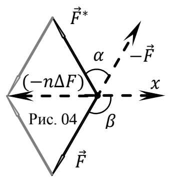
9 класс Код работы ________________

Таблица результатов

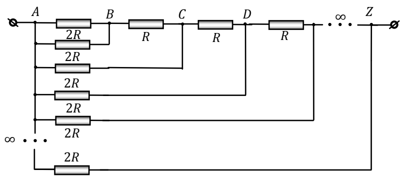
	Задача	Σ_{max}	Балл жюри	Апелляция	Результат	Подпись
9-1.	Прогрессивная разминка	26				
9-2.	Двойное скольжение	29				
9-3.	Конечная бесконечность	26				
	Σ_{max}	81	Σ :			

Схемы оценивания

Пункт	Содержание	Баллы	Оценки жюри
	Задание 9-1. Прогрессивная разминка (26 баллов)		
1.1	Отмечено, что в данной системе разность противоположных по направлению сил попарно остается постоянной и равной $F_0 = 60$ Н.	2	
	Система 12 сил упрощена до шести сил, записано (1) для равнодействующей $F = 2F_0(\cos 15° + \cos 45° + \cos 75°)$.	3	
	Найдено ускорение (2) материальной точки $a_1 = \frac{F}{m} = \frac{2F_0(\cos 15° + \cos 45° + \cos 75°)}{m}$. Указан угол $\beta = 105°$ с осью оси Ox.	2	
	Правильно посчитано (3) и округлено (до двух значащих цифр) $a_1 = \frac{2 \cdot 60 \cdot (\cos 15° + \cos 45° + \cos 75°)}{23{,}2}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right) = 10\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$.	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
1.2	Сформулирована идея решения: умножим все векторы на (-1), повернем на угол α и наложим на исходную систему – получим систему одинаковых по модулю векторов.	3	
	Указано, что сумма одинаковых векторов равна нулю, найден некомпенсированный вектор (7) $F_1 - F_n = -n\Delta F + \Delta F$.	2	
	Изображена векторная диаграмма для указанных векторов  Рис. 04	3	
	Записано (8) для равнодействующей всех сил $n\Delta F = 2F\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \Rightarrow F = \frac{n\Delta F}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$.	2	
	Из треугольника найден угол (9) с осью Ox $\beta = \frac{n+2}{2n}\pi$.	1	
	Найдено ускорение (10) материальной точки	1	

	$$a_2 = \frac{F}{m} = \frac{n\Delta F}{2m\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)}.$$		
1.3	Найдены необходимые для вычисления параметры механической системы: $n = 12$; $\Delta F = 10$ Н .	1	
	Правильно проведен расчет: $$a_1 = \frac{12\cdot 10}{2\cdot 23{,}2\cdot\sin\left(\frac{\pi}{12}\right)}\left(\frac{м}{с^2}\right) = 10\left(\frac{м}{с^2}\right),$$ $$\beta = \frac{12+2}{2\cdot 12}\pi = \frac{7}{12}\pi = 105°.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	26	Σ :
	Задание 9-2. Двойное скольжение (29 баллов)		
1.1	Отмечено, что шарик относительно земли будет двигаться равномерно и прямолинейно.	1	
	Рассмотрено смещение параллелепипеда на длину вертикальной стороны $$b = vt.$$	2	
	Использовано свойство нерастяжимости нити, указано, что при этом шарик поднялся до вершины параллелепипеда и совершил перемещение (2) $$AB = \sqrt{2}b.$$	2	
	Найдена скорость u_1 шарика $$u_1 = \frac{AB}{t} = \frac{\sqrt{2}b}{b/v} = \sqrt{2}v,$$ указан угол с горизонтом $\alpha = 45° = \frac{\pi}{4}$, отмечено, что траектория – отрезок.	3	
1.2	Отмечено, что шарик относительно земли будет двигаться равномерно и прямолинейно.	1	
	Рассмотрена система через промежуток времени t, когда наклонная плоскость сместился вправо на свою длину $$l = vt.$$	2	
	Использовано свойство нерастяжимости нити, указано, что шарик поднялся по наклонной плоскости до ее вершины D $$CD = 2l\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$	3	
	Найден угол $\beta = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} = \frac{\pi-\alpha}{2}$ к горизонту.	1	
	Определена скорость шарика $$u_2 = \frac{CD}{t} = \frac{2l\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{l/v} = 2v\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$	2	
1.3	Отмечено, что движение сферы равномерное, нить нерастяжима, поэтому длина дуги EF $$\breve{EF} = x = vt = \varphi R.$$	1	
	Правильно найден угол φ $$\varphi = \frac{x}{R} = \frac{vt}{R}.$$	1	
	Найден угол (13) касательной с горизонтом $$\gamma = \frac{\pi}{2} - \varphi.$$	2	

	Сформулирована идея: маленький участок полусферы можно считать «кусочком» наклонной плоскости.	2	
	Использованы формулы из предыдущего пункта (для наклонной плоскости) $$u_3(\varphi) = 2v\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right),\ \text{или}$$ $$u_3(x) = 2v\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{x}{2R}\right),\ \text{или}$$ $$u_3(t) = 2v\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{vt}{2R}\right).$$	3	
	Найден угол (17) с горизонтом $$\delta = \frac{\pi}{4} + \frac{vt}{2R}.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	29	Σ :
Задание 9-3. Конечная бесконечность (26 баллов)			
1.1 Шаг за шагом …			
1.1	Найдено сопротивление R_1 одного звена и R_2 двух звеньев $$R_1 = R + 2R = 3R$$ $$R_2 = R + \frac{2R\cdot R_1}{2R+R_1} = \frac{11}{5}R = 2\frac{1}{5}R.$$	2	
	Получена погрешность ε_1 для первого шага $$\varepsilon_1 = \frac{R_1 - R_2}{R_1} = \frac{4}{15} = 27\ \%.$$	1	
	Найдено сопротивление R_3 трех звеньев $$R_3 = R + \frac{2R\cdot R_2}{2R+R_2} = \frac{43}{21}R = 2\frac{1}{21}R.$$	2	
	Получена погрешность ε_2 для второго шага $$\varepsilon_2 = \frac{R_2 - R_3}{R_2} = 6{,}9\ \%.$$	1	
	Найдено сопротивление R_4 четырех звеньев $$R_4 = R + \frac{2R\cdot R_3}{2R+R_3} = R + \frac{2R\cdot\frac{43}{21}R}{2R+\frac{43}{21}R} = \frac{171}{85}R = 2\frac{1}{85}R.$$	2	
	Получена погрешность ε_3 для третьего шага $$\varepsilon_3 = \frac{R_3 - R_4}{R_3} = \frac{\frac{43}{21} - \frac{171}{85}}{\frac{43}{21}} = \frac{64}{3655} = 1{,}8\ \%.$$	1	
	Найдено сопротивление R_5 пяти звеньев $$R_5 = R + \frac{2R\cdot R_4}{2R+R_4} = \frac{683}{341}R = 2\frac{1}{341}R.$$	2	
	Получена погрешность ε_4 для четвертого шага $$\varepsilon_4 = \frac{R_4 - R_5}{R_4} = \frac{\frac{171}{85} - \frac{683}{341}}{\frac{171}{85}} = \frac{256}{58311} = 0{,}44\ \%.$$	1	
	Сделан вывод, что $n = 4$, т.е. на четвертом шаге мы получили оценку с погрешностью меньше процента.	1	
1.2 «Линейная бесконечность»			
1.2	Сформулирована идея об отбрасывании одного звена.	1	
	Перечерчена цепь и записано (11) $$R_\infty = R + \frac{2R\cdot R_\infty}{2R+R_\infty}.$$	2	

	Найдены корни (13) $$R_{\infty 1} = \frac{R+\sqrt{9R^2}}{2} = 2R$$ $$R_{\infty 2} = \frac{R-\sqrt{9R^2}}{2} = -R$$.	2	
	Отброшен отрицательный корень, дан верный ответ $$R_\infty^* = 2R.$$	1	
1.3 «Плоская бесконечность»			
1.3	Предложен вариант бесконечного соединения резисторов.  Рис. 05	4	
	Рассчитано сопротивление предложенной схемы $$R_\infty^{**} = R_{AZ} = R_{AB} = R.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
Всего за задачу:		26	Σ :

10 класс Код работы ________________

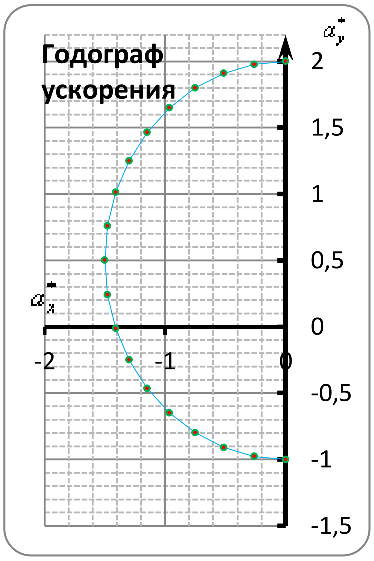
Таблица результатов

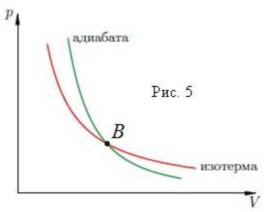
	Задача	Σ_{max}	Балл жюри	Апелляция	Результат	Подпись
10-1.	«Лихо закручено»	25				
10-2.	«Годограф ускорения»	31				
10-3.	«Не хуже Карно ..?»	34				
	Σ_{max}	90	Σ :			

Схемы оценивания

Пункт	Содержание	Баллы	Оценки жюри
Задание 10-1. «Лихо закручено» (25 баллов)			
1.1 «Два шарика на нити»			
1.1	Отмечено, что вращение шариков будет происходить вокруг их центра масс, который будет оставаться неподвижным.	2	
	Указано, что траектории шариков будут окружностями, радиусы которых есть расстояния l_1 и l_2 до центра масс. Записана система (1), найдены расстояния (2) $$l_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2} l$$ $$l_2 = \frac{m_1}{m_1+m_2} l.$$	3	
	Записан второй закон Ньютона для каждого из шариков, правильно найдены силы натяжения $$m_1\omega^2 l_1 = T_1 \quad \Rightarrow \quad T_1 = m_1\omega^2 \frac{m_2}{m_1+m_2} l = \frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}\omega^2 l,$$ $$m_2\omega^2 l_2 = T_2 \quad \Rightarrow \quad T_2 = m_2\omega^2 \frac{m_1}{m_1+m_2} l = \frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}\omega^2 l.$$	4	
	Подмечено, что они одинаковы $$T_1 = T_2 = T = \frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}\omega^2 l.$$	1	
1.2 «Три шарика на нити»			
1.2	Отмечено, что вращение шариков по-прежнему будет происходить вокруг их центра масс, который будет оставаться неподвижным.	1	
	Правильно записан второй закон Ньютона для движения каждого из шариков (6), (7), (8) по окружности $$m_2\omega^2 x = T_2,$$ $$m_1\omega^2 (l - x) = T_1,$$ $$m_3\omega^2 (\frac{l}{2} - x) = T_2 - T_1.$$	3	
	Из системы найдены расстояние x и угловая скорость ω вращения шариков $$x = \frac{m_1 T_2}{m_1 T_2 + m_2 T_1} l,$$	2	

	$$\omega = \sqrt{\frac{m_1T_2+m_2T_1}{m_1m_2l}}.$$		
	Получено правильное выражение для массы третьего шарика $$m_3 = \frac{2m_1m_2(T_2-T_1)}{m_2T_1-m_1T_2}.$$	2	
1.3 «Космическое вращение»			
1.3	Указано, что центр масс троса находится на середине длины, т.е. можно воспользоваться формулами из предыдущего пункта.	2	
	Использована формула (12) для массы троса с учетом малости $\Delta T \ll T$ $$m_{\text{т}} = \frac{2m_1m_2(T_2-T_1)}{m_2T_1-m_1T_2} = \frac{2m_1m_2\Delta T}{(m_2-m_1)T+m_2\Delta T} = \{\Delta T \ll T\} \approx \frac{2m_1m_2\Delta T}{(m_2-m_1)T}.$$	2	
	Использована формула (11) для угловой скорости космической станции $$\omega_{\text{кс}} = \sqrt{\frac{m_1T_2+m_2T_1}{m_1m_2l}} = \sqrt{\frac{(m_1+m_2)T+m_1\Delta T}{m_1m_2l}} = \{\Delta T \ll T\} \approx \sqrt{\frac{(m_1+m_2)T}{m_1m_2l}}.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	25	Σ :
Задание 10-2. «Годограф ускорения» (31 балл)			
Часть 1. Вычисление полного ускорения			
1.1	Правильно записан закон сохранения энергии (1) для движения шарика $$mgh = mgl\cos\alpha = \frac{m\upsilon^2}{2} \Rightarrow \upsilon^2 = 2gl\cos\alpha.$$	1	
	Верно найдено нормальное (центростремительное) ускорение шарика (2) на нерастяжимой нити в данной точке $$a_n = a_{цс} = \frac{\upsilon^2}{R} = \frac{\upsilon^2}{l} = \{(1)\} = 2g\cos\alpha.$$	2	
	Записаны законы Ньютона (3) для двух осей $$\begin{gathered} ma_n = T - mg\cos\alpha \\ ma_\tau = mg\sin\alpha \end{gathered}.$$	2	
	Получены правильные формулы (4) для тангенциального (касательного) ускорения и силы натяжения нити $$\begin{gathered} a_\tau = g\sin\alpha \\ T = 3mg\cos\alpha \end{gathered}.$$	2	
1.2	Найдено (5) для модуля полного ускорения $$a(\alpha) = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = g\sqrt{1+3\cos^2\alpha}.$$	3	
1.3	Записано условие (7) для горизонтального случая $$a_\tau \sin\alpha_1 = a_n\cos\alpha_1 \Rightarrow tg^2\alpha_1 = 2 \Rightarrow \alpha_1 = 55^\circ.$$	2	
	Найдено ускорение (8) в этот момент времени $$a_1 = g\sqrt{1+\frac{3}{1+tg^2\alpha_1}} = g\sqrt{2} = 1{,}4g.$$	3	
Часть 2. Построение годографа полного ускорения шарика			

2.1	Правильно выведены формулы (9) для декартовых проекций полного ускорения $$a_x = -3g\sin\alpha\cos\alpha = -\frac{3}{2}g\sin 2\alpha$$ $$a_y = g(2\cos^2\alpha - \sin^2\alpha)$$.	2	
	Верно записаны безразмерные проекции (10) $$a_x^*(\alpha) = -3\sin\alpha\cos\alpha$$ $$a_y^*(\alpha) = 2\cos^2\alpha - \sin^2\alpha$$.	2	
2.2	Выполнение этого пункта удобно выполнить после заполнения Таблицы 1. Как следует из таблицы, максимальное (по модулю) горизонтальное ускорение шарика равно $\lvert a_x^*\rvert = \lvert -1{,}5\rvert = 1{,}5$. Максимальное же вертикальное ускорение $a_y^* = 2{,}0$.	2	
2.3	Верно заполнена Таблица 1. Получены правильные расчеты.	3	
2.4	На бланке правильно построен годограф полного ускорения шарика. 	2	
2.5	Доказано (12) – (19), что годограф является окружностью, найдены ее параметры.	4	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	31	Σ :
Задание 10-3. Не хуже Карно ..? (34 балла)			
Часть 1. Адиабатный процесс			
1.1	Записана формула (1) для внутренней энергии идеального газа $$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}\nu RT,$$ получено (4) для молярной теплоемкости идеального одноатомного газа $$c_V^M = \frac{3}{2}R.$$	2	
	Правильно выведено (5) для внутренней энергии идеального газа $$U = c_V^M \nu T = \nu c_V^M T.$$	1	

1.2	Записано первое начало (закон) (1) термодинамики $$\Delta Q = \Delta U + p\Delta V.$$	1	
	Использованы два близких состояния системы, для которых записаны уравнения Клапейрона–Менделеева (7) $$pV = \nu R\Delta T$$ $$p(V+\Delta V) = \nu R(T+\Delta T).$$	2	
	Получено (10) для теплоёмкости $$c_p^M = \frac{\Delta Q}{\nu\Delta T} = \frac{c_V^M \nu\Delta T + \nu R\Delta T}{\nu\Delta T}.$$	2	
	Выведено уравнение Майера (11) $$c_p^M = c_V^M + R.$$	1	
	Указано, что теплоёмкость системы не зависит от параметров состояния идеального газа, следовательно, является постоянной величиной в этом процессе.	1	
1.3	Записано уравнение адиабатного процесса ($Q = 0 = \Delta U + A$), указано (14), что работа совершается за счет внутренней энергии газа $$p\Delta V = -\Delta U = -\nu c_V^M \Delta T$$.	1	
	Записано уравнение Клапейрона–Менделеева (15) и получено (16) $$-\frac{R}{c_V^M}\cdot\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T}.$$	2	
	С учетом математической подсказки выведено (17) для идеального газа $$TV^{\frac{R}{c_V^M}} = TV^{\gamma-1} = \mathrm{const}.$$	2	
1.4	Использовано уравнение Клапейрона–Менделеева для перехода к координатам $$T = \frac{pV}{\nu R} \quad\Longrightarrow\quad \frac{pV}{\nu R}V^{\gamma-1} = \mathrm{const} \quad\Longrightarrow\quad pV^{\gamma} = \mathrm{const}^*.$$	1	
1.5.	Построено схематическое изображение изотермы и адиабаты. 	1	
Часть 2. Цикл с адиабатой			
2.1	На участке AB цикла работает нагреватель ($Q_{AB} > 0$). На участке BC цикла работает холодильник ($Q_{BC} < 0$). Участок CA цикла соответствует адиабате ($Q_{CA} = 0$). Найдено количество теплоты (23), полученное от нагревателя $$Q_1 = \frac{5}{2}p_A V_A(n-1).$$	4	
2.2	Использовано уравнение адиабаты, получены выражения (25) и (26) $$p_C = \frac{p_A}{n^\gamma},\quad p_C = \frac{p_A}{n^\gamma}.$$	2	

2.3	Холодильник работает на участке BC цикла $(Q_{BC} < 0)$. Записано первое начало термодинамики (27) $$Q_2 = Q_{BC} = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}(p_A - p_C)nV_A.$$ Получено окончательное выражение (28) через p_A и V_A $$Q_2 = \frac{3}{2}p_A\left(1 - \frac{1}{n^{5/3}}\right)nV_A = \frac{3}{2}p_A V_A\left(n - \frac{1}{n^{2/3}}\right).$$	3	
2.4	Найден термодинамический КПД (29) данного цикла $$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{3}{5}\cdot\frac{\left(n - \frac{1}{n^{2/3}}\right)}{n-1}.$$	2	
2.5	Для оценки η_{max} получена система неравенств (30) (или эквивалентная) $$1 < \frac{\left(n - \frac{1}{n^{2/3}}\right)}{n-1} < \frac{n}{n-1},$$ Найдено значение (31) для η_{max} $$\eta_{max} = \eta(n \to \infty) = 1 - \frac{3}{5}\cdot 1 = \frac{2}{5} = 0{,}40 = 40\%.$$	3	
2.6	Из Рис. 4 найдено отношение объемов, получено (32) для КПД построенного цикла $$\eta = 1 - \frac{3}{5}\cdot\frac{\left(7 - \frac{1}{7^{2/3}}\right)}{7-1} = 0{,}33 = 33\%.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	34	Σ :

11 класс Код работы ________________

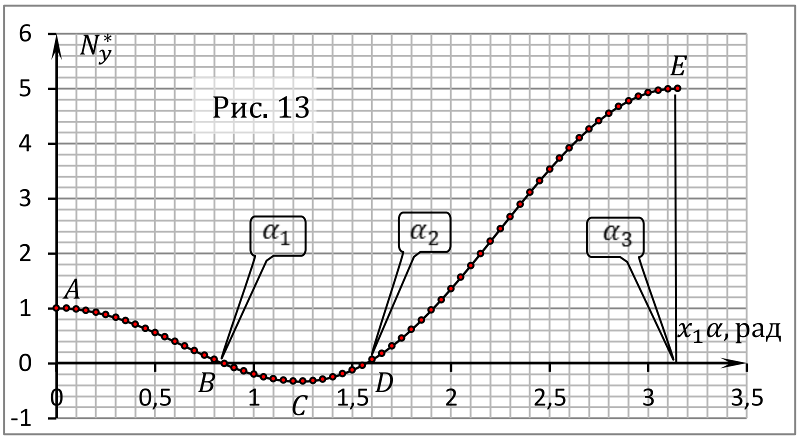
Таблица результатов

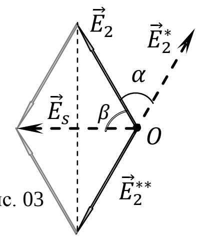
	Задача	Σ_{max}	Балл жюри	Апелляция	Результат	Подпись
11-1.	«Гармоническая разминка»	33				
11-2.	«Миг невесомости»	35				
11-3.	«Прогрессивная электростатика»	38				
	Σ_{max}	106	Σ :			

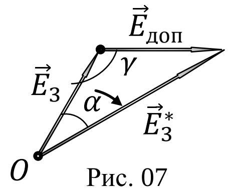
Схемы оценивания

Пункт	Содержание	Баллы	Оценки жюри
Задание 11-1. «Гармоническая разминка» (37 баллов)			
1.1 «Разгон маятника»			
1.1	Записана формула Гюйгенса (1) для «неподвижного» маятника $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.	1	
	Использован метод «эффективного ускорения» (2) (или эквивалентный) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g^*}}$.	2	
	Проанализированы эффективные ускорения (3), (4, (5) для электрички и лифта (два случая), указано, что равенство возможно только при условии (4) (ускорение лифта направлено вверх) $g^* = g + a_1$.	3	
	Записано (6) для равенства периодов $\sqrt{a_2^2 + g^2} = g + a_1$.	1	
	Получено и правильно посчитано (7) ускорение электрички (в любом направлении) $a_2 = \sqrt{a_1(a_1 + 2g)} = 5{,}6\ \text{м/с}^2$.	2	
	Указано, что лифт может ехать куда угодно – как вверх, так и вниз. Данных условия недостаточно для однозначного ответа.	2	
1.2 «Маятник в шахте»			
1.2	Записано (8) для ускорения свободного падения на поверхности Земли $g = G\frac{M}{R^2}$.	1	
	Получено (9) для периода колебаний маятника на поверхности Земли $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l\cdot R^2}{GM}} = 2\pi R\sqrt{\frac{l}{GM}}$.	2	

	Правильно проведено разложение (10) – (12) $$g(h) \approx \frac{1}{\left(1+\frac{h}{R}\right)^2} g = \left(1 - \frac{2h}{R}\right) g.$$	2	
	Выведено (13) для периода колебаний на горе $$T_1(h) = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g(h)}} = T_0\left(1 + \frac{h}{R}\right).$$	1	
	Вычислено (14) – (15) для суточного отставания часов $$N_1 = \frac{24\times60\times60}{1{,}000157} = 86\,386.$$	1	
	Получено (16) для ускорения в шахте $$g(h) = \left(1 - \frac{h}{R}\right) g.$$	2	
	Найдено (17) для периода в шахте $$T_2(h) = T_0\left(1 + \frac{h}{2R}\right).$$	2	
	Получено (18) $$T_0\left(1 + \frac{h_1}{R}\right) = T_0\left(1 + \frac{h_2}{2R}\right) \quad \Rightarrow \quad h_2 = 2h_1 = 2{,}0 \text{ км}.$$	2	
1.3 «Непостоянная планка»			
1.3	Записаны (20) – (22) для вычисления центра масс $$l_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2} l$$ $$l_2 = \frac{m_1}{m_1+m_2} l.$$	2	
	Правильно найдено (23) и (24) $$AO = \overset{\frown}{AB} = \alpha R,$$ $$h_1 = BC = R(1-\cos\alpha) \approx \frac{\alpha^2}{2} R.$$	1	
	Выведено (25) – (26) для потенциальной энергии $$E^{п} = (m_1+m_2)g \cdot h_2 = (m_1+m_2)gR \cdot \frac{\alpha^2}{2}.$$	2	
	Записано (28) для скоростей шариков $$v_1 = \omega(l_1 - \alpha R)$$ $$v_2 = \omega(l_2 + \alpha R).$$	2	
	Получено (29) и преобразовано к виду (30) $$E^{к} = \frac{\omega^2}{2}(m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2).$$	2	
	Правильно записано уравнение для полной энергии (32) $$E^{п} + E^{к} = (m_1+m_2)gR \cdot \frac{\alpha^2}{2} + (m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2) \cdot \frac{\omega^2}{2} = const.$$	1	
	Найден период колебаний (35) $$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2}{(m_1+m_2)gR}} = 2\pi \frac{l}{m_1+m_2}\sqrt{\frac{m_1 m_2}{gR}}.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	37	Σ :
Задание 11-2. «Миг невесомости» (35 баллов)			
	Часть 1. Общая теория		
1.1	Правильно нарисованы силы, действующие на бусинку в процессе движения, записан второй закон Ньютона (1) и (2) для ее движения	2	

	$ma_{\text{цс}} = m\frac{v^2}{R} = mg\cos\alpha - N.$		
	Записан закон сохранения энергии (3) $\frac{mv^2}{2} = mgR(1-\cos\alpha) \quad \Rightarrow \quad \frac{v^2}{R} = 2g(1-\cos\alpha).$	1	
	Получено (4) для $N(\alpha)$ $N(\alpha) = mg\cos\alpha - m\frac{v^2}{R} = mg(3\cos\alpha - 2).$	2	
1.2	Из (4) правильно найдено значение $\cos\alpha_1 = \frac{2}{3} \quad \Rightarrow \quad \alpha_1 = 48{,}1° = 0{,}839$ рад.	1	
1.3	Правильно разложена сила реакции на компоненты (6) $\vec{N} = \vec{N}_y + \vec{N}_x$ $N_y(\alpha) = N(\alpha)\cos\alpha.$ $N_x(\alpha) = N(\alpha)\sin\alpha$	2	
	Найдена зависимость (7) $N_y(\alpha) = N(\alpha)\cos\alpha = mg\,(3\cos\alpha - 2)\cdot\cos\alpha.$	2	
1.4	Проведены правильные вычисления, заполнена таблица вычислений.	2	
	В соответстсвие с таблицей на бланке построен график заввисимости $N_y^*(\alpha)$  Рис. 13	3	
1.5	Отмечены участки убывания и возрастания функции, точка минимума, точка максимального значения.	2	
	Часть 2. Работа с графиком		
2.1	Отмечена точка касания графика и оси абсцисс, указано, что здесь вес равен нулю.	1	
	Записано (10) для веса системы $P(\alpha) = Mg + 2N_y(\alpha) = g(M + 2m(3\cos\alpha - 2)\cdot\cos\alpha).$	2	
	Найдена точка экстремума (11) $\cos\alpha_4 = \frac{1}{3} \quad \Rightarrow \quad \alpha_4 = 70{,}5° = 1{,}23$ рад, и значение в минимуме (12) $(3\cos\alpha_4 - 2)\cdot\cos\alpha_4 = -\frac{1}{3}.$	2	
	Записаны (13) и (14) $m = \frac{3}{2}M,$	2	

	учтено начальное условие (15) $$8m_0\text{g} = (M+2m)\text{g} \quad\Rightarrow\quad M+2m = 8m_0.$$		
	Получено верные значения (16) для искомых масс $$m = 3m_0 = 30 \text{ г}$$ $$M = 2m_0 = 20 \text{ г}^{\cdot}$$	2	
2.2	Указано, что максимальный вес достигается в нижней точке бусинок при $\alpha = \pi$.	2	
	Записано (17) $$P_{max} = P(\alpha=\pi) = 32m_0\text{g}.$$	2	
2.3	Предложен метод оцифровки, указано, как найти систему отсчета, как найти масштабный отрезок (две реперные точки).	2	
	Предложенный метод реализован на графике в тетради.	1	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	35	Σ :
Задание 11-3. Прогрессивная электростатика (38 баллов)			
	Часть 1. Арифметическая электростатика		
1.1	Методом «мысленного поворота» (или любым другим) показано, что поле $\vec{E}_1$ равно нулю (2) $$\vec{E}_1 = \vec{0}.$$	1	
1.2	Для вычислений использован закон Кулона (3) и принцип суперпозиции электрических полей (4) $$\vec{E}_2 = \sum_i \vec{E}_i = \vec{E}_1 + \cdots + \vec{E}_{n-1} + \vec{E}_n.$$	2	
	Сформулирована идея модернизированного «метода мысленного поворота»: повернуть всю систему на угол α и умножить на (-1). Отмечено (5), что при этом модули соответствующих векторов не изменятся $$E_2 = E_2^* = E_2^{**}.$$	3	
	Далее «накладываем» полученную систему на старую, строим векторную диаграмму, записано (6) $$\vec{E}_s = \vec{E}_2 + \vec{E}_2^{**}.$$  Рис. 03	2	
	Указано, это же поле есть поле точечного заряда $(-nq_0)$, находящегося в первой точке цепочки (7) $$E_s = \frac{nq_0}{4\pi\varepsilon_0 R^2}.$$	2	
	Из векторной диаграммы получено (8) $$E_s = 2E_2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad\Rightarrow\quad E_2 = \frac{E_s}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$	2	
	Из (7) и (8) найдено искомое значение (9) $$E_2 = \frac{nq_0}{8\pi\varepsilon_0 R^2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{nq_0}{8\pi\varepsilon_0 R^2 \sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} = \frac{n}{2\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} E_0.$$	2	

	Из векторной диаграммы найден угол β $\beta=\frac{\pi}{2}-\frac{\alpha}{2}=\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{n}=\frac{n-2}{2n}\pi.$	1	
1.3	Из векторной диаграммы найдено количество вершин n многоугольника (11) и угол α $\beta=2\alpha \quad\Longrightarrow\quad \frac{n-2}{2n}\pi=2\frac{2\pi}{n} \quad\Longrightarrow\quad n=10.$	2	
	Проведены расчеты (13) и (14) , сохранено три значащие цифры $E_2=5{,}00\cdot 10^3\ \frac{\text{В}}{\text{м}}=5{,}00\ \frac{\text{кВ}}{\text{м}},$ $\beta=\frac{10-2}{2\cdot 10}\pi=\frac{2\pi}{5}=1{,}26\ \text{рад}=72{,}0°.$	3	
	Часть 2. Геометрическая электростатика		
2.1	Вычислена напряжённость E_0 (15) $E_0=\frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0 R^2}=588\ \frac{\text{В}}{\text{м}}.$	1	
2.2	Сформулирована идея вновь модернизированного «метода мысленного поворота»: удвоить все заряды и повернуть всю систему на угол α. Результирующий вектор $\vec{E}_3^*$ также удвоится. При этом векторная диаграмма примет вид:  Рис. 07	2	
	Указано, это же поле есть поле старой системы и точечного заряда $(2^n-1)\cdot q_0$, находящегося в первой точке цепочки. Записано (16) для его напряженности $\vec{E}_{\text{доп}}=(2^n-1)\cdot\vec{E}_0.$	2	
	Записаны принцип суперпозиции (17) и теорема косинусов (18) $(E_{\text{доп}})^2=(E_0\cdot(2^n-1))^2=E_3^2+4E_3^2-2E_3(2E_3)\cos\alpha.$	3	
	Получен верный результат (19) для напряженности $E_3=\frac{2^n-1}{\sqrt{5-4\cos\alpha}}E_0=\frac{(2^n-1)\cdot q_0}{4\pi\varepsilon_0 R^2\sqrt{5-4\cos\left(\frac{2\pi}{n}\right)}}.$	2	
	По теореме синусов найден угол γ (21) $\sin\gamma=\frac{2(2^n-1)}{\sqrt{5-4\cos\alpha}}E_0\cdot\frac{\sin\alpha}{E_0\cdot(2^n-1)}=\frac{2\sin\alpha}{\sqrt{5-4\cos\alpha}}=\frac{2\sin\left(\frac{2\pi}{n}\right)}{\sqrt{5-4\cos\left(\frac{2\pi}{n}\right)}}.$	2	
2.3	Указано, что в этом случае треугольник напряженностей прямоугольный, записано (22) $\sin\gamma=\sin\frac{\pi}{2}=1=\frac{2\sin\alpha}{\sqrt{5-4\cos\alpha}}.$	1	
	Найдено значение угла (23) и числа сторон (24) $\cos\alpha=\frac{1}{2} \quad\Longrightarrow\quad \alpha=\frac{\pi}{3}=60°,\ n=\frac{2\pi}{\alpha}=6.$	2	
	Проведены расчеты (25) и (26) $E_3=21{,}4\cdot 10^3\left(\frac{\text{В}}{\text{м}}\right)=21{,}4\left(\frac{\text{кВ}}{\text{м}}\right).$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	38	Σ :