

## Единый государственный экзамен по ФИЗИКЕ

Демонстрационный вариант  
контрольных измерительных материалов  
единого государственного экзамена 2023 года  
по ФИЗИКЕ

подготовлен федеральным государственным бюджетным  
научным учреждением  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

## Единый государственный экзамен по ФИЗИКЕ

Пояснения к демонстрационному варианту контрольных  
измерительных материалов единого государственного экзамена  
2023 года по ФИЗИКЕ

При ознакомлении с демонстрационным вариантом контрольных измерительных материалов (КИМ) единого государственного экзамена (ЕГЭ) 2023 г. следует иметь в виду, что задания, включённые в него, не отражают всех элементов содержания, которые будут проверяться с помощью вариантов КИМ в 2023 г. Полный перечень элементов содержания, которые могут контролироваться на едином государственном экзамене 2023 г., приведён в кодификаторе элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников образовательных организаций для проведения единого государственного экзамена 2023 г. по физике.



**В демонстрационном варианте представлены конкретные примеры заданий, не исчерпывающие всего многообразия возможных формулировок заданий на каждой позиции варианта экзаменационной работы.**

Назначение демонстрационного варианта заключается в том, чтобы дать возможность любому участнику ЕГЭ и широкой общественности составить представление о структуре будущих КИМ, количестве заданий, об их форме и уровне сложности.

**В демонстрационном варианте представлено два примера заданий на позиции 30 экзаменационной работы. В реальных вариантах экзаменационной работы на каждую позицию будет предложено только одно задание.**

Приведённые критерии оценки выполнения заданий с развёрнутым ответом, включённые в этот вариант, дают представление о требованиях к полноте и правильности записи развёрнутого ответа.

Эти сведения позволят выпускникам выработать стратегию подготовки к ЕГЭ в 2023 г.

**Демонстрационный вариант  
контрольных измерительных материалов  
единого государственного экзамена 2023 года  
по ФИЗИКЕ**

**Инструкция по выполнению работы**

Для выполнения экзаменационной работы по физике отводится 3 часа 55 минут (235 минут). Работа состоит из двух частей, включающих в себя 30 заданий.

В заданиях 1–3, 7–9, 12–14 и 18 ответом является целое число или конечная десятичная дробь. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведённому ниже образцу в бланк ответа № 1. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

КИМ Ответ: -2,5 м/с<sup>2</sup>. 

-	2	,	5																
---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

 Бланк

Ответом к заданиям 4–6, 10, 11, 15–17, 19, 20, 21 и 23 является последовательность цифр. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведённому ниже образцу без пробелов, запятых и других дополнительных символов в бланк ответов № 1.

КИМ Ответ: 

А	Б
4	1

4	1																		
---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

 Бланк

Ответом к заданию 22 являются два числа. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведённому ниже образцу, не разделяя числа пробелом, в бланк ответов № 1.

КИМ Ответ: (1,4 ± 0,2) Н. 

1	,	4	0	,	2														
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

 Бланк

Ответ к заданиям 24–30 включает в себя подробное описание всего хода выполнения задания. В бланке ответов № 2 укажите номер задания и запишите его полное решение.

При вычислениях разрешается использовать непрограммируемый калькулятор.

Все бланки ЕГЭ заполняются яркими чёрными чернилами. Допускается использование гелевой или капиллярной ручки.

При выполнении заданий можно пользоваться черновиком. **Записи в черновике, а также в тексте контрольных измерительных материалов не учитываются при оценивании работы.**

Баллы, полученные Вами за выполненные задания, суммируются. Постарайтесь выполнить как можно больше заданий и набрать наибольшее количество баллов.

После завершения работы проверьте, чтобы ответ на каждое задание в бланках ответов № 1 и № 2 был записан под правильным номером.

**Желаем успеха!**

Ниже приведены справочные данные, которые могут понадобиться Вам при выполнении работы.

**Десятичные приставки**

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10 <sup>9</sup>	санتي	с	10 <sup>-2</sup>
мега	М	10 <sup>6</sup>	милли	м	10 <sup>-3</sup>
кило	к	10 <sup>3</sup>	микро	мк	10 <sup>-6</sup>
гекто	г	10 <sup>2</sup>	нано	н	10 <sup>-9</sup>
деци	д	10 <sup>-1</sup>	пико	п	10 <sup>-12</sup>

**Константы**

число $\pi$	$\pi = 3,14$
ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
постоянная Авогадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$
модуль заряда электрона	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
(элементарный электрический заряд)	
постоянная Планка	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

**Соотношения между различными единицами**

температура	0 К = -273 °С
атомная единица массы	1 а.е.м. = 1,66 · 10 <sup>-27</sup> кг
1 атомная единица массы эквивалентна	931,5 МэВ
1 электронвольт	1 эВ = 1,6 · 10 <sup>-19</sup> Дж

**Масса частиц**

электрона	9,1 · 10 <sup>-31</sup> кг ≈ 5,5 · 10 <sup>-4</sup> а.е.м.
протона	1,673 · 10 <sup>-27</sup> кг ≈ 1,007 а.е.м.
нейтрона	1,675 · 10 <sup>-27</sup> кг ≈ 1,008 а.е.м.

<b>Плотность</b>		подсолнечного масла	900 кг/м <sup>3</sup>
воды	1000 кг/м <sup>3</sup>	алюминия	2700 кг/м <sup>3</sup>
древесины (сосна)	400 кг/м <sup>3</sup>	железа	7800 кг/м <sup>3</sup>
керосина	800 кг/м <sup>3</sup>	ртути	13 600 кг/м <sup>3</sup>

**Удельная теплоёмкость**

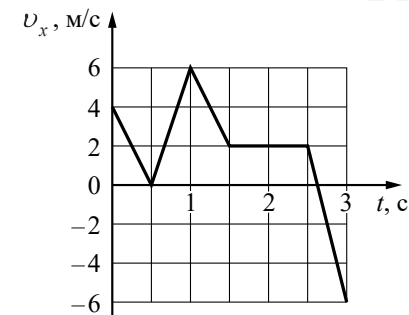
воды	4,2 · 10 <sup>3</sup> Дж/(кг · К)	алюминия	900 Дж/(кг · К)
льда	2,1 · 10 <sup>3</sup> Дж/(кг · К)	меди	380 Дж/(кг · К)
железа	460 Дж/(кг · К)	чугуна	500 Дж/(кг · К)
свинца	130 Дж/(кг · К)		

**Удельная теплота**парообразования воды  $2,3 \cdot 10^6$  Дж/кгплавления свинца  $2,5 \cdot 10^4$  Дж/кгплавления льда  $3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг**Нормальные условия:** давление –  $10^5$  Па, температура –  $0^\circ\text{C}$ **Молярная масса**азота  $28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль гелия  $4 \cdot 10^{-3}$  кг/мольаргона  $40 \cdot 10^{-3}$  кг/моль кислорода  $32 \cdot 10^{-3}$  кг/мольводорода  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль лития  $6 \cdot 10^{-3}$  кг/мольвоздуха  $29 \cdot 10^{-3}$  кг/моль неона  $20 \cdot 10^{-3}$  кг/мольводы  $18 \cdot 10^{-3}$  кг/моль углекислого газа  $44 \cdot 10^{-3}$  кг/моль**Часть 1**

*Ответами к заданиям 1–23 являются число или последовательность цифр. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите в БЛАНК ОТВЕТОВ № 1 справа от номера соответствующего задания, начиная с первой клеточки. Каждый символ пишите в отдельной клеточке в соответствии с приведёнными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

**1**

На рисунке показан график зависимости проекции  $v_x$  скорости тела от времени  $t$ . Какова проекция  $a_x$  ускорения этого тела в интервале времени от 1 до 1,5 с?



Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

**2**

В инерциальной системе отсчёта сила, равная по модулю 16 Н, сообщает телу массой  $m$  ускорение  $\vec{a}$ . Чему равен модуль силы, под действием которой тело массой  $\frac{m}{2}$  будет иметь в этой системе отсчёта ускорение  $\frac{\vec{a}}{4}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

**3**

Потенциальная энергия упругой пружины при её растяжении на 2 см равна 2 Дж. Найдите модуль изменения потенциальной энергии этой пружины при уменьшении её растяжения на 0,5 см.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

4

Небольшой груз, покоящийся на гладком горизонтальном столе, соединён пружиной со стенкой. Груз немного смещают от положения равновесия вдоль оси пружины и отпускают из состояния покоя, после чего он начинает колебаться, двигаясь вдоль оси пружины, параллельно которой направлена ось  $Ox$ . В таблице приведены значения координаты груза  $x$  в различные моменты времени  $t$ . Выберите все верные утверждения о результатах этого опыта на основании данных, содержащихся в таблице. Абсолютная погрешность измерения координаты равна 0,1 см, времени – 0,05 с.

$t$ , с	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
$x$ , см	3,0	2,1	0,0	–2,1	–3,0	–2,1	0,0

- 1) В момент времени 1,50 с ускорение груза максимально.
- 2) В момент времени 0,50 с кинетическая энергия груза максимальна.
- 3) Модуль силы, с которой пружина действует на груз, в момент времени 1,00 с меньше, чем в момент времени 0,25 с.
- 4) Период колебаний груза равен 1 с.
- 5) Частота колебаний груза равна 0,5 Гц.

Ответ: \_\_\_\_\_.

5

Спортсмен спускается на парашюте с постоянной скоростью. Как изменяются с течением времени в процессе спуска импульс спортсмена и его потенциальная энергия?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

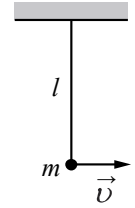
- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Импульс	Потенциальная энергия

6

Шарик массой  $m$  висел неподвижно на невесомой нерастяжимой нити длиной  $l$ . В результате толчка шарик приобрёл скорость  $\vec{v}$ , направленную горизонтально (см. рисунок), и начал совершать колебания в вертикальной плоскости. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, выражающими их в рассматриваемой задаче ( $g$  – ускорение свободного падения).



К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) максимальная высота подъёма шарика относительно первоначального положения
- Б) модуль силы натяжения нити в нижней точке траектории движения шарика

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $m\left(g - \frac{v^2}{l}\right)$
- 2)  $\frac{v^2}{2g}$
- 3)  $\frac{mv^2}{2g}$
- 4)  $m\left(g + \frac{v^2}{l}\right)$

Ответ:

А	Б

7

Цилиндрический сосуд разделён лёгким подвижным теплоизолирующим поршнем на две части. В одной части сосуда находится аргон, в другой – неон. Концентрация молекул газов одинакова. Определите отношение средней кинетической энергии теплового движения молекул аргона к средней кинетической энергии теплового движения молекул неона, когда поршень находится в равновесии.

Ответ: \_\_\_\_\_.

8

Температура куска металла с удельной теплоёмкостью 900 Дж/(кг·К) понизилась со 120 °С до 40 °С. При этом выделилось количество теплоты, равное 108 кДж. Чему равна масса этого куска металла?

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

9

Газ получил количество теплоты, равное 300 Дж, при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 100 Дж. Масса газа не менялась. Какую работу совершил газ в этом процессе?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

10

В жёстком герметичном сосуде объёмом  $1 \text{ м}^3$  при температуре 289 К длительное время находился влажный воздух и 10 г воды. Сосуд медленно нагрели до температуры 298 К. Пользуясь таблицей плотности насыщенных паров воды, выберите все верные утверждения о результатах этого опыта.

$t, ^\circ\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\rho_{\text{нп}}, 10^{-2} \text{ кг/м}^3$	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06	2,18	2,30

- 1) При температуре  $23^\circ\text{C}$  влажность воздуха в сосуде была равна 48,5%.
- 2) В течение всего опыта в сосуде находилась вода в жидком состоянии.
- 3) Так как объём сосуда не изменялся, давление влажного воздуха увеличивалось пропорционально его температуре.
- 4) В начальном состоянии при температуре 289 К пар в сосуде был насыщенный.
- 5) Парциальное давление сухого воздуха в сосуде не изменялось.

Ответ: \_\_\_\_\_.

11

В сосуде неизменного объёма находилась при комнатной температуре смесь двух идеальных газов, по 1 моль каждого. Половину содержимого сосуда выпустили, а затем добавили в сосуд 1 моль первого газа. Температура в сосуде поддерживалась неизменной. Как изменились в результате парциальное давление первого газа и суммарное давление смеси газов? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилось
- 2) уменьшилось
- 3) не изменилось

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Парциальное давление первого газа	Давление смеси газов

12

Во сколько раз уменьшится модуль сил взаимодействия двух небольших металлических шариков одинакового диаметра, имеющих заряды  $q_1 = +7 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -3 \text{ нКл}$ , если шарики привести в соприкосновение и раздвинуть на прежнее расстояние?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

13

Две частицы с зарядами  $q_1 = 2q$  и  $q_2 = q$  влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции со скоростями  $v_1 = v$  и  $v_2 = 2v$  соответственно. Определите отношение модулей сил  $F_1 : F_2$ , действующих на них со стороны магнитного поля.

Ответ: \_\_\_\_\_.

14

Конденсатор, заряженный до разности потенциалов  $U_0$ , в первый раз подключили к катушке с индуктивностью  $L_1 = L$ , а во второй – к катушке с индуктивностью  $L_2 = 5L$ . В обоих случаях в получившемся контуре возникли незатухающие электромагнитные колебания. Каково отношение максимальных значений энергии магнитного поля катушки  $\frac{W_{2\text{max}}}{W_{1\text{max}}}$  при этих колебаниях?

Ответ: \_\_\_\_\_.

15

По гладким параллельным горизонтальным проводящим рельсам, замкнутым на лампочку накаливания, перемещают лёгкий тонкий проводник. Образовавшийся контур  $KLMN$  находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$  (рис. а). При движении проводника площадь контура изменяется так, как указано на графике (рис. б). Выберите все верные утверждения, соответствующие приведённым данным и описанию опыта.

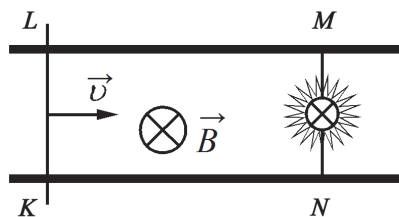


Рис. а

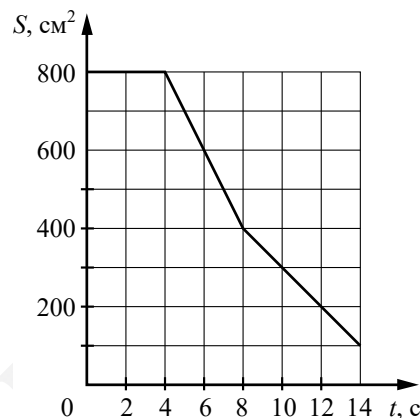


Рис. б

- В течение первых 6 с индукционный ток течёт через лампочку непрерывно.
- В интервале времени от 0 до 4 с лампочка горит наиболее ярко.
- В момент времени  $t = 2$  с сила Ампера, действующая на проводник, направлена влево.
- Максимальная ЭДС наводится в контуре в интервале времени от 4 до 8 с.
- Индукционный ток в интервале времени от 6 до 12 с течёт в одном направлении.

Ответ: \_\_\_\_\_.

16

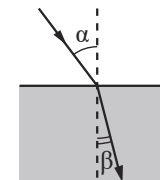
Плоская световая волна переходит из воздуха в глицерин (см. рисунок). Что происходит при этом переходе с периодом электромагнитных колебаний в световой волне и с длиной волны?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- увеличивается
- уменьшается
- не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

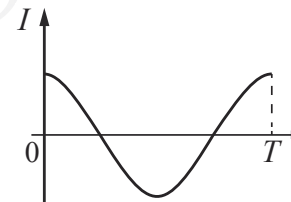
Период электромагнитных колебаний	Длина волны



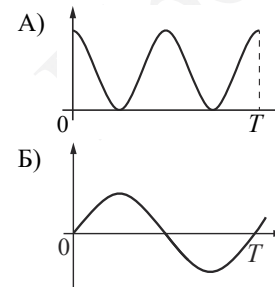
17

На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в катушке индуктивности идеального колебательного контура.

Графики А и Б представляют изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимость которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ГРАФИКИ



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- индуктивность катушки
- напряжение на обкладках конденсатора
- энергия электрического поля конденсатора
- энергия магнитного поля катушки

Ответ:

А	Б

- 18 Ядро платины  $^{174}_{78}\text{Pt}$  испытывает  $\alpha$ -распад, при этом образуются  $\alpha$ -частица и ядро химического элемента  $^A_Z\text{X}$ . Определите заряд  $Z$  (в единицах элементарного заряда) ядра  $\text{X}$ .

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 19 На рисунке изображена упрощённая диаграмма нижних энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какие из этих четырёх переходов связаны с излучением света с наибольшей длиной волны и поглощением света с наименьшей энергией?

Установите соответствие между процессами поглощения и излучения света и энергетическими переходами атома, указанными стрелками.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ПРОЦЕССЫ

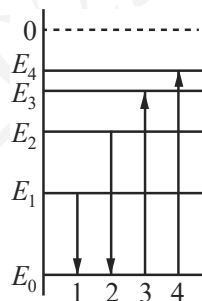
- А) излучение света с наибольшей длиной волны  
Б) поглощение света с наименьшей энергией

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ПЕРЕХОДЫ

- 1) 1  
2) 2  
3) 3  
4) 4

Ответ:

А	Б



- 20 Выберите все верные утверждения о физических явлениях, величинах и закономерностях. Запишите цифры, под которыми они указаны.

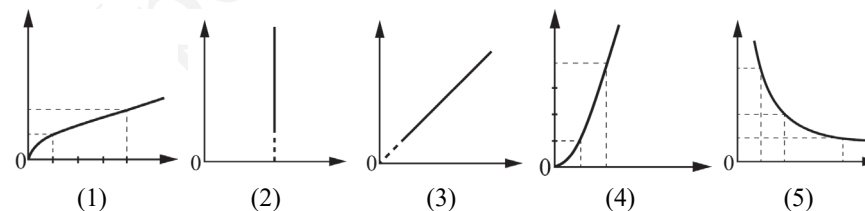
- 1) При увеличении длины нити математического маятника период его колебаний уменьшается.
- 2) Явление диффузии протекает в твёрдых телах значительно медленнее, чем в жидкостях.
- 3) Сила Лоренца отклоняет положительно и отрицательно заряженные частицы, влетающие под углом к линиям индукции однородного магнитного поля, в противоположные стороны.
- 4) Дифракция рентгеновских лучей невозможна.
- 5) В процессе фотоэффекта с поверхности вещества под действием падающего света вылетают электроны.

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 21 Даны следующие зависимости величин:

- А) зависимость периода малых свободных колебаний математического маятника от длины нити маятника;  
Б) зависимость количества теплоты, выделяющегося при конденсации пара, от его массы;  
В) зависимость силы тока через участок цепи, содержащий резистор, от сопротивления резистора при постоянном напряжении на концах участка.

Установите соответствие между этими зависимостями и видами графиков, обозначенных цифрами 1–5. Для каждой зависимости А–В подберите соответствующий вид графика и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Цифры в ответе могут повторяться.



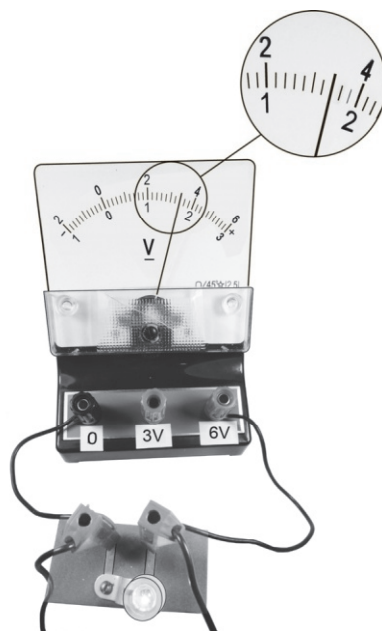
Ответ:

А	Б	В



22

Определите напряжение на лампочке (см. рисунок), если абсолютная погрешность прямого измерения напряжения равна цене деления вольтметра.



Ответ: ( \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_ ) В.

**В бланк ответов № 1 перенесите только числа, не разделяя их пробелом или другим знаком.**

23

Ученику необходимо на опыте обнаружить зависимость объёма газа, находящегося в сосуде под подвижным поршнем, от температуры газа. У него имеется пять различных сосудов с манометрами. Сосуды наполнены одним и тем же газом при различных температуре и давлении (см. таблицу). Какие **два** сосуда необходимо взять ученику, чтобы провести исследование?

№ сосуда	Давление, кПа	Температура газа в сосуде, °С	Масса газа, г
1	200	25	4
2	260	30	8
3	260	30	6
4	300	35	6
5	200	35	4

В ответ запишите номера выбранных сосудов.

Ответ:



**Не забудьте перенести все ответы в бланк ответов № 1 в соответствии с инструкцией по выполнению работы. Проверьте, чтобы каждый ответ был записан в строке с номером соответствующего задания.**

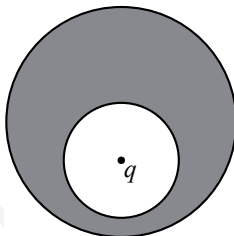


## Часть 2

Для записи ответов на задания 24–30 используйте БЛАНК ОТВЕТОВ № 2. Запишите сначала номер задания (24, 25 и т.д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.

24

В нижней половине незаряженного металлического шара располагается крупная шарообразная полость, заполненная воздухом. Шар находится в воздухе вдали от других предметов. В центр полости помещён положительный точечный заряд  $q > 0$  (см. рисунок). Нарисуйте картину линий напряжённости электростатического поля внутри полости, внутри проводника и снаружи шара. Если поле отсутствует, напишите в данной области:  $\vec{E} = 0$ . Если поле отлично от нуля, нарисуйте картину поля в данной области, используя восемь линий напряжённости. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



Полное правильное решение каждой из задач 25–30 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

25

Плоская льдина плавает в воде, выступая над её поверхностью на  $h = 0,04$  м. Определите массу льдины, если площадь её поверхности  $S = 2500$  см<sup>2</sup>. Плотность льда равна 900 кг/м<sup>3</sup>.

26

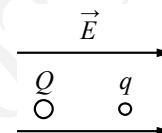
Предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Оптическая сила линзы  $D = 5$  дптр. Изображение предмета действительное, увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета)  $k = 2$ . Найдите расстояние между предметом и его изображением.

27

В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделённый от атмосферы столбиком ртути длиной  $l = 76$  мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха  $\Phi_1$  в ней равна 80%. Какой станет относительная влажность этого воздуха  $\Phi_2$ , если трубку поставить вертикально, открытым концом вниз? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст. Температуру считать постоянной.

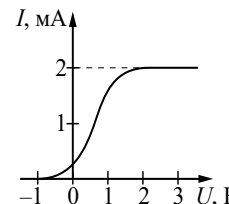
28

В однородном электрическом поле с напряжённостью  $E = 18$  В/м находятся два точечных заряда:  $Q = -1$  нКл и  $q = +5$  нКл с массами  $M = 5$  г и  $m = 10$  г соответственно (см. рисунок). На каком расстоянии  $d$  друг от друга находятся заряды, если их ускорения совпадают по величине и направлению? Сделайте рисунок с указанием всех сил, действующих на заряды. Силой тяжести пренебречь.



29

В опыте по изучению фотоэффекта монохроматическое излучение мощностью  $P = 0,21$  Вт падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока  $I$  от напряжения  $U$  между анодом и катодом приведён на рисунке. Какова частота  $\nu$  падающего света, если в среднем один из 30 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?

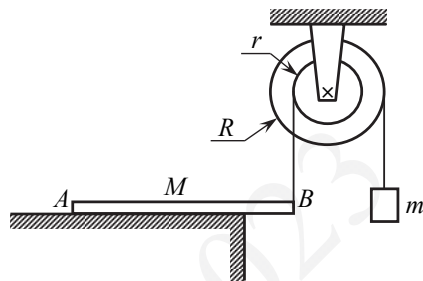


30

В маленький шар массой  $M = 230$  г, висющий на нити длиной  $l = 50$  см, попадает и застревает в нём горизонтально летящая пуля. Минимальная скорость пули  $v_0$ , при которой шар после этого совершит полный оборот в вертикальной плоскости, равна 120 м/с. Чему равна масса пули? Сопротивлением воздуха пренебречь. Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

**ИЛИ****30**

Однородный брусок  $AB$  массой  $M$  постоянного прямоугольного сечения лежит на гладкой горизонтальной поверхности стола, свешиваясь с него менее чем наполовину (см. рисунок). К правому концу бруска прикреплена лёгкая нерастяжимая нить. Другой конец нити закреплён на меньшем из двух дисков идеального составного блока. На большем диске этого блока закреплена другая лёгкая нерастяжимая нить, на которой висит груз массой  $m = 1$  кг. Диски скреплены друг с другом, образуя единое целое.  $R = 10$  см,  $r = 5$  см. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на брусок  $M$ , блок и груз  $m$ . Найдите минимальное значение  $M$ , при котором система тел остаётся неподвижной. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



**Проверьте, чтобы каждый ответ был записан рядом с правильным номером задания.**

**Система оценивания экзаменационной работы по физике****Задания 1–23**

Правильное выполнение каждого из заданий 1–3, 7–9, 12–14, 18, 22 и 23 оценивается 1 баллом. Задание считается выполненным верно, если ответ записан в той форме, которая указана в инструкции по выполнению задания, и полностью совпадает с эталоном ответа. В ответе на задание 23 порядок записи символов значения не имеет.

Правильное выполнение каждого из заданий 5, 6, 11, 16, 17 и 19, 21 оценивается 2 баллами. Задание считается выполненным верно, если ответ записан в той форме, которая указана в инструкции по выполнению задания, и полностью совпадает с эталоном ответа: каждый символ в ответе стоит на своём месте, лишние символы в ответе отсутствуют. 1 балл выставляется, если на любой одной позиции ответа записан не тот символ, который представлен в эталоне ответа. Во всех других случаях выставляется 0 баллов. Если количество символов в ответе больше требуемого, выставляется 0 баллов вне зависимости от того, были ли указаны все необходимые символы.

Правильное выполнение каждого из заданий 4, 10, 15 и 20 оценивается 2 баллами. Задание считается выполненным верно, если ответ записан в той форме, которая указана в инструкции по выполнению задания, каждый символ присутствует в ответе, в ответе отсутствуют лишние символы. Порядок записи символов в ответе значения не имеет. 1 балл выставляется, если только один из символов, указанных в ответе, не соответствует эталону (в том числе есть один лишний символ наряду с остальными верными) или только один символ отсутствует; во всех других случаях выставляется 0 баллов.

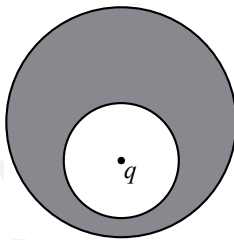
Номер задания	Правильный ответ	Номер задания	Правильный ответ
1	–8	12	5,25
2	2	13	1
3	0,875	14	1
4	25	15	45
5	32	16	32
6	24	17	42
7	1	18	76
8	1,5	19	13
9	400	20	235
10	24	21	135
11	13	22	3,40,2
		23	15

**Критерии оценивания выполнения заданий с развёрнутым ответом**

Выполнение заданий 24–30 (с развёрнутым ответом) оценивается предметной комиссией. На основе критериев, представленных в приведённых ниже таблицах, за выполнение каждого задания в зависимости от полноты и правильности данного экзаменуемым ответа выставляется от 0 до максимального балла.

24

В нижней половине незаряженного металлического шара располагается крупная шарообразная полость, заполненная воздухом. Шар находится в воздухе вдали от других предметов. В центр полости помещён положительный точечный заряд  $q > 0$  (см. рисунок). Нарисуйте картину линий напряжённости электростатического поля внутри полости, внутри проводника и снаружи шара. Если поле отсутствует, напишите в данной области:  $\vec{E} = 0$ . Если поле отлично от нуля, нарисуйте картину поля в данной области, используя восемь линий напряжённости. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

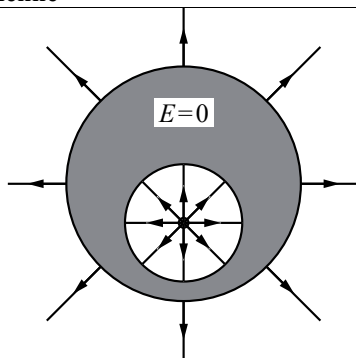
**Возможное решение**

1. Приведён схематический рисунок картины линий напряжённости: внутри полости – семейство прямых лучей, исходящих из заряда и приходящих на поверхность полости по нормали; снаружи шара – семейство прямых лучей, исходящих с поверхности шара по нормали к ней и уходящих в бесконечность.

2. Внутри проводника – электростатическое поле  $\vec{E} = 0$ .

3. Заряд  $q$  помещён в центр шарообразной полости, поэтому его электростатическое поле в полости обладает центральной симметрией и выглядит как поле уединённого точечного заряда  $q > 0$ , находящегося в центре полости. Линии напряжённости этого поля подходят по нормали к поверхности полости, где равномерно распределён отрицательный индуцированный заряд  $-q < 0$ .

4. На наружной поверхности шара находится (в силу нейтральности шара в целом) положительный заряд  $q > 0$ . Поскольку внутри проводника  $\vec{E} = 0$ , а снаружи окружающие предметы расположены далеко от шара, этот заряд распределён по поверхности шара равномерно. Его поле вне шара выглядит



как поле уединённого точечного заряда  $q > 0$ , расположенного в центре шара. Линии напряжённости отходят от шара по нормали к его поверхности

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>приведён схематический рисунок линий напряжённости поля в полости и снаружи шара, п. 1</i> ), и полное верное объяснение (в данном случае: <i>п. 2, 3</i> ) с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>отсутствие электрического поля внутри проводника, поле уединённого точечного заряда</i> )	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеется один или несколько из следующих недостатков.  В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.) И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты. И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения	2
Представлено решение, соответствующее <u>одному</u> из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u> , содержат ошибки. ИЛИ Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы,	1

закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

25

Плоская льдина плавает в воде, выступая над её поверхностью на  $h = 0,04$  м. Определите массу льдины, если площадь её поверхности  $S = 2500$  см<sup>2</sup>. Плотность льда равна 900 кг/м<sup>3</sup>.

**Возможное решение**

Так как льдина плавает,

$$F_A = mg,$$

$$\rho_b g(H - h)S = \rho_l gHS,$$

где  $\rho_b$  – плотность воды,

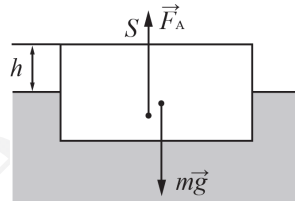
$\rho_l$  – плотность льда,

$H$  – толщина льдины,

$$\text{откуда } H = \frac{\rho_b h}{\rho_b - \rho_l};$$

$$m = \rho_l SH = \frac{\rho_l \rho_b Sh}{\rho_b - \rho_l} = \frac{1000 \cdot 900 \cdot 2500 \cdot 10^{-4} \cdot 0,04}{1000 - 900} = 90 \text{ кг.}$$

Ответ:  $m = 90$  кг

**Критерии оценивания выполнения задания****Баллы**

Приведено полное решение, включающее следующие элементы:

2

I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: *равенство силы тяжести силе Архимеда, выражение для силы Архимеда, связь массы тела с плотностью*);

II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);

III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.

1

Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.

И (ИЛИ)

В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.

И (ИЛИ)

В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.

И (ИЛИ)

Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла

0

Максимальный балл

2

26

Предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Оптическая сила линзы  $D = 5$  дптр. Изображение предмета действительное, увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета)  $k = 2$ . Найдите расстояние между предметом и его изображением.

**Возможное решение**

Расстояния от предмета и его изображения до линзы связаны между собой формулой тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

$$\text{Для увеличения линзы справедливы формулы: } \Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}.$$

$$\text{Таким образом, } f = \frac{1 + \Gamma}{D} = \frac{1 + 2}{5} = 0,6 \text{ м} = 60 \text{ см.}$$

$$d = \frac{f}{\Gamma} = \frac{60}{2} = 30 \text{ см.}$$

Искомое расстояние между предметом и его изображением

$$x = d + f = 30 + 60 = 90 \text{ см.}$$

Ответ:  $x = 90$  см

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула линзы, формула для увеличения линзы</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	2
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>	0
Максимальный балл	2

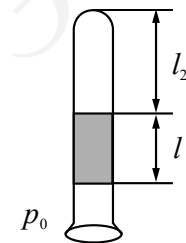
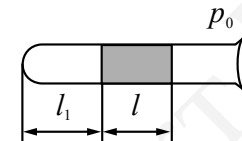
27

В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделённый от атмосферы столбиком ртути длиной  $l = 76$  мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха  $\Phi_1$  в ней равна 80%. Какой станет относительная влажность этого воздуха  $\Phi_2$ , если трубку поставить вертикально, открытым концом вниз? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст. Температуру считать постоянной.

## Возможное решение

1. Относительная влажность воздуха в трубке в первом случае:

$\Phi_1 = \frac{p_1}{p_n}$ , где  $p_1$  – давление водяных паров в трубке,  $p_n$  – давление насыщенных водяных паров при той же температуре. Для второго случая относительная влажность воздуха в трубке:  $\Phi_2 = \frac{p_2}{p_n}$ , где  $p_2$  – парциальное давление водяных паров в трубке.



2. Давление влажного воздуха в первом случае равно атмосферному давлению:  $p_{\text{вл}} = p_0$ , а во втором случае –  $p_{2\text{вл}} = p_0 - \rho g l$ , где  $\rho$  – плотность ртути, а  $l$  – длина столбика ртути. Заметим, что  $p_0 = \rho g H$ , где  $H = 760$  мм.

3. Объём влажного воздуха при изменении положения трубки изменился так, как изменились длины столбиков воздуха, запертых ртутью. Считаем влажный воздух идеальным газом. Поэтому по закону Бойля – Мариотта можем записать  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{p_0}{p_0 - \rho g l}$ .

4. Из уравнения Клапейрона – Менделеева следует, что  $p = \frac{\nu R T}{V}$ ,  $p_{\text{вл}} = \frac{(\nu + \nu_{\text{св}}) R T}{V}$ , где  $p$  – парциальное давление водяного пара,  $p_{\text{вл}}$  – давление влажного воздуха,  $\nu$  – количество молей водяного пара в трубке,  $\nu_{\text{св}}$  – количество молей сухого воздуха в трубке.

Отсюда следует, что  $\frac{p}{p_{\text{вл}}} = \frac{\nu}{\nu + \nu_{\text{св}}} = \text{const.}$



Поэтому  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_{1\text{вл}}}{p_{2\text{вл}}}$ , и для изотермического процесса для парциальных давлений водяного пара имеем:  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_0}{p_0 - \rho g l}$ .

5. После объединения записанных выше уравнений получим выражение для относительной влажности воздуха во втором случае:

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \frac{p_0 - \rho g l}{p_0} = \varphi_1 \cdot \frac{\rho g H - \rho g l}{\rho g H} = \varphi_1 \cdot \frac{H - l}{H} = 80 \cdot \frac{760 - 76}{760} = 72\%.$$

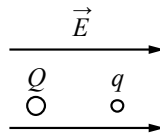
Ответ:  $\varphi_2 = 72\%$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражение для относительной влажности воздуха для двух случаев, формулы для давления влажного воздуха для двух случаев, формула гидростатического давления жидкости, уравнение Клапейрона – Менделеева, закон Бойля – Мариотта</i> ); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов); III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ	3

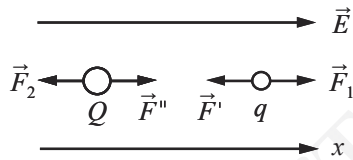
Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.  Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.  И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.  И (ИЛИ) В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.  И (ИЛИ) Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка	2
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.  ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.  ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

28

В однородном электрическом поле с напряжённостью  $E = 18 \text{ В/м}$  находятся два точечных заряда:  $Q = -1 \text{ нКл}$  и  $q = +5 \text{ нКл}$  с массами  $M = 5 \text{ г}$  и  $m = 10 \text{ г}$  соответственно (см. рисунок). На каком расстоянии  $d$  друг от друга находятся заряды, если их ускорения совпадают по величине и направлению? Сделайте рисунок с указанием всех сил, действующих на заряды. Силой тяжести пренебречь.

**Возможное решение**

1. Направим ось  $Ox$  по напряжённости электрического поля  $\vec{E}$ . На заряд  $q$  действуют две электрические силы:  $F_1 = qE$  со стороны однородного поля и сила Кулона  $F' = F = \frac{kq|Q|}{d^2}$  со стороны другого заряда. На заряд  $Q$  действуют сила  $F_2 = |Q|E$  со стороны однородного поля и сила Кулона  $F'' = F = \frac{kq|Q|}{d^2}$  со стороны заряда  $q$ .



2. В соответствии со вторым законом Ньютона в проекциях на ось  $Ox$  имеем:

$$ma = F_1 - F, \quad (1)$$

$$Ma = -F_2 + F. \quad (2)$$

Тогда из соотношений (1) и (2) и условия задачи получим:

$$\frac{F_1 - F}{m} = \frac{F - F_2}{M}. \quad (3)$$

3. Подставляя в (3) выражения для электрических сил, получим:

$$d = \sqrt{\frac{kq|Q|(m+M)}{E(m|Q|+qM)}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot (0,01 + 0,005)}{18(0,01 \cdot 1 \cdot 10^{-9} + 0,005 \cdot 5 \cdot 10^{-9})}} \approx 1 \text{ м.}$$

Ответ:  $d \approx 1 \text{ м}$

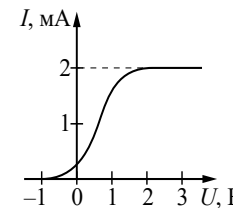
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон Кулона, второй закон Ньютона, формула для связи напряжённости электрического поля с силой, действующей на заряд</i>);</p> <p>II) сделан правильный рисунок с указанием сил, действующих на заряды;</p> <p>III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2



Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

29

В опыте по изучению фотоэффекта монохроматическое излучение мощностью  $P = 0,21$  Вт падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока  $I$  от напряжения  $U$  между анодом и катодом приведён на рисунке. Какова частота  $\nu$  падающего света, если в среднем один из 30 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?



Возможное решение	
<p>1. По определению силы тока <math>I = \frac{q}{t}</math>, где <math>q</math> – заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время <math>t</math>.</p> <p>2. Когда ток в цепи достигает насыщения, все фотоэлектроны, выбитые из катода, достигают анода. Тогда за время <math>t</math> через поперечное сечение проводника проходит заряд <math>q = N_e e t</math>, где <math>e</math> – модуль заряда электрона, <math>N_e</math> – количество фотоэлектронов, выбитых из катода за 1 с.</p> <p>Так как <math>N_e = \frac{1}{30} N_{\Phi}</math> (где <math>N_{\Phi}</math> – количество фотонов, падающих на катод за 1 с), то <math>I_{\max} = \frac{1}{30} N_{\Phi} e</math>.</p> <p>3. Так как энергия фотона <math>E_{\Phi} = h\nu</math>, то мощность излучения <math>P = \frac{W}{t} = N_{\Phi} h\nu = \frac{30 I_{\max} h\nu}{e}</math>.</p> <p>4. Окончательно получим: <math>\nu = \frac{Pe}{30 I_{\max} h}</math>. Согласно приведённому графику сила тока насыщения <math>I_{\max} = 2</math> мА, тогда <math>\nu = \frac{0,21 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{30 \cdot 0,002 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}} \approx 8,5 \cdot 10^{14}</math> Гц.</p> <p>Ответ: <math>\nu \approx 8,5 \cdot 10^{14}</math> Гц</p>	
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>определение силы тока; связь силы тока насыщения с количеством фотонов, падающих на катод в единицу времени; выражения для энергии фотона и мощности излучения</i>); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии</p>	3

задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов); III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	
Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.  Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.  И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачёркнуты.  И (ИЛИ) В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.  И (ИЛИ) Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка	2
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.  ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.  ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

30

В маленький шар массой  $M = 230$  г, висющий на нити длиной  $l = 50$  см, попадает и застревает в нём горизонтально летящая пуля. Минимальная скорость пули  $v_0$ , при которой шар после этого совершит полный оборот в вертикальной плоскости, равна 120 м/с. Чему равна масса пули? Сопротивлением воздуха пренебречь. Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

Возможное решение
<p><b>Обоснование</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной.</li> <li>2. Тела считаем материальными точками.</li> <li>3. Для описания взаимодействия пули и шара использован закон сохранения импульса системы тел. Он выполняется в инерциальной системе отсчёта, если сумма внешних сил, приложенных к телам системы, равна нулю. В данном случае проекции внешних сил (силы тяжести и силы натяжения нити) на горизонтальную ось в момент взаимодействия равны нулю. Следовательно, можно использовать закон сохранения импульса в проекциях на эту ось.</li> <li>4. Для дальнейшего движения шара с застрявшей в нём пулей будет справедлив закон сохранения механической энергии, поскольку сопротивлением воздуха по условию задачи можно пренебречь, а единственная неконсервативная сила, действующая на шар, – сила натяжения нити – не совершает работы при движении шара по окружности, поскольку она всюду перпендикулярна скорости движения шара.</li> <li>5. Условие минимальности <math>v_0</math> означает, что шар совершает полный оборот в вертикальной плоскости, но при этом натяжение нити в верхней точке (и только в ней!) обращается в нуль.</li> </ol> <p><b>Решение</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закон сохранения импульса связывает скорость пули <math>v_0</math> перед ударом со скоростью <math>v_1</math> составного тела массой <math>m + M</math> сразу после удара: <math display="block">mv_0 = (m + M)v_1,</math> а закон сохранения механической энергии – скорость составного тела сразу после удара с его скоростью <math>v_2</math> в верхней точке: <math display="block">\frac{(m + M)v_1^2}{2} = \frac{(m + M)v_2^2}{2} + (m + M)g \cdot 2l.</math> </li> <li>2. Второй закон Ньютона в проекциях на радиальное направление <math>x</math> в верхней точке принимает вид <math display="block">(m + M)g = \frac{(m + M)v_2^2}{l}.</math> </li> </ol>

Выразив отсюда  $v_2^2$  и подставив этот результат в закон сохранения энергии, получим:

$$v_1 = \sqrt{5gl}.$$

3. Подставив выражение для  $v_1$  в закон сохранения импульса, получим:

$$m = \frac{M\sqrt{5gl}}{v_0 - \sqrt{5gl}} = \frac{0,23\sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5}}{120 - \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5}} = 0,01 \text{ кг.}$$

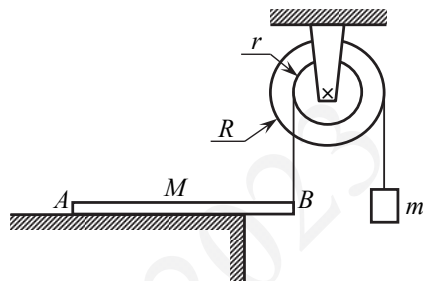
Ответ:  $m = 10 \text{ г}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<b>Критерий 1</b>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: выбор инерциальной системы отсчёта, модель материальной точки, условия применимости законов сохранения импульса и механической энергии, условие прохождения верхней точки траектории	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
<b>Критерий 2</b>	
I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: закон сохранения импульса, закон сохранения механической энергии, второй закон Ньютона для движения тела по окружности; учтено, что в верхней точке сила натяжения нити обращается в нуль); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов); III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	3

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.	2
Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.	
И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.	
И (ИЛИ) В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.	
И (ИЛИ) Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.	1
ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	
ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	4

**ИЛИ****30**

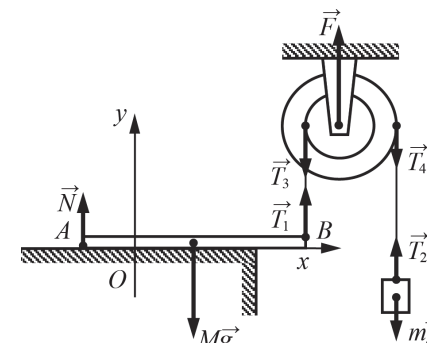
Однородный брусок  $AB$  массой  $M$  постоянного прямоугольного сечения лежит на гладкой горизонтальной поверхности стола, свешиваясь с него менее чем наполовину (см. рисунок). К правому концу бруска прикреплена лёгкая нерастяжимая нить. Другой конец нити закреплён на меньшем из двух дисков идеального составного блока. На большем диске этого блока закреплена другая лёгкая нерастяжимая нить, на которой висит груз массой  $m = 1$  кг. Диски скреплены друг с другом, образуя единое целое.  $R = 10$  см,  $r = 5$  см. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на брусок  $M$ , блок и груз  $m$ . Найдите минимальное значение  $M$ , при котором система тел остаётся неподвижной. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.

**Возможное решение****Обоснование**

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной (ИСО).
2. Брусок перед отрывом его правого края от поверхности стола будем считать твёрдым телом с осью вращения, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку  $A$ . Условие равновесия относительно вращения твёрдого тела на оси – равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно этой оси.
3. Нити нерастяжимы, поэтому, если покоится брусок, то покоятся и все остальные тела системы.
4. Нити лёгкие, поэтому величина силы натяжения каждой нити в любой её точке одна и та же. В том числе:  $T_1 = T_3$ ,  $T_2 = T_4$  (см. рисунок в решении).
5. Блок идеальный (трения в осях нет, масса блока пренебрежимо мала). Поэтому условие равновесия блока – равенство нулю суммы моментов сил натяжения нитей относительно оси блока.
6. Груз может двигаться только поступательно вдоль вертикальной оси  $Oy$ , лежащей в плоскости рисунка. Поэтому для груза используем модель материальной точки и применим второй закон Ньютона. Вследствие этого условие равновесия – сумма приложенных к грузу сил равна нулю.

**Решение**

1. Силы, действующие на брусок, блок и груз, показаны на рисунке для случая, когда масса бруска минимальна, и поэтому он ещё покоится на столе, но касается стола только в точке  $A$ . Поэтому сила  $\vec{N}$  приложена к бруску в точке  $A$  и направлена вертикально вверх, так как поверхность стола гладкая (трения нет).



2. Запишем уравнение моментов

сил для бруска в момент, когда он покоится, касаясь стола только в точке  $A$ :

$$T_1 \cdot AB - Mg \cdot \frac{AB}{2} = 0,$$

откуда

$$T_1 = \frac{Mg}{2}.$$

3. Запишем второй закон Ньютона для покоящегося груза в проекциях на ось  $Oy$  введённой ИСО:

$$T_2 - mg = 0,$$

откуда

$$T_2 = mg.$$

4. Условие равновесия блока на его оси:

$$T_3 \cdot r = T_4 \cdot R.$$

С учётом того, что  $T_1 = T_3$ ,  $T_2 = T_4$ , получим отсюда

$$T_1 \cdot r = T_2 \cdot R.$$

5. Подставив в это равенство результаты п. 2 и 3, получим:

$$\frac{Mg}{2} \cdot r = mg \cdot R.$$

Отсюда

$$M = 2m \cdot \frac{R}{r} = 2 \cdot 1 \text{ кг} \cdot \frac{0,1 \text{ м}}{0,05 \text{ м}} = 4 \text{ кг}.$$

Ответ:  $\min M = 4 \text{ кг}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<b>Критерий 1</b>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). <i>В данном случае: выбор инерциальной системы отсчёта, модель твёрдого тела, модель материальной точки, особенности применимости условий равновесия</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
<b>Критерий 2</b>	
I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнение моментов сил для двух тел, второй закон Ньютона</i> ); II) сделан правильный рисунок с указанием сил, действующих на тела; III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин ( <i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i> ); IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	3

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.  Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты. И (ИЛИ) В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги. И (ИЛИ) Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	2
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	4

В соответствии с Порядком проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам среднего общего образования (приказ Минпросвещения России и Рособрнадзора от 07.11.2018 № 190/1512, зарегистрирован Минюстом России 10.12.2018 № 52952)

«82. <...> По результатам первой и второй проверок эксперты независимо друг от друга выставляют баллы за каждый ответ на задания экзаменационной работы ЕГЭ с развёрнутым ответом. <...>

В случае существенного расхождения в баллах, выставленных двумя экспертами, назначается третья проверка. Существенное расхождение в баллах определено в критериях оценивания по соответствующему учебному предмету.

Эксперту, осуществляющему третью проверку, предоставляется информация о баллах, выставленных экспертами, ранее проверявшими экзаменационную работу».

Существенными считаются следующие расхождения.

1. Расхождение между баллами, выставленными двумя экспертами за выполнение любого из заданий 24–29 и за выполнение задания 30 по критерию K2, в 2 или более балла. В этом случае третий эксперт проверяет только те ответы на задания, которые вызвали столь существенное расхождение.

2. Расхождение в результатах оценивания двумя экспертами ответа на одно из заданий 24–30 заключается в том, что один эксперт указал на отсутствие ответа на задание, а другой выставил за выполнение этого задания ненулевой балл. В этом случае третий эксперт проверяет только ответы на задания, которые были оценены со столь существенным расхождением. Ситуации, в которых один эксперт указал на отсутствие ответа в экзаменационной работе, а второй эксперт выставил нулевой балл за выполнение этого задания, не являются ситуациями существенного расхождения в оценивании.