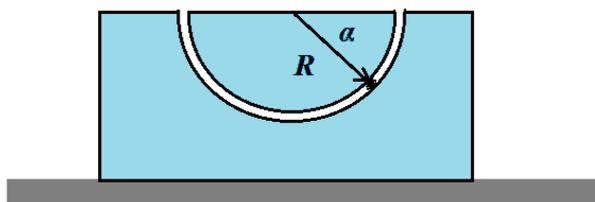


<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

1. Груз в канале

Брусок покоится на столе. В бруске сделан узкий гладкий канал, в вертикальном сечении имеющий вид половины окружности радиуса R . В канал опускают без начальной скорости маленький грузик. Когда груз проходит часть окружности, угловой меры α , брусок начинает сдвигаться с места. Коэффициент трения бруска о стол μ , ускорение свободного падения g .

Найдите отношение массы бруска к массе груза. Получите ответ в общем виде и найдите численное значение при $\mu = 0,5$; $\alpha = 45^\circ$.



Возможное решение:

Тело в канале движется по окружности. Запишем 2 закон Ньютона для тела массы m в канале в проекции на радиус: $ma_{\text{цс}} = F - mg\sin\alpha$; $a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R}$

Закон сохранения энергии для маленького тела: $m\frac{v^2}{2} = mgR\sin\alpha$

Выразим силу реакции опоры со стороны бруска на тело массы m в канале:

$$F = 3mg\sin\alpha.$$

Условие сдвига бруска: $F\cos\alpha = \mu N$; $N = F\sin\alpha + Mg$.

$$3mg\sin\alpha\cos\alpha = \mu(3mg\sin^2\alpha + M), \text{ откуда } \frac{M}{m} = \frac{3\sin\alpha}{\mu}(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)$$

$$\mu < \text{ctg}\alpha;$$

$$\text{При } \mu = 0,5; \alpha = 45^\circ \quad \frac{M}{m} = 1,5$$

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

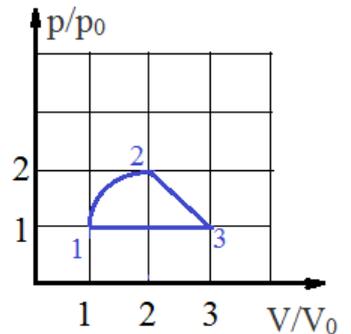
Критерии оценивания:

		баллы
1.	2 закон Ньютона для тела массы m в канале в проекции на радиус: $ma_{цс} = F - mgsin\alpha$	2
2.	$a_{цс} = \frac{v^2}{R}$	1
3.	ЗСЭ для тела m $m\frac{v^2}{2} = mgRsin\alpha$	1
4.	Для бруска по горизонтальной оси $Fcos\alpha = \mu N$	1
5.	Для бруска по вертикали $N = Fsin\alpha + Mg$	1
6.	Выражено $\frac{M}{m} = \frac{3sin\alpha}{\mu} (cos\alpha - \mu sin\alpha)$	2
7.	Записано условие на коэффициент трения $\mu < ctg\alpha$	1
8.	При $\mu = 0,5; \alpha = 45^\circ \frac{M}{m} = 1,5$	1
	Сумма:	10

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

2. «Циклическая»

На графике изображен замкнутый цикл 1231, совершаемый с идеальным одноатомным газом. Процесс 1-2 – дуга окружности единичного радиуса, процессы 2-3 и 3-1 – отрезки прямых. Найдите работу газа за цикл, теплоту, полученную газом от нагревателя, а также КПД цикла. Значения V_0 и p_0 известны.



Возможное решение:

1. Работу находим как площадь внутри цикла:

Площадь четверти окружности + площадь треугольника, площадь одной клетки соответствует p_0V_0

$$A = \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}\right)p_0V_0 = \frac{1}{4}(\pi + 2)p_0V_0$$

2. На отрезке 2-3 есть точка X – точка касания адиабаты

(или $\Delta Q = 0$, или теплоемкость = 0 в точке X)

Найдем точку X:

1 способ: 1 начало термодинамики $\Delta Q = 0 = p\Delta V + \frac{3}{2} \Delta(pV)$, откуда

$$\frac{\Delta p}{\Delta V} = -\gamma \frac{p}{V} = -\frac{5p}{3V}$$

2 способ: дифференцируем по объему адиабату $pV^\gamma = const$ и получаем

$$\frac{\Delta p}{\Delta V} = -\gamma \frac{p}{V} = -\frac{5p}{3V}$$

С другой стороны угловой коэффициент прямой 2-3 из графика: $\frac{\Delta p}{\Delta V} = -\frac{p_0}{V_0}$

Уравнение прямой 2-3: $p = 4p_0 - \frac{p_0}{V_0}V$

Тогда $p_x = 1,5p_0, V_x = 2,5V_0$

Тепло, полученное за цикл: $Q_H = Q_{12} + Q_{2X}$,

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \left(\frac{1}{4}\pi + 1\right)p_0V_0 + \frac{3}{2}p_0V_0(4 - 1) = \frac{1}{4}(\pi + 4)p_0V_0 + \frac{9}{2}p_0V_0$$

$$= \frac{1}{4}(\pi + 22)p_0V_0$$

$$Q_{2X} = A_{2X} + \Delta U_{2X} = \frac{1}{2}(2 + 1,5) \cdot 0,5 p_0V_0 + \frac{3}{2}p_0V_0(2,5 \cdot 1,5 - 4) = \left(\frac{7}{8} - \frac{3}{8}\right)p_0V_0$$

$$= \frac{1}{2}p_0V_0$$

$$Q_H = \frac{1}{4}(\pi + 22)p_0V_0 + \frac{1}{2}p_0V_0 = \frac{1}{4}(\pi + 24)p_0V_0$$

3. Найдем КПД цикла:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{\frac{1}{4}(\pi + 2)p_0V_0}{\frac{1}{4}(\pi + 24)p_0V_0} = \frac{\pi + 2}{\pi + 24} \approx 18,9\%$$

Примечание: можно находить сначала отданное за цикл тепло:

$$Q_X = Q_{31} + Q_{X3}$$

Тогда $Q_H = |Q_X| + A$

$$Q_{31} = \frac{5}{2}p_0V_0(1 - 3) = -5p_0V_0 \text{ (изобарный процесс)}$$

$$Q_{X3} = \frac{1}{2}(1 + 1,5) \cdot 0,5 p_0V_0 + \frac{3}{2}p_0V_0(3 - 2,5 \cdot 1,5) = -\frac{1}{2}p_0V_0, \text{ тогда}$$

$$Q_H = \frac{11}{2}p_0V_0 + \frac{1}{4}(\pi + 2)p_0V_0 = \frac{1}{4}(\pi + 24)p_0V_0$$

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

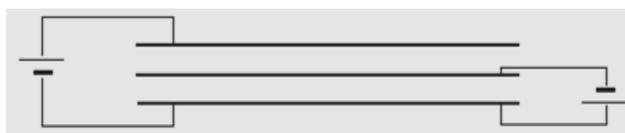
Критерии оценивания:

		<i>баллы</i>
1.	Найдена работа	2
2.	На отрезке 2-3 есть точка X – точка касания адиабаты	1
3.	Найдена точка касания адиабаты	2
4.	Найдено Q_{12} или Q_{31} (если исходно ищется Q_X)	1
5.	Найдено Q_{2X} или Q_{X3} (если исходно ищется Q_X)	1
6.	Найдено $Q_H = \frac{1}{4}(\pi + 24)p_0V_0$	1
7.	Формула для КПД $\eta = \frac{A}{Q_H}$ (или через Q_X)	1
8.	Найдено КПД цикла $\eta = \frac{\pi+2}{\pi+24} \approx 18,9\%$	1
	Сумма:	10

Предмет	Класс	Дата	Время начала	Время окончания
физика	11	08.11.2023	10.00	13.00

3. Равновесие

Между пластинами плоского конденсатора вставлена параллельно им подвижная проводящая пластина той же площади. Две одинаковые батареи подключены по указанной схеме. При каком отношении расстояний от внутренней пластины до нижней и верхней внешних пластин электрическая сила, действующая на внутреннюю пластину, равна нулю?



Возможно ли равновесие пластины при смене полярности одной из батарей? Найдите отношение расстояний в этом случае при разных напряжениях у левой батареи U_2 , а у правой U_1 ($U_2 > U_1$).

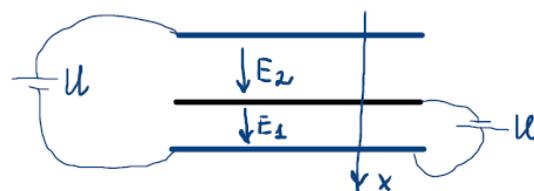
Возможное решение

При напряжении батареи U напряжение между нижней и средней пластиной U , а между средней и верхней $2U$ (сумма напряжений на батареях). Поле в нижнем зазоре направлено вверх и равно $E_1 = U/d_1$, а в верхнем направлено вниз и равно $E_2 = 2U/d_2$.

Подробнее:

Находим разность потенциалов между верхней и нижней пластинами

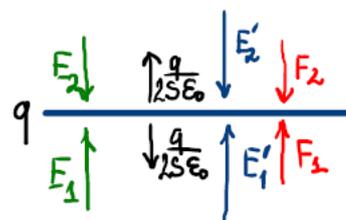
$E_2 d_2 + E_1 d_1 = U$; $E_1 d_1 = -U$, откуда $E_1 = -U/d_1$; $E_2 = 2U/d_2$ (оба поля направлены к средней пластине)



Сила, действующая на пластину равна произведению **внешнего** поля на заряд пластины.

Воспользуемся принципом суперпозиции (поле в зазоре складывается из поля самой пластины и внешнего для нее поля от двух других пластин):

$$E_1 = E_1' - q/2S\epsilon_0; E_2 = E_2' - q/2S\epsilon_0.$$



Сумма сил, действующая на пластину равна нулю в равновесии. $qE_2' - qE_1' = 0$. Откуда получаем, что электрическая сила равна нулю при $E_1 = E_2$. Приравнявая поля, находим $d_1/d_2 = 1/2$ или $d_2/d_1 = 2$.

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

Равновесие возможно при смене полярности, но только при разных напряжениях. Электрическая сила равна нулю при нулевом заряде внутренней пластины. Тогда поля $E_1 = E_2$ и **одинаково направлены**. Раз $E_1 = U_1/d_1$, а напряжение в верхнем зазоре $U = U_2 - U_1$ (сложение напряжений на батареях с учётом знаков) и $E_2 = (U_2 - U_1)/d_2$. Из равенства полей $d_1/d_2 = U_1/(U_2 - U_1)$.

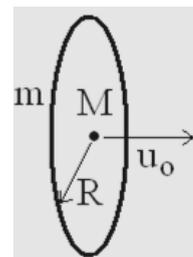
Критерии оценивания

	<i>Этапы решения</i>	<i>соотношения</i>	<i>Балл</i>
1	Найдена связь напряжений между пластинами	$E_2 d_2 + E_1 d_1 = U$; $E_1 d_1 = -U$ или аналог	1
2	Найдены поля в зазорах (и их направления)	$E_1 = U/d_1$; $E_2 = 2U/d_2$.	1
3	Сила, действующая на пластину равна произведению внешнего поля на заряд пластины	$F = qE_{\text{вн}}$	1
4	Принцип суперпозиции	$E_1 = E_1' - q/2S\epsilon_0$; $E_2 = E_2' - q/2S\epsilon_0$	1
5	Электрическая сила равна нулю при $E_1 = E_2$		1
6	Найдено отношение расстояний	$d_1/d_2 = 1/2$	1
7	Равновесие возможно при смене полярности, но только при разных напряжениях.		0,5
8	В этом случае заряд пластины должен быть равен нулю		0,5
9	Равенство полей с учетом направления	$E_1 = E_2$	1
10	Выражены поля через напряжения	$E_1 = U_1/d_1$; $E_2 = (U_2 - U_1)/d_2$	1
11	Получено отношение расстояний	$d_1/d_2 = U_1/(U_2 - U_1)$	1
		итого	10

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

4. Разгон вдогонку.

Точечный заряд q массы M покоится в центре однородно заряженного кольца массы m с зарядом $-q$ и радиусом R . Заряду в центре мгновенным ударом сообщают скорость u_0 по оси кольца. Какую наибольшую скорость v приобретёт кольцо после этого? Изобразите на графике зависимость v от u_0 . Внешних сил нет, гравитационное взаимодействие не учитывать.



Возможное решение

Сохранение импульса $mv + Mu = Mu_0$ (1). <1 балл>

Две возможности: а) кольцо разгоняется и обгоняет точечный заряд;

б) кольцо разгоняется, но не обгоняет замедляющийся точечный заряд при безграничном их удалении. <0,5 балла>

В случае а) периодические разгон и торможение кольца. После обгона разгоняющееся кольцо начинает тормозиться, наибольшая скорость его достигается в момент обгона, когда точечный заряд снова окажется в центре <0,5 балла>.

Из сохранения энергии (та же потенциальная энергия)

$$mv^2/2 + Mu^2/2 - kq^2/R = Mu_0^2/2 - kq^2/R \quad (2). \quad <1 \text{ балл}>$$

С учётом (1) это даст $v = 2Mu_0/(M + m)$ <0,5 балла>.

В случае б) наибольшая скорость кольца достигается при безграничном удалении от кольца точечного заряда, когда потенциальная энергия кулоновского взаимодействия стремится к нулю <0,5 балла>

Из сохранения энергии

$$mv^2/2 + Mu^2/2 = Mu_0^2/2 - kq^2/R \quad (3) \quad <1 \text{ балл}>$$

С учётом (1) ($u = u_0 - mv/M$) получим квадратное уравнение

$$mv^2(1 + m/M) - 2mvu_0 + 2kq^2/R = 0 \quad (4) \quad <0,5 \text{ балла}>$$

Его решение <1 балл>

$$v = \frac{Mu_0}{M + m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k(M + m)q^2}{RMtu_0^2}} \right)$$

Положительное подкоренное выражение условие случая б), отрицательное - случая а). <0,5 балла>. Обоснование выбора этого корня уравнения из условия безграничного удаления, когда относительная скорость не меняет знака,

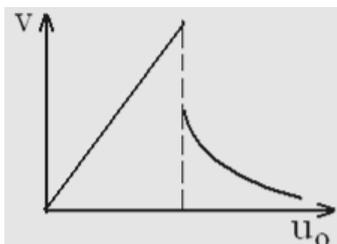
$$u - v > 0 \quad (4). \quad <0,5 \text{ балла}>.$$

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

При выборе меньшего корня относительная скорость положительна

$$u - v = u_0 \sqrt{1 - \frac{2k(M+m)q^2}{Rm\mu_0^2}}$$

при выборе большего отрицательна, то есть меняет знак <0,5 балла>.



а) линейный график $v = 2Mu_0/(M + m)$ <0,5 балла>. Случай б) реализуется при положительном дискриминанте <0,5 балла>. Выбор ниспадающей ветви. Скачок при $M\mu_0^2/2(M + m) = kq^2/R$ <0,5 балла>. Значения слева и справа отличаются в 2 раза <0,5 балла>. Асимптотика: при u_0 много больше граничного $v = kq^2/Rm\mu_0$ (кусоч гиперболы).

Критерии оценивания:

		<i>баллы</i>
1.	Сохранение импульса $m\mathbf{v} + M\mathbf{u} = M\mathbf{u}_0$ (1)	1
2.	Два варианта движения: а) кольцо разгоняется и обгоняет точечный заряд; б) кольцо разгоняется, но не обгоняет замедляющийся точечный заряд при безграничном их удалении.	0,5
3.	В случае а) периодические разгон и торможение кольца. Наибольшая скорость его достигается в момент обгона, когда точечный заряд снова окажется в центре	0,5
4.	В случае а) закон сохранения энергии $m\mathbf{v}^2/2 + M\mathbf{u}^2/2 - kq^2/R = M\mathbf{u}_0^2/2 - kq^2/R$ (2).	1
5.	Найдено $v = 2Mu_0/(M + m)$	0,5
6.	В случае б) наибольшая скорость кольца достигается при безграничном удалении от кольца точечного заряда, когда потенциальная энергия кулоновского взаимодействия стремится к нулю	0,5
7.	ЗСЭ в случае б) $m\mathbf{v}^2/2 + M\mathbf{u}^2/2 = M\mathbf{u}_0^2/2 - kq^2/R$ (3)	1
8.	Получено квадратное уравнение: $m\mathbf{v}^2(1 + m/M) - 2m\mathbf{v}u_0 + kq^2/R = 0$ (4)	0,5
9.	Получено: $v = \frac{Mu_0}{M+m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k(M+m)q^2}{Rm\mu_0^2}}\right)$	1

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

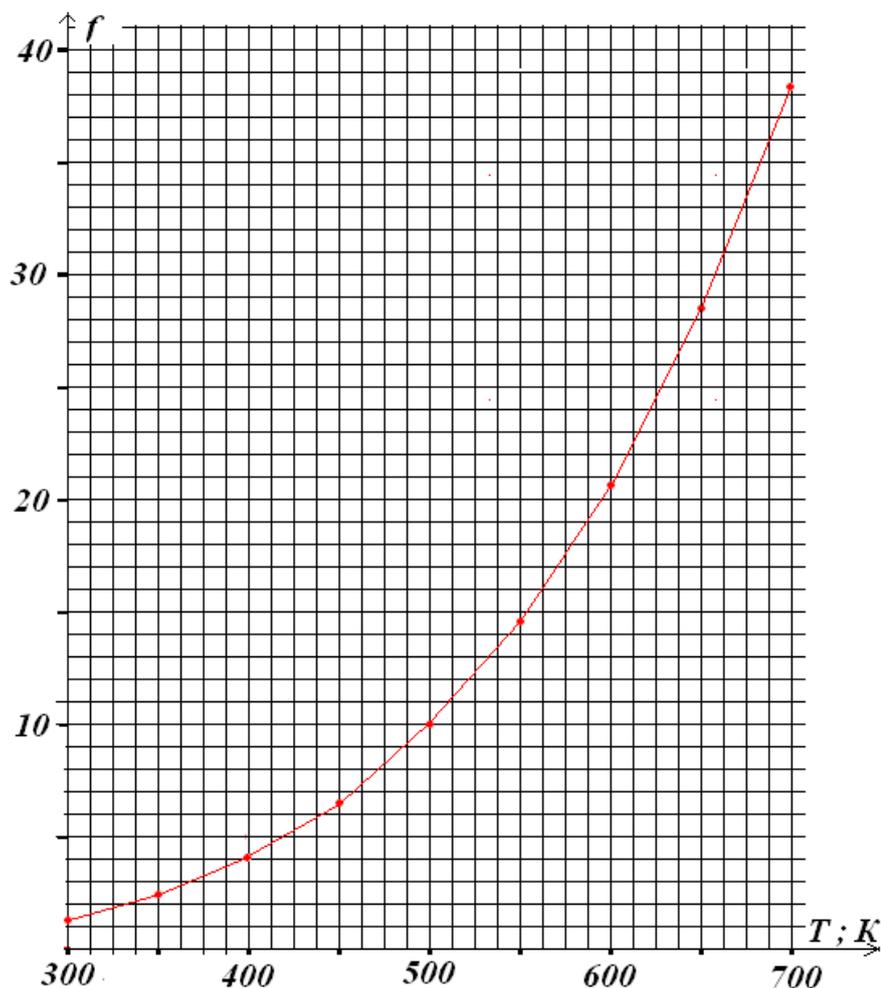
10.	Положительное подкоренное выражение условие случая б), отрицательное случая а).	0,5
11.	Обоснование выбора этого корня уравнения из условия безграничного удаления, когда относительная скорость не меняет знака, $u - v > 0$ (4)	0,5
12.	При выборе меньшего корня относительная скорость положительна $u - v = u_0 \sqrt{1 - \frac{2k(M+m)q^2}{Rm\mu_0^2}}$ при выборе большего отрицательна, то есть меняет знак	0,5
13.	График а) линейный график $v = 2Mu_0/(M + m)$ <0,5 балла>. Случай б) реализуется при положительном дискриминанте <0,5 балла>. Скачок при $M\mu_0^2/2(M + m) = kq^2/R$. <0,5 балла>. Значения слева и справа отличаются в 2 раза <0,5 балла>. Асимптотика: при u_0 много больше граничного $v = kq^2/Rm\mu_0$ (гипербола справа).	2
	Сумма:	10

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

5. Теплоизоляция

Тепло передаётся электромагнитным излучением. Абсолютно чёрное тело полностью поглощает падающее на него излучение, а нагретое до температуры T испускает с единицы площади поверхности тепловое излучение мощностью $q = f(T)$. График зависимости испускаемого потока теплового излучения от температуры в интервале от 300 до 700 К дан ниже, f отложено в условных единицах по вертикали.

В зазоре между параллельными чёрными стенками вакуум, температуру стенок поддерживают равной $T_1 = 350$ К и $T_2 = 700$ К, а поток тепла через зазор составляет $N = 6$ мВт. Каким станет установившийся поток тепла, если в зазоре параллельно стенкам поместить 5 тонких абсолютно чёрных плёнок? Найдите температуру плёнок. Температура стенок поддерживают прежней, плёнки не касаются друг друга, зазор между стенками мал.



<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

Возможное решение

$$N = (f(T_2) - f(T_1))S$$

Обозначим температуру плёнок $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_5$, Из стационарности потока следует равенство мощности, передаваемой через каждый зазор:

$$n = (f(T_2) - f(\tau_5))S; n = (f(\tau_5) - f(\tau_4))S; \dots n = (f(\tau_1) - f(T_1))S$$

Сложим все эти равенства и получим

$$6n = (f(T_2) - f(T_1))S = N$$

$$n = N/6 = 1 \text{ мВт.}$$

Для нахождения температуры плёнок $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_5$ воспользуемся тем, что на графике приращения Δf на каждом зазоре одинаковы, а в сумме дают примерно 36 условных единиц в диапазоне от 350 до 700 К. Поэтому шаг приращения Δf 6 условных единиц по вертикали, а на оси температур графика читаем температуры плёнок

$\tau_1 = 480 \text{ К}, \tau_2 = 550 \text{ К}, \tau_3 = 600 \text{ К}, \tau_4 = 637 \text{ К}, \tau_5 = 668 \text{ К}$. (числовые значения, найденные по графику, можно засчитывать с учетом погрешности)

Критерии оценивания:

		<i>баллы</i>
1.	$N = (f(T_2) - f(T_1))S$	2
2.	$n = (f(T_2) - f(\tau_5))S; n = (f(\tau_5) - f(\tau_4))S; \dots n = (f(\tau_1) - f(T_1))S$	2
3.	$6n = (f(T_2) - f(T_1))S = N$	1
4.	$n = N/6 = 1 \text{ мВт.}$	2
5.	Найдены по графику $\tau_1 \approx 480 \text{ К}, \tau_2 \approx 550 \text{ К}, \tau_3 \approx 600 \text{ К}, \tau_4 \approx 637 \text{ К}, \tau_5 \approx 668 \text{ К}$. (по 0,5 за каждый ответ и 0,5 за объяснение).	3
	Сумма:	10

<i>Предмет</i>	<i>Класс</i>	<i>Дата</i>	<i>Время начала</i>	<i>Время окончания</i>
<i>физика</i>	<i>11</i>	<i>08.11.2023</i>	<i>10.00</i>	<i>13.00</i>

Рекомендации для жюри

Каждая задача оценивается из 10 баллов. Участники олимпиады могут предложить полные и верные решения задач, отличные от приведённых в ключе. За это они должны получить полный балл. Частичное решение или решение с ошибками оценивается, ориентируясь на этапы решения, приведённые в разбалловке. При этом верные выводы из ошибочных допущений не добавляют баллов. Если какой-то этап решения не полный, или частично правильный, то он оценивается частью баллов за этап. Если в решении участника олимпиады предложенные этапы объединены как один, то оценка проводится из суммарного балла. **Наличие лишь ответа без решения не оценивается.** При наличии у участника двух решений без указания, какое он считает верным, оценка проводится по худшему. Для удобства работы жюри решения и критерии оценки для каждой задачи приведены на отдельной странице и при необходимости снабжены комментарием. К некоторым задачам приводятся два варианта решения. Следует держаться духа и буквы предлагаемой разбалловки, чтобы обеспечить сопоставимость проверки на разных площадках проведения.

С вопросами по критериям оценок можно обратиться или по электронной почте masha.yuldasheva@mail.ru или по телефону 8-913-940-45-06 к председателю предметно-методической комиссии олимпиады Юлдашевой Марии Рашидовне.