

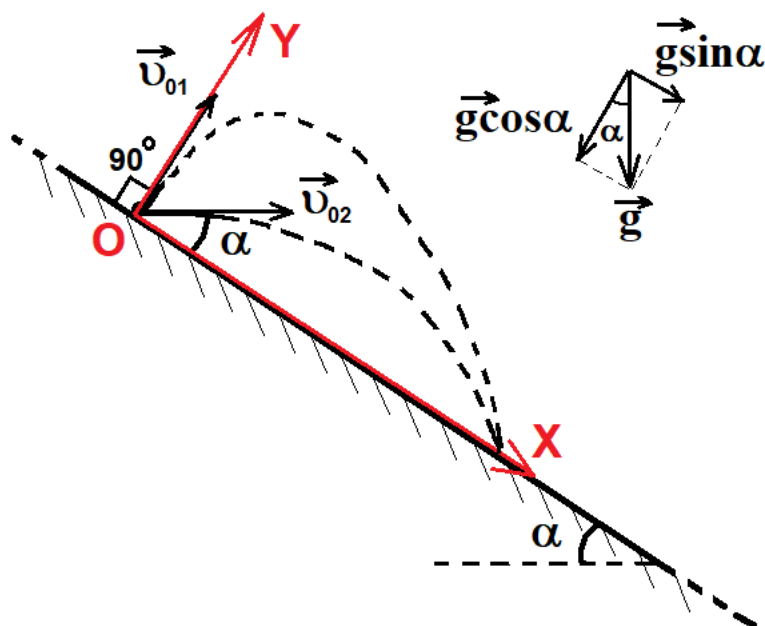
Пермский край
2025-26 учебный год
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
10 КЛАСС

Критерии оценивания

Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

Задание 1. Два мяча и наклонная плоскость (10 баллов)

1) Выберем систему отсчета, связанную с поверхностью наклонной плоскости. Введем систему координат с началом в точке бросания О. Ось ОХ направим вниз вдоль поверхности наклонной плоскости, ось ОУ – вверх, перпендикулярно оси ОХ (см. рис.):



Уравнения движения в координатной форме в проекциях на ось ОУ для первого и второго мяча ($y_{01} = y_{02} = 0$):

$$\text{ОУ: } y_1 = y_{01} + v_{01y} \cdot t + \frac{g_y t^2}{2} = v_{01} \cdot t - \frac{(g \cos \alpha) t^2}{2} \quad (1)$$

$$\text{ОУ: } y_2 = y_{02} + v_{02y} \cdot t + \frac{g_y t^2}{2} = v_{02} \sin \alpha \cdot t - \frac{(g \cos \alpha) t^2}{2}. \quad (2)$$

2) Когда камни упадут на поверхность:

$$y_1 = y_2 = 0. \quad (3)$$

3) Время полета первого мяча найдем из уравнения (1) с учетом (3):

$$v_{01} \cdot t - \frac{(g \cos \alpha) t^2}{2} = 0.$$

Нулевое значение t соответствует начальному моменту времени, а время полета первого мяча

$$t_1 = \frac{2v_{01}}{g \cos \alpha}, \quad (4)$$

4) Аналогично для второго мяча, с учетом (2) и (3):

$$v_{02} \sin \alpha \cdot t - \frac{(g \cos \alpha) t^2}{2} = 0.$$

Отсюда время полета второго мяча

$$t_2 = \frac{2v_{02}\sin\alpha}{g\cos\alpha}, \quad (5)$$

5) Уравнения движения в координатной форме в проекциях на ось ОХ для первого и второго мяча ($x_{01} = x_{02} = 0$):

$$\text{ОХ: } x_1 = x_{01} + v_{01x} \cdot t + \frac{g_x t^2}{2} = \frac{(g\sin\alpha)t^2}{2} \quad (6)$$

$$\text{ОХ: } x_2 = x_{02} + v_{02x} \cdot t + \frac{g_x t^2}{2} = (v_{02}\cos\alpha) \cdot t + \frac{(g\sin\alpha)t^2}{2}. \quad (7)$$

6) Из уравнений (6) и (7), подставляя в них (4) и (5), найдем координаты по оси ОХ для каждого мяча в момент падения, равные расстоянию от точки бросания до точки падения:

$$S_1 = x_1(t_1) = \frac{(g\sin\alpha)}{2} \cdot \left(\frac{2v_{01}}{g\cos\alpha}\right)^2 = \frac{2v_{01}^2\sin\alpha}{g\cos^2\alpha},$$

$$S_2 = x_2(t_2) = (v_{02}\cos\alpha) \cdot \left(\frac{2v_{02}\sin\alpha}{g\cos\alpha}\right) + \frac{(g\sin\alpha)}{2} \left(\frac{2v_{02}\sin\alpha}{g\cos\alpha}\right)^2 = \frac{2v_{02}^2\sin\alpha}{g\cos^2\alpha}.$$

Так как по условию задачи $v_{01} = v_{02} = 10$ м/с, то подставляя числовые значения, получаем:

$$S_1 = S_2 = (2 \cdot 10^2 \cdot \sin 30^\circ) / (9.8 \cdot \cos^2 30^\circ) = 100 / 7.35 \text{ м} \approx 13,61 \text{ м}.$$

7) Расстояние между точками падения мячей

$$\Delta S = |S_1 - S_2| = 0 \text{ м}.$$

Оценивание задания 1 (10 баллов)

Записаны уравнения (1) и (2) движения в координатной форме в проекциях на ось ОУ для первого и второго мяча (пункт 1 решения)	2 балла
Записано соотношение (3) (пункт 2 решения)	1 балл
Найдено время полета t_1 (4) первого мяча (пункт 3 решения)	1 балл
Найдено время полета t_2 (5) второго мяча (пункт 4 решения)	1 балл
Записаны уравнения (6) и (7) движения в координатной форме в проекциях на ось ОХ для первого и второго мяча (пункт 5 решения)	2 балла
Найдены искомые расстояния S_1 и S_2 (пункт 6 решения)	2 балла
Определено расстояние между точками падения мячей ΔS (пункт 7 решения)	1 балл

Задание 2. Три одинаковых калориметра (10 баллов)

1) Поскольку потерями тепла в окружающее пространство по условию задачи можно пренебречь, то, если бы мы грели только воду внутри калориметра, во втором случае нам потребовалось бы в полтора раза больше времени для нагревания, чем в первом (так как масса воды во втором калориметре в 1.5 раза больше):

$$150 \text{ с} + 75 \text{ с} = 225 \text{ с}.$$

А нам потребовалось всего $\Delta t_2 = 200$ с, т.е. меньше.

Это значит, что кроме нагрева воды тепло тратится куда-то еще. Теплотеря в окружающую среду по условию нет, поэтому остается единственная возможность потерь – **нельзя пренебречь теплоемкостью C самого калориметра**.

2) Пусть мощность электрического нагревателя калориметров P (калориметры все одинаковые), и для нагревания объема V_1 от комнатной температуры до температуры кипения нужно количество теплоты Q_1 , а для нагревания самого калориметра – количество теплоты q . Тогда уравнение теплового баланса для нагревания объема воды V_1 дает

$$P \cdot \Delta t_1 = Q_1 + q. \quad (1)$$

3) Во втором случае мы нагреваем тот же калориметр (q), и в полтора раза большее количество воды (Q_2). Поэтому

$$P \cdot \Delta t_2 = Q_2 + q = 1.5Q_1 + q. \quad (2)$$

4) Решаем систему уравнений (1) и (2) относительно Q_1 и q . Выразим q :

$$q = P \cdot \Delta t_1 - Q_1, \quad (3)$$

Подставим (3) в (2):

$$P \cdot \Delta t_2 = 1.5Q_1 + P \cdot \Delta t_1 - Q_1.$$

Отсюда Q_1 :

$$Q_1 = 2P \cdot (\Delta t_2 - \Delta t_1) = 100P. \quad (4)$$

Подставим (4) в (3) и получим q :

$$q = P \cdot \Delta t_1 - 2P \cdot (\Delta t_2 - \Delta t_1) = P \cdot (3\Delta t_1 - \Delta t_2) = 50P. \quad (5)$$

5) Рассмотрим теперь нагревание втрое большего количества воды, чем в первом случае ($V_3 = 3V_1$).

Уравнение теплового баланса дает:

$$P \cdot \Delta t_3 = Q_3 + q = 3Q_1 + q. \quad (6)$$

6) Подставляя в (6) Q_1 и q , получаем искомое время Δt_3 :

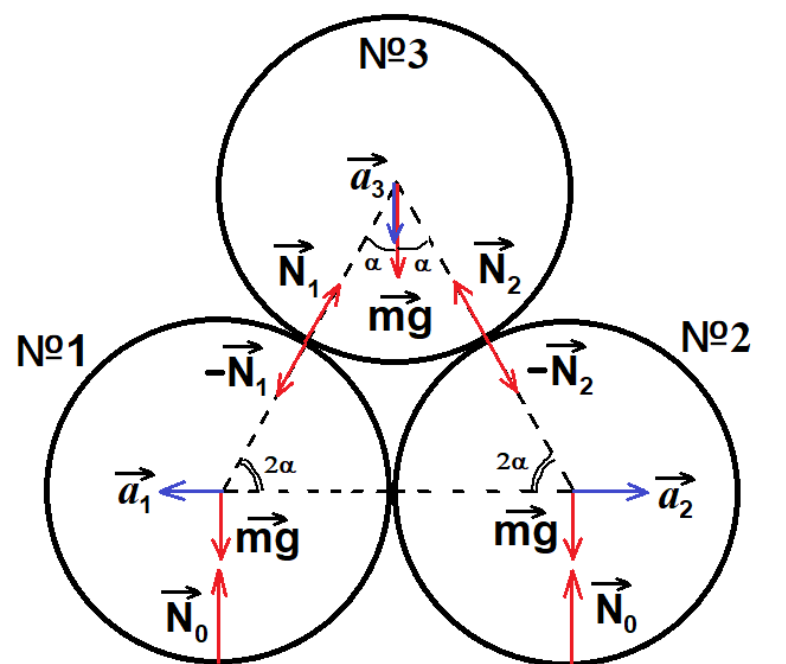
$$\Delta t_3 = (300P + 50P) / P = 350 \text{ с.}$$

Оценивание задания 2

Вывод о том, что теплоемкостью калориметров пренебречь нельзя (пункт 1 решения)	2 балла
Уравнение теплового баланса (1) для нагревания объема воды V_1 (пункт 2 решения)	2 балла
Уравнение теплового баланса (2) для нагревания объема воды V_2 (пункт 3 решения)	2 балла
Решена система уравнений (1-2), выражены Q_1 и q через P (пункт 4 решения)	2 балла
Уравнение теплового баланса (6) для нагревания объема воды V_3 (пункт 5 решения)	1 балл
Найдено искомое время Δt_3 (пункт 6 решения)	1 балл

Задание 3. Три болванки (10 баллов)

1) Укажем все силы, действующие на цилиндрические тела (см. рисунок).



На цилиндры действуют следующие силы:

цилиндр №1 – сила тяжести mg , сила нормальной реакции плоскости N_0 , сила реакции со стороны цилиндра №3 $-N_1$.

цилиндр №2 – сила тяжести mg , сила нормальной реакции плоскости N_0 , сила реакции со стороны цилиндра №3 $-N_2$.

цилиндр №3 – сила тяжести mg , сила реакции со стороны цилиндра №1 N_1 и сила реакции со стороны цилиндра №2 N_2 .

2) Из соображений симметрии силы взаимодействия между телами N_1 и N_2 равны по величине, также как и силы реакции горизонтальной плоскости N_0 .

$$N_1 = N_2 = N. \quad (1)$$

Ускорения нижних цилиндрических тел a_1 и a_2 также равны и направлены в горизонтальной плоскости в противоположные стороны.

$$a_1 = a_2 = a. \quad (2)$$

Ускорение a_3 цилиндра №3 направлено вертикально вниз.

3) Центры цилиндров находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной d . Из простых геометрических соображений

$$\alpha = 30^\circ. \quad (3)$$

4) Запишем уравнения динамики в проекции на оси.

Для цилиндра №1 (в проекции на горизонтальную ось, направленную влево, вдоль вектора ускорения a_1):

$$ma_1 = ma = N_1 \sin \alpha = N \sin \alpha, \quad (4)$$

5) Для цилиндра №2 (в проекции на горизонтальную ось, направленную вправо, вдоль вектора ускорения a_2):

$$ma_2 = ma = N_2 \sin \alpha = N \sin \alpha. \quad (5)$$

6) Для цилиндра №3 (в проекции на вертикальную ось, направленную вниз, вдоль вектора ускорения a_3):

$$ma_3 = mg - N_1 \cos \alpha - N_2 \cos \alpha = mg - 2N \cos \alpha, \quad (6)$$

7) Запишем связь между ускорениями $a_1 = a_2 = a$ и ускорением a_3 из равенства проекций их на прямую, соединяющую центры цилиндрических тел:

$$a_3 \cos \alpha = a \sin \alpha. \quad (7)$$

8) Решив получившуюся систему,

$$\begin{aligned} ma &= N \sin \alpha, \\ ma_3 &= mg - 2N \cos \alpha, \\ a_3 \cos \alpha &= a \sin \alpha, \end{aligned}$$

находим:

$$a_3 = g / (1 + 2 \operatorname{ctg}^2 \alpha), \quad (8)$$

$$a_1 = a_2 = a = (g \cdot \operatorname{ctg} \alpha) / (1 + 2 \operatorname{ctg}^2 \alpha). \quad (9)$$

9) Окончательно:

$$a_3 = g / 7 = 1.4 \text{ м/с}^2, \quad a_1 = a_2 = a = (\sqrt{3}g) / 7 = \approx 2.4 \text{ м/с}^2.$$

Оценивание задания 3

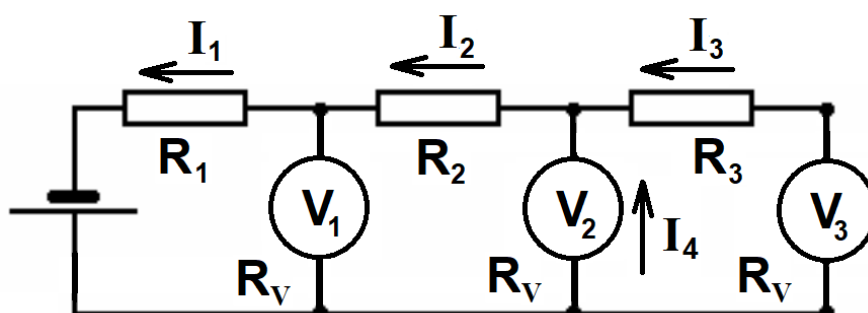
Сделан рисунок с указанием всех сил, действующих на цилиндры, и ускорений (пункт 1 решения)	2 балла
Из соображений симметрии записаны соотношения (1) и (2) (пункт 2 решения)	1 балл
Указано значение угла α (3) (пункт 3 решения)	1 балл

Записан основной закон динамики для цилиндра №1 (4) (пункт 4 решения)	1 балл
Записан основной закон динамики для цилиндра №2 (5) (пункт 5 решения)	1 балл
Записан основной закон динамики для цилиндра №3 (6) (пункт 6 решения)	1 балл
Выражение для связи между ускорениями a и a_3 (7) (пункт 7 решения)	1 балл
Решена система уравнений, получены соотношения для ускорений (8) и (9) (пункт 8 решения)	1 балл
Получены числовые ответы (пункт 9 решения)	1 балл

Задание 4. Электрическая цепь (10 баллов)

1) Различия в показаниях первого и третьего вольтметров возникают из-за того, что они не являются идеальными, то есть имеют конечное сопротивление, которое мы обозначим R_V , и которое сравнимо с сопротивлением резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = R$.

2) Укажем обозначения токов, текущих через некоторые элементы схемы (см. рис.).



3) Используя законы последовательного и параллельного соединения, можно записать следующие уравнения для напряжения на вольтметрах:

$$U_{V3} = I_3 \cdot R_V, \quad (1)$$

$$U_{V2} = I_3 \cdot (R + R_V), \quad (2)$$

$$U_{V1} = I_2 \cdot R + U_{V2}. \quad (3)$$

4) Выразим силу тока I_2 через силу тока I_3 , используя следующие уравнения.

Первое правило Кирхгофа

$$I_2 = I_3 + I_4. \quad (4)$$

Закон Ома для второго вольтметра

$$I_4 \cdot R_V = U_{V2}. \quad (5)$$

Отсюда

$$I_2 = I_3 + U_{V2} / R_V. \quad (6)$$

5) Решаем полученную систему уравнений (1) – (3) и (6).

В уравнение (3) подставим (6):

$$U_{V1} = [I_3 + U_{V2} / R_V] \cdot R + U_{V2}. \quad (7)$$

Из уравнений (1) и (2) (из разности этих уравнений):

$$I_3 \cdot R = U_{V2} - U_{V3}. \quad (8)$$

Из уравнений (1) и (2) (из частного этих уравнений):

$$R / R_V = U_{V2} / U_{V3} - 1. \quad (9)$$

Подставим (8) и (9) в уравнение (7):

$$\begin{aligned} U_{V1} &= I_3 \cdot R + (U_{V2} \cdot R) / R_V + U_{V2}, \\ U_{V1} &= U_{V2} - U_{V3} + U_{V2} \cdot [U_{V2} / U_{V3} - 1] + U_{V2}, \\ U_{V2}^2 + U_{V3} \cdot U_{V2} - (U_{V3} + U_{V1}) U_{V3} &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

6) Решаем получившееся квадратное уравнение (10).

Дискриминант:

$$D = 5U_{V3}^2 + 4U_{V1} \cdot U_{V3},$$

Отбрасывая отрицательный корень, как не имеющий физического смысла, получим:

$$U_{V2} = \frac{\sqrt{5U_{V3}^2 + 4U_{V1}U_{V3}} - U_{V3}}{2}. \quad (11)$$

7) Подставив числовые значения U_{V1} и U_{V3} , получим искомое напряжение на втором вольтметре:

$$U_{V2} \approx 8.65 \text{ В.}$$

Оценивание задания 4

Вывод о том, что вольтметры не являются идеальными (пункт 1 решения)	0,5 балла
Сделан рисунок, с указанием направления токов (пункт 2 решения)	0,5 балла
Написано уравнение (1) для напряжения на третьем вольтметре U_{V3} (пункт 3 решения)	1 балл
Написано уравнение (2) для напряжения на втором вольтметре U_{V2} (пункт 3 решения)	1 балл
Написано уравнение (3) для напряжения на первом вольтметре U_{V1} (пункт 3 решения)	1 балл
Выражена сила тока I_2 через силу тока I_3 , получено соотношение (6) (пункт 4 решения)	2 балла
Решена полученная система уравнений (1)–(3) и (6), в итоге получено квадратное уравнение (10) относительно U_{V2} (пункт 5 решения)	2 балла
Решено квадратное уравнение, отброшен отрицательный корень (пункт 6 решения)	1 балл
Найдено искомое напряжение на втором вольтметре U_{V2} (пункт 7 решения)	1 балл

Задание 5. По следам Галилея (10 баллов)

1) При равноускоренном движении тела с нулевой начальной скоростью пройденный путь зависит от времени по закону:

$$S = (at^2) / 2, \quad (1)$$

где a – ускорение тела.

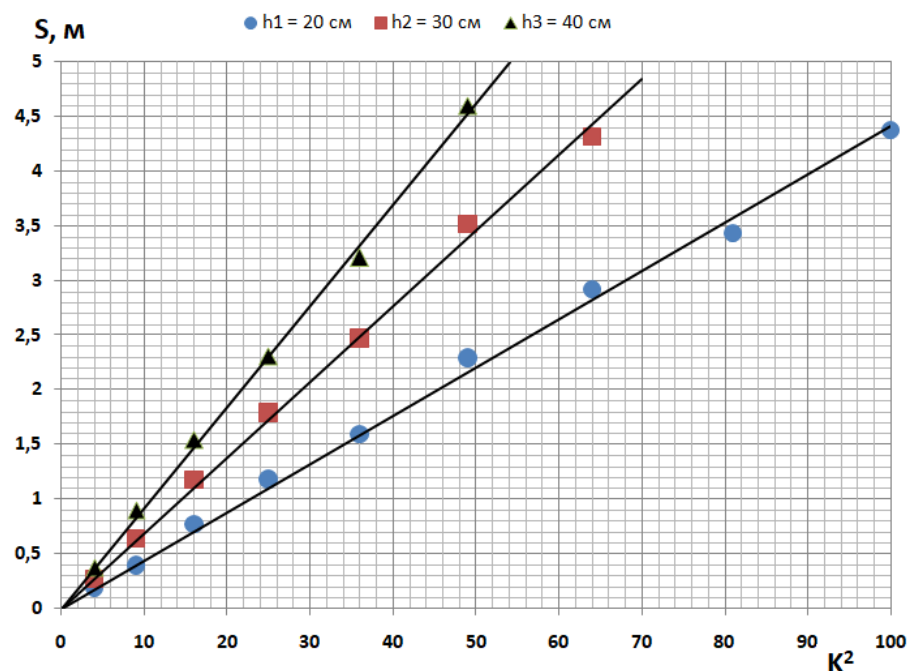
Иными словами, пройденный путь пропорционален квадрату времени.

2) Постоянный период колебаний маятника в данном случае может служить единицей измерения времени, поэтому можно переписать формулу (1) в виде

$$S = (AK^2) / 2, \quad (2)$$

где A – ускорение тела, измеренное в «метрах на период маятника в квадрате», а K – число периодов.

3) Построим графики зависимости пройденного пути S от квадрата времени (то есть, K^2) для всех начальных высот h (графики могут быть построены участниками олимпиады на одной плоскости или в трех разных плоскостях, с использованием разных масштабов):



Как видно, эти зависимости представляют прямые линии, следовательно, эксперимент подтверждает формулу (2), то есть движение действительно является равноускоренным.

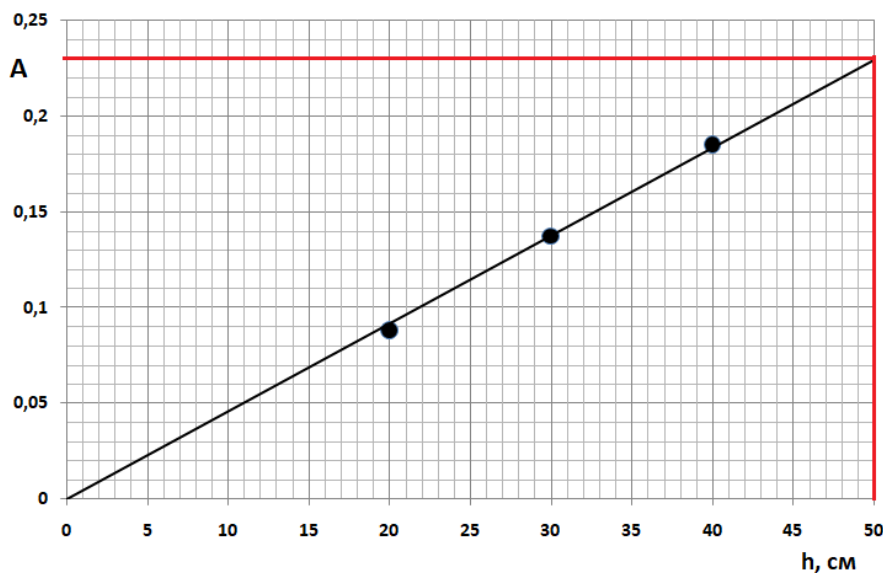
4) По наклону графиков определим ускорения шаров при каждом значении высоты h :

$$A = (2 \cdot \Delta S) / \Delta K^2. \quad (3)$$

Получим следующие значения

h , см	A , м/период маятника в квадрате
20	$(2 \cdot 4.4) / 100 = \approx 0.088$
30	$(2 \cdot 4.8) / 70 = \approx 0.137$
40	$(2 \cdot 5.0) / 54 = \approx 0.185$

5) Построим график зависимости A от h .



Можно заметить, что ускорение прямо пропорционально высоте h . С помощью графика, либо непосредственно по численным значениям легко определить коэффициент пропорциональности. Окончательно получаем

$$A \approx 0.46 \cdot h, \quad (4)$$

где высота h измеряется в метрах.

Примечание. Можно показать, что ускорение при движении по наклонной плоскости пропорционально синусу угла наклона, который при постоянной длине желоба L пропорционален высоте h . Действительно, кинетическая энергия катящегося шара пропорциональна квадрату скорости

$$E_{\text{кин}} = Cv^2,$$

где C – постоянный коэффициент, зависящий не только от распределения масс внутри шара, но и от глубины желоба.

Пренебрегая работой против сил трения качения, можем приравнять кинетическую энергию в конце желоба к начальной потенциальной энергии:

$$Cv^2 = mgh.$$

С другой стороны при равноускоренном движении справедлива формула

$$L = v^2 / (2a).$$

Из этих соотношений окончательно получаем:

$$a = (mgh) / (2CL), \text{ то есть } a \approx h.$$

6) Из графика $A = f(h)$ видно, что при высоте $h = 50$ см ускорение примерно равно $A \approx 0.23$.

7) Поэтому путь S_x пройденный шаром за $K = 5$ колебаний маятника:

$$S = (AK^2) / 2 = (0.23 \cdot 5^2) / 2 \approx 2.88 \text{ м.}$$

Оценивание задания 5

Зависимость (1) пройденного пути от времени для равноускоренного движения (пункт 1 решения)	1 балл
Использование в качестве единицы измерения времени периода колебаний маятника, соотношение (2) (пункт 2 решения)	1 балл
Построение графиков зависимости пройденного пути S от квадрата времени (то есть от K^2) для всех начальных высот h , вывод о линейности этих графиков (пункт 3 решения)	3 балла
Определение по наклону графиков ускорений шаров A при каждом значении высоты h (пункт 4 решения)	1 балл
Построение графика зависимости A от h , вывод о том, что ускорение прямо пропорционально высоте h (пункт 5 решения)	2 балла
Определено ускорение A при $h = 50$ см (пункт 6 решения)	1 балл
Найден искомый пройденный путь S_x при $K = 5$ и $h = 50$ см (пункт 7 решения)	1 балл