосуд хорошо изолирован от окружающей среды, его теплоёмкостью можно пренебречь, вода из сосуда не выплёскивается.

$$x \approx \frac{m(c_2 - c_1)(t_0 - t_1)}{(t_1 - t_2)L + c_1(t_1 - t_2)} = x_{\text{ш}}$$

ЗАДАЧА 4. (*«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 $4m$.

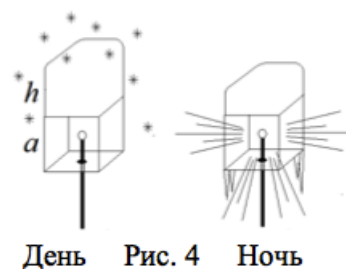


1. Какую массу должна иметь льдинка, подвешенная к длинному плечу, чтобы система находилась в равновесии?

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

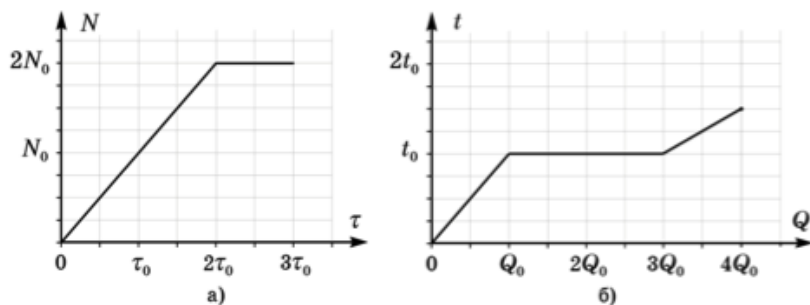
$$x = 5m/4 \text{ — мощность нагрева льдинки в 5 раз больше}$$

ЗАДАЧА 5. (*«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°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 ε (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/м³. Считать снежную «шапку» непрозрачной.



$$\varepsilon = \frac{P \tau \alpha}{\lambda \rho a^3 (1 - \alpha)} - 1 = \varepsilon$$

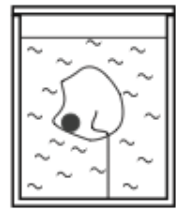
ЗАДАЧА 6. («Максвелл», 2019, РЭ, 8) В калориметре со встроенным нагревателем расплавили некоторое вещество. На рисунке приведены графики зависимости мощности N нагревателя от времени τ его работы и температуры t вещества от переданного ему количества теплоты Q .



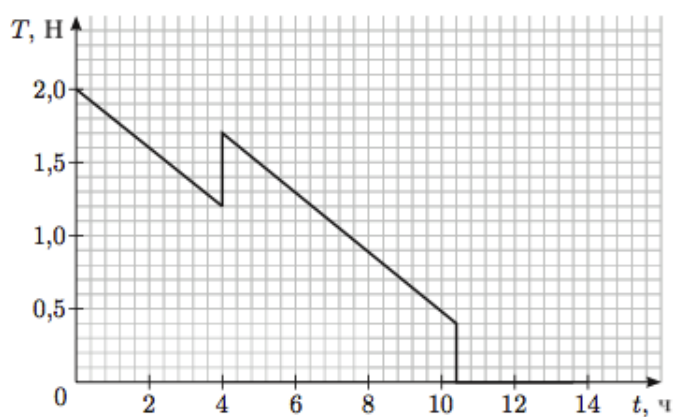
Найдите отношение теплоемкостей вещества в твердом и жидком состоянии. Определите, сколько времени длился процесс плавления $\tau_{пл}$, считая известным время τ_0 . Постройте график зависимости температуры вещества от времени, указав на нем величины τ и t в характерных точках.

$$\frac{c_{ж}}{c_{т}} = \frac{2}{1}$$

ЗАДАЧА 7. («Максвелл», 2013, 8) В большом сосуде с водой находится кусок льда с вмороженными 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 $\rho_{в} = 1000 \text{ кг/м}^3$, плотность льда $\rho_{л} = 900 \text{ кг/м}^3$, плотность стали $\rho_{с} = 7800 \text{ кг/м}^3$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 334 \text{ кДж/кг}$, $g = 10 \text{ Н/кг}$.

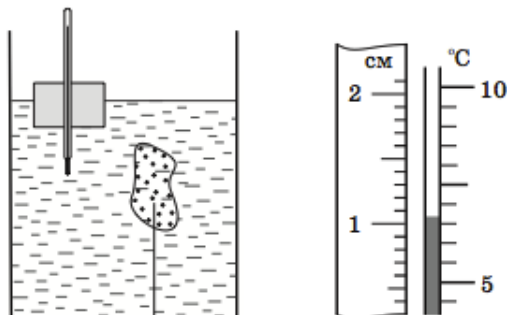


- Найдите:
- 1) мощность нагревателя N ;
 - 2) массу льда m_0 в куске в начале эксперимента;
 - 3) изменение ΔV объёма системы (вода + кусок льда с шариком) за время от начала эксперимента до момента, когда сила T натяжения нити обратится в нуль.



$$1) N = 16,7 \text{ Вт}; 2) m_0 = 2,25 \text{ кг}; 3) \Delta V = 210 \text{ мл}$$

ЗАДАЧА 8. («Максвелл», 2019, финал, 8) На столе стоит высокий цилиндрический сосуд с водой, в котором с помощью закрепленной на дне нити удерживается полностью погруженная в воду льдинка. На поверхности воды плавает небольшой плотик с встроенным термометром (см. рис. слева). Система находится в тепловом равновесии. В сосуд начинают добавлять горячую воду при температуре $t_1 = 99^\circ\text{C}$ с массовым расходом $\mu = 2,0$ г/с.



Считая процессы теплообмена быстрыми, постройте качественный график зависимости скорости подъема верхней границы столбика жидкости термометра относительно стола от времени, указав на нем характерные точки. Вода из сосуда не выливается. Потерями тепла, теплоемкостью термометра и плотика можно пренебречь. Площадь дна сосуда $S = 20$ см². Вначале в сосуде было $m = 400$ г воды, а сила натяжения нити равнялась $T = 0,07$ Н. Во время таяния лед не всплывал. На рис. справа приведен укрупненный фрагмент шкалы термометра, к которой приложена линейка.

Удельная теплоемкость воды $c_0 = 4200$ Дж/(кг · °С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг, плотность льда $\rho = 0,9$ г/см³, плотность воды $\rho_0 = 1,0$ г/см³, ускорение свободного падения $g = 10$ Н/кг.

См. конец листка

2 Московская олимпиада школьников по физике

ЗАДАЧА 9. (МОШ, 2019, 8) Утром, перед тем, как пойти на работу, теоретик Баг приготовил себе кофе в большой кружке. Масса кофе в кружке была равна 250 г, а его температура сразу после приготовления была равна 90 °С. Багу не хотелось пить горячий кофе; он бы хотел, чтобы его температура была равна 70 °С. В холодильнике у Бага есть много кубиков льда, каждый из которых имеет массу 2,5 г и начальную температуру -15°C . Сколько кубиков льда нужно опустить в кружку, чтобы после их таяния температура кофе оказалась как можно ближе к значению 70 °С? Удельная теплоёмкость кофе 4200 Дж/(кг · °С), удельная теплоёмкость льда 2100 Дж/(кг · °С), удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг. Всеми потерями тепла пренебречь.

81

Задача 10. (МОШ, 2017, 8) Вася принёс домой с улицы 3 кг «мокрого» снега. «Мокрым» называют снег, содержащий воду. Температура снега 0°C . Чтобы превратить снег в воду, в него пришлось влить 2 л кипящей воды при 100°C . При этом температура общей массы получившейся воды осталась равной 0°C . Определить процентное содержание по массе влаги (воды), которое было в снеге. $c_{\text{в}} = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, $\lambda = 330 \text{ кДж}/\text{кг}$. Потерями тепла пренебречь. Какая температура общей массы получившейся воды установилась бы, если бы добавили не 2 л кипятка, а 3 л?

$$\Delta t \approx \frac{m_{\text{ж}}}{m_{\text{л}} + m_{\text{ж}}} - t = \nu$$

Задача 11. (МОШ, 2006, 8) В калориметре находился лёд массой $m_{\text{л}} = 0,5 \text{ кг}$ при температуре $t_{\text{л}} = -20^\circ\text{C}$. Удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, а его удельная теплота плавления $\lambda = 340 \text{ кДж}/\text{кг}$. В калориметр впустили пар массой $m_{\text{п}} = 60 \text{ г}$ при температуре $t_{\text{п}} = 100^\circ\text{C}$. Какая температура установится в калориметре? Удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота парообразования воды $r = 2,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$. Теплоёмкостью калориметра и потерями тепла пренебречь. Ответьте на тот же вопрос, если начальная масса льда равна $m_{\text{л1}} = 0,3 \text{ кг}$.

$$t_{\text{в}}; t_{\text{л}}$$

Задача 12. (МОШ, 2016, 8) В калориметре находится некоторое количество льда. После того как в калориметр на время τ_1 опустили нагреватель, в нём оказался лёд, имеющий температуру на 2°C большую, чем в начале. Какое время τ_2 может потребоваться для дальнейшего нагревания содержимого калориметра тем же нагревателем ещё на 2°C ? Удельная теплоёмкость воды $c_2 = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, льда $c_1 = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \text{ кДж}/\text{кг}$. Потерями в окружающую среду и теплоёмкостью калориметра можно пренебречь. Процессы теплообмена внутри калориметра считать достаточно быстрыми.

$$t_1 \approx \tau_2 \approx t_1$$

Задача 13. (МОШ, 2012, 8) Сосуд в форме куба с ребром 1 дм на $2/3$ заполнен льдом, имеющим температуру 0°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 $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $900 \text{ кг}/\text{м}^3$ соответственно, удельные теплоемкости воды и льда $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ и $2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ соответственно, удельная теплота плавления льда $335 \text{ кДж}/\text{кг}$.

$$t_{\text{л}} \text{ растает; уровень воды понизится приблизительно на } 4,6 \text{ мм}$$

Задача 14. (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 $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \text{ кДж}/\text{кг}$.

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

$$\frac{n_0}{n} = \frac{\lambda + c\Delta t}{\lambda + 2c\Delta t}; \text{ уменьшилась на } 28\%$$

Задача 15. (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/м³ и $\rho_{\text{л}} = 900$ кг/м³, 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.

$$m_{\text{л}} \approx \left(\frac{c_{\text{в}}}{c_{\text{л}}} + 1 \right) \left(\frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{л}}} - 1 \right) m_{\text{в}} + \lambda \rho_{\text{л}} V = 0,4 \text{ кг}$$

Задача 16. (МОШ, 2006, 8) В калориметре находится $m = 100$ г расплавленного металла галлия при температуре его плавления $t_{\text{пл}} = 29,8^\circ\text{C}$. 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.

$$t = t_{\text{пл}} = \frac{\lambda}{(c - c_{\text{пл}})m} = 29,8^\circ\text{C}$$

Задача 17. (МОШ, 2009, 8) Школьник Петя на каникулах залил с дедушкой каток на даче площадью около 100 м². После морозов началась оттепель с дождём и снегом, а потом снова ударили морозы -10°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 см². 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 $c_{\text{л}} = 2,1$ Дж/(г · °C), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ Дж/г, удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4,2$ Дж/(г · °C), плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,9$ г/см³. 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.

$$t \approx \frac{\rho_{\text{л}} \lambda V}{P} = 20 \text{ с}$$

Задача 18. (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 ?

$$m'_3 = (m_1 - m'_1) \frac{c_{\text{л}} - c_{\text{в}}}{c_{\text{л}} - c_{\text{в}}} + m_2 = 30 \text{ г}$$

Задача 19. (МОШ, 2019, 8) Удельная теплота сгорания сухих дров (берёзовых или сосновых) равна $q_0 = 15$ МДж/кг. Если дрова не сухие, а влажные (содержат воду), то для них различают высшую и низшую теплоту сгорания. Высшая теплота сгорания — это полная энергия, выделяющаяся в химических реакциях горения при сжигании 1 кг топлива. Низшая теплота сгорания получается, если из высшей теплоты сгорания вычесть теплоту, необходимую для нагревания и испарения содержащейся в дровах воды (а также некоторые другие тепловые потери, которыми в данной задаче можно пренебречь). Имеются дрова, влажность которых равна $\eta = 30\%$, а температура $t_0 = 10^\circ\text{C}$. Влажность — это массовая доля воды в дровах, выраженная в процентах. Вычислите высшую q_1 и низшую q_2 теплоту сгорания таких дров. Удельная теплоёмкость и удельная теплота парообразования воды равны $c = 4200$ Дж/(кг · °C) и $L = 2,26$ МДж/кг. Влиянием влажности на протекание химических реакций пренебречь.

$$q_1 = 10,5 \text{ МДж/кг}; q_2 = 9,7 \text{ МДж/кг}$$

Задача 20. (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 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 ≈ 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 кг/м^3 , удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °C).

$$\alpha \approx 44\% \approx \frac{30 \cdot 4200}{3,3 \cdot 10^5}$$

Задача 21. (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 (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?

$$\alpha = 0,3 \frac{dW}{dM} = 0,3 \frac{1370 \text{ МВт}}{1,974 \text{ МВт}} = 0,205 \text{ (2)}$$

$$\eta = \frac{Q}{m_0} = \frac{797 \text{ кДж}}{16 \text{ г}} = 49,8 \text{ кДж/г} = 49,8 \text{ МДж/кг} \text{ (1)}$$

Задача 22. (МОШ, 2018, 8) Очень толстый слой льда имеет температуру 0°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 ρ . Жидкость плавила 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 λ , а также плотности воды и льда $\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{л}}$ известны.

$$\frac{v d - a d}{v d a d \gamma} = 0$$

Задача 23. (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 успевает 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/м³. Всеми потерями теплоты из сосуда, кроме испарения, пренебречь.

$$0,001 = \frac{m c_{\text{с}}}{(t - t_{\text{р}}) \rho_{\text{л}}} \left(\frac{(t - t_{\text{р}}) \rho_{\text{в}}}{(t_{\text{р}} - t_{\text{исп}}) \rho_{\text{в}}} m - \lambda d \right) + m \rho_{\text{л}} = 0$$

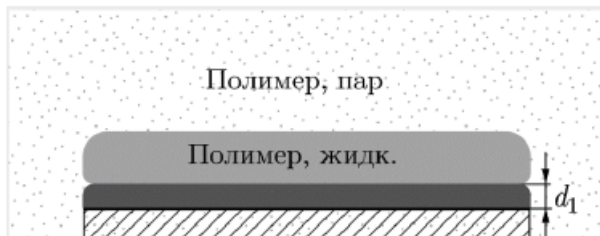
Задача 24. (МОШ, 2015, 8) Туристы развели костёр и поставили кипятиться воду в котелке с плоским дном и вертикальными стенками, заполнив котелок на $n = 3/4$ его объёма. Когда вода закипела, котелок не сняли с костра, и спустя время $t_1 = 10$ мин после начала кипения количество воды в котелке уменьшилось 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·°C), 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.

$$0,001 \approx \left[1 - \left(\frac{t_1}{t_3} - \frac{t_2}{t_3} \right) \frac{r}{c} \right] \frac{c}{t} - m \rho_{\text{л}} = L$$

Задача 25. (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 $t = 11^\circ\text{C}$. На улице похолодало, и пошёл снег. Снежинки состоят из льда, имеют массу $m = 50$ мкг, объём $V = 0,5$ см³ и температуру $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Они падают вертикально с постоянной скоростью $v = 1$ м/с. В объёме воздуха $V_0 = 1$ м³ находится $N_0 = 100$ снежинок. За какое время τ 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/м³, удельная теплоёмкость земли $c = 900$ Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда $\lambda = 335$ кДж/кг.

$$m \rho_{\text{л}} \approx \left(\frac{\lambda}{H} + \frac{m c}{\tau \rho_{\text{л}}} \right) \frac{a N_0}{v} = L$$

ЗАДАЧА 26. (МОШ, 2018, 8) На пластинку из тугоплавкого текстолита нанесён слой оловянно-го припоя (температура плавления 190°C) толщиной $d_1 = 20$ мкм. Эту пластинку, взятую при комнатной температуре 20°C , погружают в насыщенный пар специальной полимерной жидкости (Galden), температура которого равна 200°C . 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 текстолита и жидкий полимер с припоя не стекают. Плотность, удельная теплоёмкость и удельная теплота плавления припоя: $\rho_1 = 8100$ кг/м³, $c_1 = 230$ Дж/(кг · °C), $\lambda = 60$ кДж/кг. Плотность, удельная теплоёмкость и удельная теплота испарения жидкого полимера: $\rho_2 = 1800$ кг/м³, $c_2 = 970$ Дж/(кг · °C), $L = 60$ кДж/кг. Считайте, что теплота испарения не зависит от температуры.

$$128 \text{ мкм} \approx \frac{(7 + \frac{c_1 \rho_1 c_2}{\lambda + \frac{c_1 \rho_1 c_2}{\lambda}}) c_2 d}{(\lambda + \frac{c_1 \rho_1 c_2}{\lambda}) \rho_2} \rho_1 = c_2 \rho_1$$

3 «Физтех»

ЗАДАЧА 27. («Физтех», 2014, 8–11) В калориметр, содержащий 100 г воды при температуре 20°C , бросают лёд массой 20 г при температуре -20°C . Найдите установившуюся температуру в калориметре. Удельные теплоёмкости воды и льда равны соответственно 4200 Дж/(кг · К) и 2100 Дж/(кг · К). Удельная теплота плавления льда 332 кДж/кг. Ответ дать в градусах Цельсия. Если ответ не целый, то округлить до десятых.

8'1

ЗАДАЧА 28. (Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 8–9) Затратив количество теплоты $Q_1 = 12$ 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 29. (*Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 8*) В калориметре смешали $m_1 = 150$ г льда при температуре $t_1 = -12^\circ\text{C}$ и $m_2 = 20$ 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 $c_{\text{в}} = 4200$ Дж/(кг·°C). Удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2100$ Дж/(кг·°C). Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг.

021

ЗАДАЧА 30. (*Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 9*) В калориметре смешали $m_1 = 600$ г льда при температуре $t_1 = -40^\circ\text{C}$ и $m_2 = 12$ 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 $c_{\text{в}} = 4200$ Дж/(кг·°C). Удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2100$ Дж/(кг·°C). Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг.

0

ЗАДАЧА 31. (*Олимпиада Физтех-лицея, 2015, 10*) В калориметре смешали $m_1 = 500$ г льда при температуре $t_1 = -28^\circ\text{C}$ и $m_2 = 10$ 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 $c_{\text{в}} = 4200$ Дж/(кг·°C). Удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2100$ Дж/(кг·°C). Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг.

ε

4 «Росатом»

ЗАДАЧА 32. (*«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 $c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°C), удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда $\lambda = 336 \cdot 10^3$ Дж/кг.

$$0 \circ 02 = \frac{\chi - (t_2 - 02)^{\chi \circ 8} \frac{a_2}{\chi}}{\chi + (t_2 - 02)^{\chi \circ 8} \frac{a_2}{\chi}} + 02 = x_7$$

5 «Курчатов»

ЗАДАЧА 33. («Курчатов», 2015, 8–9) Литр воды имеет комнатную температуру 20°C и находится в открытом сверху тонкостенном сосуде. В воду быстро (за время меньше чем 1 с) опустили разогретую до 800°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°C

Ответ к задаче 8

