

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)
возрастная группа (10 класс)

ЗАДАНИЕ 1.

Тележка длиной l катится по горизонтальной плоскости со скоростью u . По тележке туда-обратно вдоль направления движения от стенки к стенке с постоянной скоростью бегают щенок (рис.1.1.) На рисунке 1.2 представлен график зависимости смещения s щенка относительно земли от времени t , где τ – время движения щенка от стенки до стенки тележки.

Определите, где в начальный момент времени находится щенок и найдите скорость движения щенка относительно тележки.

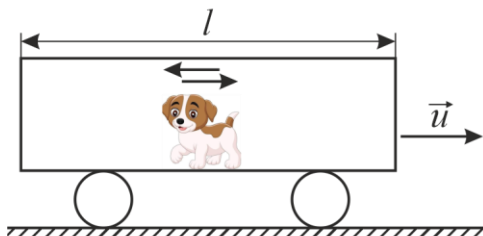


Рис. 1.1



Рис. 1.2.

Решение.

Пусть скорость движения щенка относительно тележки v , тогда время движения щенка от стенки до стенки $\tau = \frac{l}{v}$.

Обозначим первый участок графика s_1 второй s_2 (рис. Р1.), далее движение повторяется, длины повторяющихся участков одинаковы, следовательно в начальный момент времени щенок был у одной из стенок тележки.

Угол наклона графика на первом участке больше, чем на втором, значит, скорость щенка относительно земли в первом случае больше, т.е. сначала щенок бежит в направлении движения тележки, а потом против движения, то есть в начальный момент времени щенок был у левой стенки тележки. Скорость смещения щенка относительно земли на первом участке равна $u + v$, на втором соответственно равна $u - v$.

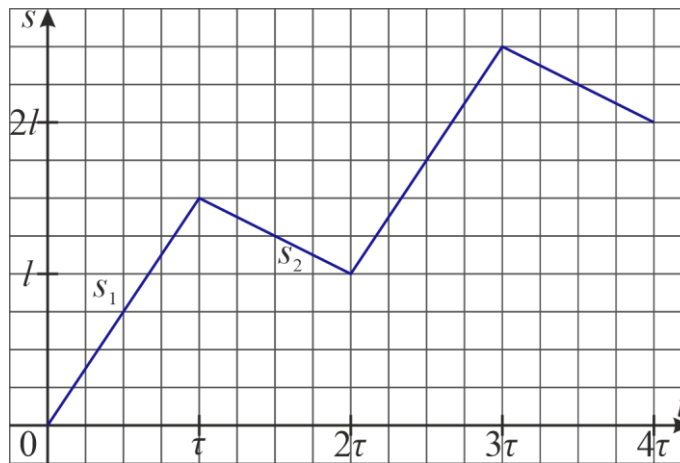


Рис. Р1.

Из графика видно, что смещение $s_1 = 1,5l$, смещение s_2 отрицательно и равно $s_2 = -0,5l$, с другой стороны $s_1 = (u + v)\tau = (u + v)\frac{l}{v}$ и $s_2 = (u - v)\tau = (u - v)\frac{l}{v}$. Получили систему уравнений

$$\begin{cases} 1,5l = (u + v)\frac{l}{v}, \\ -0,5l = (u - v)\frac{l}{v}. \end{cases} \quad (1)$$

Откуда получаем, что скорость щенка относительно тележки $v = 2u$.

Критерии оценивания

1.	Найдена связь времени τ со скоростью мышонка относительно тележки	1 балл
2.	Показано, что щенок в начальный момент времени находится у левой стенки тележки.	2 балла
3.	Верно определено по графику смещение на первом участке	1 балл
4.	Верно определено по графику смещение на втором участке	1 балл
5.	Получены соотношения (1)	4 балла
6.	Определено, что скорость щенка относительно тележки равна $2u$	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 2.

Три бруска массой m каждый лежат стопкой на гладкой горизонтальной плоскости (рис. 2). Верхний и нижний брусок соединены нитью, перекинутой через блок. С какой минимальной горизонтальной силой F нужно потянуть за средний брусок, чтобы он стал проскальзывать относительно верхнего и нижнего? Относительно только верхнего? Коэффициент трения между брусками μ .

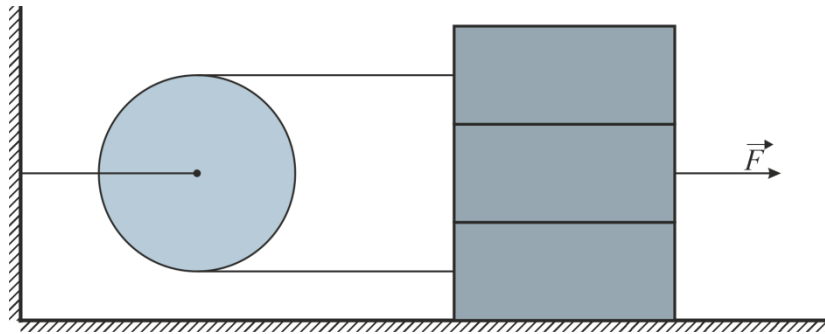


Рис. 2.

Решение.

1. Максимальная сила трения между верхним и средним брусками $F_{\text{тр1}} = \mu mg$, между средним и нижним – $F_{\text{тр2}} = 2\mu mg$.

2. Если средний брусок проскальзывает относительно верхнего и нижнего, на бруски действуют горизонтальные силы, изображенные на рисунке P2.

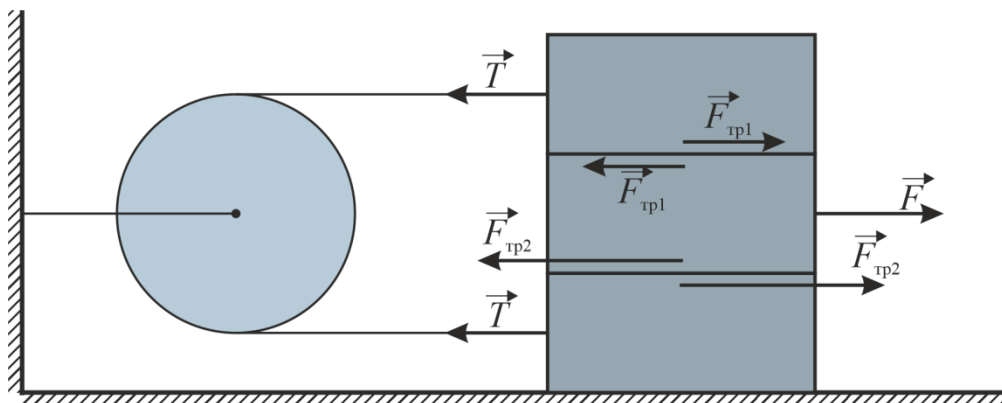


Рис. P2.

При этом ускорения верхнего и нижнего бруска равны по модулю $a_1 = a_2 = a$, ускорение среднего бруска a_3 должно быть больше. Записывая Второй закон Ньютона в проекции на горизонтальную ось, получим:

$$\text{для верхнего бруска } T - \mu mg = ma, \quad (1)$$

$$\text{для среднего бруска } F - 3\mu mg = ma_3 > ma, \quad (2)$$

$$\text{для нижнего бруска } 2\mu mg - T = ma. \quad (3)$$

Складывая (1) и (3), получим $\mu mg = 2ma$, $a = \frac{1}{2}\mu g$, тогда из (2)

$$F > 3\mu mg + ma.$$

Итак, проскальзывание относительно верхнего и нижнего брусков будет при

$$F > \frac{7}{2}\mu mg. \quad (4)$$

3. При $F \leq \frac{7}{2}\mu mg$ средний брусок проскальзывает относительно верхнего, если система вообще движется (верхний брусок влево, средний и нижний вместе – вправо). Тогда получим

$$\text{для верхнего бруска } T = \mu mg, \quad (5)$$

$$\text{для среднего и нижнего брусков } F = \mu mg + T = 2\mu mg. \quad (6)$$

Итак, проскальзывание относительно только верхнего бруска будет при

$$\mu mg < F \leq \frac{7}{2}\mu mg. \quad (7)$$

Критерии оценивания

1.	Определены силы трения действующие на бруски	1 балл
2.	2.1. Записан второй закон Ньютона в проекции на горизонтальную ось для каждого бруска в случае проскальзывания среднего бруска относительно верхнего и нижнего (по 1 баллу за уравнение)	3 балла
	2.2. Определено минимальное значение силы F , уравнение (4)	2 балла
3.	3.1. Записан второй закон Ньютона в проекции на горизонтальную ось для верхнего бруска и среднего и нижнего вместе (по 1 баллу за уравнение)	2 балл
	3.2. Определены граничные значения для силы F , неравенство (7)	2 балла
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 3.

Два нагревателя воды в первом случае включают в сеть напряжением 220 В, на которое они рассчитаны поочередно. При этом в каждом из них вода закипает за 15 минут. Мощность первого нагревателя 500 Вт, второго – 250 Вт. Если во втором случае соединить эти нагреватели последовательно и включить в ту же сеть, то через какое время в каждом из них закипит вода?

Решение.

Из условия имеем $U = 220\text{В}$, номинальные мощности нагревателей $P_1^* = 500\text{ Вт}$, $P_2^* = 250\text{ Вт}$, $t = 15\text{ мин}$.

В первом случае оба нагревателя отдельно подключаются к одному и тому же напряжению. В нагревателях за время t выделяется

$$Q_1 = P_1^* t, \quad Q_2 = P_2^* t. \quad (1)$$

При этом мощности равны $P_1^* = \frac{U^2}{R_1}$, $P_2^* = \frac{U^2}{R_2}$,

откуда

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1^*}, \quad R_2 = \frac{U^2}{P_2^*}. \quad (2)$$

Во втором случае нагреватели соединены последовательно, напряжение на них разное, но ток один

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}. \quad (3)$$

Подставим значения сопротивлений из (2) в (3)

$$I = \frac{U}{\frac{U^2}{P_1^*} + \frac{U^2}{P_2^*}}, \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P_1^* P_2^*}{U(P_1^* + P_2^*)}. \quad (4)$$

Количество теплоты, которое выделяется во второй ситуации на каждом нагревателе, такое же, как и в первой ситуации, но мощности другие время работы другое $Q_1 = P_1 t_1$, $Q_2 = P_2 t_2$,

откуда

$$t_1 = \frac{Q_1}{P_1}, \quad t_2 = \frac{Q_2}{P_2}. \quad (5)$$

При этом мощности $P_1 = I^2 R_1$, $P_2 = I^2 R_2$.

Тогда с учетом, формул (2) и (4), имеем

$$P_1 = \frac{P_1^{*2} P_2^{*2}}{U^2 (P_1^* + P_2^*)^2} \frac{U^2}{P_1^*}, \quad P_2 = \frac{P_1^{*2} P_2^{*2}}{U^2 (P_1^* + P_2^*)^2} \frac{U^2}{P_2^*}, \Rightarrow$$

$$P_1 = \frac{P_1^* P_2^{*2}}{(P_1^* + P_2^*)^2}, \quad P_2 = \frac{P_1^{*2} P_2^*}{(P_1^* + P_2^*)^2}. \quad (6)$$

Тогда из (5) с учетом (1) и (6) имеем

$$t_1 = \frac{(P_1^* + P_2^*)^2}{P_2^{*2}} t, \quad t_2 = \frac{(P_1^* + P_2^*)^2}{P_1^{*2}} t.$$

Окончательно $t_1 = 135$ мин, $t_2 = 33,75$ мин.

Критерии оценивания

1.	Получены соотношения для количества теплоты в первом случае	1 балл
2.	Получены соотношения для номинальных мощностей в первом случае	1 балл
3.	Определены сопротивления нагревателей	1 балл
4.	Получены соотношения для количества теплоты во втором случае	1 балл
5.	Получены соотношения для мощностей во втором случае	1 балл
6.	Определено значение силы тока во втором случае (или значения напряжений на каждом нагревателе)	1 балл
7.	Получены выражения для P_1 и P_2 через P_1^* , P_2^* и U	1 балл
8.	Получены выражения для времени t_1 и t_2	2 балла
9.	Получены верные значения времени t_1 и t_2	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 4.

Для определения показателя преломления жидкости в нее поместили тонкую прозрачную сферу. На сферу направили тонкий параллельный пучок лучей света. На противоположной стороне сферы площадь освещенной поверхность в четыре раза отличается от площади поверхности освещенной в месте падения пучка. Определите показатель n преломления жидкости. Диаметр падающего пучка много меньше диаметра сферы.

Решение.

Так как показатель преломления воздуха n_0 меньше показателя преломления n любой жидкости, то площадь S_2 освещенной поверхности от выходящего пучка может быть только в четыре раза больше, а не меньше площади освещенной падающим пучком S_1 .

Площадь пропорциональна квадрату радиуса, значит радиус R_2 выходящего пучка в два раза больше радиуса R_1 падающего пучка, т.е.

$$\frac{R_2}{R_1} = 2.$$

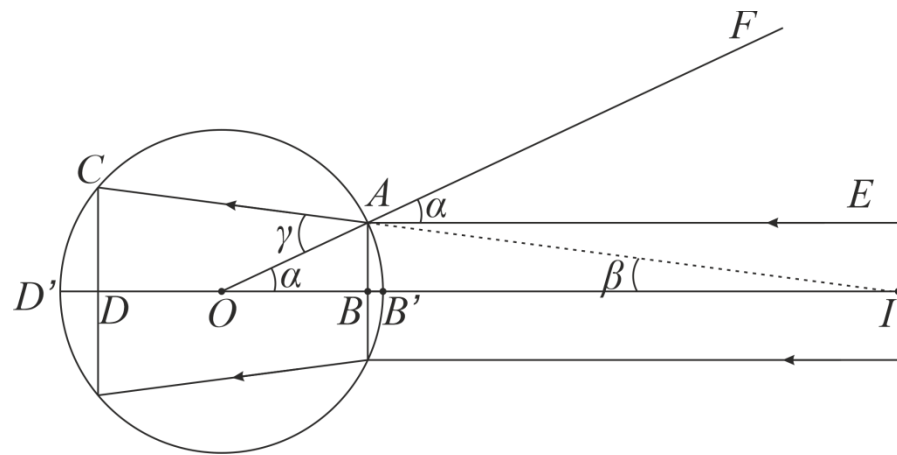


Рис. P4.

На чертеже (Рис. P4) $AB = R_1$, $CD = R_2 = 2R_1 = 2AB$, $\angle EAF = \angle FOB = \alpha$, $\angle CAO = \gamma$,

$$\frac{n_0}{n} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}. \quad (1)$$

Радиус падающего пучка R_1 много меньше радиуса сферы R , это позволяет:

а) считать точку B совпадающей с точкой B' , а точку D – с точкой D' , при этом $DB \approx D'B' = 2R$, а так как $CD = 2AB$, то из подобия прямоугольных треугольников $\triangle CID \sim \triangle AIB$, имеем $B'I = 2R$;

б) измерять углы α и β следующим образом:

$$\alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{AB}{OB} \approx \frac{R_1}{R}, \quad \beta \approx \operatorname{tg} \beta \approx \frac{CD'}{D'I} \approx \frac{R_2}{4R} = \frac{2R_1}{4R} = \frac{\alpha}{2},$$

тогда угол γ как внешний для $\triangle OAI$, можно найти из выражения

$$\gamma = \alpha + \beta = \frac{3\alpha}{2};$$

в) заменить в соотношении (1) синусы углов значениями самих углов.

Тогда получаем

$$n = n_0 \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} \approx n_0 \frac{\gamma}{\alpha} = \frac{3}{2}.$$

Критерии оценивания

1.	Определено, что $\frac{R_2}{R_1} = 2$ или (соотношение для диаметров пучков)	1 балл
2.	Верно записан закон преломления света	1 балл
3.	Построен верный чертеж	3 балла
4.	Выполнен пункт а) или аналогичные рассуждения	2 балла
5.	Выполнен пункт б) или аналогичные рассуждения	2 балла
6.	Выполнен пункт в) и получен верный ответ	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 5.

В заметках экспериментатора обнаружилась схема (рис. 5.1) и результаты измерений к ней, представленные в таблице 1.

Таблица 1.

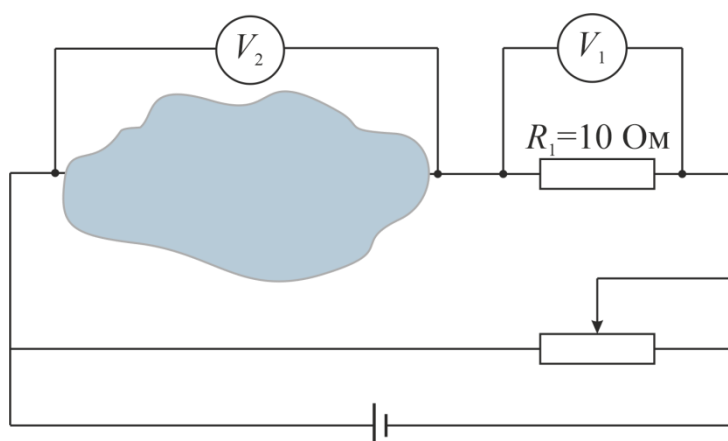
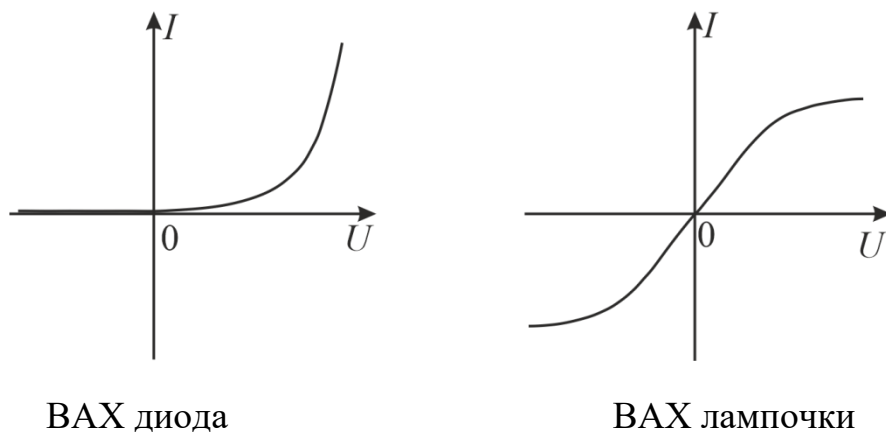


Рис. 5.1.

U_1 , мВ	U_2 , В	U_1 , мВ	U_2 , В
2,5	1	-9,3	-4,2
3,0	1,1	-7,8	-3,5
3,5	1,2	-6,2	-2,8
4,5	1,3	-4,9	-2,2
6,8	1,5	-3,5	-1,6
10,5	1,7	-3,1	-1,4
17,9	2,1	-1,8	-0,8
38,3	3,2	-1,1	-0,5
56,8	4,2	-0,7	-0,3

Чертеж был поврежден, на одном участке была клякса. Но экспериментатор вспомнил, что в нем находилось не более трех элементов, и это могли быть резисторы, диоды, лампочки, но только один из элементов в схеме нелинейный.

Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов схематически представлены на рисунке 5.2.



ВАХ диода

ВАХ лампочки

Рис. 5.2.

Задание.

1) Изобразите вольт-амперную характеристику для утраченного участка цепи на графике (**миллиметровая бумага для графика – Приложение 1 сдается вместе с работой**).

2) Объясните, какой нелинейный элемент находится на участке цепи под кляксой.

3) Предложите и обоснуйте все возможные варианты схемы электрической цепи, которая находится под кляксой.

4) Определите сопротивление(я) резистора(ов) в схеме под кляксой.

Решение.

1) Силу тока через участок цепи под кляксой найдем из закона Ома для резистора R_1 , так как участки соединены последовательно,

$$I = \frac{U_1}{R_1}.$$

Результаты представлены в таблице.

№ пп	U_1 , мВ	U_2 , В	I , мА	№ пп	U_1 , мВ	U_2 , В	I , мА
1.	-9,3	-4,2	-0,93	10.	2,5	1	0,25
2.	-7,8	-3,5	-0,78	11.	3,0	1,1	0,3
3.	-6,2	-2,8	-0,62	12.	3,5	1,2	0,35
4.	-4,9	-2,2	-0,49	13.	4,5	1,3	0,45
5.	-3,5	-1,6	-0,35	14.	6,8	1,5	0,68
6.	-3,1	-1,4	-0,31	15.	10,5	1,7	1,05
7.	-1,8	-0,8	-0,18	16.	17,9	2,1	1,79
8.	-1,1	-0,5	-0,11	17.	38,3	3,2	3,83
9.	-0,7	-0,3	-0,07	18.	56,8	4,2	5,68

Вольт-амперная характеристика схемы под кляксой представлена на рис. P5.1.

2) Характерный изгиб ВАХ и разный вид графика при различной полярности говорят о наличии диода.

3) Ветвь для отрицательных напряжений соответствует закрытому состоянию диода. Поскольку ток при этом течет и зависимость $I(U_1)$ линейна, делаем вывод, о том, что параллельно, диоду присоединен резистор.

Правая ветвь ВАХ после открытия диода идет не слишком круто, что свидетельствует о наличии резистора, соединенного последовательно с диодом.

Возможные варианты схем под кляксой представлены на рисунке P5.2.

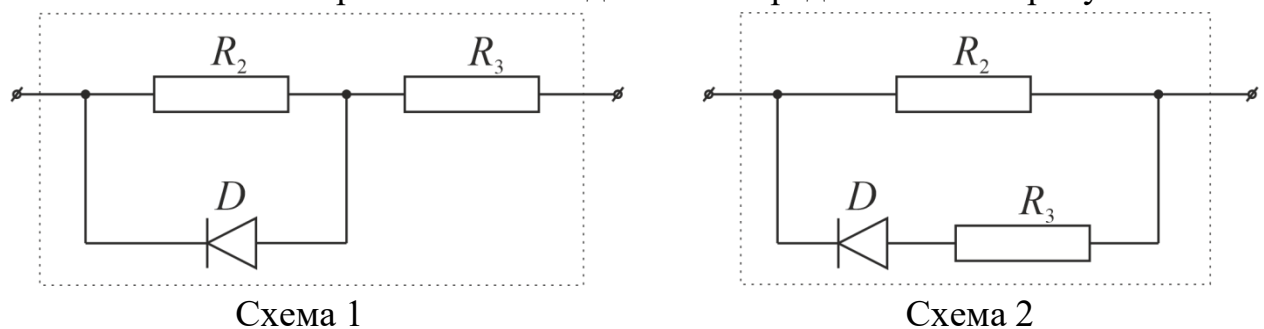


Рис. P5.2.

4) Из графика обратные наклоны прямолинейных участков

- участок AO $R_{AO} = 4,5 \text{ кОм}$;
- участок BC $R_{BC} = 0,54 \text{ кОм}$.

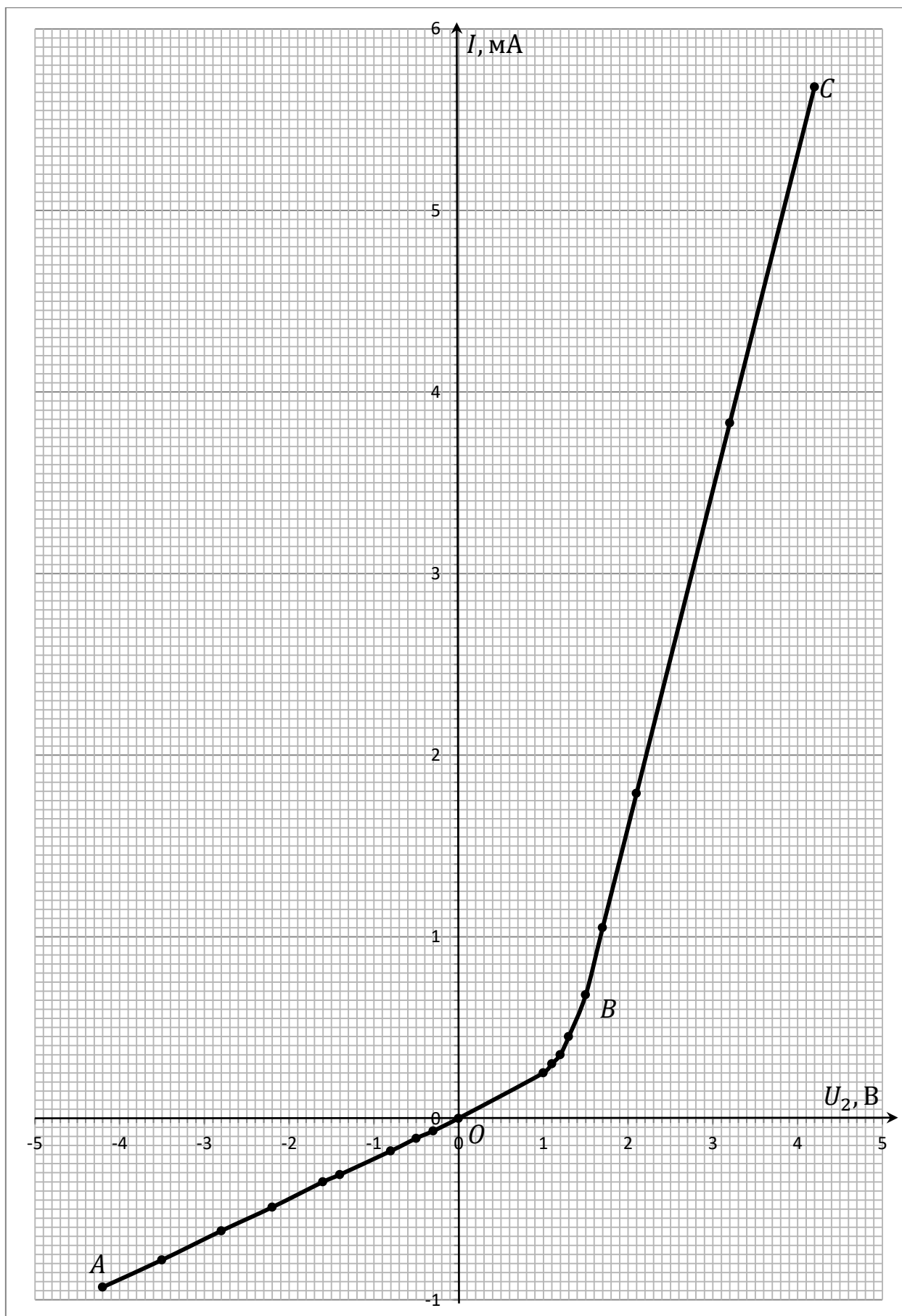


Рис. Р5.1.

Для схемы 1.

При $U > 0$ (участок BC), диод открыт, ток через резистор R_2 не идет, поэтому отношение $\frac{\Delta U_2}{\Delta I} = R_{BC} = R_3$, откуда $R_3 = 0,54 \text{ кОм}$.

При $U < 0$ (участок AO) ток через диод не идет, поэтому общее сопротивление цепи $R_{AO} = R_2 + R_3$, откуда $R_2 = R_{AO} - R_3 = 4,5 \text{ кОм} - 0,54 \text{ кОм} = 3,96 \text{ кОм}$.

Для схемы 2.

При $U < 0$ (участок AO) ток через диод не идет, $\frac{\Delta U_2}{\Delta I} = R_{AO} = R_2$, откуда $R_2 = 4,5 \text{ кОм}$

При $U > 0$ (участок BC), диод открыт, имеем $R_{BC} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$, откуда $R_3 = \frac{R_2 R_{BC}}{R_2 - R_{BC}} = \frac{4,5 \text{ кОм} \cdot 0,54 \text{ кОм}}{4,5 \text{ кОм} - 0,54 \text{ кОм}} = 0,61 \text{ кОм}$.

Таким образом имеем.

	Схема 1	Схема 2
$R_2, \text{кОм}$	3,96кОм	4,5 кОм
$R_3, \text{кОм}$	0,54 кОм	0,61 кОм

Критерии оценивания

1.	Верно построен график зависимости I от U_2 . 1.1. Рассчитаны необходимые данные для построения (1 балл); 1.2. Оси подписаны и отложены единицы измерения по осям (0,5 балла); 1.3. Выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла); 1.4. Нанесены шкалы на оси (0,5 балла); 1.5. Соответствие точек, нанесённых на график, табличным значениям, проведена линия $I(U_2)$ (0,5 балла).	3 балла
2.	Верно определен нелинейный элемент	1 балл
3.	Приведены две возможные схемы (по 1 баллу за схему)	2 балла
4.	Верно определены сопротивления R_2 и R_3 для каждой схемы (по 1 баллу за сопротивление в схеме).	4 балла
Всего		10 баллов