

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом (Вариант 1)

28

Известно, что быстрый поток воды в горных реках легко переворачивает тяжёлые камни. Проанализируйте, основываясь на физических законах и закономерностях, это явление, считая для упрощения, что поток воды плотностью ρ , движущийся со скоростью v , «упирается» в кубический камень с ребром a и останавливается в пределах его поперечного сечения $S = a^2$, создавая силу F , называемую «скоростным напором». Оцените, во сколько раз увеличится масса переворачиваемых камней, если скорость воды возрастёт в 3 раза (селевой поток)?

Возможное решение
<p>1. Согласно закону изменения импульса и третьему закону Ньютона $F = dP/dt$, где P – импульс движущейся воды, а F – сила, необходимая для её остановки.</p> <p>2. В единицу времени масса «остановленной» воды в пределах поперечного сечения камня равна $\rho S v$, а изменение её импульса – $\rho S v^2$, так что «скоростной напор» $F = \rho S v^2 = \rho a^2 v^2$.</p> <p>3. Камень переворачивается водой, когда момент силы F относительно оси, проходящей через крайнюю точку опоры камня, превышает суммарный момент силы тяжести и силы Архимеда относительно той же точки. Камень тяжёлый по условию, его плотность $\rho_k > \rho$.</p> <p>4. Считая, что сила F приложена в горизонтальном направлении на высоте $a/2$ над крайним ребром кубического камня, а вторая сила, равная $(\rho_k - \rho) a^3 g$, – по вертикали вниз на таком же расстоянии от этого ребра, получаем неравенство: $\rho a^2 v^2 \cdot a/2 \geq (\rho_k - \rho) a^3 g \cdot a/2$, откуда следует, что в момент опрокидывания размер камня a пропорционален квадрату скорости воды: $a \sim v^2$.</p> <p>5. Таким образом, масса переворачиваемого камня $m \sim a^3 \sim v^6$, и при увеличении скорости воды в 3 раза она возрастёт в $3^6 = 729$ раз!</p>

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>с ростом скорости воды масса переворачиваемых камней возрастает пропорционально шестой степени скорости</i>), и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и закономерностей (в данном случае: <i>закон изменения импульса, третий закон Ньютона и уравнение моментов</i>)</p>	3
<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.) И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.). И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее <u>одному</u> из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u>, содержат ошибки. ИЛИ Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	3

29

К концу вертикального стержня привязана лёгкая нерастяжимая нить с маленьким грузиком на конце. Грузик раскрутили на нити так, что она отклонилась от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$ (см. рисунок). Как и во сколько раз надо изменить угловую скорость ω вращения грузика вокруг стержня для того, чтобы этот угол стал равным $\beta = 45^\circ$?

Возможное решение

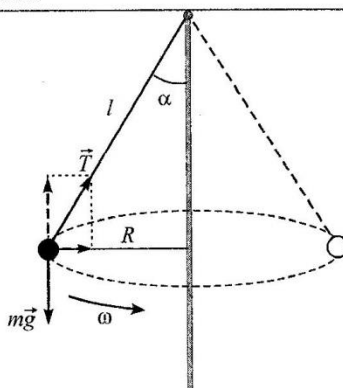
1. Обозначим силу натяжения нити T , массу грузика m , длину нити l , радиус окружности, по которой вращается грузик, R , и изобразим систему на рисунке (см. рисунок).

2. Запишем уравнение движения грузика по окружности вокруг стержня в проекциях на вертикальную ось и на радиус окружности $R = l \sin \alpha$ с учётом выражения для центростремительного ускорения грузика: $T \cos \alpha = mg$, $m \omega^2 R = T \sin \alpha$.

3. Из написанных соотношений следует, что $\cos \alpha = g/(\omega^2 l)$, а $\omega^2 = g/(l \cos \alpha)$.

4. Для того чтобы угол отклонения нити стал равным β , угловая скорость вращения грузика должна увеличиться в $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \sqrt{\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}/2}{\sqrt{2}/2}} = \sqrt[4]{1,5} \approx 1,1$ раза.

Ответ: угловая скорость должна увеличиться в $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \sqrt{\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}} = \sqrt[4]{1,5} \approx 1,1$ раза.



Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>второй закон Ньютона в проекциях на оси координат, выражение для центростремительного ускорения при вращении тела по окружности и геометрические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p>	3

IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>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 и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной 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 данной задачи (или в 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
<i>Максимальный балл</i>	3

30

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

Возможное решение

1. Из условия задачи понятно, что происходит в системе при получении смеси льда и воды, реализующей реперную точку шкалы Цельсия – $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сначала вся масса воды с удельной теплоёмкостью $c_{\text{в}}$ охлаждается от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем 75 % массы воды превращается в лёд при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, отдавая свою теплоту кристаллизации (удельная теплота кристаллизации воды λ равна удельной теплоте плавления льда). В этом процессе отданное водой количество теплоты равно

$$Q = c_{\text{в}} \cdot m \cdot \Delta T + \lambda \cdot (3m/4) = 4200 \cdot 0,3 \cdot 25 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 0,225 = 105,75\text{ кДж.}$$

2. Теплота Q , отбираемая от воды в данном процессе, идёт по условию только на испарение массы $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V$ жидкого азота:

$$Q = \rho_{\text{ж}} \cdot V \cdot r = 808 \cdot 197600 \cdot V = 159660,8 \cdot V\text{ кДж.}$$

3. Таким образом, надо израсходовать объём жидкого азота, равный $V = 105,75/159660,8 \approx 6,623 \cdot 10^{-4}\text{ м}^3 \approx 662\text{ см}^3$.

Ответ: $V \approx 662\text{ см}^3$.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнение теплового баланса для охлаждения и кристаллизации воды, испарения жидкого азота и пересчёта удельной теплоты испарения в объёмную</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p>	3

IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>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 и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной 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 данной задачи (или в 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
<i>Максимальный балл</i>	3

31

В плоском незаряженном воздушном конденсаторе с площадью пластин $S = 200 \text{ см}^2$ и расстоянием между ними $d = 2 \text{ мм}$ в некоторый момент времени одной из пластин сообщили заряд $q = 50 \text{ нКл}$, оставив вторую пластину незаряженной. Чему после этого стала равна разность потенциалов между пластинами? Краевыми эффектами пренебречь, электрическое поле внутри конденсатора считать однородным.

Возможное решение

- Если бы пластины конденсатора были заряжены зарядами $+q$ и $-q$, то разность потенциалов между ними была бы равна $U = E \cdot d = \frac{q}{C} = \frac{qd}{\varepsilon_0 S}$, где ёмкость плоского воздушного конденсатора $C = \varepsilon_0 S/d$.
 - Электрическое поле между пластинами в таком заряженном конденсаторе равно, согласно принципу суперпозиции, сумме одинаковых полей от обеих пластин, так что поле одной пластины равно $E_1 = \frac{q}{2\varepsilon_0 S}$.
 - По условию задачи заряжена зарядом q только одна пластина, поэтому напряжённость электрического поля между пластинами равна как раз $E_1 = \frac{q}{2\varepsilon_0 S}$.
 - Таким образом, разность потенциалов между пластинами равна $U_1 = E_1 \cdot d = \frac{qd}{2\varepsilon_0 S} = \frac{50 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-2}} \approx 280 \text{ В}$.
- Ответ: $U_1 = \frac{qd}{2\varepsilon_0 S} \approx 280 \text{ В}$.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь разности потенциалов с напряжённостью электростатического поля, выражение для ёмкости плоского конденсатора и принцип суперпозиции для напряжённости электрического поля</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p>	3

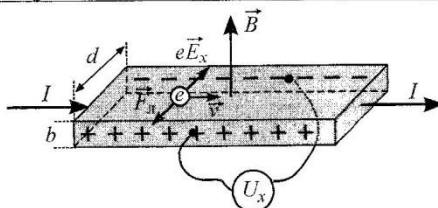
IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>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 и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной 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 данной задачи (или в 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
<i>Максимальный балл</i>	3

32

В современных научных и технических устройствах часто используются линейные датчики индукции магнитного поля, работа которых основана на эффекте Холла. Этот эффект состоит в возникновении поперечной разности потенциалов в проводнике или полупроводнике с электрическим током, находящемся в магнитном поле, перпендикулярном току. Пусть вдоль однородного длинного образца полупроводника прямоугольной формы с поперечным сечением размерами $b = 0,3$ мм и $d = 8$ мм и концентрацией носителей заряда e положительного знака («дырок»), равной $n = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, течёт постоянный ток $I = 200$ мА, а сам образец находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,5$ Тл, направленной перпендикулярно плоскости образца, вдоль его ребра b (см. рисунок). Чему равна при этом холловская разность потенциалов U_X между гранями образца, параллельными вектору магнитной индукции и току?

Возможное решение

1. Когда носитель положительного заряда движется под действием электрического поля вдоль образца полупроводника с «дрейфовой» скоростью v по направлению тока I , на него со стороны магнитного поля, направленного «вверх» перпендикулярно скорости и большой плоскости образца, действует сила Лоренца $F_L = evB$, отклоняющая его вправо по ходу движения (см. рисунок).



2. Это отклонение продолжается до тех пор, пока на противоположных малых гранях образца не накопятся заряды, достаточные для создания электрического поля Холла E_X в обратном направлении, компенсирующего воздействие магнитного поля: $eE_X = evB$, то есть $E_X = vB$, а разность потенциалов между гранями проводника $U_X = vBd$.

3. Сила тока равна потоку зарядов через площадь сечения $S = bd$ проводника: $I = envbd$, где env – заряд, пересекающий единицу площади поперечного сечения проводника за единицу времени. Отсюда $v = \frac{I}{enbd}$.

4. Подставляя полученное выражение скорости v в формулу для U_X , окончательно получаем:

$$U_X = \frac{IB}{enb} = \frac{0,2 \cdot 1,5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{24} \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 1,25 \text{ мВ}.$$

Ответ: $U_X = \frac{IB}{enb} = 1,25 \text{ мВ}.$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>сила Лоренца, действующая на движущиеся заряды в образце проводника в перпендикулярном магнитном поле, компенсация её электрической силой, разность потенциалов и её связь с напряжённостью электрического поля, выражение для силы тока через концентрацию, скорость носителей и размеры проводника</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования 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 все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной 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 данной задачи (или в 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
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом
(Вариант 2)**

28

В наше время на дни рождения часто дарят резиновые шарики, надутые гелием, – они не взрывоопасны и имеют довольно большую подъёмную силу. Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, происхождение этой подъёмной силы и определите, на сколько она изменится, если вместо гирлянды из 27 шаров, в каждый из которых накачали по 1 моллю гелия, надуть тем же количеством гелия один большой шар? Толщина резиновой оболочки у всех шаров одинакова, давление и температура близки к нормальным, а подъёмная сила гирлянды равна 1,52 Н.

Возможное решение

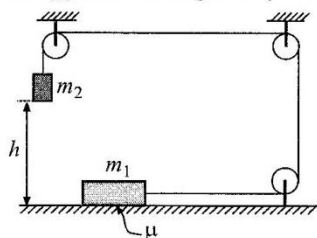
1. На шар с лёгким газом действуют направленная вверх выталкивающая сила $F_{\text{в}}$ и направленная вниз сила тяжести P оболочки. Если первая сила превышает по модулю вторую, то шар взлетает – этим и объясняется происхождение подъёмной силы. Таким образом, подъёмная сила $F_{\text{п}}$ шара с лёгким газом равна $F_{\text{п}} = F_{\text{в}} - P$.
2. Выталкивающая сила равна разности веса воздуха, который был вытеснен надутым шаром, и веса лёгкого газа, которым заполнена оболочка. Для одного молля гелия в воздухе выталкивающая сила, с учётом закона Архимеда, равна $F_1 = (\mu_{\text{в}} - \mu_{\text{г}})g = 0,25$ Н, где $\mu_{\text{в}}$ и $\mu_{\text{г}}$ – молярные массы воздуха и гелия. Для $n = 27$ моль гелия выталкивающая сила равна по модулю $F_{27} = nF_1 = 6,75$ Н. Эта сила одинакова как для гирлянды из 27 шаров, так и для одного большого шара с тем же количеством гелия.
3. Вес всех оболочек гирлянды шаров пропорционален их общей площади и равен $P_{27} = F_{27} - F_{\text{п}} = 6,75 - 1,52 = 5,23$ Н.
4. Объём V_1 одного шара пропорционален кубу его радиуса r_1 , а площадь S_1 сферической оболочки – квадрату её радиуса. Поскольку объём 27 шаров $V_{27} = nV_1 = 27V_1$, то радиус большого шара $r_{27} = n^{1/3}r_1 = 3r_1$, а площадь его оболочки $S_{27} = n^{2/3}S_1 = 9S_1$, т. е. в 3 раза меньше, чем у 27 шаров гирлянды. Значит, и вес оболочки большого шара тоже в 3 раза меньше, чем у 27 маленьких шаров.
5. Таким образом, подъёмная сила большого шара станет больше, чем у гирлянды шаров, на вес одной трети оболочек всех шаров гирлянды: $P_{27}/3 \approx 1,743$ Н.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: дано словесное или аналитическое объяснение возникновения подъёмной силы; показано, что с ростом размера шаров, наполненных определённым количеством лёгкого газа, их подъёмная сила возрастает, т. к. площадь поверхности растёт медленнее, чем объём) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений	3

и закономерностей (в данном случае: закон Архимеда)	
<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.)</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u>, содержат ошибки.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

29

На горизонтальном шероховатом столе лежит брусок массой $m_1 = 1$ кг, соединённый через систему идеальных блоков невесомой и нерастяжимой нитью с грузом массой $m_2 = 2$ кг, висющим на высоте $h = 1,5$ м над столом (см. рисунок). Груз начинает движение без начальной скорости и абсолютно неупруго ударяется о стол. Какое количество теплоты Q выделяется при этом ударе? Коэффициент трения бруска о стол равен $\mu = 0,3$.



Возможное решение

1. На груз массой m_2 действует вниз сила тяжести $m_2g = 20$ Н, а вверх – сила натяжения нити T , которая в силу условия задачи одинакова вдоль всей нити. На брусок массой m_1 вправо действует сила T , а влево – сила трения скольжения $\mu m_1g = 3$ Н. По вертикали на него действуют равные силы реакции опоры N и тяжести m_1g .

2. В силу нерастяжимости нити модули ускорений обоих тел одинаковы и равны a . Запишем уравнения движения тел в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси: $m_2a = m_2g - T$, $m_1a = T - \mu m_1g$. Сложив уравнения, находим ускорение: $a = \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2} g$.

3. Скорости обоих тел в момент удара груза о стол находим по известной кинематической формуле, зная путь h , пройденный ими:

$$V = \sqrt{2ah} = \sqrt{2gh \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2}}$$

4. При движении тел, согласно закону изменения механической энергии, потенциальная энергия груза m_2 расходуется на увеличение кинетической энергии обоих тел и работу против силы трения, а в момент неупругого удара кинетическая энергия груза превращается в теплоту Q :

$$m_2gh = m_1V^2 / 2 + \mu m_1gh + Q.$$

5. Окончательно получаем:

$$Q = m_2gh - \mu m_1gh - m_1V^2 / 2 = m_2gh \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2} = 2 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot \frac{2 - 0,3 \cdot 1}{1 + 2} = 17 \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q = m_2gh \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2} = 17$ Дж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>второй закон Ньютона в проекциях на оси координат, закон изменения механической энергии и кинематические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования 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 все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>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 и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной 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 данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

30

В гладком закреплённом теплоизолированном горизонтальном цилиндре находится 1 моль идеального одноатомного газа (гелия) при температуре $T_1 = 200$ К, отделённый от окружающей среды – вакуума – теплоизолированным поршнем массой $m = 3$ кг. Вначале поршень удерживали на месте, а затем придали ему скорость $V = 15$ м/с, направленную в сторону газа. Чему будет равна среднеквадратичная скорость атомов гелия в момент остановки поршня? Поршень в цилиндре движется без трения.

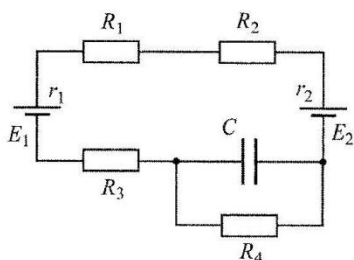
Возможное решение
<p>1. Из условия задачи понятно, что по мере движения поршня в адиабатических условиях газ будет сжиматься и нагреваться, а поршень – тормозиться, вплоть до остановки.</p> <p>2. В момент остановки, т. е. при максимальном сжатии гелия, вся начальная кинетическая энергия поршня перейдет во внутреннюю энергию гелия.</p> <p>3. Вначале 1 моль одноатомного гелия обладал внутренней энергией $U_1 = (3/2)RT_1$, а в конце процесса, согласно закону сохранения энергии, $U_2 = (3/2)RT_2 + mV^2/2 = (3/2)R\{T_1 + mV^2/(3R)\} = (3/2)RT_2$, откуда $T_2 = T_1 + mV^2/(3R)$.</p> <p>4. Среднеквадратичная скорость атомов гелия в момент остановки поршня связана с температурой формулой $V_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{3RT_2/\mu}$ и, таким образом, равна</p> $V_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{(3RT_1 + mV^2)/\mu} = \sqrt{(3 \cdot 8,31 \cdot 200 + 3 \cdot 15^2)/0,004} \approx 1190 \text{ м/с.}$ <p>Ответ: $V_{\text{ср.кв.}} \approx 1190$ м/с.</p>

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон сохранения энергии в термодинамике, выражения для внутренней энергии идеального одноатомного газа и среднеквадратичной скорости его атомов</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых</i></p>	3

<p>при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования 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>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>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 и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в 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
<p>Максимальный балл</p>	3

31

В цепи, схема которой изображена на рисунке, ЭДС первого источника $E_1 = 5$ В, его внутреннее сопротивление $r_1 = 2$ Ом, ЭДС второго источника $E_2 = 10$ В, его внутреннее сопротивление $r_2 = 1$ Ом, сопротивления резисторов $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 11$ Ом, ёмкость конденсатора $C = 200$ мкФ. Найдите энергию этого конденсатора, если до включения в данную цепь он был не заряжен.



Возможное решение

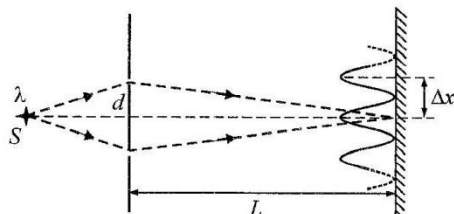
- Согласно закону Ома для замкнутой цепи, ток в контуре, изображённом на рисунке, течёт против часовой стрелки и равен
$$I = \frac{E_2 - E_1}{r_1 + r_2 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{10 - 5}{1 + 2 + 1 + 2 + 3 + 11} = 0,25 \text{ А.}$$
- Падение напряжения на резисторе R_4 по закону Ома для участка цепи равно $U = IR_4 = 2,75$ В, и точно такое же напряжение – на конденсаторе C .
- Энергия конденсатора, согласно формуле для неё, равна $W = CU^2/2 = 200 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75^2/2 = 756,25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} \approx 756 \text{ мкДж.}$
 Ответ: $W \approx 756 \text{ мкДж.}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <u>закон Ома для замкнутой цепи и для участка цепи и выражение для энергии заряженного конденсатора</u>); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<u>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</u>); III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	3

<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной 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 данной задачи (или в 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
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

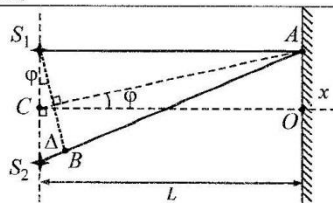
32

На рисунке изображена интерференционная схема Юнга, в которой источник S монохроматического света с длиной волны $\lambda = 600$ нм помещён перед ширмой с двумя узкими щелями, находящимися на расстоянии $d = 1,5$ мм друг от друга. Из-за дифракции на этих щелях свет после ширмы расходится во все стороны, как от двух когерентных источников, и на экране, на расстоянии $L = 3$ м от ширмы со щелями, наблюдается интерференционная картина. Найдите период Δx этой картины, т. е. расстояние между интерференционными полосами на экране. Экран расположен параллельно ширме.



Возможное решение

- Изобразим эквивалентную схему интерференционного опыта Юнга, где вместо щелей рассматриваются точечные источники света S_1 и S_2 (см. рисунок).
- Найдём разность хода между лучами, идущими от источников-щелей S_1 и S_2 в точку A на расстоянии x от центра экрана, точки O , где эта разность хода, очевидно, равна нулю. Для этого проведем из центра ширмы отрезок в указанную точку A и опустим на него перпендикуляр от источника S_1 до точки B на луче S_2A .
- В силу того, что расстояния $d = S_1S_2$ и $AO = x$ много меньше расстояния до экрана L , треугольник ABS_1 – почти равнобедренный, и разность хода между лучами $\Delta = S_2B \approx d \cdot \varphi$, где угол $\varphi = \angle BS_1S_2$ равен углу $\angle ACO = x/L$. Значит, $\Delta \approx xd/L$.
- Интерференционные максимумы наблюдаются при $\Delta = m\lambda$, где m – целое число. Поэтому искомый период Δx интерференционной картины на экране, соответствующий изменению m на единицу, а Δ – на λ , равен $\Delta x = \lambda L/d = 600 \cdot 10^{-9} \cdot 3/(1,5 \cdot 10^{-3})$ м = 1,2 мм.
 Ответ: $\Delta x = \lambda L/d = 1,2$ мм.



Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: 1) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: упомянуты явления дифракции и интерференции, записано условие получения интерференционных максимумов и использованы геометрические соотношения, следующие из условия задачи);	3

<p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования 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>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>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 и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной 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 данной задачи (или в 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
<p>Максимальный балл</p>	3