

## Справочные данные

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

### Десятичные приставки

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	$10^9$	сантиметры	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 (элементарный электрический заряд)	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
постоянная Планка	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

### Соотношения между различными единицами

температура	$0 \text{ К} = -273 \text{ }^\circ\text{C}$
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	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
1 астрономическая единица	$1 \text{ а.е.} \approx 150 \text{ 000 000 км}$
1 световой год	$1 \text{ св. год} \approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$
1 парсек	$1 \text{ пк} \approx 3,26 \text{ св. года}$

### 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	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,008 \text{ а.е.м.}$

<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	13600 кг/м <sup>3</sup>

### Удельная теплоёмкость

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

### Удельная теплота

парообразования воды	$2,3 \cdot 10^8 \text{ Дж/кг}$
плавления свинца	$2,5 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$
плавления льда	$3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$

**Нормальные условия:** давление  $10^5 \text{ Па}$ , температура  $0 \text{ }^\circ\text{C}$

### Молярная масса

азота	$28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	кислорода	$32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
аргона	$40 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	лития	$6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
водорода	$2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	молибдена	$96 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
воздуха	$29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	неона	$20 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
воды	$18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	углекислого газа	$44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
гелия	$4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$		

ВАРИАНТ 5

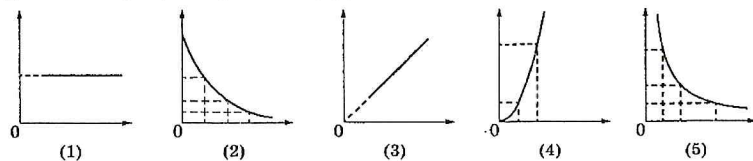
Часть I

Ответы 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 Выберите все верные утверждения о физических явлениях, величинах и закономерностях. Запишите цифры, под которыми они указаны.
- 1) При соскальзывании шайбы по гладкой наклонной плоскости её полная механическая энергия остаётся неизменной, а потенциальная энергия убывает.
  - 2) Средняя скорость движения броуновской частицы в газе зависит от температуры газа, но не зависит от массы самой частицы.
  - 3) В электрически изолированной системе тел алгебраическая сумма электрических зарядов тел сохраняется.
  - 4) Дифракция рентгеновского излучения принципиально невозможна.
  - 5) Число нуклонов в ядре атома определяет основные химические свойства элемента.

Ответ: \_\_\_\_\_.

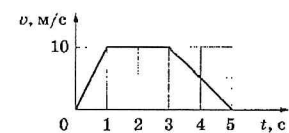
- 2 Даны следующие зависимости величин:
- А) зависимость скорости тела, движущегося равномерно, от времени движения  
 Б) зависимость длины волны электромагнитного излучения в среде от абсолютного показателя преломления среды  
 В) зависимость числа нераспавшихся ядер радиоактивного элемента от времени
- 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

- 3 На рисунке представлен график зависимости модуля скорости  $v$  прямолинейно движущегося тела от времени  $t$ . Определите по графику путь, пройденный телом в интервале времени от 1 до 5 с.



Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 4 Автобус массой 6 т движется со скоростью 18 км/ч. Чему равна кинетическая энергия автобуса?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

- 5 Гидростатическое давление, создаваемое водой на дне озера, без учёта давления атмосферы равно  $4 \cdot 10^5$  Па. Какова глубина озера?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 6 Тело совершает гармонические колебания вдоль оси  $Ox$ . В таблице приведены координаты этого тела через равные промежутки времени.

$t$ , с	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$x$ , см	0	2	4	2	0	2	4

Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения о характере движения тела.

- 1) Частота колебаний тела равна 2,5 Гц.
- 2) В момент времени 0,4 с модуль ускорения тела максимален.
- 3) Амплитуда колебаний тела равна 4 см.
- 4) В момент времени 1,0 с тело проходит положение равновесия.
- 5) В момент времени 0,6 с тело обладает максимальной потенциальной энергией.

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 7 В результате перехода искусственного спутника Земли с одной круговой орбиты на другую его центростремительное ускорение уменьшается. Как изменяются в результате этого перехода скорость движения спутника по орбите и период его обращения вокруг Земли?

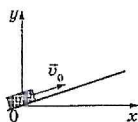
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

Скорость движения спутника по орбите	Период обращения спутника вокруг Земли

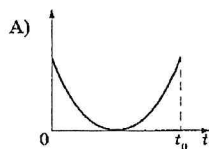
8 После удара шайба начала скользить вверх по гладкой наклонной плоскости со скоростью  $\vec{v}_0$ , как показано на рисунке, и в момент  $t = t_0$  вернулась в исходное положение. Графики А и Б отображают изменение с течением времени физических величин, характеризующих движение шайбы.



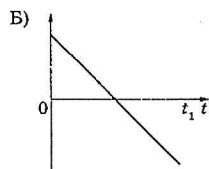
Установите соответствие между графиками и физическими величинами, изменение которых со временем эти графики могут отображать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ



- 1) кинетическая энергия  $E_k$
- 2) проекция скорости  $v_x$
- 3) координата  $x$
- 4) полная механическая энергия  $E_{мех}$



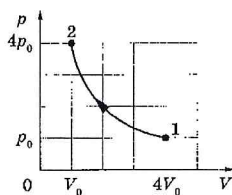
Ответ:

А	Б

9 При температуре  $2T_0$  и давлении  $p_0$  идеальный газ в количестве 1 моль занимает объём  $2V_0$ . Сколько моль этого газа при температуре  $T_0$  и том же давлении  $p_0$  занимают объём  $V_0$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ моль.

10 На  $pV$ -диаграмме показан процесс изменения состояния 4 моль идеального одноатомного газа. Газ отдал в окружающую среду количество теплоты, равное 2,5 кДж. На сколько уменьшилась внутренняя энергия газа в этом процессе?

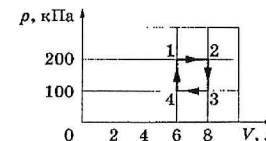


Ответ: на \_\_\_\_\_ кДж.

11 В сосуде под поршнем находится воздух с относительной влажностью 20%. Поршень сдвигают, уменьшая объём. Во сколько раз уменьшится объём сосуда к моменту, когда при неизменной температуре водяной пар в сосуде станет насыщенным?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

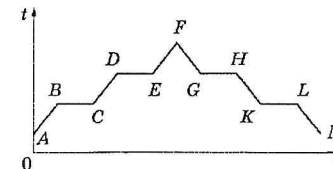
12 С идеальным газом происходит циклический процесс 1-2-3-4-1,  $pV$ -диаграмма которого представлена на рисунке. Максимальная температура, достигаемая газом в этом процессе, составляет 400 К. На основании анализа этого циклического процесса выберите все верные утверждения.



- 1) Количество вещества газа, участвующего в циклическом процессе, превышает 0,5 моля.
- 2) Работа газа при его изобарном расширении равна 400 Дж.
- 3) Работа, совершённая над газом при его изобарном сжатии, равна 100 Дж.
- 4) На участке 2-3 газ отдаёт положительное количество теплоты.
- 5) Минимальная температура газа в циклическом процессе равна 100 К.

Ответ: \_\_\_\_\_.

13 В цилиндре под поршнем находилось твёрдое вещество. Цилиндр поместили в печь. Сначала цилиндр нагревали, а в некоторый момент начали охлаждать. На рисунке схематично показан график изменения температуры  $t$  вещества с течением времени  $\tau$ .



Установите соответствие между участками графика и процессами, отображаемыми этими участками.

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

УЧАСТКИ ГРАФИКА

ПРОЦЕССЫ

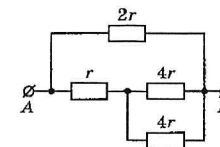
- А)  $KL$
- Б)  $GH$

- 1) конденсация
- 2) кристаллизация
- 3) нагревание пара
- 4) кипение

Ответ:

А	Б

14 На рисунке показан участок цепи  $AB$  постоянного тока. Каково сопротивление этого участка, если  $r = 5 \text{ Ом}$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



15 В катушке индуктивностью 1 мГн сила тока в течение 0,1 с равномерно возрастает от 0 до некоторого конечного значения. При этом в катушке наблюдается ЭДС самоиндукции, модуль которой равен 0,2 В. Определите конечное значение силы тока в катушке.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

16 Перед плоским зеркалом, закреплённым на вертикальной стене, на расстоянии 80 см стоит девушка ростом 160 см. На сколько уменьшится расстояние между девушкой и её изображением в этом зеркале, если она встанет на расстоянии 50 см от зеркала?

Ответ: на \_\_\_\_\_ см.

17 Две маленькие закреплённые бусинки, расположенные в точках А и В, несут на себе заряды  $+q > 0$  и  $-2q$  соответственно (см. рисунок).



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно этой ситуации.

- 1) Если бусинки соединить медной проволокой, они будут притягивать друг друга.
- 2) На бусинку В со стороны бусинки А действует сила Кулона, направленная горизонтально вправо.
- 3) Модули сил Кулона, действующих на бусинки А и В, одинаковы.
- 4) Если бусинки соединить незаряженной стеклянной палочкой, их заряды не изменятся.
- 5) Напряжённость результирующего электростатического поля в точке С направлена горизонтально влево.

Ответ: \_\_\_\_\_.

18 Внешний участок электрической цепи представляет собой отрезок провода с большим удельным сопротивлением. Он подключён к источнику тока, поддерживающему на клеммах постоянное напряжение. Затем первоначальный отрезок провода заменили отрезком такого же провода, но вдвое большей длины. Как изменились в результате такой замены сила тока и мощность тока на внешнем участке цепи?

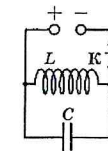
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

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

Сила тока	Мощность тока

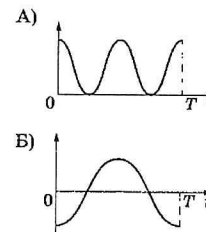
19 Катушка индуктивности идеального колебательного контура длительное время подключена к источнику постоянного напряжения (см. рисунок). В момент  $t = 0$  ключ К размыкают. На графиках А и Б представлены изменения физических величин, характеризующих свободные электромагнитные колебания в контуре после этого ( $T$  — период колебаний).



Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости 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

- 1) заряд правой обкладки конденсатора
- 2) сила тока в катушке
- 3) энергия электрического поля конденсатора
- 4) энергия магнитного поля катушки

Ответ: 

А	Б

20 На рисунке представлен фрагмент Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева. Под названием каждого элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов. При этом нижний индекс около массового числа указывает (в процентах) распространённость изотопа в природе.

2	II	Li литий 7 <sub>93</sub> 6 <sub>7,4</sub>	3	Be бериллий 9 <sub>100</sub>	4	B бор 11 <sub>80</sub> 10 <sub>20</sub>	5	
3	III	Na натрий 23 <sub>100</sub>	11	Mg магний 24 <sub>79</sub> 26 <sub>11</sub> 25 <sub>10</sub>	12	Al алюминий 27 <sub>100</sub>	13	Al
4	IV	K калий 39 <sub>93</sub> 41 <sub>6,7</sub>	19	Ca кальций 40 <sub>97</sub> 44 <sub>2,1</sub>	20	Sc скандий 45 <sub>100</sub>	21	Sc
	V	Cu медь 63 <sub>69</sub> 65 <sub>31</sub>	29	Zn цинк 64 <sub>49</sub> 66 <sub>28</sub> 68 <sub>19</sub>	30	Ga галлий 69 <sub>60</sub> 71 <sub>40</sub>	31	Ga

Укажите число протонов и число нейтронов в ядре самого распространённого изотопа калия.

Число протонов	Число нейтронов

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

21 Ядро испытывает электронный  $\beta$ -распад. Как меняются при этом число протонов в ядре и массовое число ядра?

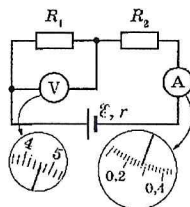
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается                      2) уменьшается                      3) не изменяется

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

Число протонов в ядре	Массовое число ядра

22 Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки, двух резисторов, амперметра и вольтметра. После этого он провёл измерения напряжения на одном из резисторов и силы тока в цепи. Погрешности измерения силы тока в цепи и напряжения на источнике равны цене деления амперметра и вольтметра. Чему равно по результатам этих измерений напряжение на резисторе  $R_1$ ? Вольтметр проградуирован в вольтах (В).



Ответ: (      $\pm$      ) В.

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

23 Ученик изучает свободные электромагнитные колебания. В его распоряжении имеются пять аналогичных колебательных контуров с различными катушками индуктивности и конденсаторами, характеристики которых указаны в таблице. Какие два колебательных контура необходимо взять ученику для того, чтобы на опыте исследовать зависимость периода свободных колебаний заряда конденсатора от индуктивности катушки?

№ контура	Максимальное напряжение на конденсаторе, В	Емкость конденсатора С, мкФ	Индуктивность катушки L, мГн
1	10	6	4
2	8	10	6
3	14	12	12
4	8	12	6
5	10	6	8

Запишите в ответе номера выбранных контуров.

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 На столе установили два незаряженных электрметра и соединили их алюминиевым стержнем с изолирующей ручкой (рис. а). Затем к первому электрметру поднесли, не касаясь шара, положительно заряженную палочку (рис. б). Не убирая палочки, убрали стержень, а затем убрали палочку.

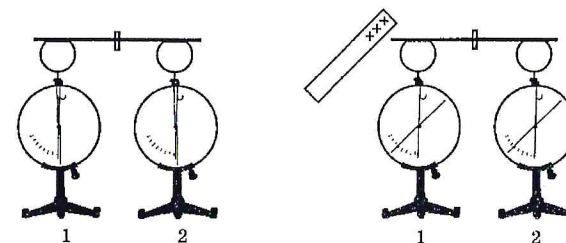
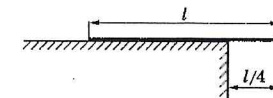


Рис. а

Рис. б

Ссылаясь на известные Вам законы и явления, объясните, почему электрметры оказались заряженными, и определите знаки заряда каждого из электрметров после того, как палочку убрали.

25 Деревянная линейка длиной  $l = 90$  см выдвинута за край стола на  $1/4$  часть своей длины. При этом она не опрокидывается, если на её правом конце лежит груз массой не более 100 г (см. рисунок). Далее линейку выдвинули вправо за край стола на  $1/3$  часть своей длины. Груз какой максимальной массы можно положить на правый конец линейки в этом случае, чтобы она не перевернулась?

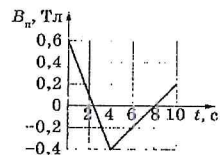


26 При облучении натриевого фотокатода светом частотой  $\nu = 7,0 \cdot 10^{14}$  Гц запирающее напряжение для фотоэлектронов равно 0,6 В. Найдите длину волны, соответствующую «красной границе» фотоэффекта для натрия.

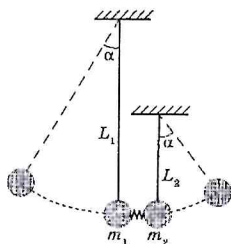
27 Для того чтобы совершить воздушный полёт, бесстрашный изобретатель, масса которого 60 кг, решил использовать воздушные шары, наполненные гелием. Какое минимальное количество шаров необходимо, чтобы изобретатель смог подняться в воздух, если каждый шар можно надувать гелием при нормальном атмосферном давлении до объема в 15 л? Температура окружающего воздуха равна 27 °С. Массой оболочек шаров и их упругостью, а также силой Архимеда, действующей на изобретателя, пренебречь.

- 28 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>?

- 29 Квадратная проволочная рамка со стороной  $l = 10$  см находится в однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ . На рисунке изображена зависимость проекции вектора  $\vec{B}$  на перпендикуляр к плоскости рамки от времени. За время  $t = 10$  с в рамке выделилось количество теплоты, равное 0,16 мДж. Определите сопротивление рамки  $R$ .



- 30 Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью лёгкая пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз. В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Во сколько раз одна нить длиннее другой, если отношение масс шариков  $\frac{m_2}{m_1} = 1,5$ ? Считать величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.



Какие законы Вы использовали для описания взаимодействия тел? Обоснуйте их применимость к данному случаю.



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

## ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

### Задания с кратким ответом

За правильный ответ на каждое из заданий 3–5, 9–11, 14–16, 20, 22 и 23 ставится по 1 баллу. Эти задания считаются выполненными верно, если правильно указаны требуемое число или две цифры.

Каждое из заданий 7, 8, 13, 18, 19 и 21 оценивается в 2 балла, если верно указаны оба элемента верного ответа; в 1 балл, если допущена одна ошибка; в 0 баллов, если оба элемента указаны неверно. Если в ответе указано более двух элементов (в том числе, возможно, и правильные) или ответ отсутствует, — 0 баллов.

Задание 2 оценивается в 2 балла, если верно указаны все три элемента верного ответа; в 1 балл, если допущена одна ошибка; в 0 баллов, если два элемента указаны неверно. Если в ответе указано более трёх элементов (в том числе, возможно, и правильные) или ответ отсутствует, — 0 баллов.

Каждое из заданий 1, 6, 12 и 17 оценивается в 2 балла, если верно указаны все элементы верного ответа; в 1 балл, если допущена одна ошибка или дополнительно к верным элементам указан один неверный; в 0 баллов — во всех остальных случаях.

5
13
152
30
75
40
24
21
12
1
0
5
24
21
6
20
60
34
22
42
1920
13
5 4,60,2 (
15

ество «Национ.  
ких целях без



4. Сумма приложенных к твёрдому телу внешних сил равна нулю (условие равновесия твёрдого тела относительно поступательного движения). Поэтому сумма моментов этих сил относительно любых двух параллельных осей одна и та же. Для удобства выберем ось, проходящую перпендикулярно плоскости рисунка через центр масс стержня (точку  $O$ ).

**Решение**

1. По закону Гука модуль силы упругости равен  $F = k\Delta l$ .

Так как растяжения пружин одинаковы, то  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{k_2}{k_1} = 3$ ,

где  $F_1, F_2$  — модули сил упругости левой и правой пружин соответственно.

2. Условия равновесия стержня с грузом имеют вид

$$F_1 + F_2 = Mg + mg.$$

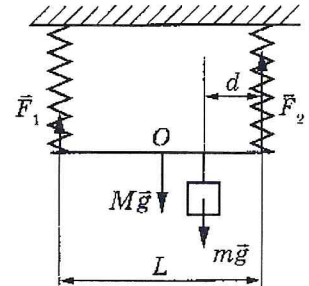
$F_1 \cdot \frac{L}{2} + mg \cdot \left(\frac{L}{2} - d\right) = F_2 \cdot \frac{L}{2}$  — правило моментов относительно оси  $O$ , проходящей через центр масс стержня перпендикулярно плоскости рисунка (см. рисунок).

3. Объединяя пункты 1 и 2, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 4F_1 = Mg + mg \\ mg \cdot \left(\frac{L}{2} - d\right) = F_1 L. \end{cases}$$

4. Из системы уравнений пункта 3 получаем  $M = \frac{m(L - 4d)}{L} = \frac{3 \cdot (0,4 - 0,2)}{0,4} = 1,5$  кг.

Ответ:  $M = 1,5$  кг.



### Вариант 5

24

**Возможное решение**

1. Электрометр 1 имеет отрицательный заряд, а электрометр 2 — положительный.
2. При поднесении положительно заряженной палочки к шару электрометра 1 электроны в шаре, стержне и стрелке электрометра 2 по алюминиевому стержню в электрическом поле, созданном палочкой, стали перемещаться на поверхность шара электрометра 1. Благодаря этому электрометр 1 приобретает отрицательный заряд. Движение электронов будет происходить до тех пор, пока все точки металлических частей двух электрометров не будут иметь одинаковые потенциалы.
3. Поскольку два соединённых алюминиевым стержнем электрометра образуют изолированную систему, то согласно закону сохранения заряда отрицательный заряд электрометра 1 в точности равен по модулю положительному заряду электрометра 2.
4. После того как убрали стержень, показания электрометров не изменились.

25

**Возможное решение**

1. Пусть  $M$  — масса линейки,  $m$  — масса груза. При максимальной массе груза, который неподвижен относительно линейки, сила реакции стола действует на линейку только по краю стола.



2. Запишем уравнение моментов для первого случая относительно оси вращения, проходящей через край стола перпендикулярно плоскости рисунка:

$$Mg(l/4) = m_1g(l/4). \quad (1)$$

3. Уравнение моментов для второго случая относительно оси вращения, проходящей через край стола перпендикулярно плоскости рисунка:

$$Mgl/6 = m_2gl/3, \quad (2)$$

где  $m_2$  — искомая масса второго груза.

4. Решая уравнения (1) и (2), получим:

$$m_2 = \frac{m_1}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ кг} = 50 \text{ г.}$$

Ответ:  $m_2 = 50 \text{ г.}$

26

**Возможное решение**

1. Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_{\text{зап}}, \quad (1)$$

где  $A_{\text{вых}}$  — работа выхода электронов с поверхности металла,  $e$  — элементарный электрический заряд,  $U_{\text{зап}}$  — модуль запирающего напряжения для фотоэлектронов.

2. Формула для длины волны  $\lambda_{\text{кр}}$ , соответствующей «красной границе» фотоэффекта, имеет вид:

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}. \quad (2)$$

3. Решая уравнения (1) и (2), окончательно получим:

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{hc}{h\nu - eU_{\text{зап}}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 7 \cdot 10^{14} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,6} \approx 541 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 541 \text{ нм.}$$

Ответ:  $\lambda_{\text{кр}} = 541 \text{ нм.}$

27

**Возможное решение**

Для того чтобы шарики подняли в воздух изобретателя, необходимо, чтобы сила Архимеда, действующая на шарики, превышала силу тяжести, действующую на изобретателя и гелий в шариках:  $F_{\text{Арх}} \geq Mg + m_{\text{г}}g$ ; где  $F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{в}}NV_0g = m_{\text{в}}g$  —  $N$  — количество шариков;  $V_0$  — объём одного шарика;  $\rho_{\text{в}}$  и  $m_{\text{в}}$  — соответственно плотность и масса вытесненного шариками атмосферного воздуха;  $m_{\text{г}}$  — масса гелия в шариках.

Для атмосферного воздуха и гелия справедливо уравнение Менделеева — Клапейрона:  $p_0NV_0 = \frac{m_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}}RT$  и  $p_0NV_0 = \frac{m_{\text{г}}}{\mu_{\text{г}}}RT$ , где  $p_0$  — атмосферное давление,  $\mu_{\text{в}}$  и  $\mu_{\text{г}}$  — молярные массы соответственно воздуха и гелия.

Выражая массы газов, окончательно получим:

$$N \geq \frac{MRT}{p_0V_0(\mu_{\text{в}} - \mu_{\text{г}})} = \frac{60 \cdot 8,31 \cdot 300}{10^6 \cdot 0,015 \cdot (0,029 - 0,004)} \approx 3989.$$

Ответ:  $N \approx 3989.$

28

## Возможное решение

1. Заряженная капелька ртути будет находиться в покое, если сила тяжести уравновешивается силой, действующей со стороны электрического поля:

$$mg = qE. \quad (1)$$

2. Напряжённость электростатического поля в конденсаторе связана с разностью потенциалов и расстоянием между пластинами соотношением

$$E = \frac{\Delta\varphi}{d}. \quad (2)$$

3. Массу капельки найдём из формулы

$$m = \rho V, \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность ртути,  $V$  — объём капельки.

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

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

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

29

## Возможное решение

При изменении магнитного поля поток вектора магнитной индукции  $\Phi(t) = B(t)S$  через рамку площадью  $S = l^2$  изменяется, что создаёт в ней ЭДС индукции  $\mathcal{E}$ . В соответствии с законом индукции Фарадея

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} S.$$

Эта ЭДС вызывает в рамке ток, сила которого определяется законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} \frac{S}{R}.$$

Согласно закону Джоуля — Ленца за время  $\Delta t$  в рамке выделится количество теплоты:

$$Q = I^2 R \Delta t = \frac{S^2 (\Delta B_n)^2}{R \Delta t} = \frac{l^4 (\Delta B_n)^2}{R \Delta t}.$$

За время  $\Delta t_1 = t_1 = 4$  с на первом участке графика  $\Delta B_1 = B_1 - B_0 = -1$  Тл, а на втором участке  $\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 6$  с и  $\Delta B_2 = B_2 - B_1 = 0,6$  Тл, поэтому суммарное количество выделившейся теплоты

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{l^4}{R} \left[ \frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2} \right].$$

Отсюда сопротивление рамки:

$$R = \frac{l^4}{Q} \left[ \frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2} \right].$$

Подставив значения величин, получим  $R = \frac{0,1^4}{1,6 \cdot 10^{-4}} \left( \frac{1^2}{4} + \frac{0,6^2}{6} \right) \approx 0,2 \text{ Ом}$ .

Ответ:  $R \approx 0,2 \text{ Ом}$ .

30

**Возможное решение****Обоснование**

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Шарики имеют малые размеры по сравнению с длиной нити, поэтому описываем их моделью материальной точки.
3. При пережигании нити пружина толкает оба шарика, действуя на шарики внутренней силой — силой упругости, все внешние силы, действующие на систему двух шариков, направлены вертикально (силы тяжести и натяжения нитей), поэтому сохраняется горизонтальная проекция импульса системы шариков, поскольку импульс пружины пренебрежимо мал из-за её малой массы.
4. В процессе движения каждого шарика на нити к верхней точке своей траектории на каждый из них действуют сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила натяжения нити  $\vec{T}$ . Изменение механической энергии шарика в ИСО равно работе всех непотенциальных сил, приложенных к нему. В данном случае единственной такой силой является сила натяжения нити  $\vec{T}$ . В каждой точке траектории  $\vec{T} \perp \vec{v}$ , где  $\vec{v}$  — скорость шарика, поэтому работа силы  $\vec{T}$  равна нулю, а механическая энергия каждого шарика на этом участке его движения сохраняется.

**Решение**

После пережигания нити пружина распрямится, сообщая шарикам начальные скорости  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ . Запишем закон сохранения импульса для системы шариков в проекциях на ось  $x$  (см. рисунок):

$$0 = -m_1 v_1 + m_2 v_2.$$

Для описания дальнейшего движения каждого шарика воспользуемся законом сохранения полной механической энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = m_1 g h_1 = m_1 g L_1 (1 - \cos \alpha),$$

$$\frac{m_2 v_2^2}{2} = m_2 g h_2 = m_2 g L_2 (1 - \cos \alpha).$$

Поделив эти равенства друг на друга почленно, получим:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^2.$$

Из закона сохранения импульса следует, что  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}$ .

Поэтому

$$\frac{L_1}{L_2} = \left( \frac{m_2}{m_1} \right)^2 = 1,5^2 = 2,25.$$

Ответ:  $\frac{L_1}{L_2} = 2,25$ .

