



1. Неупругие удары (7 баллов)

В теории удара столкновение тел характеризуется *коэффициентом восстановления* e . Он равен отношению модулей проекций относительной скорости точек контакта на общую нормаль после и до удара. В данной задаче считается, что e зависит только от материала тел.

Маленькая гладкая шайба массой m , движущаяся со скоростью v , сталкивается с гантелью из двух одинаковых гладких шайб, каждая из которых имеет массу nm . Шайбы соединены жёстким невесомым стержнем. При ударе перпендикулярно стержню (рис. 1) налетающая шайба после столкновения останавливается. При ударе вдоль оси стержня в одну из шайб (рис. 2) налетающая шайба отскакивает в противоположную сторону со скоростью $v/5$.

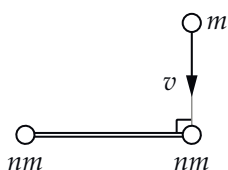


Рис. 1

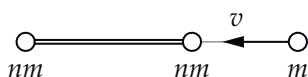


Рис. 2

- Найдите отношение массы шайбы гантели к массе налетающей шайбы n и коэффициент восстановления e .

2. Колебания поршня (12 баллов)

В вертикальном цилиндре под поршнем массой m , способным двигаться вдоль его оси без трения, находится ν молей идеального газа. Давление и температура окружающего воздуха равны P_0 и T_0 , площадь сечения цилиндра — S . Удельная теплоёмкость газа при постоянном объёме равна c_V . Теплоёмкостью цилиндра и поршня можно пренебречь. Первоначально система находится в равновесии, температура газа равна T_0 .

- Считая процессы в газе квазистатическими, определите циклическую частоту малых свободных колебаний поршня в двух случаях: при поддержании постоянной температуры газа (Ω_T) и в условиях полной теплоизоляции цилиндра (Ω_S).
- Пусть теперь цилиндр не изолирован. Мощность теплопередачи вследствие теплообмена между газом под поршнем и окружающим воздухом задаётся выражением:

$$N = \beta(T - T_0),$$

где T — температура газа, β — известный коэффициент. Под действием периодической внешней силы поршень совершает малые вынужденные колебания по закону:

$$y(t) = h \sin(\Omega t),$$

где y — отклонение поршня от положения равновесия, ось OY направлена вверх. Через некоторое время после начала действия силы устанавливаются малые гармонические колебания разности температур $\Delta T = T - T_0$. Определите амплитуду этих колебаний и разность фаз между колебаниями разности температур и вертикальной координаты поршня.

3. Построение (9 баллов)

Тонкая собирающая *идеальная* линза и плоское зеркало (см. рис. 3) расположены параллельно на расстоянии, равном фокусному расстоянию линзы f . *Идеальной* называется тонкая линза, в которой любые лучи, в том числе идущие под большими углами к оптической оси, преломляются как параксиальные (приосевые).

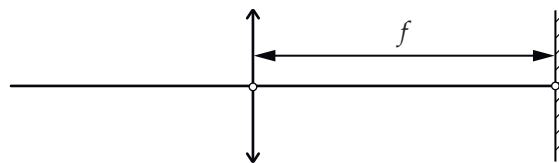


Рис. 3

- Светящаяся точка находится на расстоянии a от линзы ($f \leq a \leq 2f$) со стороны, противоположной зеркалу. На каком расстоянии от линзы расположено её изображение в этой системе?
- На рис. 4 показано изображение предмета в виде окружности (плоскость окружности перпендикулярна плоскости зеркала), полученное в этой оптической системе. Известно, что изображение совпадает с предметом; точки L и M , отмеченные на рис. 4, принадлежат линзе и зеркалу соответственно.

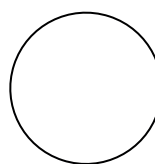


Рис. 4

С помощью циркуля и линейки на дополнительном листе с увеличенным рис. 4 постройте оптический центр и фокусы линзы. Приведите обоснование вашего построения (описывать алгоритм стандартных геометрических построений не требуется). Дополнительный лист с выполненным построением **следует сдать** вместе с работой.

4. Polyswitch (12 баллов)

Плавкий предохранитель — это одноразовый защитный элемент. Его современной многократной альтернативой является *самовосстанавливающийся предохранитель* (известный также под названием *Polyswitch*).

В основе устройства лежит полимерный материал с проводящими вкраплениями. При достижении критической температуры $T_{пл}$ в материале происходит фазовый переход: проводящие пути разрушаются, и электрическое сопротивление устройства резко возрастает. При остывании материала ниже $T_{пл}$ структура проводящих путей восстанавливается, и сопротивление возвращается к исходному низкому значению.

Продолжение задания см. на листе 2

Поведение некоторого самовосстанавливающегося предохранителя предлагается описывать с помощью следующей упрощённой модели. При температуре ниже критической температуры $T_{пл} = 120^\circ\text{C}$ его сопротивление постоянно и равно $R_1 = 1\text{ Ом}$. При $T_{пл}$ оно скачкообразно увеличивается до $R_2 = 10\text{ кОм}$ и при дальнейшем нагреве не меняется. В самой точке фазового перехода (при $T = T_{пл}$) сопротивление может принимать любые промежуточные значения в диапазоне от 1 Ом до 10 кОм .

Считайте, что мощность теплоотдачи от предохранителя в окружающую среду описывается соотношением

$$P = \alpha(T - T_0),$$

где $\alpha = 10\text{ мВт}/^\circ\text{C}$ — коэффициент теплоотдачи, $T_0 = 20^\circ\text{C}$ — температура окружающей среды, T — температура предохранителя.

- Изобразите статическую вольт-амперную характеристику (ВАХ) предохранителя, считая, что в любой точке ВАХ он находится в установившемся тепловом режиме.
- Пусть предохранитель подключён к идеальному источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 10\text{ В}$ последовательно с реостатом, сопротивление которого может меняться от 0 до 50 Ом , и катушкой индуктивности L . Считайте, что индуктивность катушки достаточно велика, так что тепловой баланс в предохранителе устанавливается гораздо быстрее, чем меняется ток. Это позволяет описывать состояние предохранителя его статической ВАХ в любой момент времени. Сколько рабочих точек теоретически может реализоваться в цепи при различных значениях сопротивления реостата? Какие из этих точек являются устойчивыми относительно флуктуаций тока в цепи? Рабочая точка считается *устойчивой* по току, если при малом отклонении тока от значения в рабочей точке возникающая в катушке ЭДС самоиндукции стремится вернуть цепь в исходное состояние.
- Теперь рассмотрим реальную цепь. Предохранитель подключили через ключ последовательно с резистором R к двум соединённым последовательно батарейкам 3R12 (ЭДС каждой $\mathcal{E} = 4,5\text{ В}$, внутреннее сопротивление $r = 1\text{ Ом}$). Какой ток установится в цепи после замыкания ключа, если $R = 7\text{ Ом}$? Опишите качественно процессы, происходящие в цепи после замыкания ключа, если сопротивление резистора равно $R = 2\text{ Ом}$. Учтите, что в этом случае ток может изменяться настолько быстро, что температура предохранителя не будет успевать подстраиваться под текущее значение мощности.

5. Падающий в трубе магнит (10 баллов)

При решении этой задачи могут оказаться полезными (а могут и не оказаться) некоторые или все из приведённых ниже формул.

Уравнения для осесимметричного магнитного поля в вакууме в цилиндрической системе координат:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rB_r)}{\partial r} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \quad \frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{\partial B_z}{\partial r} = 0$$

Связь радиальной компоненты B_r осесимметричного поля с магнитным потоком $\Phi(z)$ через диск радиуса R ,

центр которого лежит на оси OZ в точке с координатой z , а плоскость перпендикулярна этой оси:

$$B_r(R, z) = -\frac{1}{2\pi R} \cdot \frac{d\Phi}{dz}.$$

Осевая и радиальная составляющие поля магнитного диполя с моментом m (момент направлен вдоль оси OZ):

$$B_z(z, r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m(2z^2 - r^2)}{(z^2 + r^2)^{5/2}}, \quad B_r(z, r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3mzr}{(z^2 + r^2)^{5/2}}.$$

Поле в центре основания постоянного магнита цилиндрической формы (радиус основания a , высота h , магнитный момент m):

$$B_0 = \frac{\mu_0 m}{2\pi a^2 \sqrt{a^2 + h^2}}.$$

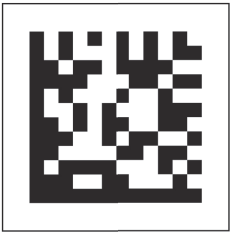
Значения некоторых несобственных интегралов:

$$\int_0^\infty \frac{x^2 dx}{(x^2 + a^2)^4} = \frac{\pi}{32a^5}, \quad \int_0^\infty \frac{x^2 dx}{(x^2 + a^2)^5} = \frac{5\pi}{256a^7}$$

- Рассмотрим тонкое кольцо радиуса R , изготовленное из проволоки сечением S ($S \ll R^2$). Проводимость материала кольца (величина, обратная удельному сопротивлению) $\sigma = \frac{1}{\rho}$ известна. Кольцо движется с постоянной скоростью v вдоль оси OZ , которая совпадает с осью симметрии магнитного поля и самого кольца. Считая известными функции $B_z(z, r)$ и $B_r(z, r)$, задающие осевую и радиальную компоненты магнитной индукции, найдите силу, действующую на кольцо в точке с координатой z .
- В начале координат закреплён небольшой магнит с моментом m , направленным вдоль оси OZ . Вдоль этой же оси движется очень длинная тонкостенная труба радиуса R с толщиной стенки d ($d \ll R$). Ось трубы совпадает с осью OZ , а её скорость v постоянна. Материал трубы имеет проводимость σ . Определите силу взаимодействия трубы и магнита.
- В вертикальной медной трубе ($R = 1\text{ см}$, $d = 1\text{ мм}$) падает соосный трубе цилиндрический неодимовый магнит (радиус основания $a = 0,5\text{ см}$, высота $h = 2a$). Спустя некоторое время после начала падения скорость магнита становится постоянной. Определите эту установившуюся скорость, считая что поле вне магнита совпадает с полем точечного диполя, расположенного в его центре и обладающего тем же магнитным моментом. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Плотность материала магнита $\rho_m = 7,4\text{ г/см}^3$, проводимость меди $\sigma = 5,8 \cdot 10^7\text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$. Магнит создаёт поле $B_0 = 1\text{ Тл}$ в центре своего основания. Ускорение свободного падения $g = 10\text{ м/с}^2$.

скрепить
здесь

Московская олимпиада школьников



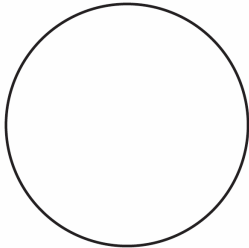
ЛИСТ _____ ИЗ _____

класс

номер участника

Дополнительный лист к задаче 3, 11 класс

Московская олимпиада школьников



M
 $\circ$

L
 $\circ$

Не забудьте вписать ваш номер участника в соответствующее поле в
верхней части листа!

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	Нахождение рабочих точек (2,0 балла)	
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	Исследование устойчивости (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).