

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
2019-2020 УЧ. ГОД
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ
10 КЛАСС
РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

1. Автомобиль и мотоцикл.

Автомобиль, двигаясь с постоянной скоростью $v=54$ км/ч по прямолинейному участку дороги, проезжает мимо готовящегося стартовать мотоциклиста. В тот момент времени $t_0=0$, когда они поравнялись, мотоциклист начал движение с постоянным ускорением в том же направлении. Спустя время $t_1 = 3$ с после этого скорости мотоцикла и автомобиля стали одинаковы.

1) Найдите время t_2 , считая от начала движения, спустя которое мотоциклист догонит автомобиль, продолжая двигаться с тем же ускорением.

2) Постройте график изменения со временем расстояния между автомобилем и мотоциклом от начального момента времени $t_0=0$ до момента t_2 .

Возможное решение

1) Ускорение мотоциклиста

$$a = \frac{v}{t_1}. \quad (1)$$

Введем систему координат с началом в точке, где находился мотоциклист в момент старта $t_0=0$, направим ось X по направлению движения автомобиля и мотоцикла. Запишем в этой системе уравнения для их координат:

$$x_1 = vt; \quad x_2 = \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

Приравнивая их и решая полученное уравнение, найдем время встречи

$$t_2 = \frac{2v}{a}. \quad (3)$$

С учетом (1)

$$t_2 = 2t_1.$$

Таким образом, мотоциклист догонит автомобиль через $t_2=6$ с.

2) Расстояние между автомобилем и мотоциклом

$$s = |x_2 - x_1|.$$

Поскольку на заданном интервале времени автомобиль опережает мотоцикл, то

$$s = vt - \frac{at^2}{2}. \quad (4)$$

Подставляя $v=54$ км/ч= 15 м/с, $a=5$ м/с² (из соотношения (1)), получаем

$$s = 15t - \frac{5t^2}{2}. \quad (5)$$

График (парабола) показан на рисунке 1. Координаты вершины параболы $t_g = t_1 = 3$ с, $s_g = 22,5$ м.

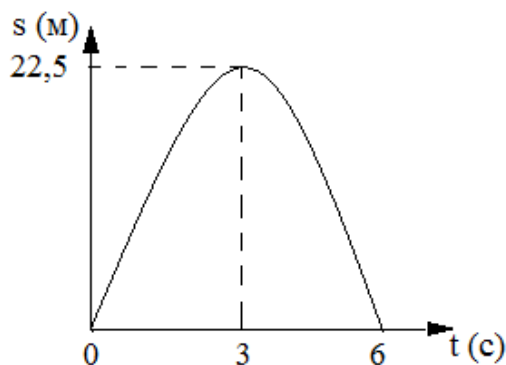


Рис. 1

Рекомендуемые критерии оценки

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи– 10 баллов, складывается из оценок за каждую из частей задачи. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

1. За решение **первой части** задачи (определение времени t_2 через которое мотоциклист догонит автомобиль) **максимальная оценка составляет 5 баллов.** При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – выражения для ускорения мотоциклиста (1), зависимости координат от времени (2), условие их равенства в момент встречи или эквивалентные им) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов;**

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях – **4 балла;**

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла;**

- есть понимание физики явления, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение –**2 балла;**

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) - **1 балл;**

- нет попыток решения – **0 баллов.**

2. За решение **второй части** задачи (построение графика изменения со временем расстояния между автомобилем и мотоциклом) **максимальная оценка составляет 5 баллов.** При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: - график построен верно, указаны координаты его характерных точек (пересечение с осью t , вершина параболы), имеются пояснения, обосновывающие вид графика (в данном случае закон изменения расстояния со временем (4) или эквивалентные ему пояснения), – **5 баллов;**

- полное правильное решение: - соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно (в данном случае закон изменения расстояния со временем (4) или эквивалентные им), график (парабола) качественно отражает характер изменения расстояния, но не указаны координаты его характерных точек (пересечение с осью t , вершина параболы) – **4 балла;**

- построен график, который правильно отражает характер изменения расстояния (парабола), но отсутствуют обосновывающие его вид пояснения – **3 балла;**

- есть понимание физики явления, но в рассуждениях имеется ошибка, поэтому график не вполне отражает характер изменения расстояния – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (графика) - **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. Спутник над экватором.

Спутник, движущийся по круговой орбите в плоскости экватора в направлении суточного вращения Земли, был зафиксирован над одной и той же точкой земной поверхности дважды с интервалом времени $\Delta t = 12$ часов. Найдите:

1) период обращения спутника вокруг Земли T ;

2) высоту орбиты этого спутника h (расстояние от спутника до поверхности Земли).

Радиус Земли $R_3 = 6400$ км; ускорение свободного падения на поверхности Земли $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Возможное решение

1) За $\Delta t = 12$ часов (половина суток) точка на поверхности Земли совершила 0,5 оборота и повернулась на угол $\Delta\varphi_3 = \pi$. За это же время спутник совершил 1,5 оборота, совершив угловое перемещение $\Delta\varphi = 3\pi$. Отношение угловых скоростей точки на Земле и спутника

$$\frac{\omega_3}{\omega} = \frac{\frac{\Delta\varphi_3}{\Delta t}}{\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}} = \frac{1}{3}. \quad (1)$$

Отношение их периодов

$$\frac{T}{T_3} = \frac{\omega_3}{\omega} = \frac{1}{3}, \quad (2)$$

где $T_3 = 24$ часа. Отсюда период спутника

$$T = \frac{T_3}{3}; \quad (3)$$

$$T = 8 \text{ часов.}$$

2) Запишем для спутника второй закон Ньютона, подставив в него силу всемирного тяготения, действующую на спутник со стороны Земли:

$$G \frac{mM}{R^2} = ma_y. \quad (4)$$

Здесь m - масса спутника, M - масса Земли, $R = R_3 + h$ - радиус орбиты. Центробежное ускорение спутника

$$a_y = \frac{4\pi^2}{T^2} R. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) получаем

$$G \frac{M}{R^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2},$$

откуда

$$R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}. \quad (6)$$

С учетом, что ускорение свободного падения на поверхности Земли $g = G \frac{M}{R_3^2}$,

получаем

$$R = \sqrt[3]{\frac{gR_3^2 T^2}{4\pi^2}}. \quad (7)$$

Высота орбиты

$$h = R - R_3$$

Вычисления:

$$h = \sqrt[3]{\frac{9,8 \cdot 6,4^2 \cdot 10^{12} \cdot 8^2 \cdot 3600^2}{4 \cdot 3,14^2}} - 6,4 \cdot 10^6 \approx 20,4 \cdot 10^6 - 6,4 \cdot 10^6 = 14 \cdot 10^6 \text{ (м)}.$$

Таким образом, высота орбиты $h \approx 14\,000$ км.

Рекомендуемые критерии оценки

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов, складывается из оценок за каждую из частей задачи. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

1. За решение **первой части** задачи (определение периода обращения спутника) **максимальная оценка составляет 5 баллов.** При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: - соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – соотношения между угловыми перемещениями и периодами точки на Земле и спутника (1), (2)) или эквивалентные им словесные пояснения записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов;**

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях – **4 балла;**

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла;**

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла;**

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) - **1 балл;**

- нет попыток решения – **0 баллов.**

2) За решение **второй части** задачи (определение радиуса орбиты спутника) **максимальная оценка составляет 5 баллов. Решение второй части оценивается НЕЗАВИСИМО от полученного в первой части результата: если при решении первой части задачи получено неверное значение периода, то оценка за вторую часть при использовании в ней этого значения ДОПОЛНИТЕЛЬНО НЕ СНИЖАЕТСЯ.**

При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: - соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае второй закон Ньютона, закон всемирного тяготения (4), выражение для центростремительного ускорения (5) или эквивалентные им) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов;**

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются

арифметические ошибки в вычислениях (либо ответ получен в общем виде, вычисления не произведены) – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

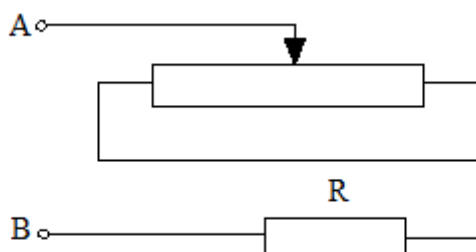
- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) - **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

3. Регулировочный реостат.

Для регулировки мощности, выделяющейся на резисторе $R = 30 \text{ Ом}$ используется реостат (см. рисунок), сопротивление которого может изменяться от 0 до r . Напряжение между точками A и B равно $U = 36 \text{ В}$. Когда ползунок реостата находится точно посередине, на резисторе R выделяется мощность $P = 30 \text{ Вт}$. Найдите сопротивление r .



Возможное решение

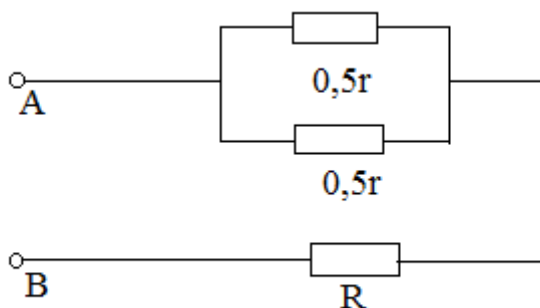


Рисунок 2

Эквивалентная схема показана на рисунке 2. Ее сопротивление

$$R_3 = R + 0,25r. \quad (1)$$

Сила тока через сопротивление R

$$I = \frac{U}{R_3}. \quad (2)$$

Мощность, выделяющаяся на резисторе R

$$P = I^2 R. \quad (3)$$

$$P = \frac{U^2 R}{R_3^2}. \quad (4)$$

Отсюда

$$R_9 = \sqrt{\frac{U^2 R}{P}}.$$

С учетом (1)

$$r = 4 \left(U \sqrt{\frac{R}{P}} - R \right).$$

Вычисления:

$$r = 4 \cdot \left(36 \sqrt{\frac{30}{30}} - 30 \right) = 24 \text{ (Ом)}.$$

Рекомендуемые критерии оценки

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: - соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – выражение для эквивалентного сопротивления схемы (1), закон Ома для участка цепи (2), выражение для мощности, выделяющейся на резисторе (3) или эквивалентные им соотношения) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **10 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях (либо ответ получен в общем виде, вычисления не произведены) – **9 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **8 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется более одной ошибки в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **7 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но преобразования не завершены – **6 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, но попытки провести преобразования и получить ответ отсутствуют – **5 баллов**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **4 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется более одной ошибки – **3 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения – **1-2 балла**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

4. Нагревание при ударе.

Два тела одинаковой массы, сделанные из одного материала, движутся со скоростями $v_1=4$ м/с и $v_2=3$ м/с перпендикулярно друг другу. После абсолютно неупругого соударения температура тел повысилась на $\Delta t = 0,02^\circ\text{C}$. Считая, что 80%

выделившегося при ударе тепла пошло на нагревание тел, найдите удельную теплоемкость материала, из которого они изготовлены.

Возможное решение

По закону сохранения импульса

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}, \quad (1)$$

где $\vec{p}_1 = m\vec{v}_1$, $\vec{p}_2 = m\vec{v}_2$ - импульсы тел до удара, $\vec{p} = 2m\vec{v}$ - импульс тел после удара (рис. 3). Для модулей импульсов по теореме Пифагора можно записать соотношение

$$m^2v_1^2 + m^2v_2^2 = 4m^2v^2, \quad (2)$$

откуда

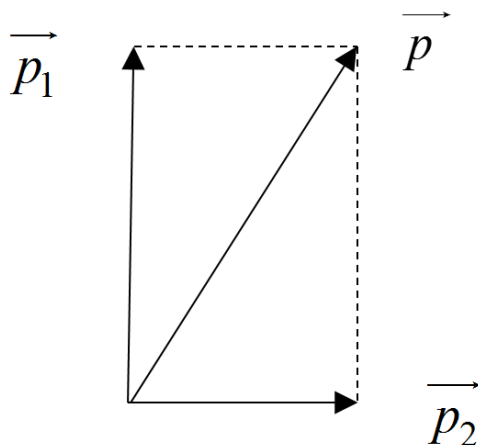
$$v^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2}{4}. \quad (3)$$

Количество теплоты, выделившееся при ударе, равно разности кинетических энергий тел до и после удара:

$$Q = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - \frac{2mv^2}{2}. \quad (4)$$

С учетом (3)

$$Q = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - \frac{m(v_1^2 + v_2^2)}{4} = \frac{m(v_1^2 + v_2^2)}{4}. \quad (5)$$



На нагревание тел идет 80% этого тепла, поэтому

$$0,8Q = 2cm\Delta t, \quad (6)$$

$$\frac{0,8m(v_1^2 + v_2^2)}{4} = 2cm\Delta t. \quad (7)$$

Удельная теплоемкость

$$c = \frac{0,8(v_1^2 + v_2^2)}{8\Delta t}. \quad (8)$$

Расчет:

$$c = \frac{0,8(3^2 + 4^2)}{8 \cdot 0,02} = 125 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

Рекомендуемые критерии оценки

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: - соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – закон сохранения импульса с учетом его векторного характера (1), (2), закон сохранения энергии (4), выражение для количества теплоты через удельную теплоемкость и изменение температуры с учетом доли тепла, идущей на нагревание тел (6) или эквивалентные им соотношения) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **10 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях (либо ответ получен в общем виде, вычисления не произведены) – **9 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **8 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется более одной ошибки в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **7 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но преобразования не завершены – **6 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, но попытки провести преобразования и получить ответ отсутствуют – **5 баллов**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **4 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется более одной ошибки – **3 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения – **1-2 балла**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

5. Соленый коктейль.

В стакан, площадь дна которого $S=20 \text{ см}^2$, налили $V_1=100$ мл соленой воды плотностью $\rho_1=1,12 \text{ г/см}^3$ и положили кубик льда из пресной воды массой $m_2=44,8$ г.

1. Найдите плотность воды ρ , которая будет находиться в стакане после того, как весь лед растает.

2. На сколько изменится уровень воды, когда весь лед растает, по сравнению с уровнем воды в стакане, когда в него только что положили лед?

Считать, что при растворении соли в воде объем жидкости не меняется. Плотность пресной воды $\rho_0=1,00 \text{ г/см}^3$.

Возможное решение

1. После того, как лед растает, масса жидкости в стакане будет

$$m = m_1 + m_2, \quad (1)$$

где

$$m_1 = \rho_1 V_1 \quad (2)$$

- масса соленой воды, изначально находившейся в стакане. Объем жидкости в стакане будет равен

$$V = V_1 + \frac{m_2}{\rho_0}. \quad (3)$$

Плотность воды после таяния льда

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (4)$$

или с учетом (1), (2) и (3)

$$\rho = \frac{\rho_1 V_1 + m_2}{V_1 + \frac{m_2}{\rho_0}}. \quad (5)$$

Расчет:

$$\rho = \frac{1,12 \cdot 100 + 44,8}{100 + \frac{44,8}{1}} \approx 1,08 \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

2. Лед в стакане будет плавать, вытесняя объем, равный объему погруженной части. Этот объем найдем из условия плавания

$$m_2 g = \rho_1 g V_n \quad (6)$$

$$V_n = \frac{m_2}{\rho_1}. \quad (7)$$

Уровень воды в стакане сразу после того, как положили лед

$$h_1 = \frac{V_1 + V_n}{S} = \frac{V_1 + \frac{m_2}{\rho_1}}{S}. \quad (8)$$

После того, как лед растаял, уровень стал

$$h_2 = \frac{V_1 + \frac{m_2}{\rho_0}}{S}. \quad (9)$$

Изменение уровня

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{m_2}{S} \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_1} \right) \quad (10)$$

Расчет:

$$\Delta h = \frac{44,8}{20} \left(1 - \frac{1}{1,12} \right) = 0,24 \text{ (см)}.$$

Рекомендуемые критерии оценки

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов, складывается из оценок за каждую из частей задачи. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

1. За решение **первой части** задачи (определение плотности воды, которая будет находиться в стакане после того, как весь лед растает) **максимальная оценка составляет 5 баллов**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: - соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – выражения для массы и объема содержимого стакана (1) - (3), выражение для плотности содержимого (4) или эквивалентные им) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) - **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2) За решение **второй части** задачи (определение изменения уровня воды в стакане) **максимальная оценка составляет 5 баллов**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: - соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – выражение для объема вытесненной кубиком льда воды из условия плавания (6), (7), выражения для уровня жидкости в стакане до и после таяния льда (8), (9) или эквивалентные им) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях или (либо ответ получен в общем виде, вычисления не произведены) – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) - **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.