

Задача Ru22-11-T1. Две резинки
Шифр

$\Sigma =$

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.1	Определено положение равновесия без учёта силы трения.	1.00	
1.2	Показано, что результирующая сила упругости всегда направлена к положению равновесия.	2.00	
1.3	Найден эффективный коэффициент жёсткости $k_{\text{эфф}} = 4k$.	1.00	
1.4	Получены условия, при которых шайба не начнёт движение. $\mu mg \geq 2\sqrt{5}kL$.	0.50	
1.5	Утверждение о прямолинейности движения (есть утверждения о начальной нулевой скорости и постоянстве направления вектора результирующей силы).	1.00	
1.6	Утверждение о прямолинейности движения (без утверждения о нулевой начальной скорости)	0.50	
1.7	Максимум скорости достигается при нулевом ускорении (или аналогичное утверждение)	0.50	
1.8	Определено положение тела в момент достижения максимальной скорости. $x_0 = \frac{\mu mg}{4k}$.	1.00	
1.9	Закон изменения энергии для нахождения максимальной скорости.	1.00	
1.10	Определена максимальная скорость. $v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{5k}{m}L - \frac{\mu g}{2}\sqrt{\frac{m}{k}}}$.	1.00	
2.1	Показано, что движение до смещённого положения равновесия описывается законом гармонического колебания.	0.50	
2.2	Определена циклическая частота таких колебаний (или соответствующий ей период). $\omega = 2\sqrt{\frac{k}{m}}$ или $T = \pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.	1.00	
2.3	Утверждение о том, что время достижения максимальной скорости равно четверти периода таких колебаний.	0.50	
2.4	$\tau = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{m}{k}}$.	1.00	

Задача Ru22-11-Т2. Цилиндр и клапан
Шифр

$\Sigma =$

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.1	Найдена работа газа в цилиндре, совершаемая при перемещении поршня.	1.00	
1.2	Найдена работа внешней среды над газом при «вдавливании» газа через клапан.	1.00	
1.3	Записано первое начало термодинамики от момента начала подъема поршня до момента его остановки.	1.00	
1.4	Записано уравнение для равенства количества вещества, вошедшего и вышедшего через клапан. Количество вещества выражено через параметры состояния.	0.50	
1.5	Получена температура после остановки поршня ($T_1 = T_0$).	1.00	
1.6	Записано первое начало термодинамики от момента после освобождения поршня до конечного равновесия.	1.50	
1.8	Температура после установления равновесия выражена через T_1 ($T_2 = 8T_1/7$).	0.50	
1.9	Получена температура после установления равновесия ($T_2 = 8T_0/7$).	0.50	
2.1	Отмечено в решении, что газ после прохода через клапан работы не совершает.	0.50	
2.2	Найдена работа внешней среды над газом при «вдавливании» газа через клапан или отмечено, что она такая же, как в первой части.	0.50	
2.3	Записано первое начало термодинамики от момента начала входа газа через клапан и до момента заполнения цилиндра.	1.00	
2.4	Записано уравнение для равенства количества вещества, вошедшего и вышедшего через клапан. Количество вещества выражено через параметры состояния.	0.50	
2.5	Получена температура после заполнения цилиндра ($T'_1 = 7T_0/5$).	0.50	
2.6	Записано первое начало термодинамики от момента после освобождения поршня до конечного равновесия.	1.00	
2.7	Температура после установления равновесия выражена через T'_1 ($T'_2 = 8T'_1/7$).	0.50	
2.8	Получена температура после установления равновесия ($T'_2 = 8T_0/5$).	0.50	

Задача Ru22-11-Т3. Колебания заряда
Шифр

$\Sigma =$

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.2	Найдено или записано в явном виде выражение для напряженности электрического поля трубы (цилиндра) $E = \frac{\sigma R}{\varepsilon_0 r}$	1.00	
1.3	Отмечено или рассмотрено в решении два различных положения равновесия (вертикальное и наклонное)	0.50	
1.4	Записано условие равновесия заряда для вертикального расположения нити	0.50	
1.5	Получен диапазон значений для вертикального расположения нити $ q \geq \frac{2\varepsilon_0 mg}{ \sigma }$	0.50	
1.6	Записано условие равновесия заряда для наклонного расположения нити	0.50	
1.7	Получено выражение $q\sigma = 4\varepsilon_0 mg \cos^2 \frac{\alpha}{2}$	0.50	
1.8	Получен диапазон значений для наклонного расположения нити $\frac{4\varepsilon_0 mg}{ \sigma } > q \geq \frac{2\varepsilon_0 mg}{ \sigma }$	0.50	
2.1	Найдено значение силы натяжения при наклонном расположении нити	0.50	
2.2	Найдено значение силы натяжения при вертикальном расположении нити	0.50	
2.3	В работе упоминается устойчивость положения(ий) равновесия	0.25	
2.4	Найдены границы устойчивости вертикального и наклонного положения равновесия	2×0.50	
2.5	На графике правильно отображены оба участка (по 0.5 балла за каждый).	2×0.50	
2.6	На графике подписаны граничные величины: q_1 , q_2 и mg (по 0.25 балла за каждый).	3×0.25	
3.1	Рассмотрено положение равновесия $\alpha = 0$. Приведено выражение для возвращающей силы при малых отклонениях	0.50	
3.2	Верно записано уравнение колебаний (в случае арифметической ошибки без нарушения размерности ставить 0,5 балла)	2×0.50	
3.3	Найдено значение периода колебаний	0.50	
3.4	Если циклическая частота найдена верно, но период колебаний не записан в явном виде.	-0.25	
3.5	Рассмотрены положения равновесия $\alpha = \pm \arccos\left(\frac{q\sigma}{2\varepsilon_0 mg} - 1\right)$. Приведено выражение для возвращающей силы при малых отклонениях	0.50	
3.6	Верно записано уравнение колебаний (в случае арифметической ошибки без нарушения размерности ставить 0,5 балла)	2×0.50	
3.7	Найдено значение периода колебаний	0.50	
3.8	Если циклическая частота найдена верно, но период колебаний не записан в явном виде.	-0.25	

Задача **Ru22-11-T4. Соленоид и виток**
Шифр

$\Sigma =$

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.1	M1 Идея дополнения исходного соленоида до бесконечного.	0.50	
1.3	M1 Корректные рассуждения о симметрии магнитных полей $\vec{B}$ и $\vec{B}_2$ относительно основания. (Если равенство B_x и B_{1x} используется без доказательства - пункт не оценивается).	1.50	
1.4	M1 Найдена проекция магнитного поля в точке A : $B_{Ax} = \frac{\mu_0 n I}{2}.$ (При некорректных рассуждениях пункт не оценивается).	0.50	
1.5	M1 Найдена проекция магнитного поля в точке C : $B_{Cx} = 0.$ (При некорректных рассуждениях пункт не оценивается).	0.50	
1.6	M2 Записана теорема параллельной компоненте магнитного поля плоского слоя: $B_{O } = \frac{\mu_0 n I \Omega_O}{4\pi}.$	1.20	
1.7	M2 Телесный угол в точках, принадлежащих основанию, равен: $\Omega_{\text{осн}} = 2\pi.$	0.30	
1.8	M2 Телесный угол в точках, лежащих в плоскости основания и не принадлежащих ему, равен нулю.	0.50	
1.9	M2 Найдена проекция магнитного поля в точке A : $B_{Ax} = \frac{\mu_0 n I}{2}.$	0.50	
1.10	M2 Найдена проекция магнитного поля в точке C : $B_{Cx} = 0.$	0.50	
2.1	Записано условие равенства нулю потока через виток: $\Phi_c + L I_B = 0.$	1.00	
2.2	Показано, что поток магнитного поля соленоида через виток равен: $\Phi_c = \frac{B_0 S}{2}.$ (Оценивается, если в работе явно указано, что $B_{Ax} = \frac{B_0}{2}$ и $B_{Cx} = 0$, или верно применена теорема о взаимной индуктивности).	1.00	
2.3	Найдена силы тока в витке: $I_B = -\frac{\pi \mu_0 n I r^2}{2L}.$	1.00	
2.4	Найдена только величина силы тока в витке	0.50	
2.5	Найдено только направление силы тока в витке	0.50	

3.1	М1 Получено выражение для осевой компоненты силы Ампера, действующей на элементы dl витков соленоида, находящиеся в слое толщины dh: $dF_x = -InB_r dldh.$	0.50	
3.2	М1 Выражения для силы магнитного взаимодействия через поток магнитного поля витка через боковую поверхность соленоида: $F_x = -In\Phi_{\text{бок}}.$	2.00	
3.3	М1 Из теоремы Гаусса для магнитного поля получено: $\Phi_{\text{бок}} + \Phi_{\text{осн}} = 0.$	1.00	
3.4	М1 Указано, что магнитное поле витка в основании соленоида можно считать однородным и равным: $B_{\text{вх}} = \frac{\mu_0 I_{\text{в}}}{2R}.$ (Пункт также оценивается, если магнитное поле витка с током найдено для произвольной точки оси.)	1.00	
3.9	М2 Сила, действующая на соленоид, выражена через его магнитное поле на расстоянии R от оси: $F_x = 2\pi R B_R I_{\text{в}}.$ (балл ставится даже при ошибке в знаке).	1.00	
3.10	М2 Указано, что на расстояниях $\rho \gg r$ от основания магнитное поле соленоида приближённо описывается полем магнитного монополя.	1.00	
3.11	М2 Найдена величина "магнитного заряда": $M = nIS$	1.00	
3.12	М2 Получено выражение для магнитного поля соленоида на расстоянии R от основания: $B_R = \frac{B_0 r^2}{4R^2}.$	1.50	
3.16	М3 Записано выражение для энергии системы: $E = \frac{L_1 I^2}{2} + \frac{L I_{\text{в}}^2}{2} + L_{\text{в3}} I I_{\text{в}}.$	0.50	
3.17	М3 С учётом равенства нулю потока через виток, выражение для энергии системы приведено к следующей форме: $E = \frac{L_1 I^2}{2} - \frac{L_{\text{в3}}^2 I^2}{2L}.$	0.50	
3.18	М3 Изменение энергии системы при постоянной силе тока в соленоиде выражено через изменение взаимной индуктивности: $dE = -\frac{L_{\text{в3}} I^2}{L} \frac{dL_{\text{в3}}}{dx}.$	0.50	
3.19	М3 Работа источника, поддерживающего при перемещении соленоида силу тока в нём постоянной, выражено через изменение взаимной индуктивности: $dA_{\text{ист}} = -\frac{2L_{\text{в3}} I^2}{L} \frac{dL_{\text{в3}}}{dx}.$	1.00	

3.20	М3 Записан закон изменения энергии системы: $dA_{\text{ист}} - F_x dx = dE.$	0.50	
3.21	М3 Указано, что магнитное поле витка в основании соленоида можно считать однородным и равным: $B_{\text{вх}} = \frac{\mu_0 I_{\text{в}}}{2R}.$	1.00	
3.22	М3 Найдено изменение взаимной индуктивности $dL_{\text{вз}}$ при сдвиге соленоида на dx : $dL_{\text{вз}} = \frac{\mu_0 S n dx}{2R}.$	0.50	
3.25	М4 Записано выражение для энергии системы: $E = \frac{L_1 I^2}{2} + \frac{L I_{\text{в}}^2}{2} + L_{\text{вз}} I I_{\text{в}}.$	0.50	
3.26	М4 С учётом равенства нулю потока через виток, выражение для энергии системы приведено к следующей форме: $E = \frac{L_1 I^2}{2} - \frac{L_{\text{вз}}^2 I^2}{2L}.$	0.50	
3.27	М4 Указано, что при замыкании накоротко проводов, подводящих к соленоиду, поток, пронизывающий его, будет сохраняться.	0.50	
3.28	М4 С учётом постоянства потока, пронизывающего соленоид, выражение для энергии приведено к виду: $E = \frac{\Phi^2}{2 \left(L_1 - \frac{L_{\text{вз}}^2}{L} \right)}.$	0.50	
3.29	М4 Изменение энергии системы при постоянном потоке, пронизывающем соленоид, выражено через изменение взаимной индуктивности: $dE = \frac{I^2 L_{\text{вз}} dL_{\text{вз}}}{L}.$	0.50	
3.30	М4 Записан закон изменения энергии в системе: $F_x = - \frac{dE}{dx}.$	0.50	
3.31	М4 Указано, что магнитное поле витка в основании соленоида можно считать однородным и равным: $B_{\text{вх}} = \frac{\mu_0 I_{\text{в}}}{2R}.$	1.00	
3.32	М4 Найдено изменение взаимной индуктивности $dL_{\text{вз}}$ при сдвиге соленоида на dx : $dL_{\text{вз}} = \frac{\mu_0 S n dx}{2R}.$	0.50	
3.33	Найдена сила магнитного взаимодействия, действующей на соленоид со стороны витка: $F_x = - \frac{1}{RL} \left(\frac{\pi \mu_0 n I r^2}{2} \right)^2.$ (При некорректных рассуждениях пункт не оценивается).	1.50	

3.34	Найдена только величина силы взаимодействия. (При некорректных рассуждениях пункт не оценивается).	1.00	
3.35	Найдено только направление силы взаимодействия. (При некорректных рассуждениях пункт не оценивается).	0.50	

Задача **Ru22-11-T5. Нелинейный элемент и конденсатор**
Шифр

$\Sigma =$

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.1	Получено квадратное уравнение относительно силы тока I : $I^2 R - I(U_0 - U_1) + A = 0.$	0.30	
1.2	Указано, что дискриминант квадратного уравнения неотрицателен.	0.40	
1.3	Указано, что $U_0 > U_1$, поскольку $I > 0$.	0.30	
1.4	Найдены все значения U_0 , при которых в цепи протекает электрический ток: $U_0 \geq U_1 + 2\sqrt{AR}.$	0.50	
2.1	Получена зависимость напряжения конденсатора U_C от силы тока I : $U_C = U_0 - U_1 - IR - \frac{A}{I}.$	0.30	
2.2	Получено уравнение относительно $I_1 \approx 9,6$ мА для момента начала тока: $I_1^2 R - I_1(U_0 - U_1) + A = 0.$	0.50	
2.3	Получено выражение для силы тока $I_2 \approx 2$ мА, соответствующей максимальному напряжению на конденсаторе $U_{max} \approx 6$ В: $I_2 = \sqrt{\frac{A}{R}}.$	0.70	
2.4	Получено выражение для U_{max} : $U_{max} = U_0 - U_1 - 2\sqrt{AR}.$	0.50	
2.5	Найдены численные значения (по 0.5 балла за каждое): $U_0 \approx 12 \text{ В} \quad R \approx 1 \text{ кОм} \quad A \approx 4 \text{ мВт}.$	3×0.50	0
3.1	M1 Получено выражение для выделившегося на резисторе количества теплоты Q_R : $Q_R = RC \int_0^{U_{max}} IdU_C.$	1.00	
3.2	M1 Величина $\int_0^{U_{max}} IdU_C = S$ определена с помощью графика: (37,5 – 37,9) мВт - 1,5 балла; (37,3 – 38,1) мВт - 1 балл; (37,1 – 38,3) мВт - 0,5 балла.	3×0.50	0
3.4	M2 Формула для Q_R преобразована к виду: $Q_R = RC \left(I_2 U_{max} + \int_{I_2}^{I_1} U_C dI \right).$	1.00	
3.5	M2 Выражение для Q_R через известные величины: $Q_R = RC \left(I_2 U_{max} + (U_0 - U_1)(I_1 - I_2) - \frac{R(I_1^2 - I_2^2)}{2} - A \ln \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \right).$	1.50	

3.6	Получено численное значение Q_R : $Q_R = (370 - 382) \text{ мДж.}$	0.50	
4.1	М1 Записан закон изменения энергии в системе: $A_{\text{ист}} = Q_R + Q_{\text{н.э}} + W_C.$	0.50	
4.2	М1 Получено выражение для работы источника: $A_{\text{ист}} = CU_0 U_{\text{max}}.$	0.30	
4.3	М1 Получено выражение для энергии конденсатора: $W_C = \frac{CU_{\text{max}}^2}{2}.$	0.20	
4.4	М1 Получено выражение для количества теплоты $Q_{\text{н.э}}$, выделившегося на нелинейном элементе: $Q_{\text{н.э}} = CU_1 U_{\text{max}} + A\tau.$	1.00	
4.5	М1 Получено выражение для времени протекания электрического тока в цепи: $\tau = \frac{1}{A} \left(C(U_0 - U_1)U_{\text{max}} - \frac{CU_{\text{max}}^2}{2} - Q_R \right).$	0.50	
4.6	М1 Найдено численное значение τ : (10, 2 – 11, 4) с – 1,5 балла; (9, 7 – 11, 9) с – 1 балл; (9, 2 – 12, 4) с – 0,5 балла.	3×0.50	0
4.7	М2 Решено квадратное уравнение относительно I : $I = \frac{(U_0 - U_1 - U_C) \pm \sqrt{(U_0 - U_1 - U_C)^2 - 4AR}}{2R}$	0.20	
4.8	М2 Выбор корня со знаком +.	0.10	
4.9	М2 Получена связь промежутка времени dt и изменения напряжения на конденсаторе $dU_C = -dV$: $dt = -\frac{C}{2A} \left(V - \sqrt{V^2 - 4AR} \right) dV$	0.30	
4.10	М2 Получено выражение для τ : $\tau = \frac{C}{2A} \int_{2\sqrt{AR}}^{U_0 - U_1} \left(V - \sqrt{V^2 - 4AR} \right) dV$	0.40	
4.11	М2 Получена формула для τ через известные величины: $\tau = \frac{C \left((U_0 - U_1)^2 - 4AR - (U_0 - U_1) \sqrt{(U_0 - U_1)^2 - 4AR} + 4AR \ln \left(\frac{U_0 - U_1 + \sqrt{(U_0 - U_1)^2 - 4AR}}{2\sqrt{AR}} \right) \right)}{4A}$	0.50	
4.12	М2 Найдено численное значение τ : $\tau = (10,7 - 10,9) \text{ с}$	0.50	