

Критерии оценивания

1. Неупругие удары (7 баллов)

№	Критерий	Балл
1. Первый случай: удар перпендикулярно стержню (3,5 балла)		3,5
1.1	Записан закон сохранения импульса и найдена скорость центра масс гантели: $u_1 = v/(2n)$.	0,5
1.2	<i>Вариант А (МЦВ)</i> : Обосновано, что импульс силы реакции вдоль стержня равен нулю, и вторая шайба является МЦВ.	1,0
1.3	<i>Вариант Б (Момент импульса)</i> : Записан ЗСМ относительно центра масс ($mv l = I\omega$) и верно определен момент инерции гантели ($I = 2nml^2$).	1,0
1.4	Найдена скорость шайбы гантели, испытавшей удар: $V_1 = 2u_1$ (или $u_1 + \omega l$) = v/n .	1,0
1.5	Записано определение e и получена связь: $e = V_1/v = 1/n$.	1,0
2. Второй случай: удар вдоль оси стержня (2,5 балла)		2,5
2.1	Записан ЗСИ с учетом направления отскока: $mv = 2nm \cdot u_2 - m(v/5)$.	1,0
2.2	Найдена скорость центра масс (точки контакта): $u_2 = 3v/(5n)$.	0,5
2.3	Записано определение e через относительную скорость: $e = (u_2 + v/5)/v$.	0,5
2.4	Получена связь параметров из второго случая: $e = (3 + n)/5n$.	0,5
3. Итоговый расчет (1,0 балл)		1,0
3.1	Составлена система уравнений из двух случаев и решена относительно n .	0,5
3.2	Получены верные численные ответы: $n = 2, e = 0,5$.	0,5
ИТОГО		7,0

Примечания.

- В пункте 1.2/1.3: Выставляется 0,5 балла, если при использовании одного из способов допущена логическая или грубая арифметическая ошибка (например, неверный момент инерции).
- Ошибка в знаке: Ошибка в знаке скорости отскока в п. 2.1 приводит к потере 0,5 балла за ЗСИ, но позволяет получить полные баллы за п. 2.3 и 2.4, если определение e записано согласованно с полученной неверной скоростью.

2. Колебания поршня (12 баллов)

№	Критерий	Балл
1. Свободные колебания (6,0 баллов)		6,0
1.1	Записано условие равновесия поршня и определено равновесное давление газа: $P_{\text{равн}} = P_0 + mg/S$.	0,5

1.2	Записано уравнение второго закона Ньютона для поршня при малом отклонении y : $m\ddot{y} = (P - P_{\text{равн}})S$.	0,6
1.3	Получена связь ΔP и ΔV для изотермического случая ($n = 1$): $\Delta P/P = -\Delta V/V$.	0,6
1.4	Получена связь ΔP и ΔV для адиабатического случая ($n = \gamma$): $\Delta P/P = -\gamma\Delta V/V$.	0,8
1.5	Выражен равновесный объём газа через уравнение Менделеева — Клапейрона: $V_{\text{равн}} = \nu RT_0/P_{\text{равн}}$.	0,6
1.6	Составлено дифференциальное уравнение гармонических колебаний для изотермического случая.	0,6
1.7	Получена верная формула для частоты изотермических колебаний Ω_T .	0,7
1.8	Составлено дифференциальное уравнение гармонических колебаний для адиабатического случая.	0,8
1.9	Получена верная итоговая формула для частоты адиабатических колебаний Ω_S .	0,8
2. Теплообмен и вынужденные колебания (6,0 баллов)		6,0
2.1	Записано первое начало термодинамики в дифференциальной форме или через мощности: $\delta Q/dt = \nu c_V \dot{T} + P\dot{V}$.	0,8
2.2	Учтено выражение для мощности теплопередачи: $\dot{Q} = -\beta(T - T_0)$.	0,4
2.3	Получено выражение мощности теплоотвода через производную ΔT по времени.	0,3
2.4	Обосновано выражение для мощности работы газа через равновесные параметры: $P\dot{V} = P_{\text{равн}}\dot{V}$.	0,8
2.5	Получено дифференциальное уравнение вынужденных колебаний для температуры.	0,2
2.6	Все члены уравнения выражены через гармонические функции времени (установившийся режим).	0,5
2.7	Предлагается использование при решении уравнения (метод комплексных амплитуд или векторных диаграмм).	0,5
2.8	Получено верное выражение для амплитуды колебаний температуры $A_{\Delta T}$.	1,3
2.9	Определена разность фаз φ между температурой и координатой поршня.	1,2
ИТОГО		12,0

Примечания.

- *Общее правило:* Если рассуждения верные, но ответ не верный вследствие арифметических ошибок, то штраф составляет 50% от балла за соответствующий пункт (распространяется на все части задачи).
- *Давление (п. 1.1):* Ошибка в определении равновесного давления $P_{\text{равн}}$ приводит только к потере баллов за п. 1.1; на баллы за последующие пункты (где используется буквенное обозначение $P_{\text{равн}}$) ошибка не распространяется.

- *Показатель адиабаты* (п. 1.9): В случае использования численного значения $\gamma = 5/3$ или $7/5$ вместо буквенного выражения через c_V , оценка за п. 1.9 снижается на 0,5 балла.
- *Фаза* (п. 2.9): Если при расчете разности фаз φ допущена ошибка в знаке (опережение/отставание), за п. 2.9 выставляется 0,5 балла.
- *Обоснование*: В случае отсутствия обоснования перехода $\Delta P \rightarrow y$ (пп. 1.3 и 1.4), но при верном итоговом уравнении, баллы не снижаются.

3. Построение (9 баллов)

№	Критерий	Балл
1. Расчет положения изображения (4,0 балла)		4,0
1.1	Записана формула линзы для первого прохождения лучей.	0,2
1.2	Получено корректное выражение для расстояния до первого изображения $a_1 = af / (a - f)$.	0,3
1.3	Найдено линейное увеличение линзы при первом прохождении Γ_1 .	0,2
1.4	Указано, что первое изображение находится за зеркалом (в мнимой области).	0,2
1.5	Найдено расстояние от зеркала до этого изображения $b_2 = a_1 - f$.	0,3
1.6	Сделан вывод, что отражённое изображение находится на расстоянии $a_2 = a_1 - 2f$ от линзы.	0,5
1.7	Определён характер пучка, падающего на линзу вторично (сходящийся).	0,3
1.8	Записана формула линзы для второго прохождения с учётом знака мнимого предмета.	0,5
1.9	Выполнено алгебраическое преобразование и получена итоговая формула $a_3 = 2f - a$.	0,5
1.10	Рассчитано общее увеличение системы и сделан вывод, что изображение прямое.	0,5
1.11	Указано свойство симметрии предмета и изображения относительно фокуса линзы.	0,5
2. Обоснование и геометрическое построение (5,0 баллов)		5,0
2.1	Обосновано, что для самосовмещения окружности фокус линзы должен быть в её центре.	0,7
2.2	Описан или показан способ нахождения центра окружности C (например, пересечение хорд).	0,3
2.3	Обосновано, что расстояние от зеркала до линзы равно фокусному ($L_{\text{плоск}} \parallel M_{\text{плоск}}$).	0,4
2.4	Сделан вывод: плоскость линзы — это серединный перпендикуляр к отрезку между фокусом и его зеркальным отражением (или аналогичное свойство).	0,6
2.5	Построена точка L_1 (середина отрезка CM) как точка, принадлежащая плоскости линзы.	0,5
2.6	Проведена прямая через точки L и L_1 , задающая ориентацию линзы.	0,5

2.7	Построена главная оптическая ось как перпендикуляр из точки C на линию линзы.	0,5
2.8	Найден оптический центр O (точка пересечения оси и линии линзы).	0,5
2.9	На оси отложен фокус с другой стороны от линзы на расстоянии OC .	0,5
2.10	Чертеж выполнен аккуратно, все ключевые точки (O, C, F, L_1) обозначены.	0,5
ИТОГО		9,0

Примечания.

- *Раздел 1:* Если при выводе $a_3 = 2f - a$ допущена арифметическая ошибка, но физический алгоритм прохождения через три элемента верен — за п. 1.9 выставляется 0,1 балла.
- *Раздел 2:* Если в п. 2.1 участник не приводит строгого доказательства, но корректно использует этот факт для дальнейшего верного построения, балл снижается на 0,5.
- *Обозначения:* Отсутствие на чертеже обозначений точек F, O, C при верных линиях построения — штраф 0,5 балла.
- *Методика:* В случае, если построение выполнено без использования циркуля (на глаз), за раздел 2 выставляется не более 20% от набранных баллов.
- *Центр окружности:* Если участник нашёл центр окружности C «на глаз» (без вспомогательных линий), балл за п. 2.2 не выставляется.

4. Самовосстанавливающийся предохранитель (12 баллов)

№	Критерий	Балл
1. Статическая ВАХ (5,0 баллов)		5,0
1.1	Сформулировано условие стационарности: мощность тепловыделения равна мощности теплоотдачи ($P_{эл} = P_{отд}$).	0,4
1.2	Рассчитана критическая мощность теплоотдачи при температуре фазового перехода $P_0 = \alpha(T_{пл} - T_0) = 1$ Вт.	0,3
1.3	Обосновано, что на этапе фазового перехода $T = T_{пл}$, следовательно, отводимая мощность P_0 строго постоянна.	0,5
1.4	Из условия $UI = P_0$ аналитически выведен функциональный вид ВАХ на участке перехода: $U = P_0/I$.	1,1
1.5	Получены аналитические выражения и рассчитаны численные значения токов излома $I_1 = 1$ А и $I_2 = 10$ мА.	0,5
1.6	На графике изображена «холодная» ветвь $U = IR_1$ (линейный участок до I_1).	0,7
1.7	На графике изображена «горячая» ветвь $U = IR_2$ (линейный участок при больших напряжениях).	0,8
1.8	На графике изображен гиперболический участок, соединяющий две линейные ветви.	0,7
2. Анализ рабочих точек и устойчивости (5,0 баллов)		5,0
2а	<i>Нахождение рабочих точек (2,0 балла)</i>	
2.1	Записано уравнение нагрузочной прямой $U = \mathcal{E} - IR$.	0,0

2.2	Рассчитаны критические значения сопротивления: $R_{c1} = 25$ Ом и $R_{c2} = 9$ Ом.	1,0
2.3	Верно определено количество точек при $R > 25$ Ом (1 точка).	0,2
2.4	Верно определено количество точек при $R = 25$ Ом (2 точки).	0,2
2.5	Верно определено количество точек при $9 \text{ Ом} < R < 25 \text{ Ом}$ (3 точки).	0,2
2.6	Верно определено количество точек при $R = 9$ Ом (2 точки).	0,2
2.7	Верно определено количество точек при $R < 9$ Ом (1 точка).	0,2
2б	<i>Исследование устойчивости</i> (3,0 балла)	
2.8	Записано уравнение контура: $\mathcal{E} - IR - U_{\text{пред}}(I) - L \frac{dI}{dt} = 0$.	0,5
2.9	Линеаризация: осуществлен переход к малым отклонениям тока ΔI через введение дифференциального сопротивления $R_{\text{diff}} = dU_{\text{пред}}/dI$.	0,5
2.10	Получен критерий устойчивости через сумму сопротивлений: $R + R_{\text{diff}} > 0$ или аналогичный.	1,0
2.11	Обоснована устойчивость точек на ветвях с положительным дифференциальным сопротивлением.	0,4
2.12	Доказано, что из двух точек на гиперболическом участке устойчива только точка с бóльшим током.	0,6
3. Процессы в реальной цепи (2,0 балла)		2,0
3.1	Определены параметры эквивалентного источника ($\mathcal{E}_{\text{общ}} = 9$ В, $r_{\text{общ}} = 2$ Ом).	0,2
3.2	Для $R = 7$ Ом: найден ток 0,9 А в установившемся режиме.	0,2
3.3	Для $R = 7$ Ом: тем или иным способом обосновано, что предохранитель не срабатывает (напр. через сравнение P и P_0).	0,3
3.4	Для $R = 2$ Ом: рассчитан начальный ток «холодного» включения (1,8 А) и сделан вывод о неизбежном уходе с «холодной» ветви.	0,5
3.5	Математически показано отсутствие устойчивого равновесия на гиперболе ($R_{\text{вн}} < R_{\text{diff}} $).	0,4
3.6	Описана качественная картина возникновения релаксационных автоколебаний системы.	0,4
ИТОГО		12,0

Примечания.

- *Ошибочная ВАХ:* Если в первой части задачи ВАХ определена или изображена неверно (например, вместо гиперболы используется прямая), но во второй части количество и положение рабочих точек определены логически верно относительно этого ошибочного графика, баллы за пункты 2.2–2.7 не снижаются.
- *Автоколебания:* Если в решении не описаны автоколебания, но верно указано, что система в итоге переходит (или «уходит») на горячую ветвь, за данный пункт выставляется 0,3 балла.
- *Арифметика:* Ошибки в арифметических расчётах при верно записанных физических уравнениях наказываются штрафом в 50% за соответствующий пункт.

5. Падающий в трубе магнит (10 баллов)

№	Критерий	Балл
1. Сила, действующая на кольцо (6,5 балла)		6,5
1.1	Записан закон Фарадея для ЭДС индукции: $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$.	0,5
1.2	Использована связь производной по времени с производной по координате: $\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\Phi}{dz} \cdot v$.	0,5
1.3	Применена формула из условия для связи B_r и $\frac{d\Phi}{dz}$: $\frac{d\Phi}{dz} = -2\pi R B_r$.	0,5
1.4	Получено корректное выражение для ЭДС в кольце: $\mathcal{E} = 2\pi R B_r v$.	1,0
1.5	Записана формула сопротивления проволочного кольца $R_k = 2\pi R / (\sigma S)$.	0,5
1.6	Записано выражение для индукционного тока в кольце в виде $I = \frac{\mathcal{E}}{R_k}$.	0,2
1.7	Получено корректное выражение для индукционного тока в кольце: $I = \sigma S B_r v$.	0,3
1.8	Указано, что радиальные компоненты силы Ампера компенсируются из-за симметрии.	0,5
1.9	Указано, что осевая компонента силы Ампера порождается радиальной компонентой поля B_r .	1,0
1.10	Записана проекция силы Ампера на ось OZ через дифференциал длины: $dF_z = I B_r dl$.	0,2
1.11	Проведено интегрирование по кольцу (умножение на $2\pi R$) для нахождения полной силы.	0,3
1.12	Обосновано направление силы (вязкое трение, против скорости) согласно правилу Ленца или с другим обоснованием.	0,5
1.13	Получена итоговая формула тормозящей силы: $F = 2\pi R \sigma S B_r^2 v$.	0,5
2. Интегрирование по трубе (1,5 балла)		1,5
2.1	Корректно описан переход от кольца к слою трубы dz (замена $S \rightarrow d \cdot dz$).	0,5
2.2	Составлен интеграл по координате z от $-\infty$ до $+\infty$ с подстановкой $B_r(z, R)$ диполя.	0,5
2.3	Применен табличный интеграл и получена общая формула взаимодействия трубы и магнита.	0,5
3. Установившаяся скорость магнита (2,0 балла)		2,0
3.1	Записано условие баланса сил при установившемся движении: $Mg = F_{z, \text{общ}}$.	0,2
3.2	Выражена масса магнита через плотность и его геометрические размеры.	0,3
3.3	Магнитный момент m верно выражен через поле B_0 в центре основания.	0,6
3.4	Получена итоговая формула для скорости через магнитный момент m .	0,3
3.5	Получена итоговая формула для скорости через данные в условии величины (B_0, ρ_M и др.).	0,3

3.6	Вычислено верное численное значение установившейся скорости v .	0,3
ИТОГО		10,0

Примечания.

- *Часть 1:* За любые продвижения (запись законов Фарадея, Ампера или Ома в дифференциальной/интегральной форме) выставляются баллы согласно пп. 1.1–1.10.
- *Части 2 и 3:* Ошибки в коэффициентах при сохранении верной функциональной зависимости ($v \propto R^4$, $v \propto \sigma^{-1}$ и т.д.) наказываются минимальным штрафом (четверть баллов за соответствующий пункт).