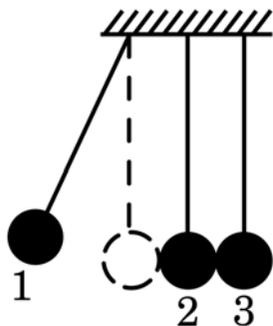


Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

С1

На тонких прочных вертикальных нитях, прикрепленных к потолку, неподвижно висят, касаясь друг друга, три одинаковых стальных шарика. Центры тяжести шариков находятся на одной горизонтальной прямой. Первый шарик отклоняют в сторону, сохраняя нить натянутой в плоскости рисунка, после чего отпускают. В момент соударения со вторым шариком первый шарик имеет скорость 1 м/с. Считая, что потери механической энергии в данной системе пренебрежимо малы, опишите характер дальнейшего движения шариков. Объясните причины возникновения такого движения, сославшись на необходимые физические законы.



1) Будем решать задачу в инерциальной системе отсчета, связанной с неподвижной землей. Рассмотрим процесс столкновения движущегося шара с таким же покоящимся шаром. Обозначим скорости первого шара перед соударением и сразу после соударения со вторым шаром через v_1 и v_2 , а скорость второго шара сразу после соударения с первым шаром через u . Так как в момент соударения на шары в горизонтальном направлении не действуют никакие внешние силы, то, в соответствии с законом сохранения импульса, проекция суммарного импульса первого и второго шаров на горизонтальную ось должна оставаться неизменной: $mv_1 = mv_2 + mu$.

2) Поскольку потери механической энергии считаются пренебрежимо малыми, то для процесса соударения первого и второго шаров будет выполняться закон сохранения механической энергии: $\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{mu^2}{2}$.

Перепишем полученные уравнения в следующем виде: $v_1 - v_2 = u$ и $(v_1 - v_2)(v_1 + v_2) = u^2$. Отсюда следует, что $v_1 + v_2 = u$. Это возможно только при $v_2 = 0$, откуда следует, что $u = v_1$. Итак, в результате рассматриваемого соударения двух одинаковых шаров первый (изначально движущийся) шар останавливается, а второй (изначально покоившийся) шар начинает двигаться с той скоростью, которую имел до соударения первый шар. Иными словами, можно утверждать, что при соударении движущийся шар «передает» свою скорость 1 м/с покоившемуся шару.

3) Так как второй и третий шары касаются друг друга, то второй шар не стронется с места, а сразу же столкнется с третьим шаром. Для процесса их соударения полностью справедливы проведенные выше рассуждения. Следовательно, второй шар остановится, а третий приобретет скорость 1 м/с. После этого третий шар начнет отклоняться в сторону и будет подниматься, двигаясь по окружности, до тех пор, пока не остановится. Затем третий шар начнет двигаться в обратном направлении, и в момент соударения со вторым шаром будет иметь скорость 1 м/с. Далее описанные процессы будут многократно повторяться. При этом второй шар будет всё время оставаться неподвижным, а третий и первый шар будут поочередно либо останавливаться, «передавая» свою скорость второму шару, либо «получать» скорость от второго шара.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае – описание движения шаров, п. 3), и полное верное объяснение причин возникновения такого движения (в данном случае – п. 1–2) со ссылкой на необходимые законы механики (в данном случае – законы сохранения импульса и механической энергии).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: — В объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы. ИЛИ — Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты. ИЛИ — Недостаточно обосновано применение физических законов, необходимых для полного правильного решения.	2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев:

— Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ.

ИЛИ

— Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан.

ИЛИ

— Представлен только правильный ответ без обоснований.

1

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла (использование неприменимого закона, разрозненные записи и т.п.).

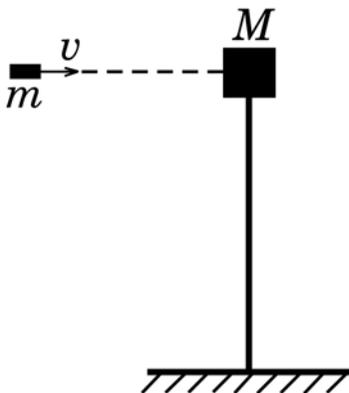
0

Максимальный балл

3

С2

На горизонтальном полу закреплена вертикальная подставка, сделанная из жесткого стержня небольшого сечения. На этой подставке покоится маленький деревянный брусок массой $M = 180$ г. В брусок попадает пуля массой $m = 9$ г, летящая в горизонтальном направлении с некоторой скоростью v . Пуля пробивает брусок и вылетает из него со скоростью $v/3$, после чего и брусок, и пуля падают на пол. Найти отношение дальностей полета пули и бруска вдоль горизонтали.



Решение.

Будем решать задачу в инерциальной системе отсчета, связанной с полом. Направим координатную ось X горизонтально, параллельно скорости пули. Силы, действующие на систему тел «пуля + брусок», не имеют проекций на ось X . Поэтому проекция суммарного импульса указанной системы тел на ось X сохраняется неизменной, то есть справедлив закон сохранения импульса в проекции на эту ось:

$$mv = Mu + m\frac{v}{3}$$

Здесь u – скорость, которую приобретает брусок сразу после того, как его пробьет пуля. Отсюда $u = \frac{2mv}{3M}$.

Дальность полета тела, начавшего движение с некоторой высоты h с некоторой горизонтально направленной начальной скоростью v_0 , равна $L = v_0 t$, где $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ – время свободного падения покоящегося тела с высоты h . Таким образом, искомое отношение дальностей полета пули и бруска равно $\frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{б}}} = \frac{(v/3)t}{ut} = \frac{v}{3u}$. С учетом ранее записанного выражения для u ,

окончательно находим:

$$n = \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{б}}} = \frac{v}{3u} = \frac{M}{2m} = 10, \text{ то есть дальности полета пули и бруска вдоль}$$

горизонтали отличаются в 10 раз.

Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

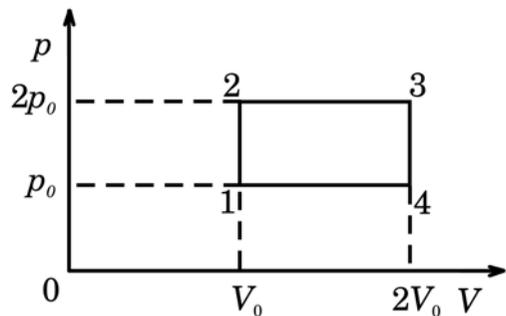
Ответ: в $n = \frac{M}{2m} = 10$ раз.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – закон сохранения импульса и законы движения свободно падающих тел); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков: — В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка. ИЛИ — Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены. ИЛИ — Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде. ИЛИ — Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2

<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев: — Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	3

С3

Тепловая машина, использующая в качестве рабочего тела одноатомный идеальный газ, работает по циклу 1-2-3-4-1, изображенному на рисунке. Эта машина приводит в действие механизм, при помощи которого груз массой $m = 100$ кг поднимается с поверхности земли вертикально вверх с постоянной скоростью $v = 1$ м/с. Тепловая машина за один цикл работы отдает холодильнику количество теплоты $Q = 550$ Дж. Найти длительность одного цикла машины, если на подъем груза идет $\eta = 50\%$ совершаемой ею работы.



Решение.

Пусть за время τ одного цикла тепловая машина совершает работу A . Тогда на подъем груза идет работа hA , и на основании закона изменения механической энергии можно записать: $\frac{\eta}{100\%} \cdot A = mgv\tau$.

Пользуясь изображенной на рисунке pV -диаграммой, найдем работу, совершаемую машиной за один цикл. Эта работа численно равна площади цикла: $A = p_0V_0$. Теплота отдается холодильнику на участках 3-4 и 4-1 цикла. Используя выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа и первое начало термодинамики, для модуля отдаваемого количества теплоты получаем: $Q = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + p_0(2V_0 - V_0)$. Здесь ν – количество газа, который используется в машине в качестве рабочего тела. В соответствии с уравнением Клапейрона–Менделеева, $pV = \nu RT$. Следовательно, выражение для Q можно переписать следующим образом: $Q = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + p_0(2V_0 - V_0) = \frac{3}{2}(2p_0 \cdot 2V_0 - p_0V_0) + p_0V_0 = \frac{11}{2}p_0V_0 = \frac{11}{2}A$.

С учетом этого получаем ответ: $\tau = \frac{\eta A}{mgv} = \frac{2\eta Q}{11mgv \cdot 100\%} = 0,5$ с.

Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

Ответ: $\tau = \frac{2\eta Q}{11mgv \cdot 100\%} = 0,5$ с.

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном решении – закон изменения механической энергии, выражение для работы газа в цикле, первое начало термодинамики применительно к процессам 3-4 и 4-1); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).</p>	3

<p>Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков:</p> <p>— В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев:</p> <p>— Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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>ИЛИ</p> <p>— В <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	3

С4

Электрическая цепь состоит из последовательно соединенных плоского конденсатора, резистора, батареи и электрического ключа, который в исходном состоянии замкнут. В пространство между обкладками конденсатора медленно помещают диэлектрическую пластину с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 9$, которая в результате занимает всё пространство между пластинами. При этом в цепи выделяется количество теплоты $Q = 0,04$ Дж. Затем ключ размыкают. Какую минимальную работу необходимо совершить для того, чтобы полностью извлечь пластину из пространства между обкладками конденсатора?

Решение.

При замкнутом ключе напряжение на конденсаторе постоянно и равно напряжению U на клеммах батареи. Пусть емкость конденсатора без диэлектрической пластины равна C . При помещении в конденсатор диэлектрической пластины его емкость увеличивается в ε раз. Следовательно, заряд конденсатора также возрастает на величину $\Delta q = U\Delta C = U(\varepsilon C - C) = CU(\varepsilon - 1)$. При дозарядке конденсатора сторонние силы батареи совершают работу $\Delta A = U\Delta q = CU^2(\varepsilon - 1)$. Энергия, запасенная конденсатором в исходном состоянии и после помещения в него диэлектрической пластины (при замкнутом ключе), равна $W_1 = \frac{CU^2}{2}$ и

$W_2 = \frac{\varepsilon CU^2}{2}$, соответственно. Так как пластина вносится в конденсатор медленно, то для рассматриваемой электрической цепи можно записать закон сохранения энергии в следующем виде: $\Delta A + W_1 = W_2 + Q$, откуда

$$Q = \Delta A + W_1 - W_2 = CU^2(\varepsilon - 1) + \frac{CU^2}{2} - \frac{\varepsilon CU^2}{2} = \frac{CU^2}{2}(\varepsilon - 1).$$

После размыкания ключа заряд конденсатора остается неизменным и равным $q = \varepsilon CU$. Энергия, запасенная в конденсаторе с диэлектрической пластиной, равна $W_3 = W_2 = \frac{q^2}{2\varepsilon C} = \frac{\varepsilon CU^2}{2}$. После извлечения пластины из конденсатора запасенная в нем энергия становится равной $W_4 = \frac{q^2}{2C} = \frac{\varepsilon^2 CU^2}{2}$, то есть увеличивается в ε раз. Это увеличение энергии конденсатора происходит за счет работы, совершаемой внешними силами. Так как извлечение пластины из конденсатора происходит медленно, то можно записать закон сохранения энергии в следующем виде:

$$A_{\text{внеш}}^{\min} = W_4 - W_3 = \frac{\varepsilon^2 CU^2}{2} - \frac{\varepsilon CU^2}{2} = \frac{\varepsilon CU^2}{2}(\varepsilon - 1) = \varepsilon Q.$$

Таким образом, для того, чтобы полностью извлечь диэлектрическую пластину из пространства между обкладками конденсатора, нужно совершить минимальную работу

$$A_{\text{внеш}}^{\min} = \varepsilon Q = 0,36$$

Дж.

Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

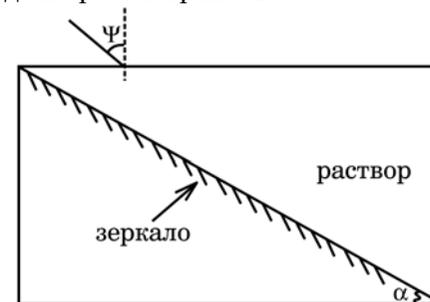
Ответ: $A_{\text{внеш}}^{\min} = \varepsilon Q = 0,36$ Дж.

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>выражения для работы батареи и для изменения энергии конденсатора при внесении и извлечении диэлектрической пластины, когда ключ замкнут и разомкнут</i>);</p> <p>2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).</p>	3
<p>Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков:</p> <p>— В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев:</p> <p>— Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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>ИЛИ</p> <p>— В <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).</p>	0

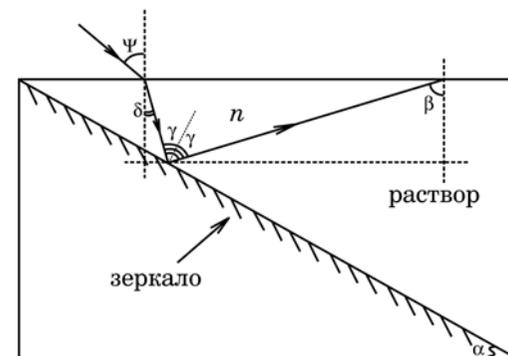
<i>Максимальный балл</i>	3
--------------------------	---

С5

В открытый сверху прямоугольный аквариум, до краев заполненный водой с растворенной в ней солью, помещено плоское зеркало так, как показано на рисунке (вид сбоку). Плоскость зеркала образует с горизонтальным дном сосуда угол $\alpha = 7,5^\circ$. На горизонтальную поверхность воды из воздуха под углом ψ падает луч света так, как показано стрелкой на рисунке. После однократного отражения от зеркала этот луч вновь падает на поверхность раствора. При каких значениях угла ψ луч не выйдет из воды в воздух? Показатель преломления раствора принять равным $n = \sqrt{2}$. Повторные отражения света от зеркала и от стенок сосуда не рассматривать.



Решение.



Для того чтобы луч не вышел из раствора в воздух, необходимо, чтобы он испытал на границе «жидкость – воздух» полное отражение. Пусть угол γ таков, что угол β падения луча снизу на поверхность жидкости как раз равен углу полного отражения. Построим ход луча при этом значении угла Ψ . Обозначим угол преломления луча при входе в раствор через δ , а угол падения света на зеркало через γ . При построении воспользуемся законом отражения света и учтем, что угол падения света на плоское зеркало равен углу, под которым он отражается. Из закона преломления света следуют следующие соотношения: $\sin \psi = n \sin \delta$ (луч входит в жидкость) и $n \sin \beta = 1$ (луч падает снизу на поверхность жидкости под углом полного отражения). Из построения видно, что между введенными углами существует следующая связь: $\alpha + \delta = \gamma$ и $\alpha + \gamma = \beta$. Решая записанную систему уравнений, получаем: $\sin \psi = \cos 2\alpha - \sqrt{n^2 - 1} \cdot \sin 2\alpha$. Учитывая, что $n = \sqrt{2}$, перепишем последнее равенство в виде: $\sin \psi = \cos 2\alpha - \sin 2\alpha$. Используя тригонометрическую формулу для преобразования разности косинусов, это равенство можно переписать в более компактном виде: $\sin \psi = \sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{4} - 2\alpha\right)$. Подставляя в эту формулу значение $\alpha = 7,5^\circ$, находим, что $\sin \psi = \frac{\sqrt{2}}{2}$, то есть критическое значение угла падения луча из воздуха на поверхность раствора, при котором отраженный от зеркала луч еще может выйти из жидкости в воздух, равно $\Psi = 45^\circ$.

Из чертежа и из записанных выше соотношений следует, что при увеличении угла β увеличиваются также углы γ и δ , а вслед за ними увеличивается и угол ψ . Следовательно, если угол падения луча на поверхность раствора превысит значение $\Psi = 45^\circ$, то луч после однократного отражения от зеркала и попадания на поверхность жидкости не выйдет из нее в воздух.

Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

Ответ: $\psi > \arcsin(\cos 2\alpha - \sin 2\alpha) = \arcsin\left(\sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{4} - 2\alpha\right)\right) = 45^\circ$.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно построен ход светового луча и правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – соотношения между углами, следующие из законов отражения и преломления света); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3

Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков: — В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка. ИЛИ — Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены. ИЛИ — Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде. ИЛИ — Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев: — Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа. ИЛИ — В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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 <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).	0
<i>Максимальный балл</i>	
3	

С6

В околосолнечном космическом пространстве движется небольшая сферическая частица. Как и во сколько раз изменится сила давления солнечного света на эту частицу, если расстояние от нее до Солнца увеличится в $m = 2$ раза?

Решение.

Будем для определенности считать, что частица полностью поглощает свет и что ее размеры таковы, что справедливо приближение геометрической оптики, то есть можно не учитывать явление дифракции света.

Тогда сила F давления солнечного света на эту частицу равна суммарному импульсу ΔP фотонов, поглощенных ею за единицу времени Δt : $F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$. Обозначим через n число солнечных фотонов, падающих в единицу времени на единичную площадку, перпендикулярную направлению на Солнце от частицы, находящейся от Солнца на расстоянии r . Тогда $\Delta P = np\Delta tS$, где p – импульс одного фотона, а S – площадь поперечного сечения частицы (все фотоны, летящие в пределах этой площадки, поглощаются частицей и передают ей свой импульс).

Импульс фотона p и его энергия E связаны соотношением: $E = pc$, где c – скорость света. Будем, естественно, считать, что Солнце излучает энергию равномерно во всех направлениях, и что она не поглощается в околосолнечном пространстве. Тогда вся излученная Солнцем во все стороны энергия и весь импульс, переносимый солнечными фотонами, одинаковы на разных расстояниях от Солнца, и $n = \frac{N}{4\pi r^2}$, где N – полное число фотонов, излучаемых Солнцем за единицу времени, а $4\pi r^2$ – площадь сферы, окружающей Солнце на расстоянии r от него.

Таким образом, из записанных соотношений получаем: $F = npS = \frac{NpS}{4\pi r^2} \sim \frac{1}{r^2}$, то есть сила давления солнечного света на частицу обратно пропорциональна квадрату расстояния от частицы до Солнца. Значит, при увеличении этого расстояния в $m = 2$ раза давление света на частицу уменьшится в $m^2 = 4$ раза.

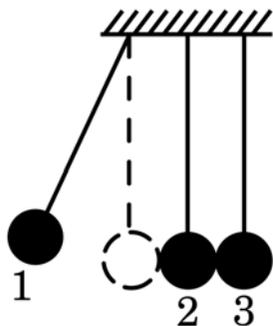
Ответ: уменьшится в $m^2 = 4$ раза.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – связь между силой светового давления и суммарным импульсом поглощаемых фотонов, а также зависимость числа фотонов, падающих на данную площадку в единицу времени, от расстояния до Солнца); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3

Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков: — В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка. ИЛИ — Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены. ИЛИ — Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде. ИЛИ — Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев: — Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа. ИЛИ — В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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 <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).	0
<i>Максимальный балл</i>	3

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

C1 На тонких прочных вертикальных нитях, прикрепленных к потолку, неподвижно висят, касаясь друг друга, три одинаковых стальных шарика. Центры тяжести шариков находятся на одной горизонтальной прямой. Первый шарик отклоняют в сторону, сохраняя нить натянутой в плоскости рисунка, после чего отпускают. В момент соударения со вторым шариком первый шарик имеет скорость 1 м/с. Считая, что потери механической энергии в данной системе пренебрежимо малы, опишите характер дальнейшего движения шариков. Объясните причины возникновения такого движения, сославшись на необходимые физические законы.



1) Будем решать задачу в инерциальной системе отсчета, связанной с неподвижной землей. Рассмотрим процесс столкновения движущегося шара с таким же покоящимся шаром. Обозначим скорости первого шара перед соударением и сразу после соударения со вторым шаром через v_1 и v_2 , а скорость второго шара сразу после соударения с первым шаром через u . Так как в момент соударения на шары в горизонтальном направлении не действуют никакие внешние силы, то, в соответствии с законом сохранения импульса, проекция суммарного импульса первого и второго шаров на горизонтальную ось должна оставаться неизменной: $mv_1 = mv_2 + mu$.

2) Поскольку потери механической энергии считаются пренебрежимо малыми, то для процесса соударения первого и второго шаров будет выполняться закон сохранения механической энергии: $\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{mu^2}{2}$.

Перепишем полученные уравнения в следующем виде: $v_1 - v_2 = u$ и $(v_1 - v_2)(v_1 + v_2) = u^2$. Отсюда следует, что $v_1 + v_2 = u$. Это возможно только при $v_2 = 0$, откуда следует, что $u = v_1$. Итак, в результате рассматриваемого соударения двух одинаковых шаров первый (изначально движущийся) шар останавливается, а второй (изначально покоившийся) шар начинает двигаться с той скоростью, которую имел до соударения первый шар. Иными словами, можно утверждать, что при соударении движущийся шар «передает» свою скорость 1 м/с покоившемуся шару.

3) Так как второй и третий шары касаются друг друга, то второй шар не стронется с места, а сразу же столкнется с третьим шаром. Для процесса их соударения полностью справедливы проведенные выше рассуждения. Следовательно, второй шар остановится, а третий приобретет скорость 1 м/с. После этого третий шар начнет отклоняться в сторону и будет подниматься, двигаясь по окружности, до тех пор, пока не остановится. Затем третий шар начнет двигаться в обратном направлении, и в момент соударения со вторым шаром будет иметь скорость 1 м/с. Далее описанные процессы будут многократно повторяться. При этом второй шар будет всё время оставаться неподвижным, а третий и первый шар будут поочередно либо останавливаться, «передавая» свою скорость второму шару, либо «получать» скорость от второго шара.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае – <i>описание движения шаров, п. 3</i>), и полное верное объяснение причин возникновения такого движения (в данном случае – <i>п. 1–2</i>) со ссылкой на необходимые законы механики (в данном случае – <i>законы сохранения импульса и механической энергии</i>).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется <u>один</u> из следующих недостатков: — В объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы. ИЛИ — Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты. ИЛИ — Недостаточно обосновано применение физических законов, необходимых для полного правильного решения.	2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев:

— Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ.

ИЛИ

— Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан.

ИЛИ

— Представлен только правильный ответ без обоснований.

1

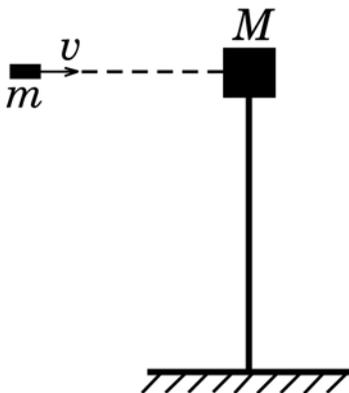
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла (использование неприменимого закона, разрозненные записи и т.п.).

0

Максимальный балл

3

C2 На горизонтальном полу закреплена вертикальная подставка, сделанная из жесткого стержня небольшого сечения. На этой подставке покоится маленький деревянный брусок массой $M = 180$ г. В брусок попадает пуля массой $m = 9$ г, летящая в горизонтальном направлении с некоторой скоростью v . Пуля пробивает брусок и вылетает из него со скоростью $v/3$, после чего и брусок, и пуля падают на пол. Найти отношение дальностей полета пули и бруска вдоль горизонтали.



Решение.

Будем решать задачу в инерциальной системе отсчета, связанной с полом. Направим координатную ось X горизонтально, параллельно скорости пули. Силы, действующие на систему тел «пуля + брусок», не имеют проекций на ось X . Поэтому проекция суммарного импульса указанной системы тел на ось X сохраняется неизменной, то есть справедлив закон сохранения импульса в проекции на эту ось:

$$mv = Mu + m\frac{v}{3}$$

Здесь u – скорость, которую приобретает брусок сразу после того, как его пробьет пуля. Отсюда $u = \frac{2mv}{3M}$.

Дальность полета тела, начавшего движение с некоторой высоты h с некоторой горизонтально направленной начальной скоростью v_0 , равна $L = v_0 t$, где $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ – время свободного падения покоящегося тела с высоты h . Таким образом, искомое отношение дальностей полета пули и бруска равно $\frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{б}}} = \frac{(v/3)t}{ut} = \frac{v}{3u}$. С учетом ранее записанного выражения для u ,

окончательно находим:

$$n = \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{б}}} = \frac{v}{3u} = \frac{M}{2m} = 10, \text{ то есть дальности полета пули и бруска вдоль}$$

горизонтали отличаются в 10 раз.

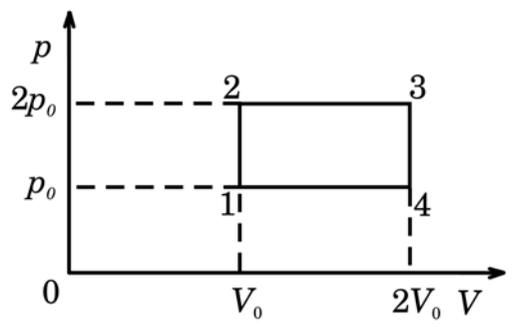
Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

Ответ: в $n = \frac{M}{2m} = 10$ раз.

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – закон сохранения импульса и законы движения свободно падающих тел);</p> <p>2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).</p>	3
<p>Представленное решение содержит п.1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков:</p> <p>— В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.</p>	2

<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев: — Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа. ИЛИ — В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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 <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	3

С3 Тепловая машина, использующая в качестве рабочего тела одноатомный идеальный газ, работает по циклу 1-2-3-4-1, изображенному на рисунке. Эта машина приводит в действие механизм, при помощи которого груз массой $m = 100$ кг поднимается с поверхности земли вертикально вверх с постоянной скоростью $v = 1$ м/с. Тепловая машина за один цикл работы отдает холодильнику количество теплоты $Q = 550$ Дж. Найти длительность одного цикла машины, если на подъем груза идет $\eta = 50\%$ совершаемой ею работы.



Решение.

Пусть за время τ одного цикла тепловая машина совершает работу A . Тогда на подъем груза идет работа hA , и на основании закона изменения механической энергии можно записать: $\frac{\eta}{100\%} \cdot A = mgv\tau$.

Пользуясь изображенной на рисунке pV -диаграммой, найдем работу, совершаемую машиной за один цикл. Эта работа численно равна площади цикла: $A = p_0V_0$. Теплота отдается холодильнику на участках 3-4 и 4-1 цикла. Используя выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа и первое начало термодинамики, для модуля отдаваемого количества теплоты получаем: $Q = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + p_0(2V_0 - V_0)$. Здесь ν – количество газа, который используется в машине в качестве рабочего тела. В соответствии с уравнением Клапейрона–Менделеева, $pV = \nu RT$. Следовательно, выражение для Q можно переписать следующим образом: $Q = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + p_0(2V_0 - V_0) = \frac{3}{2}(2p_0 \cdot 2V_0 - p_0V_0) + p_0V_0 = \frac{11}{2}p_0V_0 = \frac{11}{2}A$.

С учетом этого получаем ответ: $\tau = \frac{\eta A}{mgv} = \frac{2\eta Q}{11mgv \cdot 100\%} = 0,5$ с.

Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

Ответ: $\tau = \frac{2\eta Q}{11mgv \cdot 100\%} = 0,5$ с.

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном решении – закон изменения механической энергии, выражение для работы газа в цикле, первое начало термодинамики применительно к процессам 3-4 и 4-1); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).</p>	3

<p>Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков:</p> <p>— В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев:</p> <p>— Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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>ИЛИ</p> <p>— В <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	3

С4

Электрическая цепь состоит из последовательно соединенных плоского конденсатора, резистора, батареи и электрического ключа, который в исходном состоянии замкнут. В пространство между обкладками конденсатора медленно помещают диэлектрическую пластину с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 9$, которая в результате занимает всё пространство между пластинами. При этом в цепи выделяется количество теплоты $Q = 0,04$ Дж. Затем ключ размыкают. Какую минимальную работу необходимо совершить для того, чтобы полностью извлечь пластину из пространства между обкладками конденсатора?

Решение.

При замкнутом ключе напряжение на конденсаторе постоянно и равно напряжению U на клеммах батареи. Пусть емкость конденсатора без диэлектрической пластины равна C . При помещении в конденсатор диэлектрической пластины его емкость увеличивается в ϵ раз. Следовательно, заряд конденсатора также возрастает на величину $\Delta q = U\Delta C = U(\epsilon C - C) = CU(\epsilon - 1)$. При дозарядке конденсатора сторонние силы батареи совершают работу $\Delta A = U\Delta q = CU^2(\epsilon - 1)$. Энергия, запасенная конденсатором в исходном состоянии и после помещения в него диэлектрической пластины (при замкнутом ключе), равна $W_1 = \frac{CU^2}{2}$ и

$W_2 = \frac{\epsilon CU^2}{2}$, соответственно. Так как пластина вносится в конденсатор медленно, то для рассматриваемой электрической цепи можно записать закон сохранения энергии в следующем виде: $\Delta A + W_1 = W_2 + Q$, откуда

$$Q = \Delta A + W_1 - W_2 = CU^2(\epsilon - 1) + \frac{CU^2}{2} - \frac{\epsilon CU^2}{2} = \frac{CU^2}{2}(\epsilon - 1).$$

После размыкания ключа заряд конденсатора остается неизменным и равным $q = \epsilon CU$. Энергия, запасенная в конденсаторе с диэлектрической пластиной, равна $W_3 = W_2 = \frac{q^2}{2\epsilon C} = \frac{\epsilon CU^2}{2}$. После извлечения пластины из конденсатора запасенная в нем энергия становится равной $W_4 = \frac{q^2}{2C} = \frac{\epsilon^2 CU^2}{2}$, то есть увеличивается в ϵ раз. Это увеличение энергии конденсатора происходит за счет работы, совершаемой внешними силами. Так как извлечение пластины из конденсатора происходит медленно, то можно записать закон сохранения энергии в следующем виде:

$$A_{\text{внеш}}^{\min} = W_4 - W_3 = \frac{\epsilon^2 CU^2}{2} - \frac{\epsilon CU^2}{2} = \frac{\epsilon CU^2}{2}(\epsilon - 1) = \epsilon Q.$$

Таким образом, для того, чтобы полностью извлечь диэлектрическую пластину из пространства между обкладками конденсатора, нужно совершить минимальную работу

$$A_{\text{внеш}}^{\min} = \epsilon Q = 0,36$$

Дж.

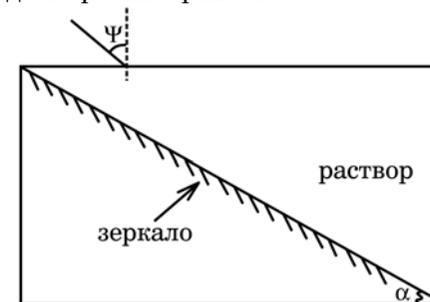
Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

Ответ: $A_{\text{внеш}}^{\min} = \epsilon Q = 0,36$ Дж.

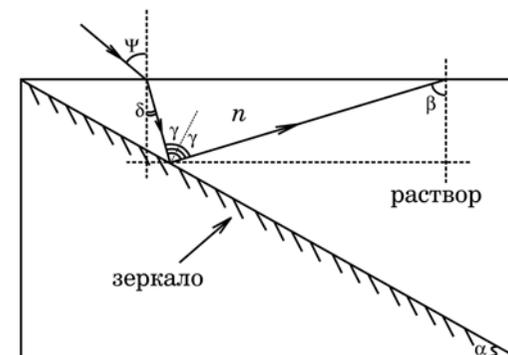
Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>выражения для работы батареи и для изменения энергии конденсатора при внесении и извлечении диэлектрической пластины, когда ключ замкнут и разомкнут</i>);</p> <p>2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).</p>	3
<p>Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков:</p> <p>— В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев:</p> <p>— Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа.</p> <p>ИЛИ</p> <p>— В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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>ИЛИ</p> <p>— В <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).</p>	0

Максимальный балл	
С5	3

В открытый сверху прямоугольный аквариум, до краев заполненный водой с растворенной в ней солью, помещено плоское зеркало так, как показано на рисунке (вид сбоку). Плоскость зеркала образует с горизонтальным дном сосуда угол $\alpha = 7,5^\circ$. На горизонтальную поверхность воды из воздуха под углом ψ падает луч света так, как показано стрелкой на рисунке. После однократного отражения от зеркала этот луч вновь падает на поверхность раствора. При каких значениях угла ψ луч не выйдет из воды в воздух? Показатель преломления раствора принять равным $n = \sqrt{2}$. Повторные отражения света от зеркала и от стенок сосуда не рассматривать.



Решение.



Для того чтобы луч не вышел из раствора в воздух, необходимо, чтобы он испытал на границе «жидкость – воздух» полное отражение. Пусть угол γ таков, что угол β падения луча снизу на поверхность жидкости как раз равен углу полного отражения. Построим ход луча при этом значении угла Ψ . Обозначим угол преломления луча при входе в раствор через δ , а угол падения света на зеркало через γ . При построении воспользуемся законом отражения света и учтем, что угол падения света на плоское зеркало равен углу, под которым он отражается. Из закона преломления света следуют следующие соотношения: $\sin \psi = n \sin \delta$ (луч входит в жидкость) и $n \sin \beta = 1$ (луч падает снизу на поверхность жидкости под углом полного отражения). Из построения видно, что между введенными углами существует следующая связь: $\alpha + \delta = \gamma$ и $\alpha + \gamma = \beta$. Решая записанную систему уравнений, получаем: $\sin \psi = \cos 2\alpha - \sqrt{n^2 - 1} \cdot \sin 2\alpha$. Учитывая, что $n = \sqrt{2}$, перепишем последнее равенство в виде: $\sin \psi = \cos 2\alpha - \sin 2\alpha$. Используя тригонометрическую формулу для преобразования разности косинусов, это равенство можно переписать в более компактном виде: $\sin \psi = \sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{4} - 2\alpha\right)$. Подставляя в эту формулу значение $\alpha = 7,5^\circ$, находим, что $\sin \psi = \frac{\sqrt{2}}{2}$, то есть критическое значение угла падения луча из воздуха на поверхность раствора, при котором отраженный от зеркала луч еще может выйти из жидкости в воздух, равно $\Psi = 45^\circ$.

Из чертежа и из записанных выше соотношений следует, что при увеличении угла β увеличиваются также углы γ и δ , а вслед за ними увеличивается и угол ψ . Следовательно, если угол падения луча на поверхность раствора превысит значение $\Psi = 45^\circ$, то луч после однократного отражения от зеркала и попадания на поверхность жидкости не выйдет из нее в воздух.

Допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).

Ответ: $\psi > \arcsin(\cos 2\alpha - \sin 2\alpha) = \arcsin\left(\sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{4} - 2\alpha\right)\right) = 45^\circ$.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно построен ход светового луча и правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – соотношения между углами, следующие из законов отражения и преломления света); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3

Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков: — В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка. ИЛИ — Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены. ИЛИ — Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде. ИЛИ — Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев: — Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа. ИЛИ — В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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 <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).	0
<i>Максимальный балл</i>	
3	

С6 В околосолнечном космическом пространстве движется небольшая сферическая частица. Как и во сколько раз изменится сила давления солнечного света на эту частицу, если расстояние от нее до Солнца увеличится в $m = 2$ раза?

Решение.

Будем для определенности считать, что частица полностью поглощает свет и что ее размеры таковы, что справедливо приближение геометрической оптики, то есть можно не учитывать явление дифракции света.

Тогда сила F давления солнечного света на эту частицу равна суммарному импульсу ΔP фотонов, поглощенных ею за единицу времени Δt : $F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$. Обозначим через n число солнечных фотонов, падающих в единицу времени на единичную площадку, перпендикулярную направлению на Солнце от частицы, находящейся от Солнца на расстоянии r . Тогда $\Delta P = np\Delta tS$, где p – импульс одного фотона, а S – площадь поперечного сечения частицы (все фотоны, летящие в пределах этой площадки, поглощаются частицей и передают ей свой импульс).

Импульс фотона p и его энергия E связаны соотношением: $E = pc$, где c – скорость света. Будем, естественно, считать, что Солнце излучает энергию равномерно во всех направлениях, и что она не поглощается в околосолнечном пространстве. Тогда вся излученная Солнцем во все стороны энергия и весь импульс, переносимый солнечными фотонами, одинаковы на разных расстояниях от Солнца, и $n = \frac{N}{4\pi r^2}$, где N – полное число фотонов, излучаемых Солнцем за единицу времени, а $4\pi r^2$ – площадь сферы, окружающей Солнце на расстоянии r от него.

Таким образом, из записанных соотношений получаем: $F = npS = \frac{NpS}{4\pi r^2} \sim \frac{1}{r^2}$, то есть сила давления солнечного света на частицу обратно пропорциональна квадрату расстояния от частицы до Солнца. Значит, при увеличении этого расстояния в $m = 2$ раза давление света на частицу уменьшится в $m^2 = 4$ раза.

Ответ: уменьшится в $m^2 = 4$ раза.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – связь между силой светового давления и суммарным импульсом поглощаемых фотонов, а также зависимость числа фотонов, падающих на данную площадку в единицу времени, от расстояния до Солнца); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3

Представленное решение содержит п. 1 полного решения, но и имеет <u>один</u> из следующих недостатков: — В <u>необходимых</u> математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка. ИЛИ — Необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены. ИЛИ — Не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде. ИЛИ — Решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев: — Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и без ответа. ИЛИ — В решении отсутствует <u>ОДНА</u> 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 <u>ОДНОЙ</u> 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 (использование неприменимого закона, отсутствие более чем одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).	0
<i>Максимальный балл</i>	3