

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**

**C1** Зимой школьник решил поставить опыт: налил в две тонкие пластиковые бутылки с практически нерастяжимыми стенками горячую воду (почти кипяток) до самого горлышка, одну плотно закрыл крышкой, а из другой сначала вылил воду и потом сразу же плотно закрыл крышкой, и выставил обе бутылки на мороз на всю ночь. В результате одна бутылка лопнула, а другая сплющилась. Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, какая из бутылок сплющилась и почему.

**Возможное решение**

1. В первой бутылке была только горячая вода, а во второй – насыщенные пары воды и малое количество воздуха.
2. Ночью на морозе обе бутылки за счёт всех видов теплоотдачи – конвекции, теплопроводности и теплового излучения – остыли до температуры окружающего холодного воздуха.
3. В первой бутылке вода сначала охладилась до 0 °С, а потом при фазовом переходе из жидкого состояния в твёрдое отдала теплоту кристаллизации, замёрзла и охладилась до низкой температуры окружающей среды. При этом объём воды вырос примерно на 10 % (это следует из таблицы плотностей веществ), что привело к сильному росту давления в бутылке с нерастяжимыми стенками, и она лопнула.
4. Пары воды во второй бутылке сконденсировались и замёрзли, сильно уменьшив свой объём, а давление в бутылке упало до очень низкого значения. Поэтому бутылка под действием наружного атмосферного давления сплющилась.

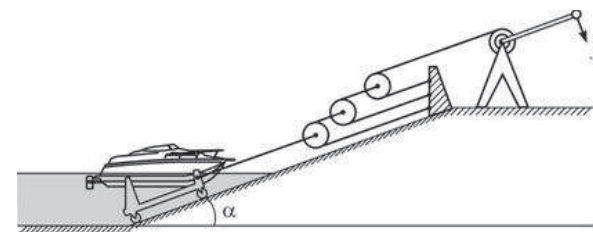
**Критерии оценки выполнения задания**

**Баллы**

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>явлений теплоотдачи – конвекции, теплопроводности и излучения, фазовых переходов – конденсации паров с уменьшением их объема и кристаллизации воды с ростом её объема, а также результата деформации обеих бутылок</i> ).	3
Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, и дано правильное объяснение, но содержится один из следующих недостатков. В представленных записях содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи. <b>ИЛИ</b> Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объёме, или в них содержатся логические недочёты.	2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Указаны не все необходимые явления и физические законы, даже если дан правильный ответ на вопрос задания. <b>ИЛИ</b> Указаны все необходимые явления и физические законы, но в некоторых из них допущена ошибка, даже если дан правильный ответ на вопрос задания. <b>ИЛИ</b> Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. <b>ИЛИ</b> Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к верному ответу, содержат ошибки.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0

**C2** На зиму в подмосковном яхт-клубе катера и яхты вытаскивают на берег по бетонному «слипу», то есть наклонной плоскости, уходящей под воду. Под плавающее судно помещают под водой лёгкую тележку, которая практически без трения может кататься по слипу, и при помощи лебёдки и системы блоков вытаскивают судно, поднимая его над уровнем воды.



Найдите максимальное водоизмещение судна, которое можно медленно вытащить из воды при помощи показанной на рисунке системы простых механизмов, если лебёдка даёт выигрыш в силе в  $n = 5$  раз, к её ручке прикладывают максимальную силу  $f = 250$  Н, а угол наклона слипа к горизонту равен  $\alpha = 0,1$  рад. Трением можно пренебречь.  
*Примечания:* водоизмещением называется масса воды, вытесняемой судном (измеряется обычно в тоннах); при углах  $\alpha \leq 0,1$  рад можно считать  $\sin \alpha \approx \alpha$ .

Возможное решение
<p><i>Способ 1.</i> Известно, что простые механизмы не дают выигрыша в работе. Найдем работу по поднятию судна массой (и водоизмещением) <math>m</math> над уровнем воды. Пусть вначале судно имеет осадку <math>h</math> (это глубина погружения его дна от уровня воды). Начальная сила, которую прикладывают для его поднятия, равна нулю (судно плавает). В конце подъёма из воды поднимающая судно сила должна равняться <math>mg</math>. По мере подъёма прикладываемую силу нужно увеличивать по линейному закону. Поэтому средняя сила, необходимая для подъёма судна на высоту <math>h</math> из воды, равна <math>\frac{mg}{2}</math>, а работа по подъёму равна <math>A = \frac{mgh}{2}</math>.</p> <p>Эта же работа может быть записана следующим образом: <math>A = f \cdot \frac{L}{2}</math>, где <math>f \leq 250</math> Н – максимальная сила, прикладываемая к ручке лебёдки, а <math>L</math> – перемещение конца этой ручки при подъёме судна из воды. Здесь коэффициент <math>\frac{1}{2}</math> также возникает из-за того, что сила при подъёме судна меняется от 0 до <math>f</math>.</p> <p>Как видно из рисунка, <math>L = nl = n \cdot 8S</math>, где <math>l</math> – длина троса, намотанного на вал лебёдки, а <math>S</math> – перемещение судна вдоль слипа, равное, очевидно, <math>\frac{h}{\alpha}</math>. Приравняв выражения для работы, получаем <math>\frac{mgh}{2} \approx \frac{fn \cdot 8h}{2\alpha}</math>, и окончательно <math>m \approx \frac{8fn}{g\alpha} = \frac{8 \cdot 250 \cdot 5}{10 \cdot 0,1} = 10\,000</math> кг = 10 тонн.</p> <p><i>Способ 2.</i> Ясно, что максимальную силу к ручке лебёдки нужно будет прикладывать тогда, когда судно окажется полностью извлечённым из воды. Поскольку лебёдка даёт выигрыш в силе в <math>n</math> раз, а система из трёх подвижных блоков – еще в 8 раз, то на судно со стороны прикреплённого к нему троса будет действовать сила <math>F = 8nf</math>. При медленном подъёме судна по сухой наклонной плоскости, в соответствии со вторым законом Ньютона, <math>F = 8nf = mgsin\alpha \approx mg\alpha</math>, откуда <math>m \approx \frac{8fn}{g\alpha} = 10</math> тонн.</p> <p><i>Ответ:</i> 10 тонн.</p>

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>использовано отсутствие выигрыша в работе при использовании простых механизмов, правильно записаны связь перемещений в данной системе тел и выражение для работы по подъёму плавающего судна из воды, либо применён второй закон Ньютона для медленного подъёма тела по наклонной плоскости</i>); <b>в случае, если при записи выражения для работы по подъёму плавающего судна из воды не учтен коэффициент 1/2, балл за это рекомендуется не снижать.</b> II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи); III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков. Записи, соответствующие одному или всем пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют. <b>ИЛИ</b> При полном правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.). <b>ИЛИ</b> При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца. <b>ИЛИ</b> При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа. <b>ИЛИ</b> В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1

ИЛИ	
В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0

**С3** Для отопления московской квартиры площадью  $S = 63 \text{ м}^2$  в месяц требуется при сильных морозах, судя по квитанциям ЖКХ, примерно 1 гигакалория теплоты (1 кал  $\approx 4,2$  Дж). Теплота получается в основном при сжигании на московских теплоэлектростанциях природного газа – метана с КПД  $\eta$  преобразования энергии экзотермической реакции в теплоту около 50 %. Уравнение этой химической реакции имеет вид:

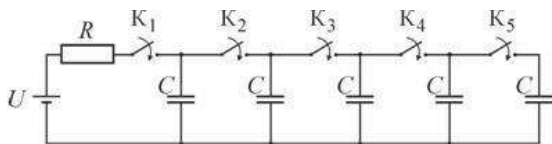
$$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + Q, \text{ где } Q \approx 1,33 \cdot 10^{-18} \text{ Дж.}$$

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

Возможное решение	
При образовании одной молекулы воды при горении метана выделяется количество теплоты, равное $\frac{Q}{2}$ , а для отопления используется только $\eta \cdot \frac{Q}{2} \approx 0,332 \cdot 10^{-18}$ Дж.	
Число молекул воды, образовавшихся за месяц при получении для отопления количества теплоты в 1 гигакалорию = $4,2 \text{ ГДж}$ , составляет,	
$N = \frac{4,2 \cdot 10^9}{3,32 \cdot 10^{-19}} \approx 1,265 \cdot 10^{28} \text{ шт.},$	
то есть примерно $\frac{1,265 \cdot 10^{28}}{(6 \cdot 10^{23})} \approx 2,11 \cdot 10^4$ молей.	
Масса 1 моля воды равна $0,018 \text{ кг}$ , так что за месяц образуется примерно $2,11 \cdot 10^4 \cdot 0,018 \approx 380 \text{ кг}$ воды, которая, сконденсировавшись, превращается на морозе в снег.	
При плотности снега, равной $100 \text{ кг/м}^3$ , объём такого количества замёрзшей воды равен $\frac{380}{100} \text{ м}^3 = 3,8 \text{ м}^3 = 6S \cdot h = 6 \cdot 63 \text{ м}^2 \cdot h = 378 \text{ м}^2 \cdot h$ , откуда толщина слоя	
снега будет равна $h = \frac{3,8}{378} \approx 0,010 \text{ м} = 1 \text{ см}$ .	
<b>Ответ:</b> $h \approx 1 \text{ см}$ .	

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>определение КПД, определение моля, связи массы и объёма слоя вещества, выраженного через площадь и толщину этого слоя</i>);</p> <p>II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <u>один</u> из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0

**С4** В цепи, схема которой изображена на рисунке, по очереди замыкают ключи  $K_1-K_5$ , выжидая каждый раз достаточно длительное время до окончания процессов зарядки конденсаторов. Какое количество теплоты выделится в резисторе после замыкания ключа  $K_5$ ? До его замыкания все остальные ключи уже были замкнуты. Параметры цепи:  $R = 100$  Ом,  $C = 2$  мкФ,  $U = 10$  В.



**Возможное решение**

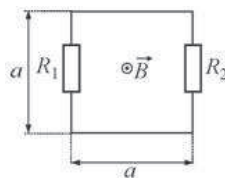
Согласно закону сохранения энергии, работа источника  $U\Delta q$  при зарядке одного конденсатора ёмкостью  $C$  до напряжения источника  $U$  расходуется на создание в конденсаторе электростатического поля, обладающего энергией, равной  $\frac{CU^2}{2}$ , и на теплоту  $Q$ , выделяющуюся по закону Джоуля–Ленца в резисторе:  $U\Delta q = \frac{CU^2}{2} + Q$ .

При полной зарядке, согласно формуле для связи заряда и ёмкости конденсатора, его заряд  $\Delta q = CU$ , откуда получаем  $Q = \frac{CU^2}{2}$ . Это выражение годится для процесса зарядки любого конденсатора, которая происходит после замыкания очередного ключа, поскольку состояние уже заряженных конденсаторов при замыкании очередного ключа не изменяется. Поэтому искомое количество теплоты равно  $Q_5 = \frac{CU^2}{2} = 0,1$  мДж.

**Ответ:**  $Q_5 = \frac{CU^2}{2} = 0,1$  мДж.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон сохранения энергии при зарядке конденсатора, формула для энергии заряженного конденсатора, формула для работы источника напряжения, связь заряда и напряжения на конденсаторе);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.                      ИЛИ                      В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

**C5** В плоской электрической цепи квадратной формы со стороной  $a = 1$  м, схема которой изображена на рисунке, сопротивления резисторов равны  $R_1 = 0,5$  Ом и  $R_2 = 9,5$  Ом. Цепь в некоторый момент помещают в однородное магнитное поле с вектором индукции, перпендикулярным плоскости цепи, проекция которого на нормаль к квадрату изменяется с течением времени  $t$  по закону  $B = B_0 - kt$ , где  $k = 0,1$  Тл/с. Какая тепловая мощность будет выделяться в резисторе  $R_2$ ? Сопротивлением проводников и индуктивностью цепи можно пренебречь.



**Возможное решение**

При изменении индукции магнитного поля и её потока через квадратный контур площадью  $a^2$  в нём возникает ЭДС индукции, по модулю равная

$$|E| = \left| \frac{d}{dt}(Ba^2) \right| = a^2 \left| \frac{d}{dt}(B_0 - kt) \right| = |-ka^2| = |-0,1 \cdot 1 \text{ В}| = 0,1 \text{ В}.$$

Эта ЭДС в соответствии с правилом Ленца направлена таким образом, что ток в цепи течёт против часовой стрелки и равняется по модулю

$$I = \frac{|E|}{R_1 + R_2} = \frac{ka^2}{R_1 + R_2} = \frac{0,1}{10} \text{ А} = 0,01 \text{ А}.$$

По закону Джоуля–Ленца в резисторе  $R_2$  будет выделяться тепловая мощность

$$P = I^2 R_2 = \left( \frac{ka^2}{R_1 + R_2} \right)^2 R_2 = 0,95 \text{ мВт}.$$

**Ответ:**  $P = I^2 R_2 = \left( \frac{ka^2}{R_1 + R_2} \right)^2 R_2 = 0,95 \text{ мВт}.$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон электромагнитной индукции, правило Ленца, закон Ома для полной цепи, закон Джоуля–Ленца);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.                      ИЛИ                      В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

**С6** Радиоактивные источники излучения могут использоваться в космосе для обогрева оборудования космических аппаратов. Например, на советских «Луноходах» были установлены тепловыделяющие капсулы на основе полония-210. Реакция распада этого изотопа имеет вид:  ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + \alpha$ , где получающиеся  $\alpha$ -частицы обладают кинетической энергией  $E = 5,3$  МэВ. Сколько атомов полония должно распасться в тепловыделяющей капсуле, чтобы с её помощью можно было вскипятить стакан воды объёмом  $V = 250$  мл? Начальная температура воды  $20$  °С, теплоёмкость стакана и капсулы, а также потерями теплоты можно пренебречь.

**Возможное решение**

Найдём вначале количество теплоты  $Q$ , необходимое для нагревания воды с удельной теплоёмкостью  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К) и плотностью  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> от  $20$  °С до  $100$  °С, то есть на  $\Delta T = 80$  °С оно равно

$$Q = c\rho V\Delta T = 4,2 \cdot 10^3 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot 10^{-6} \cdot 80 \text{ Дж} = 84\,000 \text{ Дж}.$$

В результате распада одного ядра полония-210 выделяется количество теплоты

$$E = 5,3 \text{ МэВ} = 5,3 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 8,48 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Значит, в капсуле должно распасться число ядер полония, равное

$\Delta N = \frac{Q}{E} = \frac{84\,000}{8,48 \cdot 10^{-13}} \approx 10^{17}$ .

$$\Delta N = \frac{Q}{E} = \frac{84\,000}{8,48 \cdot 10^{-13}} \approx 10^{17}.$$

**Ответ:**  $\Delta N \approx 10^{17}$ .

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>связь массы и объёма, уравнение теплового баланса для нагревания воды, формула для необходимого числа распавшихся ядер при известном энергетическом выходе реакции распада и получаемом количестве теплоты</i>);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.                      ИЛИ                      В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**

**C1** Зимой школьник решил поставить опыт: полностью заполнил две тонкие пластиковые бутылки с практически нерастяжимыми стенками горячей водой (почти кипятком), потом из одной вылил воду, сразу же обе плотно закрыл крышками и выставил бутылки на мороз на всю ночь. В результате одна бутылка лопнула, а другая сплюснулась. Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, какая из бутылок лопнула и почему.

**Возможное решение**

- 1) В первой бутылке были насыщенные пары воды и малое количество воздуха, а во второй – только горячая вода.
- 2) Ночью на морозе обе бутылки за счёт всех видов теплоотдачи – конвекции, теплопроводности и теплового излучения – остыли до температуры окружающего холодного воздуха.
- 3) Пары воды в первой бутылке сконденсировались и замерзли, сильно уменьшив свой объём, а давление в бутылке упало до очень низкого значения. Поэтому бутылка под действием наружного атмосферного давления сплюснулась.
- 4) Во второй бутылке вода сначала охладилась до 0 °С, а потом при фазовом переходе из жидкого состояния в твёрдое отдала теплоту кристаллизации, замёрзла и охладилась до низкой температуры окружающей среды. При этом объём воды вырос примерно на 10 % (это следует из таблицы плотностей веществ), что привело к сильному росту давления в бутылке с нерастяжимыми стенками, и она лопнула.

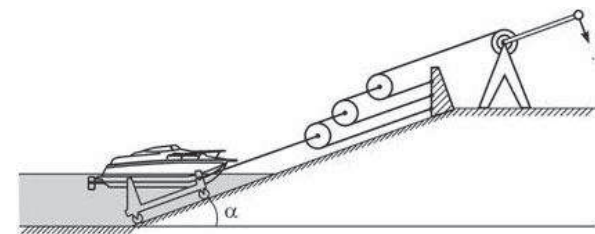
**Критерии оценки выполнения задания**

**Баллы**

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае <i>n. 1–4</i> ) и исчерпывающие верные рассуждения с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>явлений теплоотдачи – конвекции, теплопроводности и излучения, фазовых переходов – конденсации паров с уменьшением их объёма и кристаллизации воды с ростом её объёма, а также результата деформации обеих бутылок</i> ).	3
Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, и дано правильное объяснение, но содержится <b>один</b> из следующих недостатков. В представленных записях содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи. <b>ИЛИ</b> Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объёме, или в них содержатся логические недочёты	2

Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев. Указаны не все необходимые явления и физические законы, даже если дан правильный ответ на вопрос задания. <b>ИЛИ</b> Указаны все необходимые явления и физические законы, но в некоторых из них допущена ошибка, даже если дан правильный ответ на вопрос задания. <b>ИЛИ</b> Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. <b>ИЛИ</b> Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к верному ответу, содержат ошибки.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0

**C2** На зиму в подмосковном яхт-клубе катера и яхты вытаскивают на берег по бетонному «слипу», то есть по наклонной плоскости, уходящей под воду. Под плавающее судно помещают под водой лёгкую тележку, которая практически без трения может кататься по слипу, и при помощи лебёдки и системы блоков вытаскивают судно, поднимая его над уровнем воды (см. рисунок).



Найдите максимальную силу  $f$ , которую необходимо прикладывать к ручке лебёдки, чтобы медленно вытащить из воды судно водоизмещением 10 т при помощи показанной на рисунке системы простых механизмов, если лебёдка дает выигрыш в силе в  $n = 5$  раз, а угол наклона слипа к горизонту равен  $\alpha = 0,1$  рад. Трением можно пренебречь.

*Примечания:* водоизмещением называется масса воды, вытесняемой судном (измеряется обычно в тоннах); при углах  $\alpha \leq 0,1$  рад можно считать  $\sin \alpha \approx \alpha$ .

## Возможное решение

## Способ 1.

Известно, что простые механизмы не дают выигрыша в работе.

Найдем работу по поднятию судна массой (и водоизмещением)  $m$  над уровнем воды. Пусть вначале судно имеет осадку  $h$  (это глубина погружения его дна от уровня воды). Начальная сила, которую прикладывают для его поднятия, равна нулю (судно плавает). В конце подъема из воды поднимающая судно сила должна равняться  $mg$ . По мере подъема прикладываемую силу нужно увеличивать по линейному закону. Поэтому средняя сила, необходимая для подъема судна на высоту  $h$  из воды, равна  $\frac{mg}{2}$ , а работа по подъему равна  $A = \frac{mgh}{2}$ .

Эта же работа может быть записана следующим образом:  $A = f \cdot \frac{1}{2}$ , где  $f \leq 250$  Н – максимальная сила, прикладываемая к ручке лебедки, а  $L$  – перемещение конца этой ручки при подъеме судна из воды. Здесь коэффициент  $\frac{1}{2}$  также возникает из-за того, что сила при подъеме судна меняется от 0 до  $f$ .

Как видно из рисунка,  $L = nl = n \cdot 8S$ , где  $l$  – длина троса, намотанного на вал лебедки, а  $S$  – перемещение судна вдоль слипа, очевидно, равное  $\approx \frac{h}{\alpha}$ .

Приравняв выражения для работы, получаем  $\frac{mgh}{2} \approx \frac{fn \cdot 8h}{2\alpha}$ , и окончательно

$$f \approx \frac{mga}{8n} = \frac{10000 \cdot 10 \cdot 0,1}{8 \cdot 5} \text{ Н} = 250 \text{ Н}.$$

## Способ 2.

Ясно, что максимальную силу к ручке лебедки нужно будет прикладывать тогда, когда судно окажется полностью извлеченным из воды. Поскольку лебедка даёт выигрыш в силе в  $n$  раз, а система из трёх подвижных блоков – ещё в 8 раз, то на судно со стороны прикрепленного к нему троса будет действовать сила  $F = 8nf$ . При медленном подъеме судна по сухой наклонной плоскости, в соответствии со вторым законом Ньютона,  $F = 8nf = mgsina \approx mga$ , откуда  $f \approx \frac{mga}{8n} = 250$  Н.

Ответ: 250 Н.

## Критерии оценки выполнения задания

## Баллы

<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>использовано отсутствие выигрыша в работе при использовании простых механизмов, правильно записана связь перемещений в данной системе тел и выражение для работы по подъёму плавающего судна из воды, либо применён второй закон Ньютона для медленного подъёма тела по наклонной плоскости</i>); <b>в случае, если при записи выражения для работы по подъёму плавающего судна из воды не учтён коэффициент 1/2, балл за это рекомендуется не снижать.</b> II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи); III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков. Записи, соответствующие одному или всем пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют. <b>ИЛИ</b> При полном правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.). <b>ИЛИ</b> При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца <b>ИЛИ</b> При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа. <b>ИЛИ</b> В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. <b>ИЛИ</b> В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1



Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
--	---

**С3** 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 ( $1 \text{ кал} \approx 4,2 \text{ Дж}$ ). Она получается в основном при сжигании на московских теплоэлектростанциях природного газа – метана с КПД  $\eta$  преобразования энергии экзотермической реакции в теплоту около 50%. Уравнение этой химической реакции имеет вид:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + Q$ , где  $Q \approx 1,33 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ . Представим себе, что пары воды, получившиеся в результате сжигания метана, сконденсировались, замёрзли 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?

#### Возможное решение

При образовании одной молекулы воды при горении метана выделяется количество теплоты, равное  $\frac{Q}{2}$ , а для отопления используется только  $\eta \cdot \frac{Q}{2} \approx 0,332 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ .

Число молекул воды, образовавшихся за месяц при получении для отопления количества теплоты в 1 гигакалорию = 4,2 ГДж, составляет,

$$N = \frac{4,2 \cdot 10^9}{3,32 \cdot 10^{-19}} \approx 1,265 \cdot 10^{28} \text{ шт.},$$

то есть примерно  $\frac{1,265 \cdot 10^{28}}{(6 \cdot 10^{23})} \approx 2,11 \cdot 10^4$  молей.

Масса 1 моля воды равна 0,018 кг, так что за месяц образуется примерно

$2,11 \cdot 10^4 \cdot 0,018 \approx 380 \text{ кг}$  воды, которая, сконденсировавшись, превращается на морозе в снег.

При плотности снега, равной  $100 \text{ кг/м}^3$ , объём такого количества замёрзшей воды

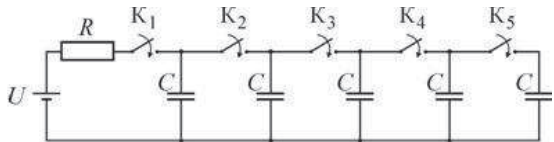
$$\text{равен } \frac{380}{100} \text{ м}^3 = 3,8 \text{ м}^3 = S \cdot h = 60 \text{ м}^2 \cdot h, \text{ откуда толщина слоя снега составит}$$

$$3,8/60 \approx 0,063 \text{ м} \approx 6,3 \text{ см.}$$

**Ответ:**  $h \approx 6,3 \text{ см}$ .

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:            I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>определение КПД, определение моля, связи массы и объёма слоя вещества, выраженного через площадь и толщину этого слоя</i>);            II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи</i>);            III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);            IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <u>один</u> из следующих недостатков.            Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.            ИЛИ            При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.            Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.            ИЛИ            В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.            ИЛИ            В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

**С4** В цепи, схема которой изображена на рисунке, по очереди замыкают ключи  $K_1-K_5$ , выжидая каждый раз достаточно длительное время до окончания процессов зарядки конденсаторов. Какое количество теплоты выделится в этой цепи после замыкания всех ключей? Параметры цепи:  $R = 100 \text{ Ом}$ ,  $C = 2 \text{ мкФ}$ ,  $U = 10 \text{ В}$ .



**Возможное решение**

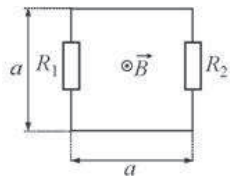
Согласно закону сохранения энергии, работа источника  $U\Delta q$  при зарядке одного конденсатора ёмкостью  $C$  до напряжения источника  $U$  расходуется на создание в конденсаторе электростатического поля, обладающего энергией, равной  $\frac{CU^2}{2}$ , и на теплоту  $Q$ , выделяющуюся по закону Джоуля–Ленца в резисторе:  $U\Delta q = \frac{CU^2}{2} + Q$ . При полной зарядке, согласно формуле для связи заряда и ёмкости конденсатора, его заряд  $\Delta q = CU$ , откуда получаем  $Q = \frac{CU^2}{2}$ . Это выражение годится для процесса зарядки любого конденсатора, которая происходит после замыкания очередного ключа, поскольку состояние уже заряженных конденсаторов при замыкании очередного ключа не изменяется. Таким образом, полное количество теплоты, выделившейся в этой цепи после замыкания всех ключей, будет равно  $Q_{\Sigma} = 5Q = 5\frac{CU^2}{2} = 0,5 \text{ мДж}$ .

**Ответ:**  $Q_{\Sigma} = 5Q = 5\frac{CU^2}{2} = 0,5 \text{ мДж}$ .

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон сохранения энергии при зарядке конденсатора, формула для энергии заряженного конденсатора, формула для работы источника напряжения, связь заряда и напряжения на конденсаторе);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.                      ИЛИ                      В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

**C5**

В плоской электрической цепи квадратной формы со стороной  $a = 1$  м, схема которой изображена на рисунке, сопротивления резисторов равны  $R_1 = 0,5$  Ом и  $R_2 = 9,5$  Ом. Цепь в некоторый момент помещают в однородное магнитное поле с вектором индукции, перпендикулярным плоскости цепи, модуль которого возрастает с течением времени  $t$  по закону  $B = kt$ , где  $k = 0,1$  Тл/с. Какая тепловая мощность будет выделяться в резисторе  $R_1$ ?



Сопровождаем проводников и индуктивностью цепи можно пренебречь.

**Возможное решение**

При возрастании индукции магнитного поля и её потока через квадратный контур площадью  $a^2$  в нём возникает ЭДС индукции, по модулю равная  $E = \frac{d}{dt}(Ba^2) = \frac{d}{dt}(kta^2) = ka^2 = 0,1 \cdot 1 \text{ В} = 0,1 \text{ В}$ . Эта ЭДС в соответствии с правилом Ленца направлена таким образом, что ток в цепи течёт по часовой стрелке и равняется  $I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{ka^2}{R_1 + R_2} = \frac{0,1}{10} \text{ А} = 0,01 \text{ А}$ .

По закону Джоуля–Ленца в резисторе  $R_1$  будет выделяться тепловая мощность  $P = I^2 R_1 = \left(\frac{ka^2}{R_1 + R_2}\right)^2 R_1 = 50 \text{ мкВт}$ .

**Ответ:**  $P = I^2 R_1 = \left(\frac{ka^2}{R_1 + R_2}\right)^2 R_1 = 50 \text{ мкВт}$ .

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон электромагнитной индукции, правило Ленца, закон Ома для полной цепи, закон Джоуля–Ленца);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <u>один</u> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.                      ИЛИ                      В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

**С6** Радиоактивные источники излучения могут использоваться в космосе для обогрева оборудования космических аппаратов. Например, на советских «Луноходах» были установлены тепловыделяющие капсулы на основе полония-210. Реакция распада этого изотопа имеет вид:  ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + \alpha$ , где получающиеся  $\alpha$ -частицы обладают кинетической энергией  $E = 5,3 \text{ МэВ}$ . Сколько атомов полония должно распастись в тепловыделяющей капсуле, чтобы с её помощью можно было превратить в воду лёд объёмом  $V = 10 \text{ см}^3$ , находящийся при температуре  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Плотность льда  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ , теплоёмкостью стакана и капсулы, а также потерями теплоты можно пренебречь.

**Возможное решение**

Найдём вначале количество теплоты  $Q$ , необходимое для плавления льда с удельной теплотой плавления  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ : оно равно

$$Q = \lambda \rho V = 3,3 \cdot 10^5 \cdot 900 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 2970 \text{ Дж}.$$

В результате распада одного ядра полония-210 выделяется количество теплоты

$$E = 5,3 \text{ МэВ} = 5,3 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 8,48 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Значит, в капсуле должно распастись число ядер полония, равное

$$\Delta N = \frac{Q}{E} = \frac{2970}{8,48 \cdot 10^{-13}} \approx 3,5 \cdot 10^{15}.$$

**Ответ:**  $\Delta N \approx 3,5 \cdot 10^{15}$ .

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>связь массы и объёма, уравнение теплового баланса для таяния льда, формула для необходимого числа распавшихся ядер при известном энергетическом выходе реакции распада и получаемом количестве теплоты</i>);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.                      ИЛИ                      В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

## Ответы к заданиям с выбором ответа

№ задания	Ответ
A1	1
A2	2
A3	3
A4	3
A5	4
A6	4
A7	3
A8	3
A9	1
A10	1
A11	2
A12	1
A13	4

№ задания	Ответ
A14	2
A15	3
A16	3
A17	4
A18	3
A19	4
A20	1
A21	1
A22	1
A23	4
A24	2
A25	1

## Ответы к заданиям с кратким ответом

№ задания	Ответ
B1	213
B2	211

№ задания	Ответ
B3	21
B4	324

## Ответы к заданиям с выбором ответа

№ задания	Ответ
A1	4
A2	2
A3	3
A4	1
A5	2
A6	3
A7	1
A8	2
A9	2
A10	3
A11	2
A12	2
A13	1

№ задания	Ответ
A14	3
A15	4
A16	4
A17	3
A18	2
A19	4
A20	2
A21	2
A22	4
A23	3
A24	3
A25	1

## Ответы к заданиям с кратким ответом

№ задания	Ответ
B1	313
B2	322

№ задания	Ответ
B3	41
B4	153