

## Вариант 2

### 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, 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	$10^9$	санти	с	$10^{-2}$
мега	М	$10^6$	милли	м	$10^{-3}$
кило	к	$10^3$	микро	мк	$10^{-6}$
гекто	г	$10^2$	нано	н	$10^{-9}$
деци	д	$10^{-1}$	пико	п	$10^{-12}$

#### 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	$0 \text{ К} = -273 \text{ }^\circ\text{С}$
атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
1 атомная единица массы эквивалентна	$931,5 \text{ МэВ}$
1 электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

#### Масса частиц

электрона	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \approx 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.}$
протона	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,007 \text{ а.е.м.}$
нейтрона	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,008 \text{ а.е.м.}$

#### Плотность

воды	$1000 \text{ кг/м}^3$	подсолнечного масла	$900 \text{ кг/м}^3$
древеси́ны (сосна)	$400 \text{ кг/м}^3$	алюминия	$2700 \text{ кг/м}^3$
керосина	$800 \text{ кг/м}^3$	железа	$7800 \text{ кг/м}^3$
		ртути	$13\,600 \text{ кг/м}^3$

#### Удельная теплоёмкость

воды	$4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	алюминия	$900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
льда	$2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	меди	$380 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
железа	$460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	чугуна	$500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
свинца	$130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$		

#### Удельная теплота

парообразования воды	$2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг
плавления свинца	$2,5 \cdot 10^4$ Дж/кг
плавления льда	$3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг

**Нормальные условия:** давление –  $10^5$  Па, температура –  $0$  °С

**Молярная масса**

азота	$28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	гелия	$4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
аргона	$40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	кислорода	$32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
водорода	$2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	лития	$6 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
воздуха	$29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	неона	$20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
воды	$18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	углекислого газа	$44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

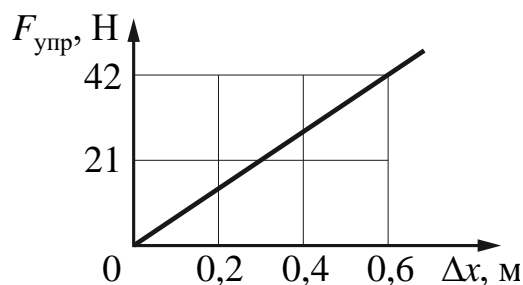
## Часть 1

*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 пишете в отдельной клеточке в соответствии с приведёнными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

- 1 Материальная точка движется с постоянной по модулю скоростью  $v$  по окружности радиусом  $R$ . Во сколько раз увеличится модуль её центростремительного ускорения, если скорость точки увеличить вдвое, а радиус окружности вдвое уменьшить?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз (а).

- 2 На рисунке представлен график зависимости силы упругости пружины от величины её деформации. Определите жёсткость этой пружины.



Ответ: \_\_\_\_\_ Н/м.

- 3 У основания гладкой наклонной плоскости шайба массой 20 г обладает кинетической энергией, равной 0,16 Дж. Определите максимальную высоту, на которую шайба может подняться по наклонной плоскости относительно основания.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

4

В таблице представлены данные о положении шарика, прикреплённого к пружине и колеблющегося вдоль горизонтальной оси  $Ox$ , в различные моменты времени.

$t, c$	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
$x, мм$	0	5	9	12	14	15	14	12	9	5	0	-5	-9	-12	-14	-15	-14

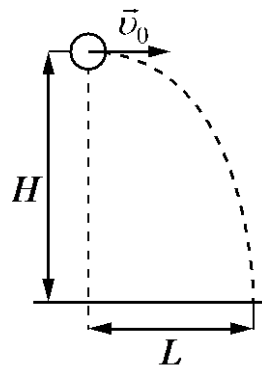
Из приведённого ниже списка выберите **все** верные утверждения относительно движения шарика.

- 1) Потенциальная энергия пружины в момент времени 2,0 с максимальна.
- 2) Период колебаний шарика равен 4,0 с.
- 3) Кинетическая энергия шарика в момент времени 1,0 с минимальна.
- 4) Амплитуда колебаний шарика равна 30 мм.
- 5) Полная механическая энергия маятника, состоящего из шарика и пружины, в момент времени 2,0 с минимальна.

Ответ: \_\_\_\_\_.

5

Шарик, брошенный горизонтально с высоты  $H$  с начальной скоростью  $v_0$ , за время  $t$  пролетел в горизонтальном направлении расстояние  $L$  (см. рисунок). Что произойдёт с временем и дальностью полёта, если на этой же установке увеличить начальную скорость шарика в 2 раза? Сопротивлением воздуха пренебречь. Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:



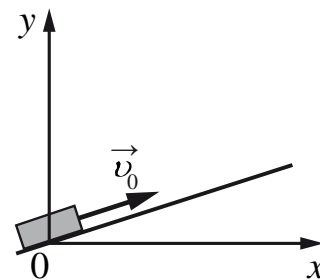
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

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

Время полёта	Дальность полёта

6

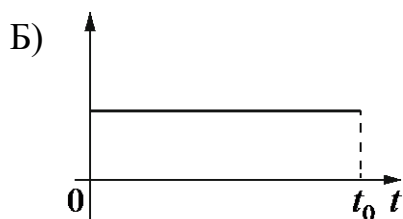
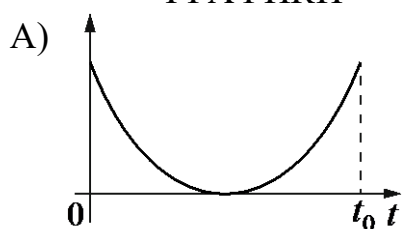
После удара в момент времени  $t=0$  шайба начала скользить вверх по гладкой наклонной плоскости с начальной скоростью  $\vec{v}_0$ , как показано на рисунке. В момент времени  $t_0$  шайба вернулась в исходное положение. Графики А и Б отображают изменение с течением времени физических величин, характеризующих движение шайбы.



Установите соответствие между графиками и физическими величинами, изменение которых со временем эти графики могут отображать.

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

## ГРАФИКИ



## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) проекция скорости  $v_x$
- 2) проекция ускорения  $a_y$
- 3) полная механическая энергия  $E_{\text{мех}}$
- 4) кинетическая энергия  $E_k$

Ответ:

А	Б

7

Газ в цилиндре переводится из состояния А в состояние В так, что его масса при этом не изменяется. Параметры, определяющие состояния идеального газа, приведены в таблице:

	$p, 10^5 \text{ Па}$	$V, 10^{-3} \text{ м}^3$	$T, \text{ К}$
состояние А	1,0	4	
состояние В	1,5	8	900

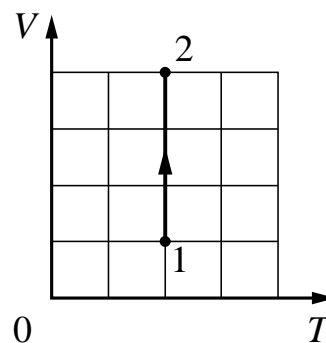
Какое число следует внести в свободную клетку таблицы?

Ответ: \_\_\_\_\_.

8 Температура алюминиевой детали массой 6 кг увеличилась от 60 °С до 100 °С. Какое количество теплоты получила деталь при нагревании? Потери в окружающую среду пренебечь.

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

9 На  $V$ - $T$ -диаграмме показан процесс изменения состояния 1 моль одноатомного идеального газа. Газ в этом процессе совершил работу, равную 6 кДж. Какое количество теплоты получил газ?



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

10 При изучении явления теплообмена герметичный теплоизолированный сосуд с одноатомным идеальным газом разделили неподвижной перегородкой, способной проводить тепло, на две одинаковые части. После этого газ в разных частях сосуда нагрели до разных температур. Температура газа в части А равна 396 К, а в части Б равна 30 °С. Количество газа одинаково в обеих частях сосуда. Считая, что теплоёмкость сосуда пренебрежимо мала, выберите все утверждения, которые верно отражают изменения, происходящие с газом в дальнейшем после окончания нагревания.

- 1) При теплообмене газ в части А отдавал положительное количество теплоты, а газ в части Б его получал.
- 2) Через достаточно большой промежуток времени температура газа в обеих частях сосуда стала одинаковой и равной 123 °С.
- 3) Внутренняя энергия газа в части А уменьшилась.
- 4) В результате теплообмена газ в сосуде Б не совершал работу.
- 5) Температура газа в части Б понизилась.

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 11** Установите соответствие между процессами, в которых участвует 1 моль одноатомного идеального газа, и физическими величинами ( $\Delta U$  – изменение внутренней энергии;  $A$  – работа газа), которые их характеризуют. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ПРОЦЕССЫ

- А) изотермическое расширение  
 Б) изохорное охлаждение

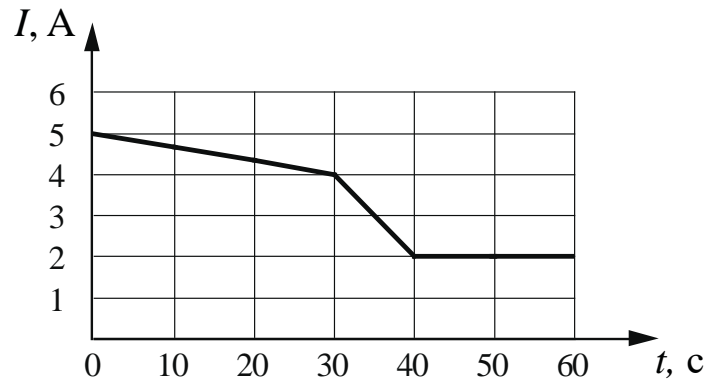
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1)  $\Delta U = 0; A > 0$   
 2)  $\Delta U < 0; A = 0$   
 3)  $\Delta U > 0; A = 0$   
 4)  $\Delta U < 0; A > 0$

Ответ:

А	Б

- 12** На графике показана зависимость силы тока в проводнике от времени. Определите заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за первые  $\Delta t = 30$  с.

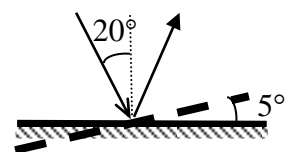


Ответ: \_\_\_\_\_ Кл.

- 13** Чему равна индуктивность катушки, если при силе тока 4 А энергия её магнитного поля равна 0,01 Дж?

Ответ: \_\_\_\_\_ мГн.

- 14** Угол падения света на горизонтальное плоское зеркало равен  $20^\circ$ . Каким будет угол между падающим и отраженным лучами, если повернуть зеркало на  $5^\circ$  так, как показано на рисунке?

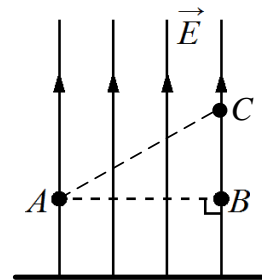


Ответ: \_\_\_\_\_ градусов.



15

На рисунке изображены линии напряжённости однородного электростатического поля, образованного равномерно заряженной протяжённой металлической пластиной. Из приведенного ниже списка выберите **все** верные утверждения.



- 1) Заряд пластины положительный
- 2) Потенциал электростатического поля в точке  $B$  выше, чем в точке  $C$
- 3) Работа сил электростатического поля по перемещению точечного положительного заряда из точки  $A$  и в точку  $B$  положительна
- 4) Если в точку  $B$  поместить точечный отрицательный заряд, то на него со стороны пластины будет действовать сила, направленная вертикально вверх
- 5) Напряжённость поля в точке  $A$  меньше, чем в точке  $C$

Ответ: \_\_\_\_\_.

16

Частица массой  $m$ , несущая заряд  $q$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  по окружности радиусом  $R$  со скоростью  $v$ . Что произойдёт с радиусом орбиты и периодом обращения частицы при увеличении кинетической энергии частицы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

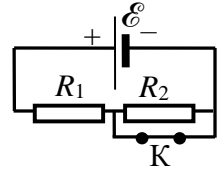
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.

Радиус орбиты частицы	Период обращения частицы

17

На рисунке показана цепь постоянного тока. Сопротивления обоих резисторов одинаковы и равны  $R$ . Внутренним сопротивлением источника тока можно пренебречь. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать ( $\mathcal{E}$  – ЭДС источника тока). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) тепловая мощность на резисторе  $R_1$  при замкнутом ключе К  
 Б) тепловая мощность на резисторе  $R_1$  при разомкнутом ключе К

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{\mathcal{E}^2}{2R}$   
 2)  $\frac{\mathcal{E}^2}{R}$   
 3)  $\frac{2\mathcal{E}^2}{R}$   
 4)  $\frac{\mathcal{E}^2}{4R}$

Ответ:

А	Б

18

В вакууме распространяются две монохроматические электромагнитные волны. Длина первой волны в 5 раза больше длины второй волны. Чему равно отношение  $\frac{P_1}{P_2}$  импульсов фотонов первой и второй волн?

Ответ: \_\_\_\_\_.

**19**

На металлическую пластинку направили пучок света от лазера, вызвав фотоэффект. Интенсивность лазерного излучения плавно увеличивают, не меняя его частоты. Как изменятся в результате этого запирающее напряжение и максимальная скорость фотоэлектронов?

Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.

Запирающее напряжение	Максимальная скорость фотоэлектронов

**20**

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

- 1) При равноускоренном движении ускорение тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково.
- 2) В процессе кипения жидкости при постоянном внешнем давлении её температура не меняется.
- 3) Сила тока короткого замыкания определяется только внутренним сопротивлением источника.
- 4) В поперечной механической волне колебания частиц происходят в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.
- 5) В результате  $\alpha$ -распада элемент смещается в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева на две клетки ближе к концу.

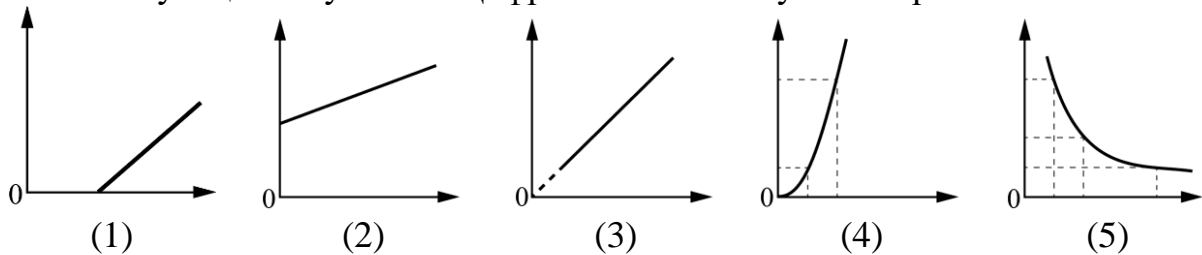
Ответ: \_\_\_\_\_.

21

Даны следующие зависимости величин:

- А) зависимость проекции перемещения тела, движущегося равноускоренно вдоль оси  $Ox$ , от времени движения при начальной скорости тела равной нулю;
- Б) зависимость напряжения электрического поля конденсатора ёмкостью  $C$  от заряда конденсатора;
- В) зависимость энергии фотонов, падающих на поверхность фотокатода, от их частоты.

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.

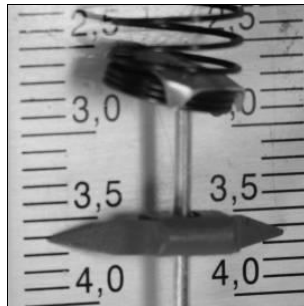


Ответ:

А	Б	В

22

Определите показания динамометра (см. рисунок), если абсолютная погрешность прямого измерения силы равна цене деления динамометра. Динамометр проградуирован в ньютонах.



Ответ: ( \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ ) Н.

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

23

Необходимо собрать экспериментальную установку, с помощью которой можно определить плотность меди. Для этого школьник взял стакан с водой и медный шарик с крючком.

Какое дополнительное оборудование необходимо использовать для проведения этого эксперимента? Из приведённого ниже перечня оборудования выберите две позиции.

- 1) мензурка
- 2) термометр
- 3) пружина
- 4) секундомер
- 5) электронные весы

В ответе запишите номера выбранных позиций.

Ответ:

--	--



***Не забудьте перенести все ответы в бланк ответов № 1 в соответствии с инструкцией по выполнению работы.***

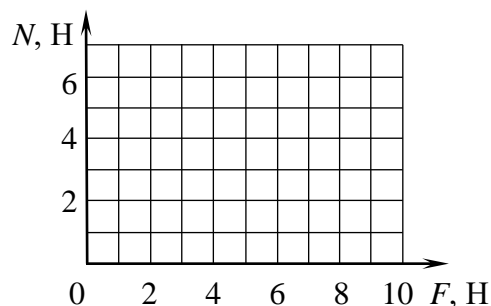
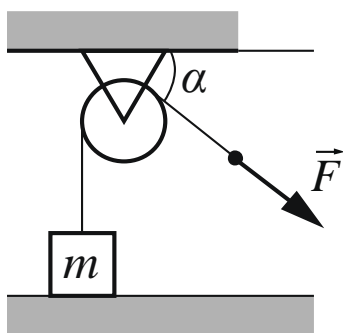
***Проверьте, чтобы каждый ответ был записан в строке с номером соответствующего задания.***

## Часть 2

*Для записи ответов на задания 24–30 используйте БЛАНК ОТВЕТОВ № 2. Запишите сначала номер задания (27, 28 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

**24** Лёгкая нить, привязанная к грузу массой  $m=0,4$  кг, перекинута через идеальный неподвижный блок. К правому концу нити приложена постоянная сила  $\vec{F}$ . Левая часть нити вертикальна, а правая наклонена под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (см. рисунок).

Постройте график зависимости модуля силы реакции стола  $N$  от  $F$  на отрезке  $0 \leq F \leq 10$  Н. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к грузу.



*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.*

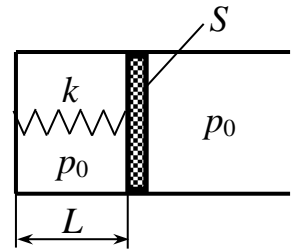
**25** В калориметре находятся в тепловом равновесии вода и лёд. После опускания в калориметр болта, имеющего массу 165 г и температуру  $-40^\circ\text{C}$ , 20% воды превратилось в лёд. Удельная теплоёмкость материала болта равна  $500$  Дж/(кг · К). Какая масса воды первоначально находилась в калориметре? Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

26

Между горизонтальными обкладками плоского конденсатора висит заряженная капелька ртути. Какова разность потенциалов обкладок, если расстояние между ними равно 2 см, заряд капельки равен  $5,44 \cdot 10^{-18}$  Кл, а объём капельки равен  $2 \cdot 10^{-18}$  м<sup>3</sup>?

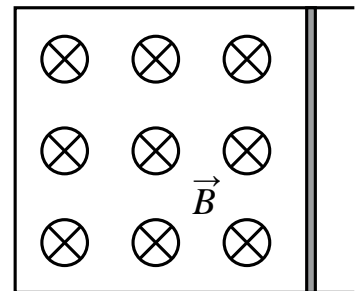
27

В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем площадью  $S$  находится одноатомный идеальный газ. Поршень соединён с основанием цилиндра пружиной. В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра было равно  $L$ , а давление газа в цилиндре было равно внешнему атмосферному давлению  $p_0$  (см. рисунок). Затем газу было передано количество теплоты  $Q$ , и в результате поршень медленно переместился вправо на расстояние  $b$ . Чему равна жёсткость пружины  $k$ ?



28

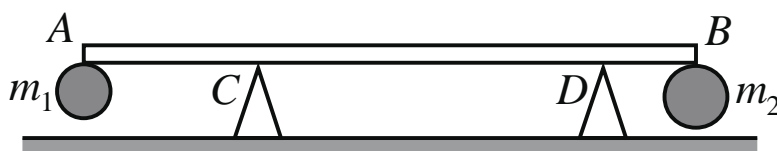
Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплён в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1 м. Сопротивление перемычки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл. С какой установившейся скоростью будет двигаться перемычка, если к ней приложить постоянную горизонтальную силу 1,13 Н? Коэффициент трения между стержнем и перемычкой равен 0,25. Сопротивлением стержня пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на перемычку.



29

Фотоэлектроны, выбитые монохроматическим светом из металла с работой выхода  $A_{\text{вых}} = 1,89$  эВ, попадают в однородное электрическое поле  $E = 100$  В/м. Какова частота света  $\nu$ , если длина тормозного пути у фотоэлектронов, чья начальная скорость максимальна и направлена вдоль линий напряжённости поля  $\vec{E}$ , составляет  $d = 8,7$  мм?

**30** Два небольших шара массами  $m_1 = 0,2$  кг и  $m_2 = 0,3$  кг закреплены на концах невесомого стержня  $AB$ , расположенного горизонтально на опорах  $C$  и  $D$  (см. рисунок). Расстояние между опорами  $l = 0,6$  м, а расстояние  $AC$  равно  $0,2$  м. Чему равна длина стержня  $L$ , если сила давления стержня на опору  $D$  в 2 раза больше, чем на опору  $C$ ? Сделайте рисунок с указанием внешних сил, действующих на систему тел «стержень и шары». Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



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



### Ответы к заданиям

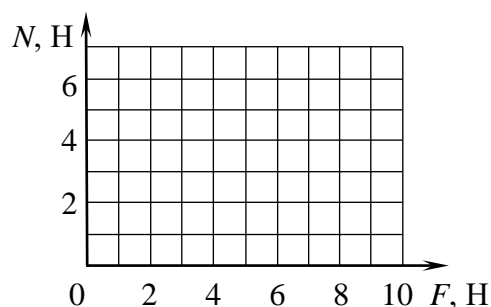
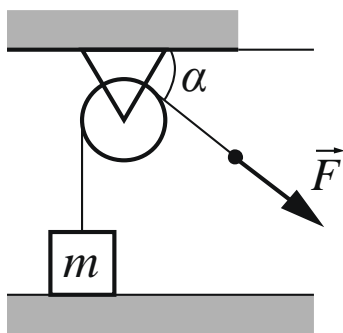
№ задания	Ответ
1	8
2	70
3	0,8
4	23
5	31
6	43
7	300
8	216
9	6
10	134
11	12
12	135
13	1,25
14	30
15	12
16	13
17	24
18	0,2
19	33
20	24
21	433
22	3,60,1
23	15

## Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

24

Лёгкая нить, привязанная к грузу массой  $m=0,4$  кг, перекинута через идеальный неподвижный блок. К правому концу нити приложена постоянная сила  $\vec{F}$ . Левая часть нити вертикальна, а правая наклонена под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (см. рисунок).

Постройте график зависимости модуля силы реакции стола  $N$  от  $F$  на отрезке  $0 \leq F \leq 10$  Н. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к грузу.



### Возможное решение

1. Если сила  $\vec{F}$  достаточно мала, груз покоится относительно стола (эту систему отсчёта будем считать инерциальной). На груз при этом действуют сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила реакции со стороны стола  $\vec{N}$  и сила натяжения нити  $\vec{T}$ , показанные на рис. 1.

Запишем второй закон Ньютона для груза в проекциях на ось  $y$  введённой системы отсчёта:  $N + T - mg = 0$ .

Поскольку нить лёгкая, а блок идеальный, модуль силы натяжения нити во всех точках одинаков, поэтому  $T = F$ .

Отсюда получаем:  $N = mg - F \geq 0$  при  $F \leq mg = 4$  Н.

2. При  $F > mg = 4$  Н груз отрывается от стола и движется вдоль оси  $y$  с ускорением. На груз при этом действуют только сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила натяжения нити  $\vec{T}'$ , показанные на рис. 2, а модуль силы реакции стола  $N = 0$ .

Таким образом: а) при  $F \leq mg = 4$  Н  $N = mg - F$ ;

б) при  $F > mg = 4$  Н  $N = 0$ .

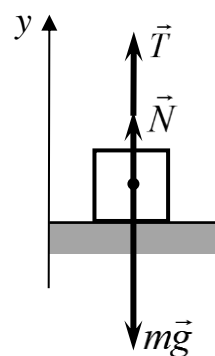


Рис. 1

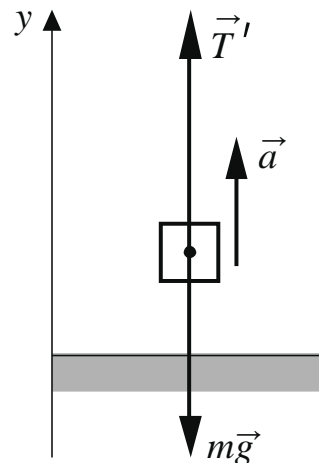
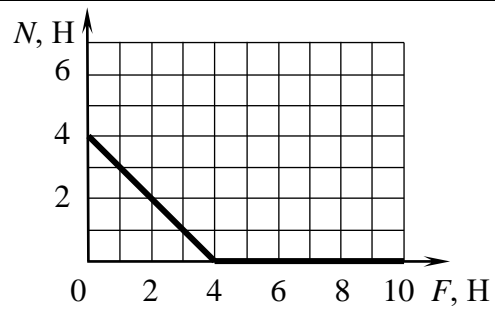


Рис. 2

3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае $n = 3$ ) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>второй закон Ньютона, условие отрыва груза от стола</i> )	3
<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>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)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты. И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее <b>одному</b> из следующих случаев.</p> <p>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</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. ИЛИ</p>	1

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, 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
<i>Максимальный балл</i>	3

25

В калориметре находятся в тепловом равновесии вода и лёд. После опускания в калориметр болта, имеющего массу 165 г и температуру  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 20% воды превратилось в лёд. Удельная теплоёмкость материала болта равна  $500\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Какая масса воды первоначально находилась в калориметре? Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

Возможное решение	
<p>Так как вода и лёд находятся в тепловом равновесии, то и до опускания болта, и после его нагревания температура в сосуде <math>t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}</math>. Согласно уравнению теплового баланса количество теплоты, выделившееся при замерзании воды, было затрачено на нагревание болта:</p> <p><math>0,2m \cdot r = cm_1(t_0 - t)</math>, где <math>m</math> – масса воды в сосуде, <math>m_1</math> – масса болта, <math>c</math> – удельная теплоёмкость болта, <math>r</math> – удельная теплота плавления льда, <math>t</math> – начальная температура болта.</p> <p>Получим: <math>m = \frac{cm_1(t_0 - t)}{0,2r} = \frac{500 \cdot 0,165 \cdot 40}{0,2 \cdot 3,3 \cdot 10^5} = 0,05\text{ кг}</math>.</p> <p>Ответ: <math>m = 0,05\text{ кг}</math></p>	
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>условие теплового равновесия воды и льда, формулы для расчёта количества теплоты при нагревании и кристаллизации, уравнение теплового баланса</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>	2

<p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, 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>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	2

26

Между горизонтальными обкладками плоского конденсатора висит заряженная капля ртути. Какова разность потенциалов обкладок, если расстояние между ними равно 2 см, заряд капли равен  $5,44 \cdot 10^{-18}$  Кл, а объём капли равен  $2 \cdot 10^{-18}$  м<sup>3</sup>?

Возможное решение	
1. Заряженная капля ртути будет находиться в покое, если сила тяжести уравновешивается силой, действующей со стороны электрического поля:	
$mg = qE.$	(1)
2. Напряжённость электростатического поля в конденсаторе связана с разностью потенциалов и расстоянием между пластинами соотношением	
$E = \frac{\Delta\varphi}{d}.$	(2)
3. Массу капли найдём из формулы	
$m = \rho V,$	(3)
где $\rho$ – плотность ртути, $V$ – объём капли.	

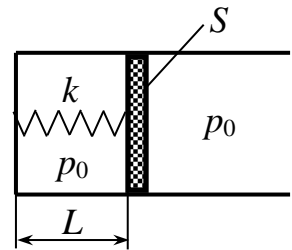
4. Из уравнений (1), (2) и (3) получаем:

$$\Delta\varphi = \frac{\rho Vgd}{q} = \frac{13\,600 \cdot 2 \cdot 10^{-18} \cdot 10 \cdot 0,02}{5,44 \cdot 10^{-18}} = 1000 \text{ В} = 1 \text{ кВ.}$$

Ответ:  $\Delta\varphi = 1 \text{ кВ}$

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>условие равновесия, связь напряжённости электростатического поля с разностью потенциалов и расстоянием между пластинами конденсатора, формула плотности</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к <u>правильному числовому ответу</u> (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен <u>правильный ответ</u> 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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи измерения величины)</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	2

В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем площадью  $S$  находится одноатомный идеальный газ. Поршень соединён с основанием цилиндра пружиной. В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра было равно  $L$ , а давление газа в цилиндре было равно внешнему атмосферному давлению  $p_0$  (см. рисунок). Затем газу было передано количество теплоты  $Q$ , и в результате поршень медленно переместился вправо на расстояние  $b$ . Чему равна жёсткость пружины  $k$ ?



### Возможное решение

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. В процессе медленного движения поршня его ускорение считаем ничтожно малым. Поэтому сумма приложенных к поршню сил при его движении равна нулю. В проекциях на горизонтальную ось  $x$  получаем:

$$F_1 - F_0 - F_{\text{упр}} = 0,$$

где  $F_0$  – сила давления атмосферы на поршень,  $F_1$  – сила давления газа в цилиндре на поршень,  $F_{\text{упр}}$  – упругая сила, действующая на поршень со стороны пружины.

2. Из равенства давлений слева и справа от поршня в начальном состоянии и гладкости стенок следует, что в начальном состоянии пружина недеформирована. Поэтому при смещении поршня вправо от начального положения на величину  $x$  модуль упругой силы  $F_{\text{упр}} = kx$ . Тогда

$$F_1 = p(x)S = F_0 + F_{\text{упр}} = p_0S + kx,$$

и давление в цилиндре при смещении поршня вправо от начального положения на величину  $x$  определяется по формуле  $p(x) = p_0 + \frac{kx}{S}$  (рис. 2).

3. Используем модель одноатомного идеального газа

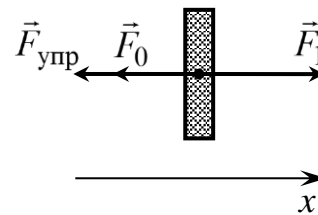
$$\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \frac{3}{2} \nu RT. \end{cases}$$


Рис. 1

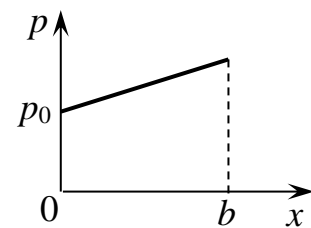


Рис. 2

Отсюда получаем:  $U = \frac{3}{2} pV$ . Внутренняя энергия газа в исходном состоянии  $U_1 = \frac{3}{2} p_0 SL$ , а в конечном состоянии

$$U_2 = \frac{3}{2} p(b) \cdot S(L+b) = \frac{3}{2} \left( p_0 + \frac{kb}{S} \right) S(L+b).$$

4. Из первого начала термодинамики получаем:  $Q = U_2 - U_1 + A_{12}$ .

Работа газа  $A_{12}$  при сдвиге поршня из начального состояния в конечное равна произведению величины  $S$  и площади трапеции под графиком  $p(x)$  на рис. 2:

$A_{12} = \frac{1}{2} [p(0) + p(b)] Sb = \left( p_0 S + \frac{kb}{2} \right) b$ . Подставляя в выражение для  $Q$  значения  $U_1$ ,  $U_2$  и  $A_{12}$ , получим:

$$Q = \frac{3}{2} (p_0 S + kb)(L+b) - \frac{3}{2} p_0 SL + \left( p_0 S + \frac{kb}{2} \right) b = \frac{3}{2} kbL + \frac{5}{2} p_0 Sb + 2kb^2.$$

Решая это уравнение относительно  $k$ , получим:  $k = \frac{2Q - 5p_0 Sb}{3bL + 4b^2}$ .

Ответ:  $k = \frac{2Q - 5p_0 Sb}{3bL + 4b^2}$

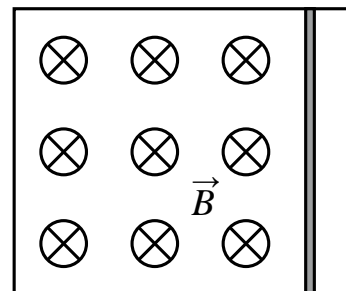
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>второй закон Ньютона, закон Гука, уравнение Клапейрона – Менделеева, выражение для внутренней энергии идеального одноатомного газа, первый закон термодинамики, вычисление работы с помощью площади под графиком</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ</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 пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p>	2



<p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>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</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	3

28

Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплён в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1 м. Сопротивление перемычки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл. С какой установившейся скоростью будет двигаться перемычка, если к ней приложить



постоянную горизонтальную силу 1,13 Н? Коэффициент трения между стержнем и перемычкой равен 0,25. Сопротивлением стержня пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на перемычку.

Возможное решение	
<p>При движении перемычки в однородном магнитном поле на её концах возникает ЭДС электромагнитной индукции: <math>\mathcal{E} = BVl</math>, где <math>B</math> – индукция магнитного поля; <math>V</math> и <math>l</math> – соответственно скорость и длина перемычки. Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает индукционный ток: <math>I_{\text{эф.ä}} = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{BVl}{R}</math>, где <math>R</math> – сопротивление перемычки.</p> <p>Поскольку скорость перемычки постоянна, то ЭДС и индукционный ток также будут постоянными. Согласно правилу Ленца индукционный ток, возникающий в контуре, будет направлен так, чтобы своим магнитным полем препятствовать увеличению магнитного потока при движении перемычки, т.е. против часовой стрелки (см. рисунок). Благодаря появлению индукционного тока на перемычку со стороны магнитного поля начнёт действовать сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки в противоположную движению сторону: <math>F_A = BI_{\text{эф.ä}}l = \frac{B^2l^2V}{R}</math>.</p> <p>На перемычку действуют пять сил: сила тяжести <math>m\vec{g}</math>, сила реакции опоры <math>\vec{N}</math>, сила трения <math>\vec{F}_{\text{оп}}</math>, сила Ампера <math>\vec{F}_A</math> и сила <math>\vec{F}</math>, приложенная к перемычке (см. рисунок). Перемычка движется с постоянной скоростью, поэтому её ускорение равно нулю. Проекции второго закона Ньютона имеют вид: <math>Ox: 0 = F - F_{\text{оп}} - F_A</math>; <math>Oy: 0 = N - mg</math>. Сила трения скольжения <math>F_{\text{оп}} = \mu N = \mu mg</math>. В итоге получаем:</p> $V = \frac{(F - \mu mg)R}{(Bl)^2} = \frac{(1,13 - 0,25 \cdot 0,092 \cdot 10) \cdot 0,1}{(0,15 \cdot 1)^2} = 4 \text{ м/с.}$ <p>Ответ: <math>V = 4 \text{ м/с}</math></p>	
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      1) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения</p>	3

<p>задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражения для ЭДС индукции, индукционного тока, силы Ампера, силы трения, второй закон Ньютона</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений величин, используемых в условии задачи</i>);</p> <p>III) представлен правильный рисунок с указанием сил, действующих на переключку;</p> <p>IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, 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>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются следующие недостатки.</p> <p>Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/ вычисления не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена</p>	1

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

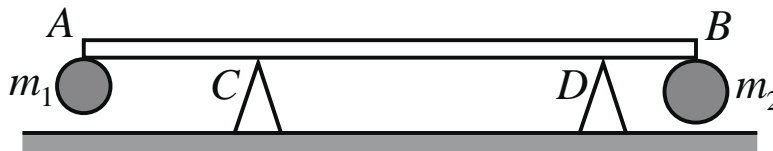
29

Фотоэлектроны, выбитые монохроматическим светом из металла с работой выхода  $A_{\text{вых}} = 1,89 \text{ эВ}$ , попадают в однородное электрическое поле  $E = 100 \text{ В/м}$ . Какова частота света  $\nu$ , если длина тормозного пути у фотоэлектронов, чья начальная скорость максимальна и направлена вдоль линий напряжённости поля  $\vec{E}$ , составляет  $d = 8,7 \text{ мм}$ ?

Возможное решение	
<p>Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:</p> $h\nu = A_{\text{вых.}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}. \quad (1)$ <p>Фотоэлектроны, влетевшие в электрическое поле <math>\vec{E}</math>, будут тормозиться им и, пройдя тормозной путь <math>d</math>, остановятся, затем начнут двигаться обратно. Закон сохранения энергии для вылетевшего фотоэлектрона:</p> $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} - e\varphi_1 = -e\varphi_2,$ <p>откуда с учётом <math>\varphi_2 - \varphi_1 = -U &lt; 0</math> получаем:</p> $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = eU = eEd, \quad (2)$ <p>где <math>e</math> – модуль заряда электрона.</p> <p>Объединяя (1) и (2), имеем:</p> $\nu = \frac{A_{\text{вых.}} + eEd}{h} = \frac{1,89 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 100 \cdot 8,7 \cdot 10^{-3}}{6,6 \cdot 10^{-34}} \approx 6,7 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$ <p>Ответ: <math>\nu \approx 6,7 \cdot 10^{14} \text{ Гц}</math></p>	
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>уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, связь разности потенциалов с напряжённостью однородного электрического поля и закон сохранения энергии</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>	3

<p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, 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>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>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</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

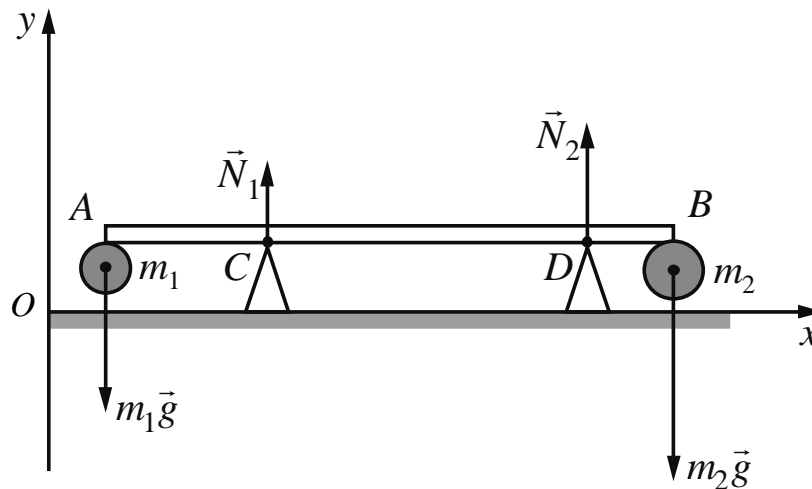
Два небольших шара массами  $m_1 = 0,2$  кг и  $m_2 = 0,3$  кг закреплены на концах невесомого стержня  $AB$ , расположенного горизонтально на опорах  $C$  и  $D$  (см. рисунок). Расстояние между опорами  $l = 0,6$  м, а расстояние  $AC$  равно  $0,2$  м. Чему равна длина стержня  $L$ , если сила давления стержня на опору  $D$  в 2 раза больше, чем на опору  $C$ ? Сделайте рисунок с указанием внешних сил, действующих на систему тел «стержень и шары». Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



#### Возможное решение

##### Обоснование

1. Выберем систему отсчёта, неподвижно связанную с Землёй, и будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Стержень будем считать твёрдым телом с осью вращения, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку  $A$ .
3. Сумма сил, приложенных к стержню, равна нулю, так как он не движется поступательно.
4. Условие равновесия относительно вращательного движения – равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно оси, проходящей через точку  $A$ .
5. На твёрдое тело, образованное стержнем и двумя шарами, действуют силы тяжести  $m_1\vec{g}$  и  $m_2\vec{g}$ , приложенные к центрам шаров, и силы реакции опор  $\vec{N}_1$  и  $\vec{N}_2$ . По третьему закону Ньютона, модули сил реакции равны соответствующим модулям сил давления стержня на опоры, поэтому  $N_2 = 2N_1$  (в соответствии с условием задачи).



### Решение

В инерциальной системе отсчёта  $Oxy$ , связанной с Землёй, условия равновесия твёрдого тела приводят к системе уравнений:

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - m_1 g - m_2 g = 0 - \text{центр масс не движется вдоль оси } Oy; \\ N_1 x + N_2 (l + x) - m_2 g L = 0 - \text{нет вращения вокруг оси, проходящей} \\ \text{перпендикулярно рисунку через точку } A. \end{cases}$$

Здесь  $x = AC = 0,2$  м – плечо силы реакции  $N_1$ .

С учётом условия  $N_2 = 2N_1$  систему логично привести к виду:

$$\begin{cases} 3N_1 = (m_1 + m_2) g; \\ (3x + 2l)N_1 = m_2 g L. \end{cases}$$

Поделив второе уравнение на первое, получим:

$$L \frac{m_2}{m_1 + m_2} = x + \frac{2}{3}l, \text{ откуда:}$$

$$L = \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) \cdot \left(x + \frac{2}{3}l\right) = \left(1 + \frac{0,2}{0,3}\right) \cdot \left(0,2 + \frac{2}{3} \cdot 0,6\right) = 1 \text{ м.}$$

Ответ:  $L = 1$  м

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<b>Критерий 1</b>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: выбор инерциальной системы отсчёта, модель твёрдого тела, особенности применимости условий равновесия	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
<b>Критерий 2</b>	

<p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>условия равновесия твёрдого тела относительно поступательного и вращательного движения</i>);</p> <p>II) сделан правильный рисунок с указанием сил, действующих на тела;</p> <p>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>);</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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе</p>	1



<p>решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>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</p>	
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	4