



## Титульный лист

Направление ☐ анализ данных ☐ информатика ☐ история  
☐ математика ☐ обществознание ☐ русский язык  
☒ физика ☐ химия

Класс ☐ 8 ☐ 9 ☒ 10 ☐ 11

Фамилия

КУСАИНОВА

Имя

ДАЯНА

Отчество

СЕРИКОВНА

Дата рождения

08 06 2009

Город участия

ТЮМЕНЬ

Аудитория

317

Дата

31 01 2026

Подпись

Пример  
заполнения

А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф  
Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0



## Проверочный лист

Заполняется участниками

**Направление**

☐ анализ данных    ☐ информатика    ☐ история  
☐ математика    ☐ обществознание    ☐ русский язык  
☒ физика    ☐ химия

**Класс**

☐ 8    ☐ 9    ☒ 10    ☐ 11

**Город участия**

Т Ю М Е Н Ь

## Заполняется организаторами

Количество доп. листов      Количество черновиков к проверке

Время выхода с     до

## Протокол проверки

Заполняется жюри

| Номер задания      | 1 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|---|----|---|----|---|---|---|---|---|----|
| Балл члена жюри №1 | 5 | 20 | — | 20 |   |   |   |   |   |    |
| Балл члена жюри №2 | 5 | 20 | — | 20 |   |   |   |   |   |    |

**Итоговый балл**

**Подпись члена жюри №1**

**Подпись члена жюри №2**

**Пример заполнения**

А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф  
Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0



### Задание 1

Длина между стенками для центра шара  $L=1$  м, скорости каждого  $v=1$  м/с. Первый шар в  $t=0$  ударяется о левую стенку ( $x=0$ ), движется вправо.

Второй шар начинает движение от правой стенки ( $x=1$ ) влево в момент времени  $t=0,5$  с, когда первый шар в  $x=0,5$ .

Отсчет времени от  $\tau$  от начала движения второго шара ( $\tau=t-0,5$ )

При  $\tau=0$   $x_1(0)=0,5$ ,  $v_1=+1$

$x_2(0)=1$ ,  $v_2=-1$

#### ① Столкновение шаров

Уравнение  $0,5+\tau=1=1-\tau \Rightarrow \tau=0,25$  с

После удара обмен скоростями  $v_1=-1$ ,  $v_2=+1$ ,  $x=0,75$

#### ② Последующие удары о стенки

Второй шар (идет направо) до правой стенки ( $x=1$ ) пройдет  $0,25$  м за  $0,25$  с. Удар в  $\tau=0,25+0,25=0,5$  с. После отражения  $v_2=+1$

Первый шар (идет налево) до левой стенки ( $x=0$ ) пройдет  $0,75$  м за  $0,75$  с. Удар в  $\tau=0,25+0,75=1$  с. После отражения  $v_1=+1$

#### ③ Дальнейшее движение

После  $\tau=1,00$  с

$x_1=0$ ,  $v_1=+1$ ,  $x_2=0,5$ ,  $v_2=-1$

Шары снова сближаются, сталкиваются в  $\tau=1,25$  в  $x=0,25$ , снова обмен скоростями, после чего

Первый шар ударяется о левую стенку в  $\tau=1,50$

Второй шар ударяется о правую в  $\tau=2,00$

Аналогично далее - удары о стенки повторяются с периодом  $0,5$  секунды

Ответ  $0,5$  с,  $1,0$  с,  $1,5$  с,  $2,0$  с,  $2,5$  с,  $3,0$  с,  $3,5$  с,  $4,0$  с



## Задача ②

Смещение звезд за год объясняется ~~абберацией~~ абберацией, которая зависит от орбитальной скорости планеты  $v$  и не зависит от расстояния до звезды

Угловое смещение звезд из-за абберации  $\theta = \frac{2v}{c}$  (в радианах), где  $c = 3,00 \cdot 10^8$  км/с - скорость света

По условию  $\theta \geq 30^\circ$  Проверим  $30^\circ$  в радианах

$$30^\circ = \frac{30}{206265} \text{ рад} \approx 1,454 \cdot 10^{-4} \text{ рад} \quad \text{Тогда} \quad \frac{2v}{c} \geq 1,454 \cdot 10^{-4}$$

Орбитальная скорость при круговой орбите радиуса  $R = 1,50 \cdot 10^8$  км  $v = \frac{2\pi R}{T}$ , где  $T$  - искомый период (год)

Представим

$$\frac{2 \cdot 2\pi R}{cT} \geq 1,454 \cdot 10^{-4}$$

Выразим  $T$   $T \leq \frac{4\pi R}{c \cdot 1,454 \cdot 10^{-4}}$

Подстановка чисел  $4\pi R = 4\pi \cdot 1,50 \cdot 10^8 \approx 1,885 \cdot 10^9$  км,  
 $c \cdot 1,454 \cdot 10^{-4} = 3,00 \cdot 10^8 \cdot 1,454 \cdot 10^{-4} \approx \cancel{4,362 \cdot 10^4} 4,32 \cdot 10^7$  с

Переведем в земные сутки (при 86400 с)

$$T \approx \frac{1,885 \cdot 10^9}{4,32 \cdot 10^7} \approx 500 \text{ суток на Земле}$$

Так как смещение не менее  $30^\circ$ , период не превышает этого значения. При минимальном смещении равно  $30^\circ$  получаем максимальный возможный год  $T \approx 500$  земных суток

Если бы орбитальная скорость была больше (а значит, год короче), абберационное смещение было бы больше  $30^\circ$ . Но в условии сказано, все звезды ночного неба смещались не менее чем на  $30$  угловых секунд; поэтому год планеты не может быть длиннее 500 суток при заданном радиусе орбиты

Ответ 500 суток



## Задача ④

### 1 Движение до столкновения

Начальная энергия в момент  $t=0$ , на расстоянии  $R$

$$E_{\text{нач}} = 0 \text{ (кинетическая)} + \left(-\frac{kq^2}{R}\right) \text{ (потенциальная)}, \text{ где } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Скорости перед столкновением на расстоянии  $2r$  (минимум) —  
из закона сохранения энергии  $-\frac{kq^2}{R} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 - \frac{kq^2}{2r}$   
 $\frac{kq^2}{2r} - \frac{kq^2}{R} = mv^2, \quad v^2 = \frac{kq^2}{m} \left(\frac{1}{2r} - \frac{1}{R}\right)$

Скорость каждой частицы перед ударом

$$v = \sqrt{\frac{kq^2}{m} \left(\frac{1}{2r} - \frac{1}{R}\right)}$$

Частицы ~~двигаясь~~ движутся на встречу друг к другу с теми же скоростями

### 2 ~~Столкновение~~ Энергия после столкновения

В момент столкновения расстояние между центрами  $2r$ , потенциальная энергия отталкивания

$$U_{\text{Кулон}}(2r) = \frac{k(q/2)^2}{2r} = \frac{kq^2}{8r}$$

Кинетическая энергия,  $K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = mv^2$  — в момент сразу после столкновения

Потенциальная энергия сразу после столкновения

$$U(2r) = \frac{k(q/2)^2}{2r} = \frac{kq^2}{8r}$$

Величина механическая после столкновения  $E_{\text{посл}} = K + U(2r) = mv^2 + \frac{kq^2}{8r}$

Подставим  $v^2 = \frac{kq^2}{m} \left(\frac{1}{2r} - \frac{1}{R}\right)$

$$E_{\text{посл}} = m \frac{kq^2}{m} \left(\frac{1}{2r} - \frac{1}{R}\right) + \frac{kq^2}{8r} = kq^2 \left(\frac{1}{2r} - \frac{1}{R} + \frac{1}{8r}\right) = kq^2 \left(\frac{4}{8r} + \frac{1}{8r} - \frac{1}{R}\right) = kq^2 \left(\frac{5}{8r} - \frac{1}{R}\right)$$

### 3 Движение после столкновения

Теперь рассмотрим отталкивание при расстоянии  $R$  потенциальная энергия  $U(R) = \frac{k(q/2)^2}{R} = \frac{kq^2}{4R}$

ЗСИ после столкновения ( $E_{\text{после}} = \text{const}$ )

$E_{\text{после}} = K(R) + \frac{kq^2}{4R}$ , где  $K(R)$  - кинетическая энергия системы на расстоянии  $R$  после столкновения

$$K(R) = E_{\text{после}} - \frac{kq^2}{4R}$$

$$K(R) = kq^2 \left( \frac{5}{8r} - \frac{1}{R} \right) - \frac{kq^2}{4R} = kq^2 \left[ \frac{5}{8r} - \frac{1}{R} - \frac{1}{4R} \right] = kq^2 \left[ \frac{5}{8r} - \frac{5}{4R} \right]$$

4 Распределение кинетической энергии

Если на ~~рас~~ расстоянии  $R$  скорости  $u$  и  $-u$  (относительно  $LM$ ), то  $K(R) = \frac{1}{2}mu^2 + \frac{1}{2}mu^2 = mu^2$

$$mu^2 = kq^2 \left( \frac{5}{8r} - \frac{5}{4R} \right)$$

$$u^2 = \frac{kq^2}{m} \left( \frac{5}{8r} - \frac{5}{4R} \right)$$

5 Импульс каждой записки

$$p = mu = m \sqrt{\frac{kq^2}{m} \left( \frac{5}{8r} - \frac{5}{4R} \right)}$$

$$p = q \sqrt{5mk \left( \frac{5}{8r} - \frac{5}{4R} \right)}$$

$$p = q \sqrt{\frac{5mk}{8} \left( \frac{1}{r} - \frac{2}{R} \right)}$$

6 Проверка условия  $E_{\text{после}} > \frac{kq^2}{4R}$ , т.е.

$$\frac{5}{8r} - \frac{1}{R} > \frac{1}{4R} \Rightarrow \frac{5}{8r} > \frac{5}{4R} \Rightarrow \frac{1}{r} > \frac{2}{R} - \text{это верно, т.к.}$$

кажущееся расстояние  $R$  больше  $2r$

$$\text{Омнем } p = q \sqrt{\frac{5mk}{8} \left( \frac{1}{r} - \frac{2}{R} \right)}$$