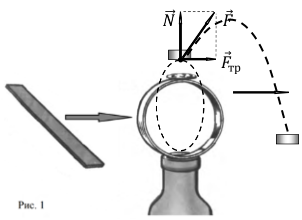
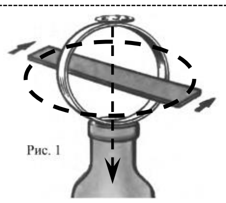
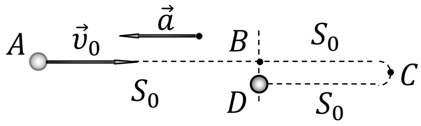
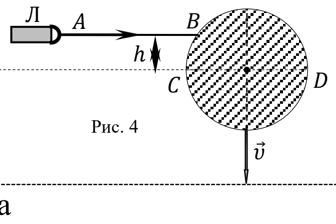
11 класс Код работы ________________

Таблица результатов

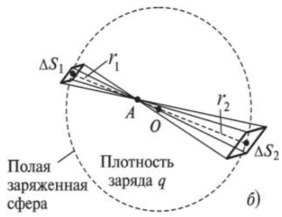
	Задача	Σ_{max}	Балл жюри	Апелляция	Результат	Подпись
11-1.	«Разминка»	45				
11-2.	«Звук и Гук»	42				
11-3.	«Заряженный шар»	63				
	Σ_{max}	150	Σ :			

Схемы оценивания заданий

Пункт	Содержание	Баллы	Оценки жюри
Задание 11-1. «Разминка» (45 баллов)			
1.	**«Посмотри и объясни»** а) Начерчен и проанализирован Рис.1 с правильной деформацией кольца при ударе линейкой снаружи, указано, что монета после удара подлетит вверх и вперед (по параболе).  Рис. 1	2	
	Отмечена причина такого поведения – достаточно резкое горизонтальное сжатие кольца при ударе линейкой снаружи и (при сохранении периметра!) быстрое вертикальное «вздутие» кольца (см. Рис. 1) в верхней точке (где лежит монета).	1	
	Подчеркнуто, что за движение монеты в процессе удара «отвечают» силы реакции и трения со стороны кольца, а в процессе полёта – сила тяжести.	1	
	«Посмотри и объясни» б) Проанализирован рисунок, правильно указано, что монета после удара просто упадет (свободно) в бутылку.  Рис. 1	2	
	Отмечена причина такого поведения монеты при ударе линейкой «изнутри» – резкое горизонтальное растяжение кольца и (при сохранении периметра!) достаточно быстрое вертикальное опускание верхней части кольца (где лежит монета). Иными словами, кольцо быстро сжимается и, «практически мгновенно» уходит из-под монеты.	1	
	Далее, под действием сила тяжести, монета свободно падает в бутылку с ускорением g.	1	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
2.	**«Перемещение и путь частицы»** Указано, что путь больше модуля перемещения, записано (1).	1	

	$$l = 3\left\|\vec{S}\right\| = 3S_0.$$		
	Начерчен Рис. 3. Проанализированы направления векторов начальной скорости и ускорения, при которых возможно выполнение условия задачи.  Рис. 3	2	
	Указано, что вектор ускорения $\vec{a}$ частицы должен быть направлен против вектора $\vec{v}_0$ её начальной скорости (см. Рис. 3).	1	
	Отмечено, что на промежутке времени t_1 частица сначала движется в одну сторону (ABC), а после остановки – в обратную (CD.	1	
	Выведено (3) для движения частицы $$BC = CD = S_0.$$	1	
	Записана система (4) – (5) для равноускоренного движения частицы $$\frac{at_0^2}{2} = 2S_0, \qquad \frac{a(t_1-t_0)^2}{2} = S_0.$$	2	
	Получено (6) для t_1 $$t_1 = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) t_0.$$	1	
	Записано (7) для движения частицы $$l_1 = \frac{a(2t_1-t_0)^2}{2} = 2S_0(\sqrt{2}+1)^2 = 2S_0(3+2\sqrt{2})\ .$$	1	
	Найден полный путь частицы (8) за время $2t_1$ $$l_2 = 2S_0 + l_1 = 4S_0(2+\sqrt{2}).$$	1	
	Найден модуль перемещения (9) за это же время $$S_2 = l_1 - 2S_0 = 4S_0(1+\sqrt{2}).$$	1	
	Найдено их отношение (10) $$\eta_2 = \frac{l_2}{S_2} = \frac{4S_0(2+\sqrt{2})}{4S_0(1+\sqrt{2})} = \sqrt{2} = 1{,}41\ .$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
3.	**«Зеркальный шар»** Осуществлен переход в подвижную систему отсчета (ИСО).	2	
	Начерчен Рис. 4., рассмотрен световой луч на расстоянии h от диаметра.  Рис. 4	2	
	Записано (1) для малого смещения луча $$\Delta h = v\Delta t.$$	1	
	Записано (2) для длины дуги Δl $$\Delta l = \frac{\Delta h}{\cos\alpha} = \frac{v\Delta t}{\cos\alpha}.$$	2	
	Записано (3) для увеличения $\Delta\alpha$ угла падения луча на шар	2	

	$$\Delta\alpha = \frac{\Delta l}{R} = \frac{\upsilon\Delta t}{R\cos\alpha}.$$		
	Удвоен угол отражения $\Delta\varphi$ луча от шара (4) $$\Delta\varphi = 2\Delta\alpha = \frac{2\upsilon\Delta t}{R\cos\alpha}.$$	2	
	Найдена угловая скорость (5) отраженного луча $$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\upsilon\Delta t}{R\cos\alpha\Delta t} = \frac{2\upsilon}{R\cos\alpha}.$$	3	
	Выражен косинус угла $$\cos\alpha = \frac{\sqrt{R^2-h^2}}{R}.$$	2	
	Получен окончательный результат (7) $$\omega = \frac{2\upsilon}{R}\frac{R}{\sqrt{R^2-h^2}} = \frac{2\upsilon}{\sqrt{R^2-h^2}}.$$	3	
	Правильно посчитано и округлено (8) $$\omega = \frac{2\cdot 1{,}5}{\sqrt{0{,}12^2-0{,}064^2}}\left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right) = 30\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$	1	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
Всего за задачу:		45	Σ :
Задание 11-2. «Звук и Гук» (42 балла)			
Часть 1. Скорость звука в упругом стержне			
1.1	Указаны размерности модуля Юнга $[E] = \text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{с}^2}$ и плотности $\rho = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Из них «собрана» формула (1) для скорости звука в упругом стержне $$c = \xi\sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$	2	
	Правильно использован безразмерный параметр ξ.	1	
1.2	Записан второй закон Ньютона в импульсной форме (2) $$\Delta p = F\Delta t.$$	2	
	Найден импульс остановившегося участка стержня (3) за промежуток времени Δt $$\Delta p = \Delta m\upsilon = \rho Sl\upsilon = \rho S(c\Delta t)\upsilon.$$	2	
	Использован закон Гука (4) $$F = k\Delta l = E\frac{S}{l}\Delta l = E\frac{S}{l}(\upsilon\Delta t).$$	2	
	Из (2) – (4) получено $$\rho S(c\Delta t)\upsilon = E\frac{S}{l}(\upsilon\Delta t)\Delta t = E\frac{S}{c\Delta t}(\upsilon\Delta t)\Delta t.$$	2	
	Получено (6) для скорости звука в упругом стержне $$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$	2	
	Указано значение безразмерного коэффициента $$\xi = 1.$$	2	
1.3	Записан второй закон Ньютона в импульсной форме (8) для стержня в процессе контакта $$F_{\text{д}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\rho S(c\Delta t)\upsilon}{\Delta t} = \rho Sc\upsilon.$$	2	
	В (8) подставлена скорость звука (6), получено (9) $$F_{\text{д}} = \rho Sc\upsilon = \upsilon S\sqrt{\rho E}.$$	2	

Часть 2. Звук и Лаплас			
2.1	Сила представлена двумя способами, получено (9) $$F=-k\Delta l=\Delta pS.$$	2	
	В (9) подставлен модуль Юнга получено (10) $$E\frac{S}{l}\Delta l=-\Delta pS \quad\Longrightarrow\quad E=-\frac{l}{\Delta l}\Delta p=-\frac{V}{\Delta V}\Delta p=-V\frac{\Delta p}{\Delta V}.$$	2	
2.2	Подставляя (10) в (6), получаем для скорости звука в газе (11) $$c=\sqrt{\frac{E}{\rho}}=\sqrt{\frac{-V\frac{\Delta p}{\Delta V}}{\rho}}=\sqrt{-\frac{V}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta V}}.$$	3	
	Записан «закон сохранения массы» (12) для выделенной порции газа $$m=\rho V=(\rho+\Delta\rho)(V+\Delta V).$$	2	
	Получена связь (13) для $(V,\rho,\Delta V,\Delta\rho)$ $$\Delta\rho V+\rho\Delta V=0 \quad\Longrightarrow\quad V=-\rho\frac{\Delta V}{\Delta\rho}.$$	2	
	Выведено (14) для скорости звука $$c=\sqrt{-\frac{V}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta V}}=\sqrt{-\frac{1}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta V}\left(-\rho\frac{\Delta V}{\Delta\rho}\right)}=\sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta\rho}}.$$	2	
2.3	Записано уравнение адиабаты и приведено к виду (15) для бесконечно малых $$\gamma pdV+Vdp=0\ .$$	1	
	Указано, что $\rho=\frac{m}{V}$ и на основании этого получено (16) $$d\rho=-\frac{mdV}{V^2}.$$	2	
	Выражены приращения (17) при адиабатном процессе $$\gamma pd\rho-\rho dp=0.$$	1	
	Найдено отношение (18) приращений для адиабатного процесса $$\frac{dp}{d\rho}=\gamma\frac{p}{\rho}.$$	1	
	Получена формула Лапласа (19) для скорости звука в воздухе $$c=\sqrt{\frac{dp}{d\rho}}=\sqrt{\gamma\frac{p}{\rho}}=\sqrt{\gamma\frac{RT}{M}}.$$	2	
2.4	Получено и правильно округлено численное значение $$c=\sqrt{\frac{1{,}4\cdot 8{,}31\cdot 293}{29\cdot 10^{-3}}}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)=343\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right).$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	42	Σ :
Задание 11-3. Заряженный шар (63 балла)			
Часть 1. Поле шара			
1.1	Рассмотрена пара малых одинаковых заряженных элементов сферы и записаны их площади $$\Delta S_1=\Delta\Omega\cdot r_1^2,$$ $$\Delta S_2=\Delta\Omega\cdot r_2^2.$$ 	2	

	Найдены заряды участков, указано, что их напряженности противоположны по направлению и записано (1) для отношения напряженностей $$\frac{\Delta E_2}{\Delta E_1}=\frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sigma\Delta S_2}{r_2^2}}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sigma\Delta S_1}{r_1^2}}=\frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\Delta\Omega}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\Delta\Omega}=1.$$	2	
	Отмечено (2), что подобное соотношение будет справедливо и для любой пары подобных участков, наблюдаемых под некоторым углом α $$\frac{\Delta E_2}{\Delta E_1}=\frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sigma\Delta S_2}{r_2^2}}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sigma\Delta S_1}{r_1^2}}=\frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\Delta\Omega}{\cos\alpha}}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\Delta\Omega}{\cos\alpha}}=1.$$	2	
	Просуммированы все подобные пары на поверхности сферы и сделан вывод, что результирующее поле внутри сферы равно нулю. Внимание! Данное доказательство можно провести и с помощью теоремы Гаусса. Если учащийся все правильно сделал таким способом – ставим полный балл за все подпункты!	1	
1.2	Внутри шара рассмотрена сфера радиуса x. Указано, что «внешние» тонкие заряженные сферические слои не создают электростатического поля «внутри себя» (см. пункт 1.1).	1	
	Найдена напряженность (3) шарика радиуса x $$E(x)=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q(x)}{x^2}=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\rho V}{x^2}=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\rho\frac{4}{3}\pi x^3}{x^2}=\frac{\rho}{3\epsilon_0}x.$$	2	
	Выведено максимальное значение (4) напряженности поля внутри шара $$E_0=E(R)=\frac{\rho R}{3\epsilon_0}.$$	1	
1.3	Указано, что электростатическое поле вне шара совпадает с полем точечного заряда, находящимся в центре шара. Записано (5) для напряженности $$E(x)=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{x^2}=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\rho V}{x^2}=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\rho\frac{4}{3}\pi R^3}{x^2}=\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0}\frac{1}{x^2}=E_0\frac{R^2}{x^2}.$$	2	
	Отмечено (6), что функции (3) и (4) равны в точке $x=R$, т.е. там достигается максимальное значение функции на всем промежутке $$E_{max}=E(R)=E_0\frac{R^2}{x^2}=E_0.$$	1	
	Выкладки оформлены аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
1.4	Получено (7) для приведенной напряженности на первом этапе рассмотрения ($0\le x^*\le 1$) $$E^*(x^*)=\frac{E(x)}{E_0}=\frac{\frac{\rho}{3\epsilon_0}x}{\frac{\rho R}{3\epsilon_0}}=\frac{x}{R}=x^*.$$	2	
	Получено (8) для приведенной напряженности на втором этапе рассмотрения ($1\le x^*\le 3$) $$E^*(x^*)=\frac{E(x)}{E_0}=\frac{E_0\frac{R^2}{x^2}}{E_0}=\frac{1}{\frac{x^2}{R^2}}=\frac{1}{(x^*)^2}.$$	2	

	По (7) и (8) вычислены данные, заполнена Таблица 1.	4	

x^*	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
E^*	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
x^*	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	
E^*	1	0,826	0,694	0,592	0,510	0,444	0,391	0,346	0,309	0,277	
x^*	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
E^*	0,250	0,227	0,207	0,189	0,174	0,160	0,148	0,137	0,128	0,119	0,111

	По точкам из Таблицы 1 построен график зависимости $E^*(x^*)$ во всем диапазоне $0 \le x^* \le 3$.	4	

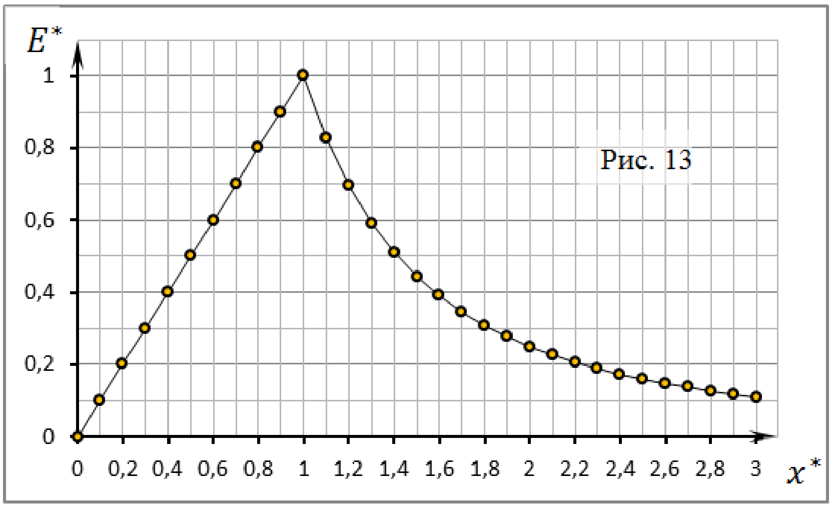


Рис. 13

Часть 2. Пролёты через шар			
2.1	Записан второй закон Ньютона (9) для движения частицы $$ma = -qE(x) = -\frac{q\rho}{3\varepsilon_0}x.$$	1	
	Уравнение приведено к виду (10) $$m\ddot{x}(t) = -\frac{q\rho}{3\varepsilon_0}x(t).$$	2	
	Отмечено, что получено уравнение гармонических колебаний (11) для движения заряженной частицы $$\ddot{x}(t) + \frac{q\rho}{3\varepsilon_0 m}x(t) = \ddot{x}(t) + \omega^2 x(t) = 0.$$	2	
	Найден период колебаний (12) $$T = 2\pi\sqrt{\frac{3m\varepsilon_0}{q\rho}}.$$	2	
	Получено (13) для промежутка времени t_1, как половина периода колебаний частицы $$t_1 = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{\frac{3m\varepsilon_0}{q\rho}}.$$	2	
	Выкладки оформлены аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
2.2	Указано, что максимальная скорость частицы будет достигаться в центре шара.	1	
	Правильно найдено (14) $$v_1 = \omega R = R\sqrt{\frac{q\rho}{3m\varepsilon_0}}.$$	2	

2.3	Указано, что максимальное ускорение a_1 частицы будет достигаться в точках действия максимальной силы, т.е. в точках остановки при максимальном удалении от центра заряженного шара.	1	
	Правильно найдено (15) $$a_1 = \frac{F_{max}}{m} = \frac{\frac{q\rho R}{3\varepsilon_0}}{m} = \frac{q\rho R}{3\varepsilon_0 m}.$$	2	
2.4	Указано, что для втягивания диполя в шар дальний от центра заряд должен быть отрицательным (поле сильнее!). Соответственно, ближний заряд – положительным, т.е. одноименным с зарядом шара.	1	
	Показано, что на диполь действует постоянная втягивающая сила (17) $$F(x) = q\big(E(x+l) - E(x)\big) = \frac{ql\rho}{3\varepsilon_0} = \text{const}.$$	2	
	Найдено ускорение разгона (18) $$a = \frac{F(x)}{2m} = \frac{ql\rho}{6m\varepsilon_0} = \text{const}.$$	2	
	Проанализировано прохождение диполя через центр заряженного шара. Доказано (любым способом), что характер равноускоренного движения (18) при этом не изменится.	3	
	Обосновано, что после пролета центра шара втягивающая сила превращается в «выталкивающую», т.е. диполь продолжит ускоряться с тем же ускорением (18).	2	
	Правильно записано (19) для движения диполя $$d = 2R = \frac{at_2^2}{2} = \frac{ql\rho t_2^2}{12m\varepsilon_0}.$$	2	
	Найдено (20) для времени движения t_2 диполя $$t_2 = \sqrt{\frac{24m\varepsilon_0 R}{ql\rho}} = 2\sqrt{\frac{6m\varepsilon_0 R}{ql\rho}}.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
2.5	Отмечено, что максимальная скорость (21) диполя достигается в конечной точке канала $$v_2 = at_2 = \frac{ql\rho}{6m\varepsilon_0} \cdot 2\sqrt{\frac{6m\varepsilon_0 R}{ql\rho}} = 2\sqrt{\frac{ql\rho R}{6m\varepsilon_0}}.$$	2	
2.6	Правильно найдено максимальное ускорение a_2 (22) диполя (достигается во всех точках траектории) $$a_2 = a = \frac{ql\rho}{6m\varepsilon_0}.$$	2	
	Решение оформлено аккуратно, с необходимыми комментариями, рисунками и пояснениями.	1	
	Всего за задачу:	63	Σ :
	Суммарный балл за все задачи:	**150**	**Σ :**