

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)
возрастная группа (11 класс)

ЗАДАНИЕ 1.

Судно, двигаясь из точки A на постоянной скорости v_0 , преодолело два течения, но его курс отклонился. Капитан был опытен, и отклонение BC от курса было минимальным. На рисунке 1 изображено движение судна. Определите собственную скорость судна v_0 , если на переправу было затрачено $t = 50$ мин. На рисунке указан масштаб.

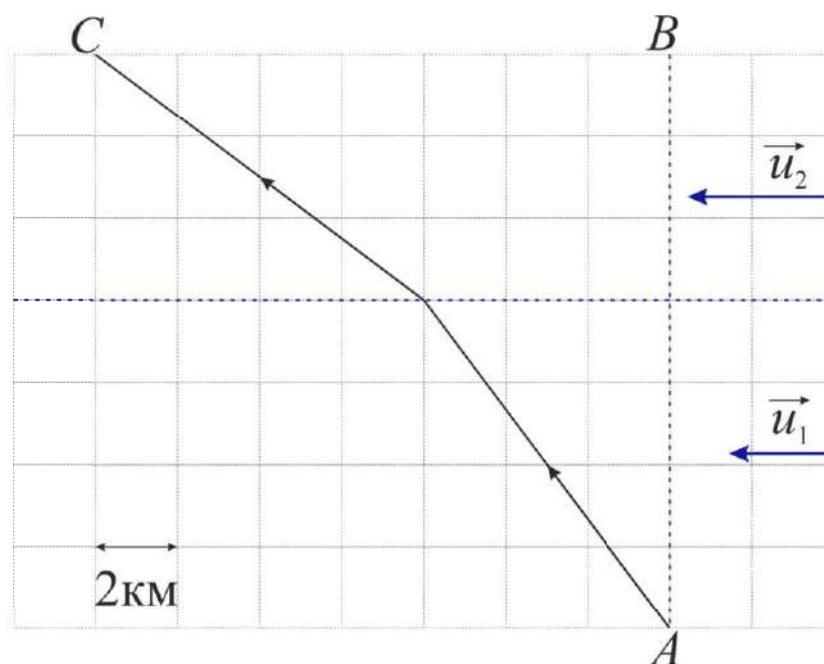


Рис. 1

Решение.

1. Определим, в какой ситуации снос судна BC будет минимальным. Если рассмотреть всевозможные направления вектора $\vec{v}_0$, можно заметить, что их концы лежат на окружности радиуса v_0 , тогда все концы векторов абсолютной скорости v будут лежать на окружности того же радиуса, смещенной относительно исходной на расстояние u , равное модулю вектора

переносной скорости (рисунок Р.1.1). Снос судна BC будет минимальным, когда вектор $\vec{v}$ проведен к этой окружности по касательной, т.е. если вектор собственной (относительной) скорости судна будет перпендикулярен вектору абсолютной скорости движения.

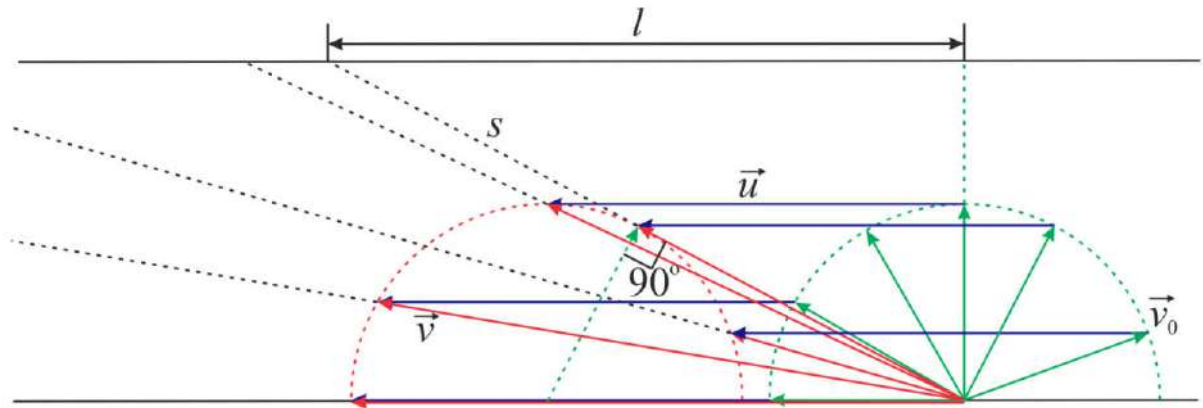


Рис. Р.1.1

2. Обозначим углы между осью x и направлением перемещения судна на каждом участке соответственно α_1 и α_2 (Рис. Р.1.2).

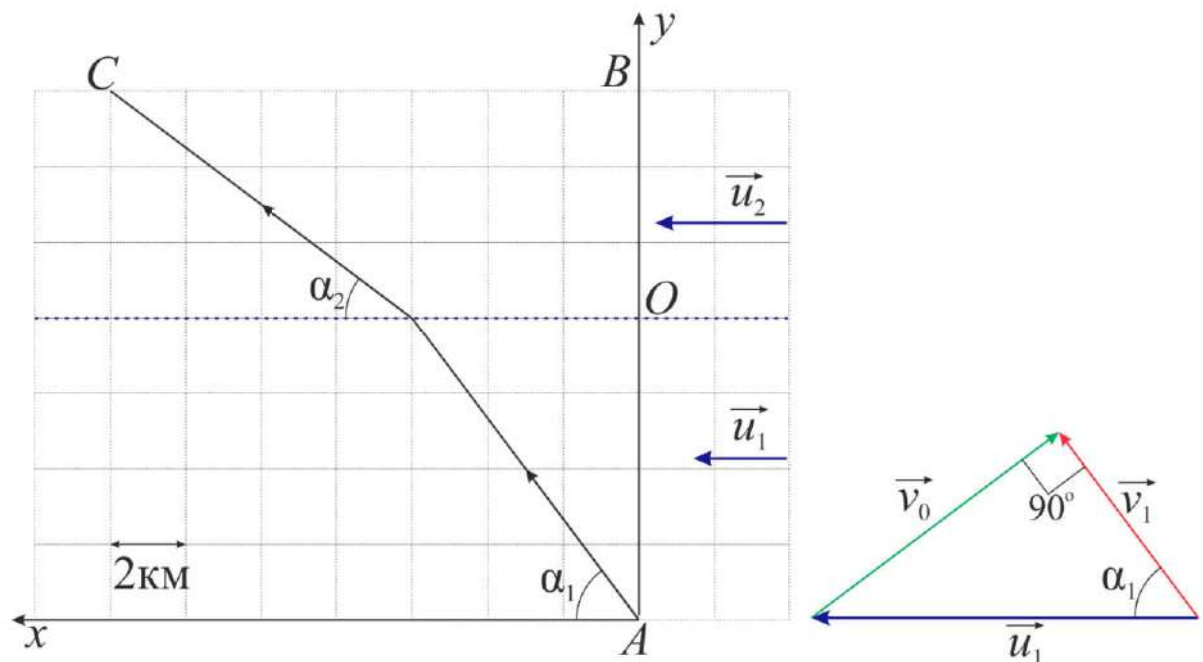


Рис. Р.1.2

За время t судно переместилось в направлении оси y на расстояние AB , при этом на участке AO двигалось со скоростью

$$v_{y1} = v_0 \sin(90^\circ - \alpha_1) = v_0 \cos \alpha_1$$

и на участке OB со скоростью

$$v_{y2} = v_0 \sin(90^\circ - \alpha_2) = v_0 \cos \alpha_2.$$

Таким образом

$$t = \frac{AO}{v_{y1}} + \frac{OB}{v_{y2}} = \frac{1}{v_0} \left(\frac{AO}{\cos \alpha_1} + \frac{OB}{\cos \alpha_2} \right),$$

откуда

$$v_0 = \frac{1}{t} \left(\frac{AO}{\cos \alpha_1} + \frac{OB}{\cos \alpha_2} \right).$$

Значения $AO = 8$ км, $OB = 6$ км, $\cos \alpha_1 = \frac{3}{5}$, $\cos \alpha_2 = \frac{4}{5}$ определим из рисунка 1, $t = 50$ мин $= \frac{5}{6}$ ч. Окончательно имеем

$$v_0 = \frac{6}{5} \text{ ч}^{-1} \left(\frac{8 \text{ км} \cdot 5}{3} + \frac{6 \text{ км} \cdot 5}{4} \right) = 25 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Критерии оценивания

1.	В тексте решения указано, что вектор абсолютной и относительной скорости перпендикулярны	2 балла
2.	Установлена связь угла наклона собственной скорости и абсолютных скоростей на каждом участке движения (или определена соответствующая тригонометрическая функция для угла наклона собственной скорости на каждом участке движения)	2 балла
3.	Определены проекции собственной скорости судна в направлении вертикальной оси v_{y1} и v_{y2} (по 1 баллу за каждую)	2 балла
4.	Верно установлена связь собственной скорости и времени движения, например формула $v_0 = \frac{1}{t} \left(\frac{AO}{\cos \alpha_1} + \frac{OB}{\cos \alpha_2} \right)$ или аналогичная	2 балла
5.	Верно сняты с рисунка все числовые характеристики	1 балл
6.	Верно определено числовое значение собственной скорости судна v_0	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 2.

Тело, имея постоянную силу тяги, не зависящую от направления движения, может лететь равномерно вверх со скоростью v_1 , а вниз – со скоростью v_2 . Считая силу сопротивления воздуха пропорциональной скорости тела, определите максимальную скорость его полета под углом α к горизонту.

Решение.

Условие равномерного полета тела вверх

$$F - mg = F_{c1}, \quad F_{c1} = kv_1,$$

и вниз

$$F + mg = F_{c2}, \quad F_{c2} = kv_2,$$

отсюда сила тяги

$$F = \frac{k}{2}(v_1 + v_2),$$

сила тяжести

$$mg = \frac{k}{2}(v_2 - v_1).$$

Пусть искомая скорость тела равна v и направлена под углом α к горизонту (рис. Р.2.).

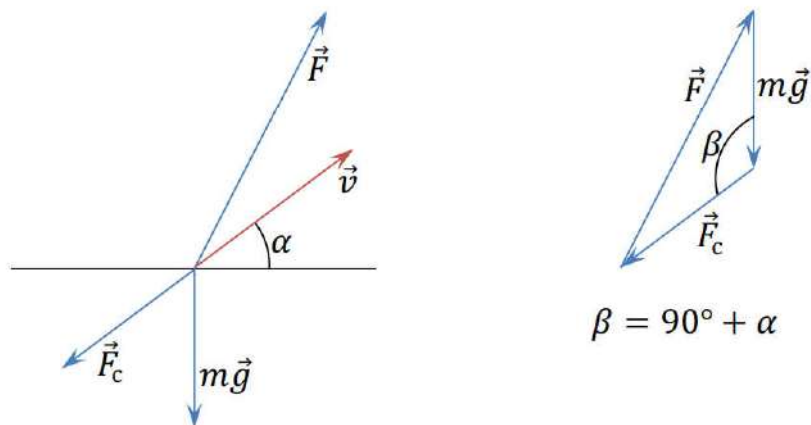


Рис. Р.2

Тогда можно записать

$$\vec{F} + m\vec{g} + \vec{F}_c = 0$$

или

$$F^2 = (mg)^2 + F_c^2 - 2mgF_c \cos(90^\circ + \alpha),$$

$$F^2 = (mg)^2 + F_c^2 + 2mgF_c \sin \alpha,$$

где $F_c = kv$.

Преобразуем

$$\frac{k^2}{4}(v_1 + v_2)^2 = \frac{k^2}{4}(v_2 - v_1)^2 + k^2v^2 + k^2(v_2 - v_1)v \sin \alpha,$$

$$v^2 + (v_2 - v_1)v \sin \alpha + \frac{(v_2 - v_1)^2 - (v_1 + v_2)^2}{4} = 0,$$

$$v^2 + (v_2 - v_1)v \sin \alpha - v_1v_2 = 0,$$

$$v = \frac{\sqrt{(v_2 - v_1)^2 \sin^2 \alpha + 4v_1v_2} - (v_2 - v_1) \sin \alpha}{2}.$$

Критерии оценивания

1.	Верно записаны условия равномерного полета - вверх, - вниз	1 балл 1 балл
2.	Верно записана формула связи силы сопротивления воздуха и скорости движения (в проекции или модуль) Учитывается 1 раз	1 балл
3.	Получено верное выражение для силы тяги	1 балл
4.	Получено верное выражение для силы тяжести	1 балл
5.	Верно записано условие равномерного движения под углом к горизонту 1 вариант – в векторной форме и записана теорема косинусов для векторного треугольника или 2 вариант в проекциях на оси координат	2 балла
6.	Верно составлено квадратное уравнение относительно скорости движения под углом к горизонту	2 балл
7.	Получено верное окончательное решение	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 3.

При тестировании уменьшенной модели аэростата в специальной аэродинамической установке, ее обдували со скоростью $v = 300 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ стационарным потоком воздуха. В точке O (рис. 3) скорость потока становится настолько малой, что по сравнению с v ее можно принять равной нулю. Считая систему замкнутой, воздух двухатомным газом и его молярную массу равной $M = 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$, найдите температуру воздуха около точки O , если температура внутри установки вдали от модели равна $T_1 = 300 \text{ К}$.

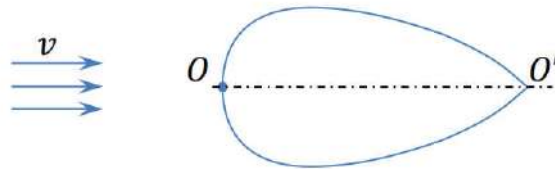


Рис. 3

Решение.

Обозначим температуру и давление воздуха вдали от модели $T_1 = 300 \text{ К}$ и p_1 , а в точке O - T_2 и p_2 .

В случае стационарного потока можно проследить за некоторой порцией газа – как она перемещается и что с ней происходит. Возьмем для определенности один моль воздуха и рассмотрим «трубу», в которую он входит вдали и из которой выходит около модели.

Внешний воздух, «заталкивая» порцию газа в «трубу» у входного отверстия, совершает над газом работу

$$A_1 = p_1 V_1,$$

где V_1 – объем одного моля воздуха при температуре T_1 .

Выходя из трубы, газ совершает работу, «расталкивая» окружающий воздух, т. е. над газом совершается отрицательная работа

$$A_2 = -p_2 V_2$$

где V_2 – объем моля воздуха при температуре T_2 .

Тогда изменение внутренней энергии рассматриваемой порции газа определяется работой внешних сил и изменением кинетической энергии движения этой порции как целого:

$$A_1 + A_2 + \frac{Mv^2}{2} = \Delta U.$$

Для двухатомного газа

$$\Delta U = \frac{5}{2} R(T_2 - T_1).$$

Используя уравнение состояния идеального газа для одного моля

$$pV = RT$$

найдем

$$A_1 = p_1 V_1 = RT_1, \quad A_2 = -p_2 V_2 = -RT_2.$$

Теперь можно записать:

$$RT_1 - RT_2 + \frac{Mv^2}{2} = \frac{5}{2} R(T_2 - T_1).$$

откуда

$$T_2 = T_1 + \frac{Mv^2}{7R},$$

$$T_2 = 300\text{К} + \frac{29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \left(300 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{7 \cdot 8,310 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} \approx 345\text{К}.$$

Критерии оценивания

1.	Определена работа $A_1 = p_1 V_1 = RT_1$	2 балла
2.	Определена работа $A_2 = -p_2 V_2 = -RT_2$	2 балла
3.	Определено изменение внутренней энергии двухатомного газа $\Delta U = \frac{5}{2} R(T_2 - T_1)$	2 балла
4.	Установлено, что изменение внутренней энергии определяется суммой работ A_1 , A_2 и изменением кинетической энергии газа $\frac{Mv^2}{2}$, составлено уравнение $A_1 + A_2 + \frac{Mv^2}{2} = \Delta U$	2 балла
5.	Верно определена формула для нахождения искомой температуры $T_2 = T_1 + \frac{Mv^2}{7R}$	1 балл
6.	Получено верное числовое значение для искомой температуры 345К	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 4.

Оборудование: линейка, Приложение 1.

Восстановите положение линзы и ее главных фокусов по предмету AB и его изображению $A'B'$ (рисунок в *Приложении 1*). Определите, с помощью, какой линзы получено изображение. **Бланк Приложения 1** сдается вместе с **работой**. Пользоваться линейкой для измерений **ЗАПРЕЩЕНО**, она используется только для построений.

Решение.

Изображение прямое и уменьшенное, такое можно получить только с помощью рассеивающей линзы.

Через оптический центр линзы O проходят не преломляющиеся лучи, то есть прямые, соединяющие источник A и его изображение A' и источник B и его изображение B' . Получили первую точку (оптический центр O), лежащую на линзе (рис. Р.4.1).

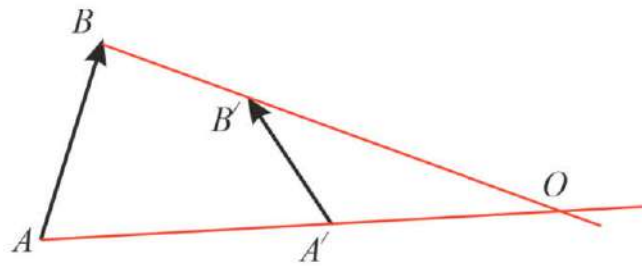


Рис. Р.4.1

После преломления в линзе луч AB должен пройти через все точки изображения $A'B'$. Поэтому очевидно, что точка C пересечения лучей AB и $A'B'$ лежит на линзе (рис. Р.4.2).

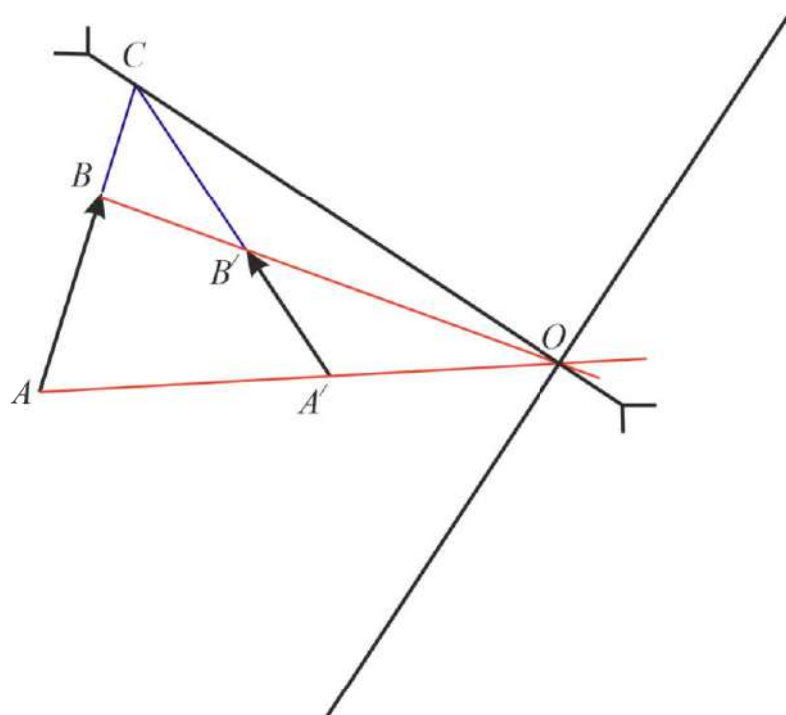


Рис. Р.4.2

Через оптический центр перпендикулярно линзе проведем оптическую ось линзы.

Лучи, падающие на линзу параллельно оптической оси, преломляются в фокусе линзы. Проведем луч, параллельный оптической оси, например, через точку A , после преломления он пройдет через точку A' и пересечет оптическую ось в фокусе F (рис. Р.4.3).

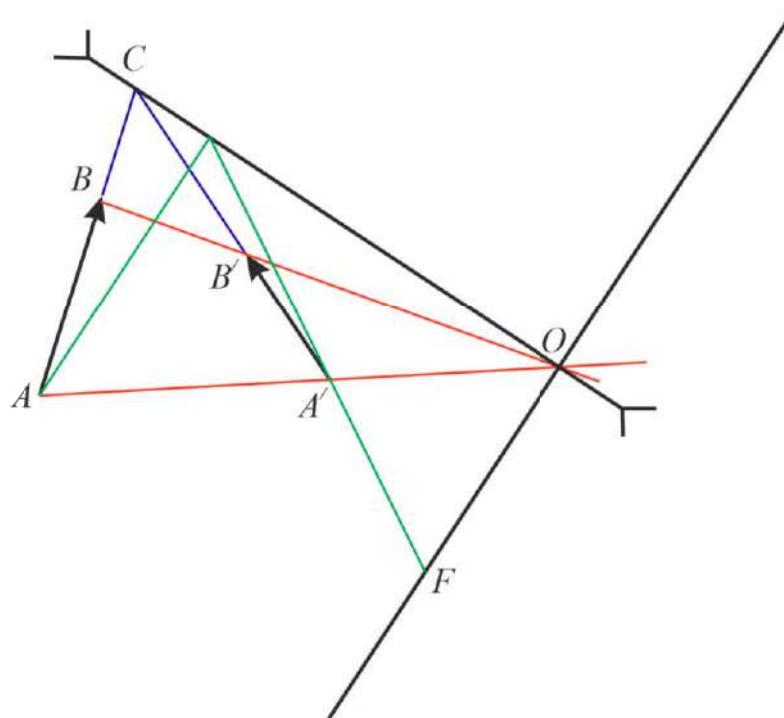


Рис. Р.4.3

Лучи, проходящие через фокус линзы после преломления идут параллельно оптической оси. Проведем преломленный луч параллельный оптической оси из изображения, например, точки A' , до преломления он вышел из точки A и прошел через фокус F (рис. Р.4.4).

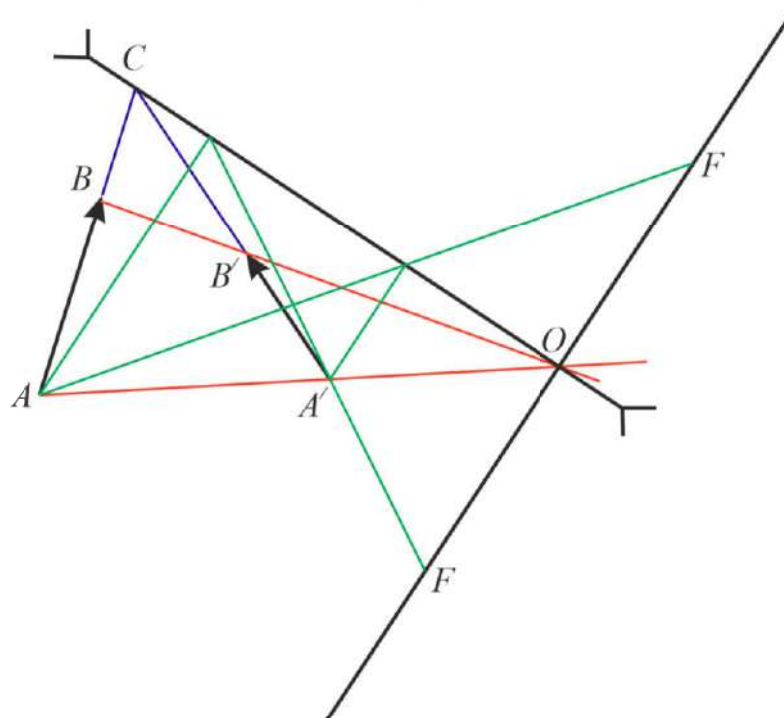


Рис. Р.4.4

Критерии оценивания

1.	Установлено, что линза рассеивающая	1 балл
2.	Верно построено положение оптического центра O	2 балла
3.	Верно найдена вторая точка, необходимая для построения линзы, например, точка C	2 балла
4.	Верно построена линза	1 балл
5.	Верно построена оптическая ось линзы	2 балла
6.	Верно построением определено положение главных фокусов (по 1 баллу за каждый фокус)	2 балла
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 5. Температурный коэффициент сопротивления

Оборудование: линейка, Приложение 2 (или лист миллиметровой бумаги вместо Приложения 2).

Экспериментатор проводил исследование зависимости сопротивления проводника от температуры. Термометр в лаборатории показывал $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Нагревая проводник, экспериментатор заносил измеренные значения температуры t_n и соответствующие значения сопротивления проводника R_n в таблицу 1.

Таблица 1.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	24,3	26,9	29,3	31,1	33,1	35,5	37,7	40,2	42,4
$R_n, \text{Ом}$	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00

Известно, что сопротивление проводника зависит от температуры следующим образом

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T),$$

где $\Delta T = T_n - T_0$ (по шкале Кельвина), R_0 – сопротивление проводника до нагревания при температуре t_0 , α – температурный коэффициент сопротивления материала.

Представьте описанную зависимость графически. Определите сопротивление проводника до нагревания и температурный коэффициент сопротивления материала проводника с учетом погрешностей.

Считать погрешность термометра равной единице последнего измеряемого разряда, погрешность омметра - 1% от измеренного значения.

В **Приложении 2** представлена миллиметровая бумага для построений. **Приложение 2 (или миллиметровая бумага) сдается вместе с решением задачи.**

Решение.

Зависимость $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$ можно представить в виде

$$R = \alpha R_0 \Delta T + R_0.$$

Результаты расчета ΔT , необходимые для построения графика представлены в таблице Р5.

Таблица Р5.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	24,3	26,9	29,3	31,1	33,1	35,5	37,7	40,2	42,4
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	4,3	6,9	9,3	11,1	13,1	15,5	17,7	20,2	22,4
$R_n, \text{Ом}$	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00

$$\Delta(\Delta T) = 0,1\text{K}, \quad \Delta R = 0,01 \text{ Ом}.$$

График зависимости $R(\Delta T)$ представлен на рисунке Р.5.1. Продлевая график влево, где $\Delta T = 0$ определим значение $R_0 = 0,90 \text{ Ом}$.

Погрешность в определении R_0 можно оценить по графику (рис. Р.5.2)

$$\Delta R_0 = \frac{R_{0\max} - R_{0\min}}{2} = \frac{0,91 \text{ Ом} - 0,89 \text{ Ом}}{2} = 0,01 \text{ Ом}, \quad \varepsilon_{R_0} = 0,01.$$

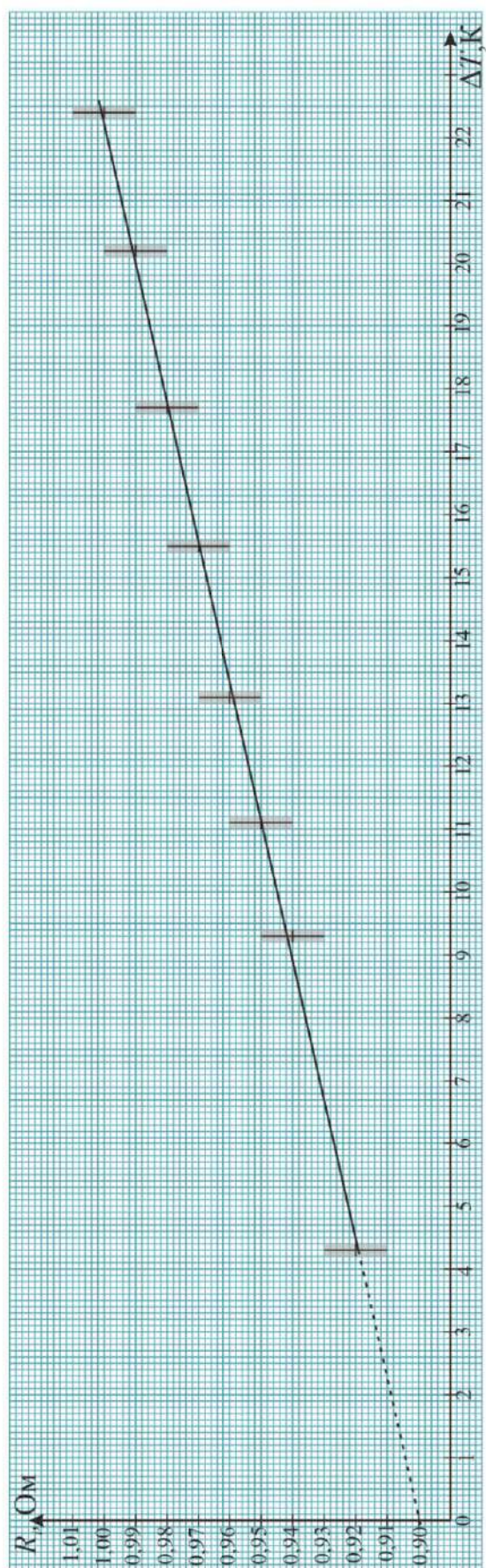


Рис. Р.5.1

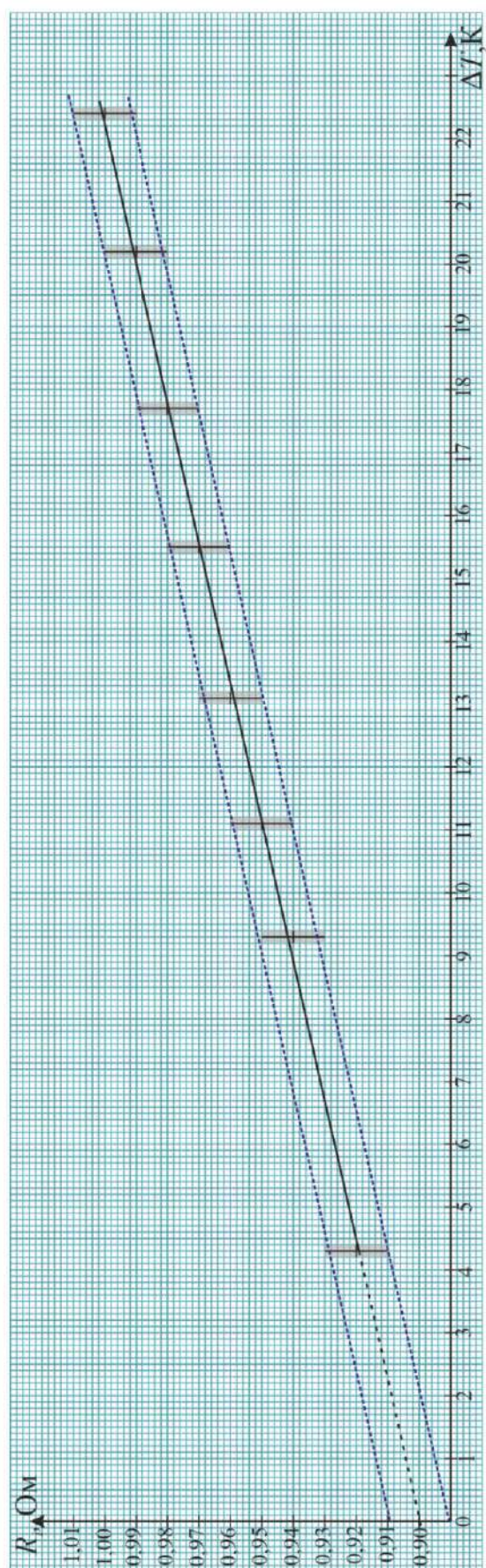


Рис. Р.5.2.

Окончательно имеем

$$R_0 = (0,90 \pm 0,01) \text{ Ом.}$$

По чертежу определим угловой коэффициент наклона графика

$$\alpha R_0 = 4,48 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{К}}.$$

Погрешность можно определить с помощью графика (Рис. Р.5.3) или рассчитать по формуле.

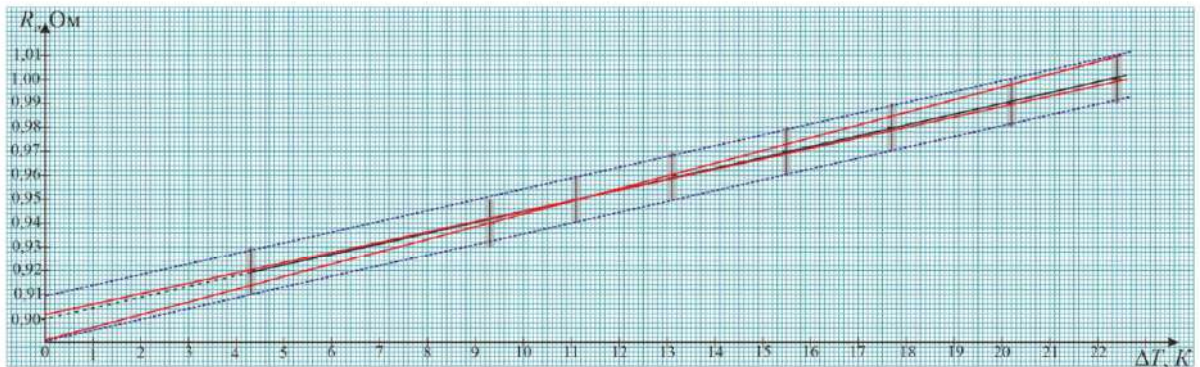


Рис. Р.5.3

$$\Delta(\alpha R_0) = \frac{(\alpha R_0)_{\max} - (\alpha R_0)_{\min}}{2} = \frac{(4,62 - 4,05) \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{К}}}{2} = 0,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{К}},$$

$$\varepsilon_{(\alpha R_0)} = 0,07.$$

$$\alpha_{\text{изм}} = 4,98 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}, \quad \varepsilon_{\alpha} = \varepsilon_{(\alpha R_0)} + \varepsilon_{R_0} = 0,08,$$

$$\Delta\alpha = \varepsilon_{\alpha} \cdot \alpha_{\text{изм}} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1},$$

$$\alpha = (5,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}.$$

Критерии оценивания

1.1.	Рассчитаны значения ΔT	1 балл
1.2.	Верно построен график зависимости R от ΔT . 1.2.1. Оси подписаны и отложены единицы измерения по осям (0,5 балла); 1.2.2. Выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла); 1.2.3. Нанесены шкалы на оси (0,5 балла); 1.2.4. Соответствие точек, нанесённых на график, табличным значениям (0,5 балла); 1.2.5. Проведена прямая $R(\Delta T)$ (1 балл).	3 балла
2.	Из графика определено значение R_0 и его погрешность Результаты для R_0 укладываются в интервал $0,89 \text{ Ом} - 0,91 \text{ Ом}$	2 балла
3.	Из графика определен угловой коэффициент наклона графика αR_0 (1 балл) и погрешность его измерения (определены из графика или рассчитаны по формулам) Результаты для αR_0 укладываются в интервал $4,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{К}} - 4,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{К}}$	2 балла
4.	Определено значение температурного коэффициента α , результаты укладываются в интервал $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1} - 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$.	2 балла
Всего		10 баллов

