

СОЗДАНО РАЗРАБОТЧИКАМИ ЕГЭ

# ТРЕНАЖЁР

# ЕГЭ

# ФИЗИКА

# 2018

- Тематические задания
- Задания формата ЕГЭ
- Диагностические и контрольные варианты экзаменационной работы
- Решения типовых заданий
- Ответы



# ЕГЭ

# ТРЕНАЖЁР

Е. В. Лукашева, Н. И. Чистякова

# ФИЗИКА

---

*Тематические задания*

*Задания формата ЕГЭ*

*Диагностические и контрольные  
варианты экзаменационной работы*

*Решения типовых заданий*

*Ответы*

*Издательство  
«ЭКЗАМЕН»  
МОСКВА, 2018*

УДК 372.8:53  
ББК 74.262.22  
Л84

**Лукашева Е. В.**

Л84 ЕГЭ 2018. Тренажёр: Физика / Е. В. Лукашева, Н. И. Чистякова. — М. : Издательство «Экзамен», 2018. — 199, [1] с. (Серия «ЕГЭ. Тренажёр»)

ISBN 978-5-377-12370-5

Тематические тестовые задания по физике, созданные специалистами Федеральной предметной комиссии ЕГЭ, ориентированы на подготовку учащихся средней школы к успешной сдаче ЕГЭ.

Книга содержит множество тематических заданий для отработки каждого элемента содержания ЕГЭ по физике, а также диагностические и контрольные варианты экзаменационной работы.

Уникальная методика подготовки, разработанная специалистами Федеральной предметной комиссии ЕГЭ, поможет учащимся научиться правильно оформлять работу, выявлять критерии оценивания, акцентировать внимание на формулировках ряда заданий и избегать ошибок, связанных с невнимательностью и рассеянностью на экзамене.

Использовать предлагаемые тестовые задания можно как в классе, так и дома.

Книга рассчитана на один учебный год, однако при необходимости позволит в кратчайшие сроки выявить пробелы в знаниях ученика и отработать задания, в которых допускается больше всего ошибок, непосредственно за несколько дней до экзамена.

Издание предназначено для учителей физики, родителей и репетиторов, а также учащихся средней школы.

Приказом № 699 Министерства образования и науки Российской Федерации учебные пособия издательства «Экзамен» допущены к использованию в общеобразовательных организациях.

**УДК 372.8:53  
ББК 74.262.22**

---

Подписано в печать 25.08.2017. Формат 60х90/8. Гарнитура «Школьная».

Бумага газетная. Уч.-изд. л. 7,76. Усл. печ. л. 25.

Тираж 8 000 экз. Заказ № 5036.

---

ISBN 978-5-377-12370-5

© Лукашева Е. В., Чистякова Н. И., 2018  
© Издательство «ЭКЗАМЕН», 2018

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ РАБОТА .....</b>                                  | <b>5</b>  |
| Инструкция по выполнению работы .....                                | 5         |
| <b>Вариант 1 .....</b>                                               | <b>7</b>  |
| Часть 1 .....                                                        | 7         |
| Часть 2 .....                                                        | 13        |
| <b>Вариант 2 .....</b>                                               | <b>16</b> |
| Часть 1 .....                                                        | 16        |
| Часть 2 .....                                                        | 22        |
| <b>ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ. ОТРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА.....</b> | <b>25</b> |
| <b>Механика .....</b>                                                | <b>25</b> |
| Кинематика .....                                                     | 25        |
| Задачи с решениями .....                                             | 25        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 30        |
| Динамика .....                                                       | 33        |
| Задачи с решениями .....                                             | 33        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 36        |
| Импульс, механическая энергия, работа, мощность.....                 | 39        |
| Задачи с решениями .....                                             | 39        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 43        |
| Статика, гидростатика .....                                          | 46        |
| Задачи с решениями .....                                             | 46        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 47        |
| Механические колебания, волны .....                                  | 50        |
| Задачи с решениями .....                                             | 50        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 52        |
| <b>Молекулярная физика и термодинамика .....</b>                     | <b>55</b> |
| Молекулярно-кинетическая теория, идеальный газ, изопроцессы .....    | 55        |
| Задачи с решениями .....                                             | 55        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 59        |
| Термодинамика .....                                                  | 62        |
| Задачи с решениями .....                                             | 62        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 65        |
| Агрегатные состояния вещества .....                                  | 68        |
| Задачи с решениями .....                                             | 68        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 72        |
| <b>Электродинамика.....</b>                                          | <b>75</b> |
| Электростатика .....                                                 | 75        |
| Задачи с решениями .....                                             | 75        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 77        |
| Постоянный ток .....                                                 | 80        |
| Задачи с решениями .....                                             | 80        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 82        |
| Магнитное поле и электромагнитная индукция.....                      | 87        |
| Задачи с решениями .....                                             | 87        |
| Задачи для самостоятельного решения .....                            | 91        |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Оптика</b> .....                                           | 100 |
| Геометрическая оптика .....                                   | 100 |
| Задачи с решениями .....                                      | 100 |
| Задачи для самостоятельного решения .....                     | 102 |
| Волновая оптика .....                                         | 106 |
| Задачи с решениями .....                                      | 106 |
| Задачи для самостоятельного решения .....                     | 109 |
| <b>Квантовая и ядерная физика</b> .....                       | 112 |
| Строение ядра атома. Изотопы .....                            | 112 |
| Задачи с решениями .....                                      | 112 |
| Задачи для самостоятельного решения .....                     | 113 |
| Ядерные реакции .....                                         | 114 |
| Задачи с решениями .....                                      | 114 |
| Задачи для самостоятельного решения .....                     | 115 |
| Радиоактивный распад.....                                     | 117 |
| Задачи с решениями .....                                      | 117 |
| Задачи для самостоятельного решения .....                     | 117 |
| Излучение и поглощение света атомами. Фотоны. Фотоэффект..... | 120 |
| Задачи с решениями .....                                      | 120 |
| Задачи для самостоятельного решения .....                     | 122 |
| Методы научного познания.....                                 | 127 |
| Задачи с решениями .....                                      | 127 |
| Задачи для самостоятельного решения .....                     | 128 |
| <b>ИТОГОВАЯ РАБОТА</b> .....                                  | 132 |
| Инструкция по выполнению работы .....                         | 132 |
| <b>Вариант 1</b> .....                                        | 134 |
| Часть 1.....                                                  | 134 |
| Часть 2.....                                                  | 140 |
| <b>Вариант 2</b> .....                                        | 143 |
| Часть 1.....                                                  | 143 |
| Часть 2.....                                                  | 149 |
| <b>Вариант 3</b> .....                                        | 152 |
| Часть 1.....                                                  | 152 |
| Часть 2.....                                                  | 158 |
| <b>Вариант 4</b> .....                                        | 161 |
| Часть 1.....                                                  | 161 |
| Часть 2.....                                                  | 167 |
| <b>ОТВЕТЫ</b> .....                                           | 170 |
| Диагностическая работа.....                                   | 170 |
| Механика.....                                                 | 174 |
| Молекулярная физика и термодинамика .....                     | 181 |
| Электродинамика .....                                         | 184 |
| Оптика.....                                                   | 187 |
| Квантовая и ядерная физика .....                              | 189 |
| Итоговая работа .....                                         | 192 |

# ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ РАБОТА

## Инструкция по выполнению работы

Для выполнения работы по физике отводится 3 часа 55 минут (235 минут). Работа состоит из 2 частей, включающих в себя 31 задание.

В заданиях 1–4, 8–10, 14, 15, 20, 24–26 ответом является целое число или конечная десятичная дробь. Число запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу в бланк ответа № 1. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

Ответ: 7,5 см. В бланке: 

|   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 3 | 7 | , | 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Ответом к заданиям 5–7, 11, 12, 16–18, 21 и 23 является последовательность двух цифр. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу без пробелов, запятых и других дополнительных символов в бланк ответов № 1.

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 4 | 1 |

 В бланке: 

|   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 7 | 4 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Ответом к заданию 13 является слово. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу в бланк ответов № 1.

Ответ: ВПРАВО. В бланке: 

|   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1 | 3 | В | П | Р | А | В | О |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Ответом к заданию 19 и 22 являются два числа. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу, не разделяя числа пробелом, в бланк ответов № 1.

Ответ: (1,4 ± 0,2) Н. В бланке: 

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

Ответ к заданиям 27–31 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 черными чернилами. Допускается использование гелевой, капиллярной или перьевой ручек.

При выполнении заданий можно пользоваться черновиком. Записи в черновике не учитываются при оценивании работы.

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

**Желаем успеха!**

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

### Десятичные приставки

| Наименование | Обозначение | Множитель | Наименование | Обозначение | Множитель  |
|--------------|-------------|-----------|--------------|-------------|------------|
| гига         | Г           | $10^9$    | санتي        | 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                                  | $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$                      |
| 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                                          | $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$                                     |

**Соотношение 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 | $900 \text{ кг/м}^3$     |
| древесины (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 теплоемкость**

|        |                                                        |          |                                             |
|--------|--------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------|
| 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 | $640 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$            | чугуна   | $500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ |
| свинца | $130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$            |          |                                             |

**Удельная теплота**

|                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| парообразования воды | $2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ |
| 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  $0 \text{ }^\circ\text{С}$ **Молярная масса**

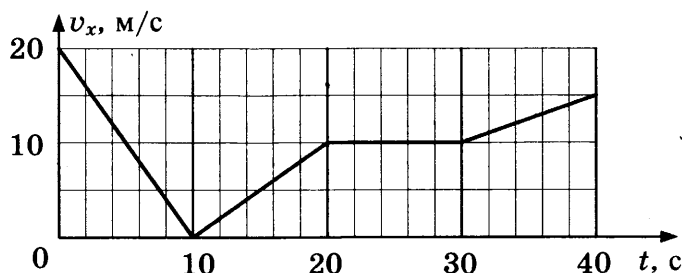
|          |                                    |                  |                                    |
|----------|------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| азота    | $28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ | кислорода        | $32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ |
| 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            | $20 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ |
| гелия    | $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  | углекислого газа | $44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ |

# ВАРИАНТ 1

## Часть 1

Ответами к заданиям 1–23 являются цифра, слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

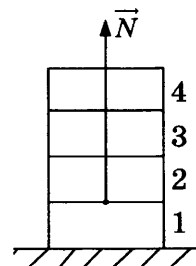
1. По прямой улице движется автомобиль. Зависимость его скорости от времени представлена на графике.



Определите, какой путь пройден автомобилем в интервале времени от 30 до 40 с?

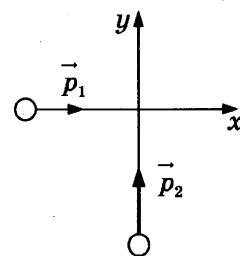
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

2. Четыре одинаковых кирпича массой  $m = 2$  кг каждый сложены в стопку (см. рис.). Определите, насколько увеличится модуль силы  $\vec{N}$ , действующей со стороны первого кирпича на второй, если сверху положить еще один такой же кирпич?



Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

3. По взаимно перпендикулярным пересекающимся прямым движутся два тела, как показано на рисунке. Модуль импульса первого тела  $p_1 = 3$  кг · м/с, а второго тела  $p_2 = 4$  кг · м/с. Каков модуль импульса системы этих тел после их абсолютно неупругого удара?



Ответ: \_\_\_\_\_ кг · м/с.

4. Ученик, выполняя лабораторную работу по исследованию условий равновесия рычага, занес полученные результаты в таблицу:

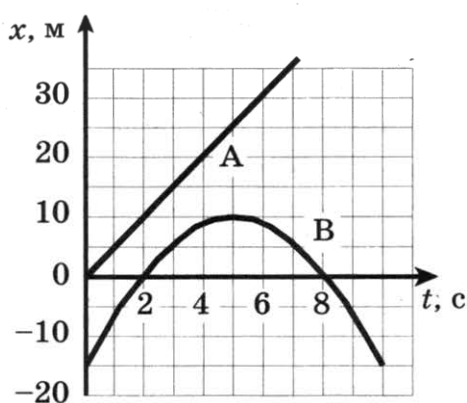
| $F_1$ , Н | $l_1$ , м | $F_2$ , Н | $l_2$ , м |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 30        | ?         | 15        | 0,4       |

Определите, каково плечо  $l_1$ , если рычаг находится в равновесии.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.



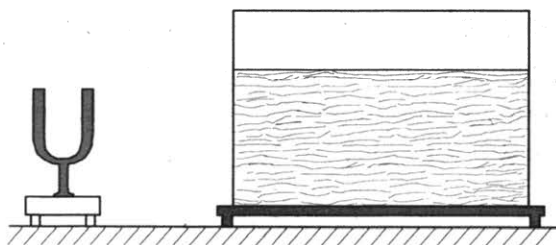
5. Два тела — А и В — движутся по прямой вдоль оси  $Ox$ . На рисунке приведены графики зависимости координаты каждого тела от времени. Выберите два верных утверждения о характере движения тел.



- 1) Интервал между моментами прохождения телом В начала координат составляет 6 с.
- 2) Тело А двигалось равноускоренно, а тело В равнозамедленно.
- 3) Проекция ускорения тела В на ось  $Ox$  положительна.
- 4) Скорость тела А в момент времени 4 с равна 20 м/с.
- 5) В тот момент, когда тело В остановилось, расстояние от него до тела А составляло 15 м.

Ответ:

6. В лаборатории на демонстрационном столе стоят камертон на 440 Гц и аквариум с водой. По ножке камертона ударили молоточком.



Как изменятся скорость звуковой волны и частота колебаний при переходе звука из воздуха в воду?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Скорость звуковой волны | Частота колебаний    |
|-------------------------|----------------------|
| <input type="text"/>    | <input type="text"/> |

7. Тело брошено с поверхности земли под углом  $\alpha$  к горизонту со скоростью  $v$ . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими движение тела, и формулами, по которым их можно определить.

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

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) время подъема  $t$  на максимальную высоту  
 Б) максимальная высота  $h$  над горизонтом

### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2g}$   
 2)  $\frac{v \cos^2 \alpha}{g}$   
 3)  $\frac{v^2 \sin 2\alpha}{2g}$   
 4)  $\frac{v \sin \alpha}{g}$

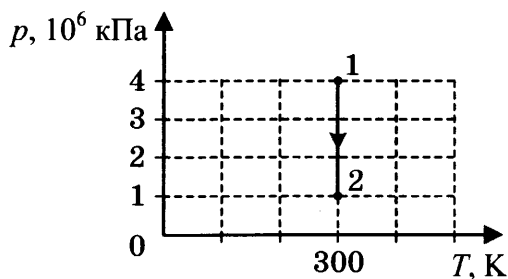
Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

8. В сосуде неизменного объема находится идеальный газ в количестве 2 моль. После того, как в сосуд добавили еще один моль газа и увеличили температуру, давление газа на стенки сосуда увеличилось в 3 раза? Во сколько раз увеличили температуру?

Ответ: \_\_\_\_\_.

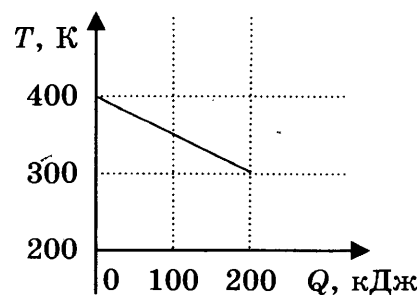
9. Процесс изменения состояния идеального одноатомного газа представлен на  $p$ — $T$ -диаграмме. Газ совершает работу, равную 4 кДж. Чему равно количество теплоты, полученное газом?



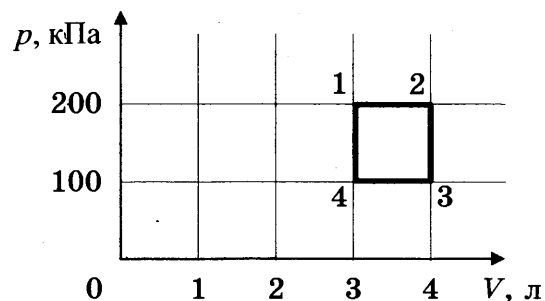
Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

10. На рисунке приведен график зависимости температуры твердого тела от отданного им количества теплоты. Масса тела 5 кг. Какова удельная теплоемкость вещества этого тела?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж/(кг·К).



- 11.** С идеальным газом происходит циклический процесс 1–2–3–4–1, диаграмма  $p$ – $V$  которого представлена на рисунке. Минимальная температура, достигаемая газом в этом процессе, составляет 300 К. Выберите два верных утверждения о циклическом процессе.



- 1) Работа газа при его изобарическом расширении равна 100 Дж.
- 2) Количество вещества газа, участвующего в циклическом процессе равно 0,12 моля.
- 3) Работа, совершенная над газом при его изобарическом сжатии, равна 100 Дж.
- 4) Максимальная температура в циклическом процессе больше 900 К.
- 5) Количество теплоты, переданное газу при изохорическом нагревании меньше 400 Дж.

Ответ:

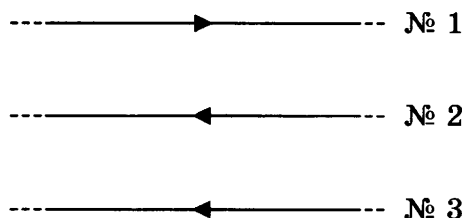
- 12.** Одному молю идеального газа в изотермическом процессе было передано количество теплоты  $Q$ . Как изменились в результате этого объем газа и его внутренняя энергия? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Объем газа | Внутренняя энергия газа |
|------------|-------------------------|
|            |                         |

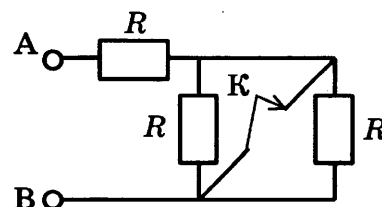
- 13.** Как направлена (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) сила Ампера, действующая на проводник № 3 со стороны двух других (см. рис.)? Все проводники тонкие, лежат в одной плоскости и параллельны друг другу. По проводникам идет одинаковый ток силой  $I$ . Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 14.** Определите, насколько изменится сопротивление участка цепи АВ, изображенного на рисунке, если ключ К замкнуть? Сопротивление каждого резистора равно 2 Ом.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



- 15.** В однородное магнитное поле помещена плоская рамка. Линии магнитной индукции поля перпендикулярны ее плоскости. Магнитный поток через рамку равен 0,01 Вб. Чему будет равен магнитный поток через рамку, если площадь рамки увеличить в 3 раза, а индукцию магнитного поля уменьшить в 3 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ Вб.

- 16.** Конденсатор емкостью  $C = 0,2$  мкФ подключен к источнику переменного напряжения. В таблице представлена зависимость энергии электрического поля конденсатора от времени. Выберите два верных утверждения, описывающие процессы, происходящие в конденсаторе.

| $t$ , мкс  | 0   | 1    | 2 | 3    | 4   | 5    | 6 | 7    | 8   |
|------------|-----|------|---|------|-----|------|---|------|-----|
| $W$ , мкДж | 2,5 | 1,25 | 0 | 1,25 | 2,5 | 1,25 | 0 | 1,25 | 2,5 |

- 1) Напряжение на конденсаторе изменяется с периодом 4 мкс.
- 2) Максимальное значение напряжения на конденсаторе равно 5 В.
- 3) В момент времени 2 мкс заряд конденсатора равен нулю.
- 4) В моменты времени 4 мкс и 6 мкс заряды конденсатора одинаковы.
- 5) Период колебания заряда на конденсаторе равен 4 мкс.

Ответ: ☐ ☐

- 17.** В заполненном водой прозрачном сосуде находится дифракционная решетка. Решетка освещается параллельным пучком монохроматического света, падающим перпендикулярно ее поверхности через боковую стенку сосуда. Как изменятся частота световой волны, падающей на решетку, и угол между нормалью к решетке и первым дифракционным максимумом при замене воды в сосуде прозрачной жидкостью с большим показателем преломления?

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.

| Частота волны света, достигающего решетки | Угол между нормалью к решетке и первым дифракционным максимумом |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                           |                                                                 |

- 18.** Положительно заряженная частица массой  $m$  движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля  $\vec{B}$  по окружности радиусом  $R$ . Заряд частицы равен  $q$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

# ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) период обращения частицы по окружности  
Б) скорость движения частицы по окружности

# ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{qm}{RB}$   
2)  $\frac{2\pi m}{qB}$   
3)  $\frac{qBR}{m}$   
4)  $qtmBR$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

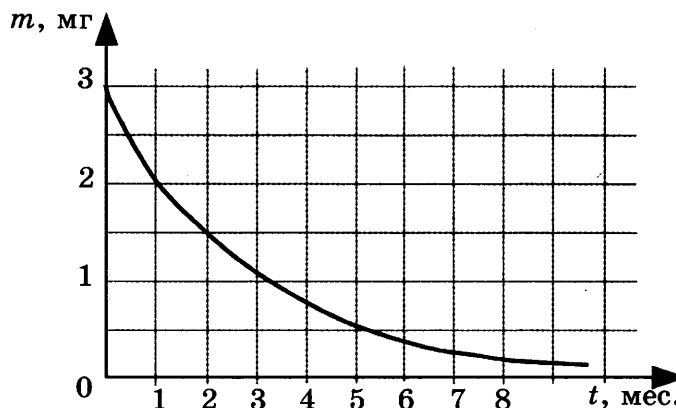
19. Протон  ${}^1_1\text{H}$  и ядро неизвестного изотопа являются результатом реакции ядра  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  и  $\alpha$ -частицы  ${}^4_2\text{He}$ . Определите, сколько протонов и нейтронов содержит ядро данного изотопа.

Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

20. На рисунке представлен график изменения массы радиоактивного изотопа с течением времени. Чему равен период полураспада этого изотопа?



Ответ: \_\_\_\_\_ мес.

21. Изучая фотоэффект, на металлическую пластинку направили пучок света от лазера. Интенсивность лазерного излучения плавно увеличивают, не изменяя его частоты. Как в результате этого изменяется число вылетающих в единицу времени фотоэлектронов и их максимальная скорость?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается  
2) уменьшается  
3) не меняется

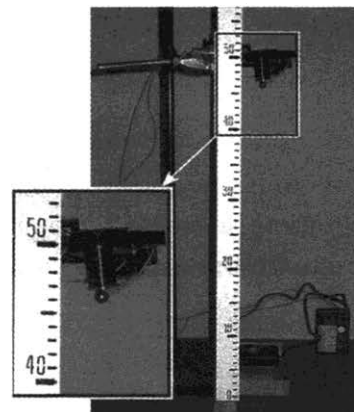
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

| Число фотоэлектронов в единицу времени | Максимальная скорость фотоэлектронов |
|----------------------------------------|--------------------------------------|
|                                        |                                      |

- 22.** На рисунке приведена фотография установки для изучения свободного падения тел. Шкала линейки проградуирована в сантиметрах (см). Погрешность измерения равна цене деления линейки. Определите высоту, с которой упал шарик с учетом погрешности.

Ответ: (     ±     ) см.

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.



- 23.** Ученик изучает свойства маятника. В его распоряжении имеются маятники, представляющие собой сплошной шарик, закрепленный на нити. Длины нитей, объемы сплошных шариков и материал, из которого они сделаны, приведены в таблице. Какие из маятников нужно использовать для того, чтобы на опыте обнаружить зависимость периода колебаний маятника от его длины?

| № | Длина маятника, м | Объем шарика      | Материал, из которого сделан шарик |
|---|-------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1 | 1,0               | 5 см <sup>3</sup> | дерево                             |
| 2 | 1,5               | 8 см <sup>3</sup> | дерево                             |
| 3 | 2,0               | 8 см <sup>3</sup> | алюминий                           |
| 4 | 2,5               | 5 см <sup>3</sup> | дерево                             |
| 5 | 1,0               | 5 см <sup>3</sup> | алюминий                           |

В ответе запишите номера выбранных маятников.

Ответ:

## Часть 2

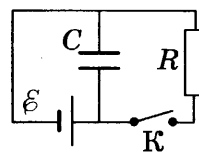
Ответом к заданиям 24–26 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите в БЛАНК ОТВЕТОВ № 1 справа от номера соответствующего задания, начиная с первой клеточки. Каждый символ пишете в отдельной клеточке в соответствии с приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

- 24.** Зависимость смещения груза пружинного маятника от времени имеет следующий вид:
- $$x = A \sin \frac{2\pi}{T} t, \text{ где период } T = 2 \text{ с.}$$
- Через какое минимальное время, начиная с момента  $t = 0$ , потенциальная энергия деформированной пружины маятника достигнет половины своего максимума?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

- 25.** К батарее с ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом присоединен конденсатор емкостью  $C = 2$  мкФ.

В начальный момент времени ключ  $K$  был замкнут (см. рис.). Определите, какой станет энергия конденсатора через длительное время после размыкания ключа  $K$ , если сопротивление резистора  $R = 10$  Ом?



Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

- 26.** С помощью тонкой собирающей линзы получено действительное, увеличенное изображение предмета, расположенного на главной оптической оси линзы. Увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета) равно  $k = 2$ . Оптическая сила линзы  $D = 5$  дптр. Найдите расстояние от изображения предмета до линзы.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

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

Полное решение задач 27–31 необходимо записать в бланке ответов № 2. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (27, 28 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте четко и разборчиво.

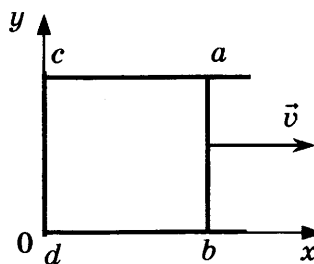
- 27.** Три одинаковых сосуда соединены друг с другом трубками малого диаметра: первый сосуд — со вторым, второй — с третьим. Сосуды содержат разреженный газ, первоначальное давление которого было равно соответственно  $p$ ,  $3p$  и  $p$ . В ходе опыта сначала открыли и закрыли кран, соединяющий второй и третий сосуды, а затем открыли и закрыли кран, соединяющий первый сосуд со вторым. Как изменилось в итоге (уменьшилось, увеличилось или осталось неизменным) количество газа в первом сосуде? (Температура газа оставалась в течение всего опыта неизменной.)

Полное правильное решение каждой из задач 28–31 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

- 28.** Определите среднее давление пороховых газов в стволе орудия, если скорость вылетевшего из него снаряда 1,5 км/с. Длина ствола 3 м, его диаметр 45 мм, масса снаряда 2 кг. (Трение пренебрежимо мало.)
- 29.** Идеальный одноатомный газ в количестве одного моля переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропор-

ционально его объему. В результате плотность газа уменьшается в  $\alpha = 2$  раза. Газ в ходе процесса получает количество теплоты  $Q = 20$  кДж. Определите температуру газа в состоянии 1.

- 30.** По П-образному проводнику  $acdb$  постоянного сечения скользит со скоростью  $\vec{v}$  медная перемычка  $ab$  длиной  $l$  из того же материала и такого же сечения. Образующие контур проводники помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости проводников (см. рис.). Определите индукцию магнитного поля  $B$  в тот момент, когда  $ab = ac$ , а разность потенциалов между точками  $a$  и  $b$  равна  $U$ ?



- 31.** Частота падающего на поверхность металла света равна  $\nu = 0,75 \cdot 10^{15}$  Гц. При увеличении частоты света в 2 раза задерживающее напряжение  $U$  для фотоэлектронов увеличивается в 3 раза. Какова длина волны, соответствующая «красной границе» фотоэффекта для этого металла?

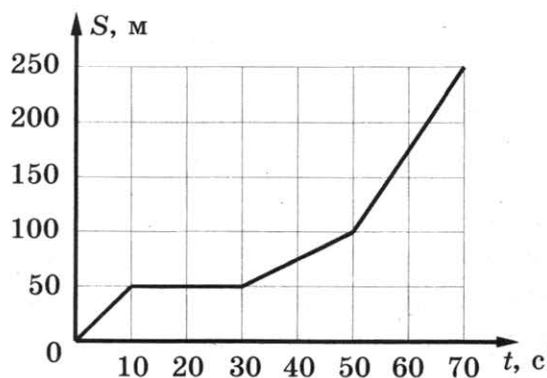


## ВАРИАНТ 2

### Часть 1

Ответами к заданиям 1–23 являются цифра, слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

1. График зависимости пути  $S$  велосипедиста от времени представлен на рисунке. Определите скорость велосипедиста в интервале времени от 30 до 40 с после начала движения.



Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

2. К ящику массой 10 кг, стоящему на горизонтальном полу, прикладывают силу 16 Н в горизонтальном направлении. При этом ящик остается в покое. Коэффициент трения между полом и ящиком равен 0,25. Какова сила трения между ящиком и полом?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

3. Скорость хоккейной шайбы массой 160 г равна 10 м/с. Определите ее кинетическую энергию.

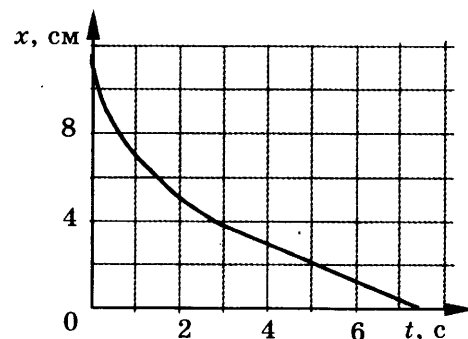
Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

4. Период колебания математического маятника равен 2 с. Каким будет период колебаний маятника, если его длину увеличить в 4 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

5. Шарик уронили в воду с некоторой высоты. На рисунке показан график изменения координаты шарика с течением времени. Выберите два верных утверждения, которые можно сделать на основе анализа этого графика.

- 1) Шарик все время двигался с постоянным ускорением.
- 2) После 3 с шарик двигался с постоянной скоростью.
- 3) Первые 2 с шарик двигался с постоянной скоростью.
- 4) Ускорение шарика увеличивалось в течение всего времени движения.
- 5) Первые 3 с скорость шарика уменьшалась, а потом оставалась неизменной.



Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

6. На поступательно движущееся в инерциальной системе отсчета тело в течение времени  $\Delta t$  действовала постоянная сила  $\vec{F}$ . Как изменятся модуль импульса силы и модуль ускорения тела, если время  $\Delta t$  действия силы увеличится?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Модуль импульса силы | Модуль ускорения тела |
|----------------------|-----------------------|
|                      |                       |

7. Установите соответствие между зависимостью проекции скорости тела от времени (все величины выражены в СИ) и зависимостью координаты этого тела от времени (начальная координата тела равна 0).

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

СКОРОСТЬ

А)  $v_x = -2$

Б)  $v_x = 5 - t$

КООРДИНАТА

1)  $x = -2t$

2)  $x = -2t^2$

3)  $x = 5t - 0,5t^2$

4)  $x = 5t + 2t^2$

Ответ: 

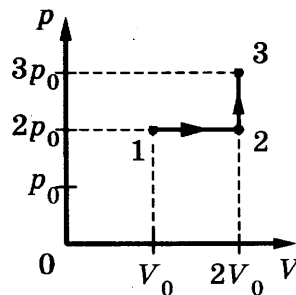
|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

8. Во сколько раз увеличится средняя кинетическая энергия молекул гелия, если температура увеличится с  $27^\circ\text{C}$  до  $177^\circ\text{C}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

9. Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике зависимости давления газа от объема. Определите работу, совершенную при этом газом, если  $p_0 = 30$  кПа,  $V_0 = 0,5$  м<sup>3</sup>.

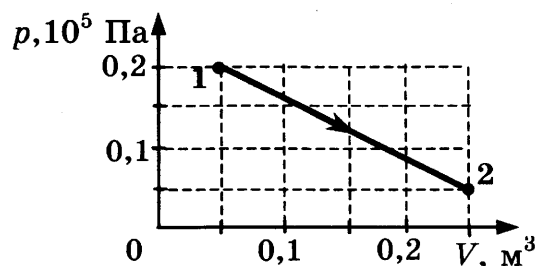
Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.



10. Какое количество теплоты необходимо для того, чтобы расплавить 10 г льда, находящегося при температуре 0 °С?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

11. Процесс перехода 2 молей идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 2 представлен на графике зависимости давления газа от объема. Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые правильно описывают этот процесс и укажите их номера.



- 1) Работа газа равна 2,5 кДж.
- 2) В данном процессе газ получил количество теплоты, равное 6,25 кДж.
- 3) Внутренняя энергия газа увеличилась на 3,75 кДж.
- 4) В данном процессе газ отдал количество теплоты, равное 25 кДж.
- 5) Температура газа в состоянии 1 меньше 70 К.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

12. Идеальный тепловой двигатель работает по циклу Карно. Температура нагревателя этого двигателя равна  $T_1$ , а температура холодильника —  $T_2$ . За цикл двигатель получает от нагревателя количество теплоты  $Q_1$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) КПД двигателя  
Б) работа, совершаемая двигателем за цикл

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $1 - \frac{T_2}{T_1}$
- 2)  $\frac{Q_1(T_1 - T_2)}{T_1}$
- 3)  $\frac{T_1 - T_2}{T_2}$
- 4)  $\frac{Q_1 T_2}{T_1}$

Ответ:

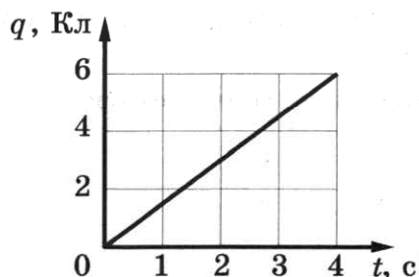
|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

13. Как направлена (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) сила Кулона  $\vec{F}$ , действующая на положительный точечный заряд  $+q$ , помещенный в точку А со стороны одинаковых положительных зарядов  $q_1$  и  $q_2$ ? Ответ запишите словом (словами).



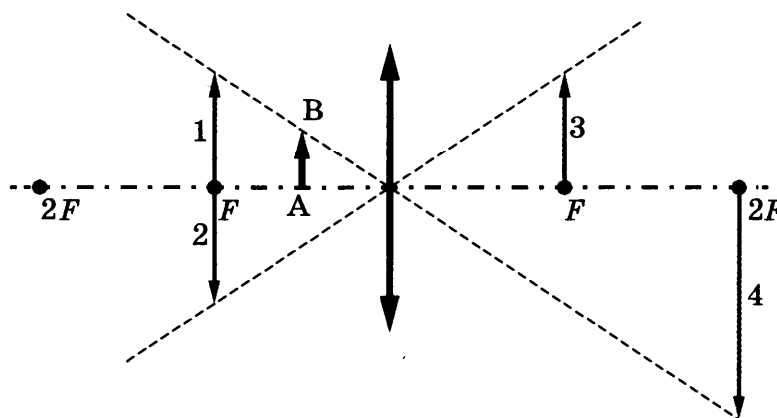
Ответ: \_\_\_\_\_.

14. По проводнику течет постоянный электрический ток. Согласно графику величина заряда, проходящего через проводник, возрастает с течением времени. Определите силу тока в проводнике.



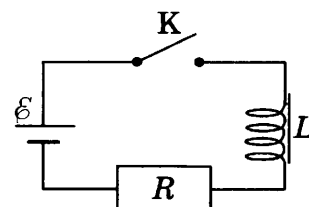
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

15. Определите, какой из образов 1–4 является мнимым изображением предмета АВ в тонкой линзе с фокусным расстоянием  $F$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_.

16. К источнику тока с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением через резистор  $R = 60$  Ом (см. рис.) была подключена катушка индуктивности. Ключ К замыкают в момент  $t = 0$ . В таблице представлены значения силы тока в цепи, измеренные в последовательные моменты времени. Выберите два верных утверждения о процессах, происходящих в цепи.



|                |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t, \text{ с}$ | 0 | 0,5  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 5,0  | 6,0  |
| $I, \text{ А}$ | 0 | 0,12 | 0,19 | 0,23 | 0,26 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | 0,30 |

- 1) Напряжение на резисторе в момент времени  $t = 1,0$  с равно 12 В.
- 2) Модуль ЭДС самоиндукции катушки в момент времени  $t = 2,0$  с равен 2,4 В.
- 3) ЭДС источника тока равен 18 В.
- 4) Напряжение на катушке максимально в момент времени  $t = 6,0$  с.
- 5) Энергия катушки максимальна в момент времени  $t = 0$  с.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

- 17.** Плоский воздушный конденсатор с диэлектриком между пластинами подключен к аккумулятору. Как изменятся емкость конденсатора и величина заряда на его обкладках, если из конденсатора удалить диэлектрик, не отключая при этом конденсатор от аккумулятора?

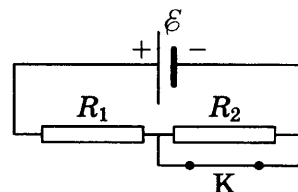
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Емкость конденсатора | Величина заряда конденсатора |
|----------------------|------------------------------|
|                      |                              |

- 18.** 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 второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

- 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 |
|   |   |

- 19.** Рассмотрите фрагмент Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Определите число нейтронов и электронов в атоме натрия Na.

|   |     |                                                    |                                                                       |                                                      |
|---|-----|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 2 | II  | Li 3<br>Литий<br>7 <sub>93</sub> 6 <sub>74</sub>   | Be 4<br>Бериллий<br>9 <sub>100</sub>                                  | 5 B<br>Бор<br>11 <sub>80</sub> 10 <sub>20</sub>      |
| 3 | III | Na 11<br>Натрий<br>23 <sub>100</sub>               | Mg 12<br>Магний<br>24 <sub>79</sub> 26 <sub>11</sub> 25 <sub>10</sub> | 13 Al<br>Алюминий<br>27 <sub>100</sub>               |
| 4 | IV  | K 19<br>Калий<br>39 <sub>93</sub> 41 <sub>67</sub> | Ca 20<br>Кальций<br>40 <sub>97</sub> 44 <sub>2,1</sub>                | Sc 21<br>Скандий<br>45 <sub>100</sub>                |
|   | V   | 29 Cu<br>Медь<br>63 <sub>69</sub> 65 <sub>31</sub> | 30 Zn<br>Цинк<br>64 <sub>49</sub> 66 <sub>28</sub> 68 <sub>19</sub>   | 31 Ga<br>Галлий<br>69 <sub>60</sub> 71 <sub>40</sub> |

Ответ:

| Число нейтронов | Число электронов |
|-----------------|------------------|
|                 |                  |

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

- 20.** Два лазера излучают монохроматический свет, один — с длиной волны  $\lambda_1 = 400$  нм, другой — с длиной волны  $\lambda_2 = 600$  нм. Чему равно отношение импульсов  $\frac{P_1}{P_2}$  фотонов, излучаемых этими лазерами?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 21.** Атом переходит из основного состояния с энергией  $E_0$  в возбужденное состояние с энергией  $E_1$ . Установите соответствие между физическими величинами и их значениями.  $h$  — постоянная Планка.

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

**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

- А) энергия фотона, поглощенного атомом  
Б) частота поглощенного фотона

**ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ**

- 1)  $E_1 - E_0$   
2)  $\frac{E_1 + E_0}{h}$   
3)  $\frac{E_1 - E_0}{h}$   
4)  $E_1 + E_0$

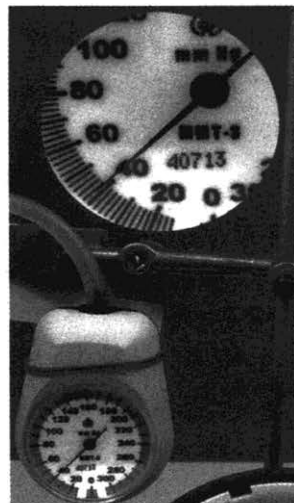
Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

- 22.** Шкала манометра, приведенного на фотографии проградуйрованы в мм рт. ст. Погрешность измерения давления равна половине цены деления. Определите, какое давление показывает манометр с учетом погрешности.

Ответ: ( \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_ ) мм рт. ст.

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.



- 23.** Для проведения лабораторной работы по обнаружению зависимости сопротивления проводника от его диаметра ученику выдали набор алюминиевых и медных проводников. Какие из проводников нужно использовать для этой цели ученику?

| № | Длина проводника | Диаметр проводника | Материал |
|---|------------------|--------------------|----------|
| 1 | 10 см            | 1,0 мм             | медь     |
| 2 | 10 см            | 0,5 мм             | алюминий |
| 3 | 20 см            | 1,0 мм             | медь     |
| 4 | 20 см            | 1,5 мм             | алюминий |
| 5 | 10 см            | 0,5 мм             | медь     |

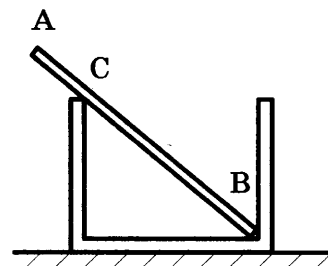
В ответ запишите номера выбранных проводников.

Ответ:

## Часть 2

Ответом к заданиям 24–26 является число. Запишите это число 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

- 24.** Однородный неподвижный стержень АВ массой 100 г касается края банки в точке С и упирается в стык дна и стенки банки концом В (см. рис.). Модуль силы, с которой стержень давит на стенку сосуда в точке С, равен 0,5 Н. Чему равен модуль горизонтальной составляющей силы, с которой стержень давит на сосуд в точке В, если модуль вертикальной составляющей этой силы равен 0,6 Н? Трением пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

- 25.** В калориметр с электронагревателем помещен кусок льда, имеющий температуру 0 °С. Для того, чтобы превратить этот лед в воду температурой 20 °С, требуется количество теплоты 100 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лед полу-

чит от нагревателя количество теплоты 75 кДж? Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ °С.

- 26.** Частица массой 1 мг, начальная скорость которой равна нулю, переместилась за 3 с на расстояние 0,45 м по горизонтали в однородном горизонтальном электрическом поле напряженностью 500 В/м. Каков заряд частицы? Сопротивлением воздуха и действием силы тяжести пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

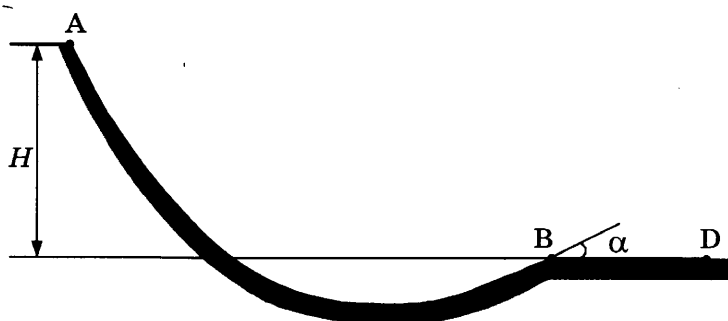
Не забудьте перенести все ответы в бланк ответов № 1 в соответствии с инструкцией по выполнению работы.

Полное решение задач 27–31 необходимо записать в бланке ответов № 2. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (27, 28 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте четко и разборчиво.

- 27.** На пластину падает зеленый свет от лазера. Лазер заменяют на другой, который генерирует красный свет. Мощность излучения, падающего на пластину, в обоих случаях одна и та же. Как меняется в результате такой замены число фотонов, падающих на пластину в единицу времени? Укажите закономерности, которые вы использовали при обосновании своего ответа.

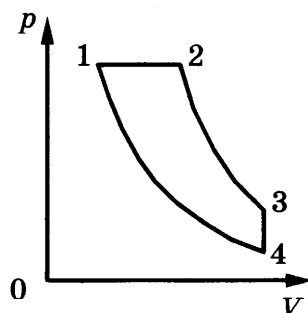
Полное правильное решение каждой из задач 28–31 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

- 28.** Точка А на желобе АВ расположена выше точки В на высоте  $H = 6$  м. Шайба массой  $m = 100$  г начинает свое движение из точки А по желобу из состояния покоя. В процессе движения по желобу из-за трения механическая энергия шайбы уменьшается на величину  $\Delta E$ . В точке В шайба вылетает из желоба под углом  $\alpha = 15^\circ$  к горизонту и падает на землю в точке D, находящейся на одной горизонтали с точкой В (см. рис.).  $BD = 4$  м. Найдите величину  $\Delta E$ . Сопротивлением воздуха пренебречь.

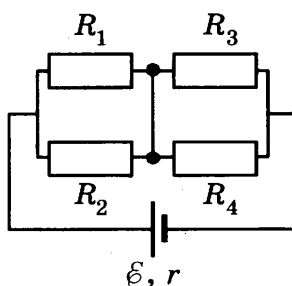




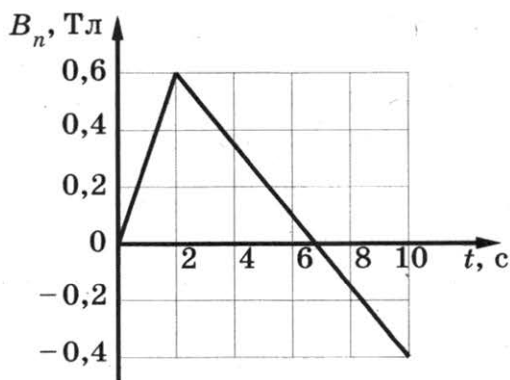
- 29.** На  $pV$ -диаграмме изображен цикл работы теплового двигателя, который использует в качестве рабочего вещества 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл состоит из двух адиабат, изохоры, изобары. Зная, что КПД этого цикла  $\eta = 15\%$ , а минимальная и максимальная температуры газа при изохорном процессе  $t_{\min} = 37^\circ\text{C}$  и  $t_{\max} = 302^\circ\text{C}$ , определите количество теплоты, получаемое газом за цикл.



- 30.** Все резисторы, включенные в схему, изображенную на рисунке, имеют одинаковое сопротивление  $R = 20\ \Omega$ . Внутреннее сопротивление источника  $r = 2\ \Omega$ ; его ЭДС  $\mathcal{E} = 110\ \text{В}$ . Какая тепловая мощность будет выделяться на резисторе  $R_1$ , если резистор  $R_2$  перегорит (превратится в разрыв цепи)?



- 31.** В однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$  помещена квадратная проводочная рамка со стороной  $l = 10\ \text{см}$ . На рисунке изображено изменение проекции вектора  $\vec{B}$  на перпендикуляр к плоскости рамки с течением времени. За время  $t = 10\ \text{с}$  в рамке выделяется количество теплоты  $Q = 0,1\ \text{мДж}$ . Каково сопротивление проволоки, из которой сделана рамка?



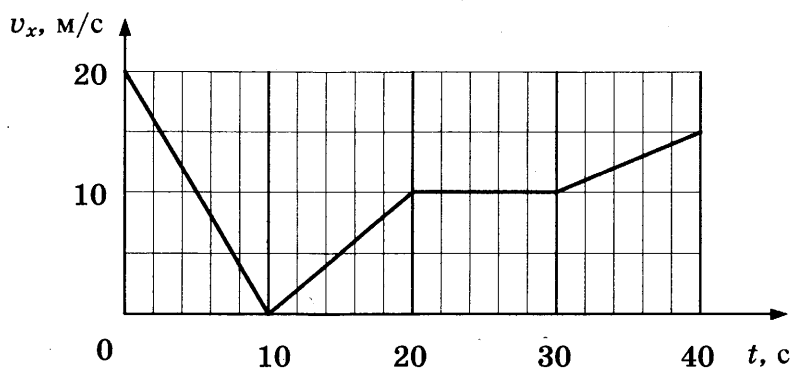
# ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ. ОТРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

## МЕХАНИКА

### Кинематика

#### Задачи с решениями

1. По прямой дороге движется автомобиль. На графике представлена зависимость его скорости от времени. Чему равен путь, пройденный автомобилем в интервале времени от 10 до 20 с?



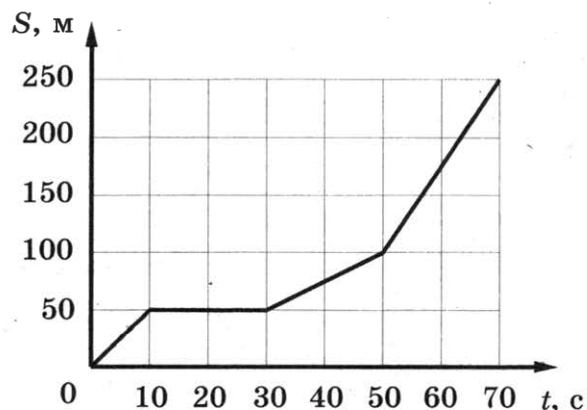
**Решение.** Путь, пройденный автомобилем, можно определить, рассчитав площадь под графиком зависимости проекции скорости от времени. Для интервала времени от 10 до 20 с пройденный путь равен площади треугольника 50 м.

**Ответ:** 50 м.

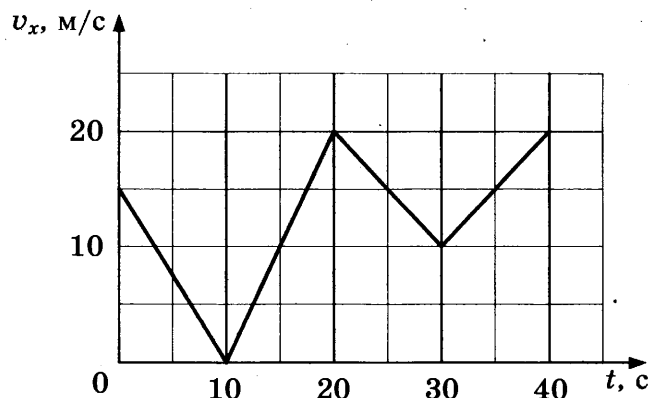
2. На рисунке изображен график зависимости пути  $S$  велосипедиста от времени  $t$ . Определите, с какой скоростью двигался велосипедист в интервале времени от 30 до 40 с после начала движения?

**Решение.** На интервале времени от 30 до 50 с путь, пройденный велосипедистом, меняется линейно со временем. Следовательно, скорость велосипедиста на этом участке постоянна и равна отношению пройденного пути 50 м к интервалу времени 20 с. Значит, в интервале времени от 30 до 40 с после начала движения велосипедист движется с той же скоростью, равной 2,5 м/с

**Ответ:** 2,5 м/с.



3. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела  $v_x$  от времени.



Определите проекцию ускорения этого тела  $a_x$  в интервале времени от 20 с до 30 с.

**Решение.** На указанном интервале времени проекция скорости линейно изменяется с изменением времени, следовательно, на этом участке тело движется с постоянным ускорением. Проекция ускорения определяется отношением величины изменения проекции скорости к интервалу времени, на котором это изменение произошло:

$$a_x = \frac{v_x(30) - v_x(20)}{10} = -1 \text{ м/с}^2.$$

**Ответ:**  $-1 \text{ м/с}^2$ .

4. Установите соответствие между проекцией ускорения тела (все величины выражены в СИ) и зависимостью координаты этого тела от времени (начальная координата тела равна 0).

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

#### ПРОЕКЦИЯ УСКОРЕНИЯ

А)  $a_x = -1$

Б)  $a_x = 4$

#### КООРДИНАТА

1)  $x = -2t$

2)  $x = -2t^2$

3)  $x = 5t - 0,5t^2$

4)  $x = 5t + 2t^2$

**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

**Решение.** Ускорение тела можно определить, сравнивая представленную зависимость координаты тела от времени  $x(t)$  с законом равноускоренного движения  $x(t) = x_0 + v_0t + at^2/2$ . Также можно определить ускорение материальной точки путем нахождения второй производной функции  $x(t)$  по времени.

**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 3 | 4 |

5. Исследуя движение бруска по наклонной плоскости, ученик определил, что брусок начинает движение из состояния покоя с ускорением  $4,5 \text{ м/с}^2$ . Установите соответствие между физическими величинами, полученными при исследовании движения бруска, и уравнениями, выражающими эти зависимости.

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

#### ЗАВИСИМОСТИ

- А) зависимость пути, пройденного бруском, от времени  $t$   
 Б) зависимость модуля скорости бруска от пройденного пути  $l$

#### УРАВНЕНИЯ

- 1)  $At^2$ , где  $A = 2,25 \text{ м/с}^2$   
 2)  $Bt^2$ , где  $B = 4,5 \text{ м/с}^2$   
 3)  $C\sqrt{l}$ , где  $C = 3 \frac{\sqrt{\text{м}}}{\text{с}}$   
 4)  $Dl$ , где  $D = 4,5 \text{ с}^{-1}$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

**Решение.** Направим ось  $Ox$  вдоль наклонной плоскости. Будем считать, что тело начинает свое движение из начала системы координат. Закон движения тела из состояния покоя с ускорением  $4,5 \text{ м/с}^2$  имеет следующий вид:  $x = \frac{at^2}{2} = \frac{4,5t^2}{2} = 2,25t^2$ . Отсюда следует, что зависимости А соответствует уравнение (1). Зависимость модуля скорости бруска от пройденного пути  $l$  можно определить, используя известное соотношение:  $l = \frac{v^2}{2a}$ . Отсюда  $v = \sqrt{2al} = \sqrt{2 \cdot 4,5l} = 3\sqrt{l}$ . Следовательно, зависимости Б соответствует уравнение (3).

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
| 1 | 3 |

6. С поверхности земли почти вертикально вверх был брошен камень, который через 3 с после броска упал на крышу дома высотой 15 м. Найдите начальную скорость камня. Сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

**Решение.** Будем считать камень материальной точкой. Систему отсчета свяжем с поверхностью земли, ось  $Ox$  направим вертикально вверх. Закон движения тела имеет следующий вид:  $x = v_0t - \frac{gt^2}{2}$ , где  $v_0$  — начальная скорость,  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . В момент времени  $t = 3 \text{ с}$   $x = h = 15 \text{ м}$ . Решая уравнение  $h = v_0t - \frac{gt^2}{2}$  относительно  $v_0$ , получим  $v_0 = \frac{h}{t} + \frac{gt}{2} = 20 \text{ м/с}$ .

Ответ: 20 м/с.

7. Камень брошен вверх под углом к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Как меняются с набором высоты модули вертикальной и горизонтальной составляющих его скорости?

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.

| Модуль вертикальной составляющей скорости камня | Модуль горизонтальной составляющей скорости камня |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                                 |                                                   |

**Решение.** Будем считать камень материальной точкой. Систему отсчета свяжем с поверхностью земли, ось  $Ox$  направим вдоль поверхности земли в направлении горизонтальной скорости камня, ось  $Oy$  направим вертикально вверх. Проекция скорости камня на ось  $Ox$  постоянна и равна  $v_x = v_0 \cos \alpha$ , где  $v_0$  — начальная скорость камня,  $\alpha$  — угол, под которым брошен камень. Следовательно, модуль горизонтальной составляющей скорости камня не зависит от набора высоты. Для вертикальной составляющей скорости запишем известное соотношение:  $h = \frac{(v_0 \sin \alpha)^2 - v_y^2}{2g}$ . Отсюда  $v_y = \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 - 2gh}$ . Следовательно, модуль вертикальной составляющей скорости камня уменьшается с набором высоты.

**Ответ:**

| Модуль вертикальной составляющей скорости камня | Модуль горизонтальной составляющей скорости камня |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 2                                               | 3                                                 |

8. Из начала декартовой системы координат в момент времени  $t = 0$  тело малых размеров брошено под углом к горизонту с поверхности земли. Ось  $x$  направлена вдоль горизонтальной поверхности, ось  $y$  — вертикально вверх. В таблице приведены результаты измерения проекции скорости тела  $v_y$  и значение координаты  $x$  в зависимости от времени наблюдения. Выберите два верных утверждения на основании данных, приведенных в таблице.

| Время, с                      | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Проекция скорости $v_y$ , м/с | 4,0 | 3,0 | 2,0 | 1,0 | 0   | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 |
| Координата $x$                | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |

- 1) В начальный момент времени скорость тела равна 4 м/с.
- 2) Тело брошено под углом  $45^\circ$ .
- 3) Расстояние от начала системы координат до тела в момент времени  $t = 0,5$  с меньше 3 м.
- 4) В момент времени  $t = 0,9$  с тело находилось на высоте 1,05 м от поверхности земли.
- 5) В момент падения скорость тела была равна 5 м/с.

**Решение.** Вдоль оси  $x$  тело движется с постоянной скоростью. Поскольку за 1 с перемещение тела вдоль оси  $x$  составило 5 м, скорость  $v_{0x} = v_x = 5$  м/с. Закон изменения скорости вдоль оси  $y$  имеет следующий вид:  $v_y = v_{0y} - gt$ , где  $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ . В момент времени 0,5 с проекция скорости  $v_y = 0$ . Отсюда  $v_{0y} = 5$  м/с. Начальная скорость тела равна  $v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2} \approx 7,07$  м/с. Утверждение 1 является неверным. Для определения угла, под которым брошено тело, воспользуемся соотношением  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} = 1$ . Отсюда  $\alpha = 45^\circ$ , а значит, утверждение 2 — верное.

Расстояние  $S$  от начала системы координат до тела в момент времени  $t$  равно  $S = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}$ , где  $x(t) = v_{0x}t$  и  $y(t) = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$ . Подставив значения  $v_{0x}$ ,  $v_{0y}$  и  $t = 0,5$  с, получим  $S \approx 2,75$  м, что меньше 3 м. Следовательно, утверждение 3 — верное. Подставив время  $t = 0,9$  с в закон изменения координаты  $y(t)$ , определим, что тело находилось в этот момент времени на высоте 0,45 м от поверхности земли. Этот же результат можно получить другим способом. Зная модуль проекции скорости  $v_y$  и начальную скорость вдоль оси  $y$   $v_{0y}$ , определим  $S$  по формуле:  $S = \frac{v_{0y}^2 - v_y^2}{2g}$ . Таким образом, утверждение 4 является неверным. В момент падения скорость тела равна начальной, которая больше 5 м/с. Следовательно, утверждение 5 также является неверным. Правильные ответы — 2 и 3.

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| 2 | 3 |
|---|---|

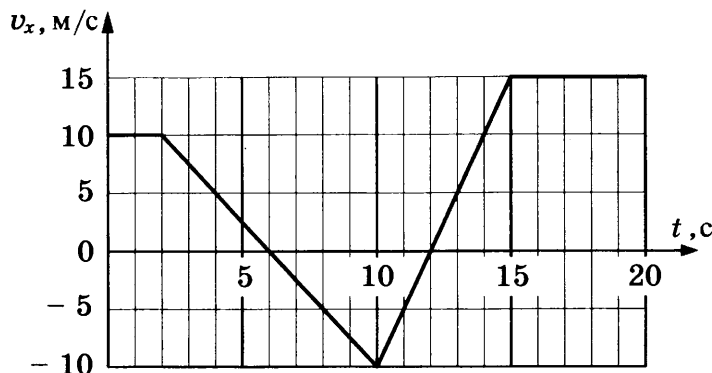
9. Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, достиг максимальной высоты 5 м и упал обратно на землю в 20 м от места броска. Чему равна минимальная скорость камня за время полета?

**Решение.** Выберем систему отсчета, связанную с землей. Направим ось  $x$  вдоль горизонтальной поверхности, ось  $y$  — вертикально вверх. Скорость камня будет минимальной в верхней точке траектории:  $v_{\min} = v_0 \cos \alpha$ , где  $v_0$  — начальная скорость камня. Максимальной высота подъема равна  $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ . Отсюда  $v_0 \sin \alpha = \sqrt{2gh}$ . Подставив это соотношение в выражение для дальности полета  $L = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$ , получим  $v_{\min} = v_0 \cos \alpha = \frac{gL}{2\sqrt{2gh}} = 10$  м/с.

Ответ: 10 м/с.

## Задачи для самостоятельного решения

1. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела  $v_x$  от времени.

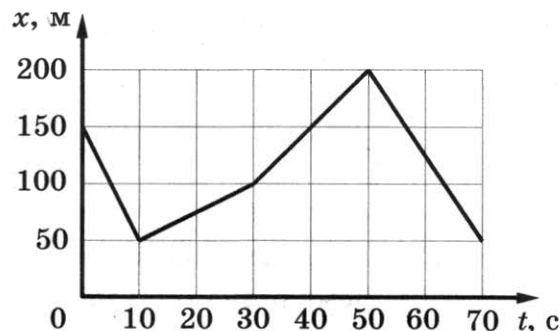


Какой путь тело прошло в интервале времени от 2 до 10 с?

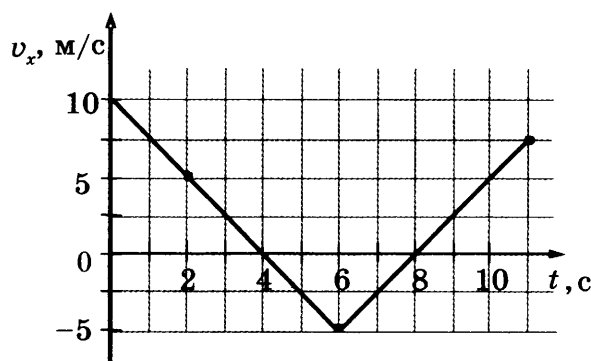
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

2. На рисунке представлен график зависимости координаты  $x$  велосипедиста от времени  $t$ . Определите, какова проекция скорости велосипедиста на ось  $Ox$  в интервале времени от 10 до 30 с?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.



3. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела  $v_x$  от времени. Определите проекцию ускорения этого тела  $a_x$  в интервале времени от 2 с до 5 с?



Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

4. Установите соответствие между зависимостью координаты тела от времени (где все величины выражены в СИ) и значениями проекций его начальной скорости и ускорения. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

### КООРДИНАТА

- А)  $x = 2 + 4t^2$   
 Б)  $x = 2t - 3t^2$

### НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ И УСКОРЕНИЕ

- 1)  $v_{0x} = -3 \text{ м/с}, a_x = 2 \text{ м/с}^2$   
 2)  $v_{0x} = 2 \text{ м/с}, a_x = -6 \text{ м/с}^2$   
 3)  $v_{0x} = 0, a_x = 8 \text{ м/с}^2$   
 4)  $v_{0x} = 2 \text{ м/с}, a_x = 4 \text{ м/с}^2$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

5. Исследуя движение бруска по наклонной плоскости, ученик определил, что брусок начинает движение из состояния покоя с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . Установите соответствие между физическими величинами, полученными при исследовании движения бруска, и уравнениями, выражающими эти зависимости.

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

### ЗАВИСИМОСТИ

- А) зависимость модуля скорости бруска от времени  $t$   
 Б) зависимость модуля скорости бруска от пройденного пути  $l$

### УРАВНЕНИЯ

- 1)  $At$ , где  $A = 2 \text{ м/с}^2$   
 2)  $Bt$ , где  $B = 1 \text{ м/с}^2$   
 3)  $C\sqrt{l}$ , где  $C = 2 \frac{\sqrt{\text{м}}}{\text{с}}$   
 4)  $l/D$ , где  $D = 4 \text{ с}^{-1}$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

6. Тело брошено с поверхности земли под углом  $\alpha$  к горизонту со скоростью  $v$ . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими движение тела, и формулами, выражающими их в рассматриваемой задаче.

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

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) длительность полета тела  $t$   
 Б) расстояние  $S$  от точки броска до точки падения

### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{2v \sin \alpha}{g}$   
 2)  $\frac{v^2 \cos^2 \alpha}{g}$   
 3)  $\frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$   
 4)  $\frac{v \sin \alpha}{g}$

Ответ:

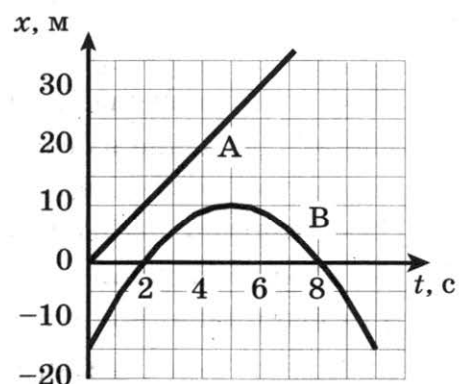
| А | Б |
|---|---|
|   |   |



7. Грузовик, движущийся по прямой улице с постоянной скоростью 10 м/с, проезжает мимо остановки. Через 5 с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с постоянным ускорением, и догоняет грузовик на расстоянии 150 м от остановки. Чему равно ускорение мотоцикла?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

8. Два тела — А и В — движутся по прямой вдоль оси  $Ox$ . На рисунке приведены графики зависимости координат этих тел от времени. Выберите два верных утверждения о характере движения тел.



- 1) Интервал между моментами прохождения телом В начала координат составляет 8 с.
- 2) Тело А двигалось равнозамедленно, а тело В равноускоренно.
- 3) В момент времени 5 с скорость тела В была равна 0.
- 4) Скорость тела А в момент времени 6 с равна 5 м/с.
- 5) В тот момент, когда тело В остановилось, расстояние от него до тела А составляло 25 м.

Ответ:

9. Из начала декартовой системы координат в момент времени  $t = 0$  тело малых размеров брошено под углом к горизонту. Ось  $x$  направлена вдоль горизонтальной поверхности, ось  $y$  — вертикально вверх. В таблице приведены результаты измерения координат  $x$  и  $y$  от времени наблюдения. Выберите два верных утверждения на основании данных, приведенных в таблице.

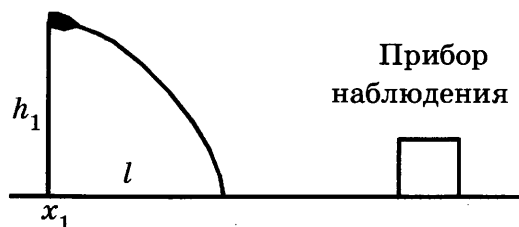
| Время, с           | 0,1  | 0,2 | 0,3  | 0,4 | 0,5  | 0,6 | 0,7  | 0,8 |
|--------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| Координата $x$ , м | 0,3  | 0,6 | 0,9  | 1,2 | 1,5  | 1,8 | 2,1  | 2,4 |
| Координата $y$ , м | 0,35 | 0,6 | 0,75 | 0,8 | 0,75 | 0,6 | 0,35 | 0   |

- 1) Тело бросили со скоростью 5 м/с.
- 2) Тело поднялось на максимальную высоту, равную 1,2 м.
- 3) В момент времени  $t = 0,3$  с тело удалилось от начала системы координат на расстояние, большее 2 м.
- 4) Проекция скорости  $v_y$  в момент времени  $t = 0,2$  с равна 2 м/с.
- 5) Тело бросили под углом  $45^\circ$ .

Ответ:

10. Сверху на наклонную плоскость падает маленький шарик, после чего упруго отражается от нее. Угол наклона плоскости к горизонту равен  $30^\circ$ . На какое расстояние по горизонтали перемещается шарик между первым и вторым ударами о плоскость? Скорость шарика в момент первого удара направлена вертикально вниз и равна 1 м/с.

- 11.** Летящий снаряд был обнаружен прибором наблюдения, который зафиксировал его горизонтальную координату  $x_1$  и высоту  $h_1 = 1655$  м над землей (см. рис.). Через 3 с снаряд упал на землю и взорвался на расстоянии  $l = 1700$  м от места его обнаружения. Чему равнялось время полета снаряда от пушки до места взрыва, если считать, что сопротивление воздуха пренебрежимо мало? Пушка и место взрыва находятся на одной горизонтали.



## Динамика

### Задачи с решениями

- 1.** В инерциальной системе отсчета телу массой 4 кг силой  $\vec{F}$  сообщается ускорение  $\vec{a}$ . Какова должна быть масса тела, чтобы сила  $3\vec{F}$  сообщала ему в 2 раза меньшее ускорение?

**Решение.** В соответствии со вторым законом Ньютона  $m\vec{a} = \vec{F}$ .

Тогда  $m_1 \frac{\vec{a}}{2} = 3\vec{F}$  и  $m_1 = 6m = 24$  кг.

**Ответ:** 24 кг.

- 2.** Тележку массой  $m = 3$  кг, движущуюся по гладкому горизонтальному столу, толкают с силой  $F = 6$  Н в направлении движения. Каково ускорение тележки относительно инерциальной системы отсчета?

**Решение.** В соответствии со вторым законом Ньютона  $a = \frac{F}{m} = 2$  м/с<sup>2</sup>.

**Ответ:** 2 м/с<sup>2</sup>.

- 3.** Тело массой  $m$  висит на пружине жесткостью  $k$  и удлиняет ее на  $\Delta l = 1$  см. Чему будет равно удлинение пружины жесткости  $\frac{k}{2}$ , если к ней подвесить тело массой  $\frac{m}{2}$ ?

**Решение.** Тело находится в равновесии под действием силы тяжести и силы натяжения пружины:  $mg = k\Delta l$ . Тогда  $\frac{m}{2}g = \frac{k}{2}\Delta l_x$  и  $\Delta l_x = \Delta l = 1$  см.

**Ответ:** 1 см.

4. Ящик массой  $m = 10$  кг скользит по горизонтальному полу. Коэффициент трения между полом и ящиком равен  $\mu = 0,25$ . Определите силу трения между ящиком и полом.

**Решение.** Поскольку ускорение тела по вертикали равно нулю, то сила тяжести равна силе нормальной реакции опоры:  $mg = N$ . Модуль силы трения скольжения, действующей на тело, равен  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg = 25$  Н.

**Ответ:** 25 Н.

5. По горизонтальной дороге едут санки массой 5 кг. Сила трения скольжения их полозьев о дорогу 6 Н. Каков коэффициент трения скольжения саночных полозьев о дорогу?

**Решение.** Модуль силы трения скольжения, действующей на тело, равен  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

Отсюда  $\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{mg} = 0,12$ .

**Ответ:** 0,12.

6. Груз лежит на полу покоящегося лифта, который начинает двигаться вниз с постоянным ускорением. Как изменятся при этом сила давления груза на пол лифта и действующая на него сила тяжести? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Сила давления груза на пол лифта | Сила тяжести |
|----------------------------------|--------------|
|                                  |              |

**Решение.** Выберем систему отсчета, связанную с поверхностью земли. В соответствии со вторым законом Ньютона уравнение движения груза в проекции на ось  $Ox$ , направленную вертикально вниз, имеет следующий вид:  $ma = mg - N$ , где  $m$  — масса груза,  $a$  — ускорение груза,  $g$  — ускорение свободного падения,  $N$  — сила нормальной реакции опоры. В соответствии с третьим законом Ньютона сила давления груза  $P$  на пол лифта равна по модулю силе  $N$ . Отсюда  $P = m(g - a)$ . В случае, когда лифт неподвижен или движется с постоянной скоростью, сила давления равна  $P = mg$ . Следовательно, при движении лифта с постоянным ускорением вниз сила давления уменьшается. Сила тяжести равна  $mg$  и не зависит от движения лифта.

**Ответ:**

| Сила давления груза на пол лифта | Сила тяжести |
|----------------------------------|--------------|
| 2                                | 3            |

7. Расстояние от спутника до центра Земли равно четырем радиусам Земли. Во сколько раз увеличится сила притяжения спутника к Земле, если расстояние от него до центра Земли станет равным двум радиусам Земли?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ .

**Решение.** В соответствии с законом всемирного тяготения  $F = G \frac{mM_3}{(4R)^2}$ , где  $G$  — гравитационная постоянная,  $m$  — масса спутника,  $M_3$  — масса Земли,  $R$  — расстояние от спутника до центра Земли. Тогда  $F' = G \frac{mM_3}{(2R)^2}$  и  $\frac{F'}{F} = 4$ .

**Ответ:** 4.

- 8.** По круговой орбите вокруг планеты движется спутник. Радиус планеты равен  $R$ , ее масса —  $M$ , а расстояние от поверхности планеты до спутника —  $h$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать ( $G$  — гравитационная постоянная). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) скорость спутника

Б) центростремительное ускорение спутника

#### ФОРМУЛЫ

1)  $\frac{GM}{R(R+h)}$

2)  $\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$

3)  $\frac{GM}{(R+h)^2}$

4)  $\sqrt{\frac{GMR}{(R+h)^2}}$

**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

**Решение.** Спутник массой  $m$  движется вокруг планеты под действием силы гравитационного притяжения. В соответствии со вторым законом Ньютона и законом всемирного тяготения уравнение движения спутника имеет следующий вид:  $ma_{\text{ц}} = m \frac{v^2}{R+h} = G \frac{mM}{(R+h)^2}$ .

Отсюда скорость спутника равна  $v = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}$ , а центростремительное ускорение —

$$a_{\text{ц}} = G \frac{M}{(R+h)^2}.$$

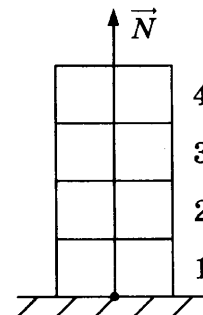
**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 2 | 3 |

- 9.** В стопку, как показано на рисунке, сложены четыре одинаковых кирпича массой 1 кг каждый. Насколько уменьшится модуль силы  $\vec{N}$ , действующей со стороны горизонтальной опоры на первый кирпич, если убрать два верхних кирпича?

**Решение.** В соответствии со вторым и третьим законами Ньютона  $N = 4mg$ . После того как уберут два верхних кирпича, модуль силы  $\vec{N}$  станет равен  $2mg$ . Следовательно, модуль силы нормальной реакции  $\vec{N}$ , действующей со стороны горизонтальной опоры на первый кирпич, уменьшится на  $2mg = 20 \text{ Н}$ .

**Ответ:** 20 Н.



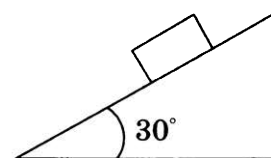
### Задачи для самостоятельного решения

1. В инерциальной системе отсчета сила  $\vec{F}$  сообщает телу массой  $m$  ускорение  $2 \text{ м/с}^2$ . Чему равно ускорение тела массой  $\frac{m}{2}$  под действием силы  $\frac{1}{2}\vec{F}$  в этой системе отсчета?

**Ответ:** \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

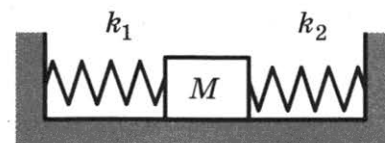
2. Деревянный брусок массой  $0,5 \text{ кг}$  покоится на деревянной наклонной плоскости, образующей угол  $30^\circ$  с горизонтом. Какова сила трения, действующая на брусок?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Н.



3. Сжатый с боков пружинами кубик массой  $1 \text{ кг}$  покоится на гладком горизонтальном столе (см. рис.). Правая пружина жесткостью  $k_2 = 200 \text{ Н/м}$  сжата на  $4 \text{ см}$ . С какой силой левая пружина жесткостью  $k_1 = 400 \text{ Н/м}$  действует на кубик?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Н.



4. После удара шайба массой  $m$  начала скользить со скоростью  $\vec{v}_0$  вверх по плоскости, образующей угол  $\alpha$  к горизонту. Коэффициент трения шайбы о плоскость равен  $\mu$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) модуль ускорения при движении шайбы вверх  
Б) модуль силы трения

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$   
2)  $\mu mg \cos \alpha$   
3)  $\mu mg \sin \alpha$   
4)  $g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$

**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

5. При исследовании зависимости силы трения скольжения  $F_{\text{тр}}$  от силы нормального давления  $F_{\text{д}}$  были получены следующие данные:

|                            |     |     |      |      |
|----------------------------|-----|-----|------|------|
| $F_{\text{тр}}, \text{ Н}$ | 1,0 | 2,0 | 3,0  | 4,0  |
| $F_{\text{д}}, \text{ Н}$  | 4,0 | 8,0 | 12,0 | 16,0 |

Чему равен коэффициент трения скольжения?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

6. На тело массой 10 кг при движении по горизонтальной поверхности действует сила трения скольжения 5 Н. Какой станет сила трения скольжения после увеличения массы тела в 3 раза, если коэффициент трения не изменится?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

7. Санки скользят по горизонтальной дороге. Сила трения скольжения их полозьев о дорогу 10 Н, коэффициент трения скольжения саночных полозьев о дорогу равен 0,2. Чему равна масса санок?

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

8. Рассчитайте отношение сил притяжения Луны к Земле и Луны к Солнцу  $\frac{F_{\text{Л-З}}}{F_{\text{Л-С}}}$ ? Масса Земли в 333 тыс. раз меньше, чем у Солнца. Среднее расстояние Луны от Солнца — 150 млн км, а от Земли — 400 тыс. км. Ответ округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ .

9. Брусok, лежащий на горизонтальном диске, вращается вместе с ним с некоторой угловой скоростью. Период вращения диска увеличили. При этом положение бруска на диске осталось прежним. Как изменились при этом сила нормального давления бруска на опору и сила трения, действующая на брусok?

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 нормального давления бруска на опору | Сила трения, действующая на брусok |
|                                           |                                    |

10. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом. Угол, который составляет наклонная плоскость с горизонтом, увеличили. Как изменяются при

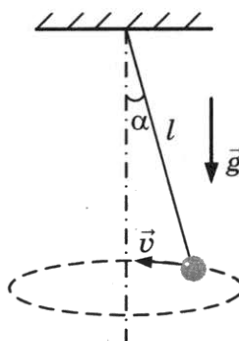
этом сила трения и сила нормальной реакции опоры, действующие на тело? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличиваются
- 2) уменьшаются
- 3) не изменяются

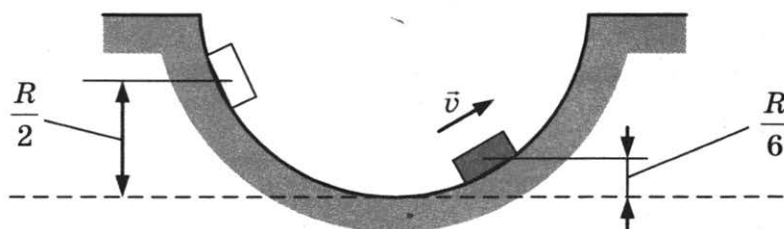
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

| Сила трения | Сила нормальной реакции опоры |
|-------------|-------------------------------|
|             |                               |

- 11.** Груз, прикрепленный к нити длиной  $l = 15$  см, вращается вокруг вертикальной оси так, что нить отклоняется от вертикали на угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определите скорость движения груза.

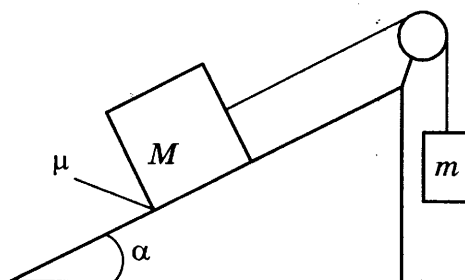


- 12.** По неподвижной гладкой сферической поверхности радиусом  $R$  из состояния покоя движется маленькая шайба, начальное положение которой находится на высоте  $\frac{R}{2}$  относительно нижней точки поверхности. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шайбу в тот момент, когда она движется вправо-вверх, находясь на высоте  $\frac{R}{6}$  над нижней точкой поверхности (см. рис.). Покажите на этом рисунке, куда направлено в этот момент ускорение шайбы (по радиусу поверхности, по касательной к поверхности, внутрь поверхности, наружу от поверхности). Ответ обоснуйте. Сопротивление воздуха не учитывать.



- 13.** Грузы массами  $M = 1$  кг и  $m$  связаны легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, по которому нить может скользить без трения (см. рис.). Груз массой  $M$  находится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту

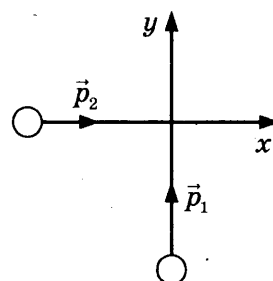
$\alpha = 30^\circ$ , коэффициент трения  $\mu = 0,3$ ). Чему равно максимальное значение массы  $m$ , при котором система грузов еще не выходит из первоначального состояния покоя?



## Импульс, механическая энергия, работа, мощность

### Задачи с решениями

1. На рисунке показано, как по взаимно перпендикулярным пересекающимся прямым движутся два тела. Модуль импульса первого тела  $p_1 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ , а второго тела  $p_2 = 2\sqrt{2} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ . Определите модуль импульса системы этих тел после их абсолютно неупругого удара.



Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{кг} \cdot \text{м/с}$ .

**Решение.** Согласно закону сохранения импульса импульс системы тел после их абсолютно неупругого удара равен  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ , следовательно, модуль импульса  $p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = 3 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .

Ответ:  $3 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .

2. Человек, стоящий на гладком льду, стреляет из ружья в горизонтальном направлении. Масса заряда  $m = 0,04 \text{ кг}$ . Скорость дробинок при выстреле  $u = 300 \text{ м/с}$ . Какова масса человека  $M$ , если его скорость после выстрела равна  $V = 0,2 \text{ м/с}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{кг}$ .

**Решение.** Согласно закону сохранения импульса  $0 = mu - MV$ . Отсюда  $M = \frac{mu}{V} = 60 \text{ кг}$ .

Ответ:  $60 \text{ кг}$ .

3. На поступательно движущееся в инерциальной системе отсчета тело в течение времени  $\Delta t$  действовала постоянная равнодействующая сила  $\vec{F}$ . Как изменятся модуль импульса силы и модуль изменения импульса тела, если время  $\Delta t$  действия силы уменьшится?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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



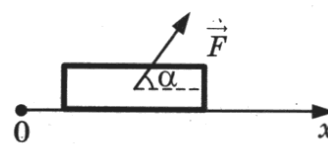
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

| Модуль импульса равнодействующей силы | Модуль изменения импульса тела |
|---------------------------------------|--------------------------------|
|                                       |                                |

**Решение.** В соответствии с законом изменения импульса  $\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$ . При уменьшении времени действия силы  $\Delta t$  модуль импульса силы  $|\vec{F} \Delta t|$ , а значит, и модуль изменения импульса тела  $|\Delta \vec{p}|$  уменьшатся.

|               |                                       |                                |
|---------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Ответ:</b> | Модуль импульса равнодействующей силы | Модуль изменения импульса тела |
|               | 2                                     | 2                              |

4. На горизонтальной поверхности находится тело, на которое действуют с силой  $F = 10$  Н, направленной под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту (см. рис.), в результате чего тело перемещается по поверхности на  $\vec{S} = 5$  м. Какова работа этой силы?



Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

**Решение.** Работа силы равна  $A = FS \cos \alpha = 25$  Дж.

Ответ: 25 Дж.

5. Какую работу совершил человек, который взялся за конец лежащего на земле однородного стержня массы  $m = 100$  кг и поднял этот конец на высоту  $h = 2$  м?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

**Решение.** Работа, которую совершил человек, равна изменению потенциальной энергии стержня, которая определяется положением центра тяжести стержня. Поскольку стержень однородный, то  $A = mg \frac{h}{2} = 1000$  Дж.

Ответ: 1000 Дж.

6. Первая пружина имеет жесткость  $k_1 = 20$  Н/м, вторая —  $k_2 = 40$  Н/м. Обе пружины растянуты на  $\Delta l = 1$  см. Определите отношение потенциальных энергий пружин  $\frac{E_2}{E_1}$ .

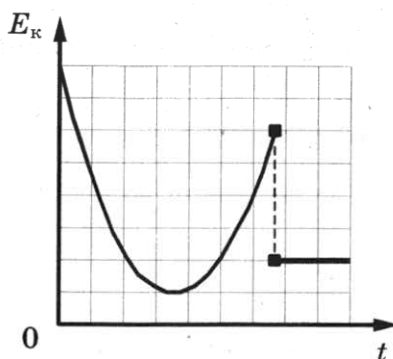
Ответ: \_\_\_\_\_.

**Решение.** Потенциальные энергии пружин равны соответственно  $E_1 = k_1 \frac{(\Delta l)^2}{2}$  и  $E_2 = k_2 \frac{(\Delta l)^2}{2}$ .

Тогда  $\frac{E_2}{E_1} = \frac{k_2}{k_1} = 2$ .

Ответ: 2.

7. Схематичный вид графика изменения кинетической энергии тела с течением времени представлен на рисунке. Выберите два верных утверждения о движении тела.



- 1) Тело брошено под углом к горизонту с поверхности земли и упало на землю.
- 2) Тело брошено вертикально вверх с балкона и упало на землю.
- 3) В верхней точке движения скорость тела была отлична от нуля.
- 4) Тело брошено под углом к горизонту с поверхности земли и упало в кузов проезжающего мимо грузовика.
- 5) Перед падением скорость тела была больше начальной скорости.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

**Решение.** Кинетическая энергия материальной точки равна  $E = \frac{mv^2}{2}$ , где  $m$  — масса материальной точки,  $v$  — ее скорость.

Ответ 1) неверный, так как в этом случае после падения на землю тело покоится и его кинетическая энергия в конце должна стать равной нулю. При движении брошенного тела вверх его скорость, а значит, и кинетическая энергия уменьшаются.

Ответ 2) неверный, поскольку в случае вертикального броска в верхней точке полета его скорость и значение кинетической энергии должны быть равны нулю.

Ответ 3) является верным, поскольку в верхней точке движения кинетическая энергия не равна нулю, а значит, скорость тела была отлична от нуля.

Ответ 4) является верным. В этом случае скорость в верхней точке равна начальной скорости тела в горизонтальном направлении, а значит, тело брошено под углом к горизонту. После падения кинетическая энергия тела также не стала равна нулю, следовательно, тело упало в кузов проезжающего мимо грузовика.

Ответ 5) неверный, поскольку кинетическая энергия перед падением, а следовательно, и скорость была меньше начальной.

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| 3 | 4 |
|---|---|

8. Мальчик на санках с общей массой 60 кг спускается с ледяной горы и останавливается, проехав 40 м по горизонтальной поверхности после спуска. Какова высота горы, если сила сопротивления движению на горизонтальном участке равна 60 Н? Считать, что по склону горы санки скользили без трения.

Ответ: \_\_\_\_\_.

**Решение.** Поскольку по склону горы санки скользили без трения, то в соответствии с законом сохранения механической энергии  $mgh = m \frac{v^2}{2}$ , где  $h$  — высота горки,  $v$  — скорость санок в конце горки. Согласно закону изменения механической энергии  $m \frac{v^2}{2} = |F_{\text{сопр}}| S$ , где  $S$  — путь, пройденный санками по горизонтальной поверхности. Отсюда  $h = \frac{|F_{\text{сопр}}| S}{mg} = 4 \text{ м.}$

**Ответ:** 4 м.

- 9.** Летящий под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту со скоростью  $v = 60 \text{ м/с}$  снаряд массой  $m = 0,1 \text{ кг}$  попадает в тело массой  $M = 4,9 \text{ кг}$ , лежащее на гладком участке горизонтальной поверхности, и застревает в нем. Какой путь  $S$  пройдет тело до полной остановки, попав на шероховатую часть поверхности, если коэффициент трения скольжения между телом и поверхностью равен  $\mu = 0,25$ ?

**Решение.** В соответствии с законом сохранения импульса в проекции на ось декартовой системы координат, направленную вдоль горизонтальной поверхности в направлении скорости пули:

$$mv \cos \alpha = (M + m) u, \quad (1)$$

где  $u$  — скорость тел после удара.

Согласно закону изменения механической энергии  $\Delta E_k = A_{\text{тр}}$ , где  $\Delta E_k$  — изменение кинетической энергии тел,  $A_{\text{тр}}$  — работа силы трения. Следовательно,

$$(M + m) \frac{u^2}{2} = \mu (M + m) g S. \quad (2)$$

Объединяя (1) и (2), получим

$$S = \frac{1}{2\mu g} \left( \frac{v \cos \alpha}{1 + \frac{m}{M}} \right)^2 = 0,072 \text{ м.}$$

**Ответ:**  $S = \frac{1}{2\mu g} \left( \frac{v \cos \alpha}{1 + \frac{M}{m}} \right)^2 = 0,072 \text{ м.}$

- 10.** Два шарика, массы которых 200 г и 600 г, висят, соприкасаясь, на одинаковых нитях длиной 80 см. Первый шар отклонили на угол  $90^\circ$  и отпустили. На какую высоту поднимутся шарики после удара, если этот удар абсолютно неупругий?

**Решение.** Выберем инерциальную систему отсчета. Ось  $x$  направим горизонтально вдоль направления скорости  $v_1$  первого шарика в момент удара. Скорость  $v_1$  определим, используя закон сохранения механической энергии до удара шариков:

$$m_1 g l = \frac{m_1 v_1^2}{2}. \quad (1)$$

Согласно закону сохранения импульса, записанному в проекции на выбранную ось  $x$  системы координат:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_2. \quad (2)$$

Высоту, на которую поднимутся шарики после удара, определим из закона сохранения механической энергии:

$$\frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{2} = (m_1 + m_2) g h. \quad (3)$$

Из соотношений (1) – (3), получим:  $h = \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 l = 0,05 \text{ м.}$

**Ответ:**  $h = \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 l = 0,05 \text{ м.}$

### Задачи для самостоятельного решения

1. Вагонетка массой  $m$  движется по горизонтальным рельсам со скоростью  $v = 6 \text{ м/с.}$  Определите, какой станет скорость вагонетки, когда на нее сверху вертикально опустят груз, масса которого равна половине массы вагонетки.

**Ответ:** \_\_\_\_\_ м/с.

2. Вдоль одной прямой движутся два шара массами  $m_1 = 1 \text{ кг}$  и  $m_2 = 2 \text{ кг}$  со скоростями, равными соответственно  $v_1 = 10 \text{ м/с}$  и  $v_2 = 5 \text{ м/с.}$  Первый шар движется за вторым и, догнав, прилипает к нему. Каков суммарный импульс шаров после удара?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ кг · м/с.

3. Легковой автомобиль и грузовик массами  $m = 1000 \text{ кг}$  и  $M = 5000 \text{ кг}$  движутся с постоянными скоростями. Скорость автомобиля равна  $v_1 = 110 \text{ км/ч,}$  а отношение импульса грузовика к импульсу автомобиля равно 2. Определите скорость грузовика.

**Ответ:** \_\_\_\_\_ км/ч.

4. Человек везет ребенка на санках с постоянной скоростью по горизонтальной заснеженной дороге. Модуль силы трения санок о снег равен  $30 \text{ Н.}$  Человек совершил механическую работу, равную  $3000 \text{ Дж.}$  Определите пройденный им путь.

**Ответ:** \_\_\_\_\_ м.

5. Мяч массой  $0,5 \text{ кг}$  летит со скоростью  $4 \text{ м/с.}$  Какова его кинетическая энергия?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Дж.

6. Шайба после удара клюшкой приобрела скорость 13 м/с и стала скользить вверх по ледяной горке. Чему равна скорость шайбы на вершине горки, если ее высота 8 м? Трением шайбы о лед пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

7. Первоначальное удлинение пружины равно  $\Delta l$ . Во сколько раз уменьшится потенциальная энергия пружины, если ее удлинение станет вдвое меньше?

Ответ: \_\_\_\_\_.

8. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Определите кинетическую энергию мяча до удара, если при ударе выделилось количество теплоты, равное 15 Дж.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

9. В неподвижно висающий на нити длиной 40 см груз массой 81 г попадает летящая горизонтально пластилиновая пуля массой 9 г, в результате чего груз с прилипшей к нему пулей начинает совершать колебания. Максимальный угол отклонения нити от вертикали при этом  $\alpha = 60^\circ$ . Какова скорость пули перед попаданием в груз?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

10. Камень брошен вверх под углом к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Как меняются с набором высоты модуль ускорения камня и его потенциальная энергия в поле силы тяжести?

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.

| Модуль ускорения камня | Потенциальная энергия камня |
|------------------------|-----------------------------|
|                        |                             |

11. Автобус массой  $m$ , движущийся по прямолинейному горизонтальному участку дороги со скоростью  $v$ , тормозит до полной остановки. Колеса автобуса при торможении не вращаются. Коэффициент трения между колесами и дорогой равен  $\mu$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

# ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) модуль работы силы трения, действующей на автобус  
 Б) время, необходимое для полной остановки автобуса

# ФОРМУЛЫ

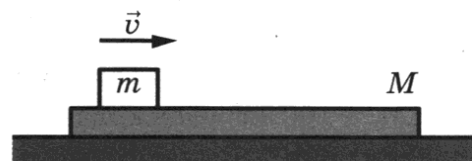
- 1)  $\mu g v$   
 2)  $\frac{mv^2}{2\mu g}$   
 3)  $\frac{v}{\mu g}$   
 4)  $\frac{mv^2}{2}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

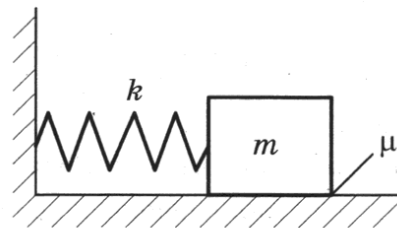
12. Среднее давление пороховых газов в стволе орудия равно  $5 \cdot 10^8$  Па. Какова длина ствола орудия, если скорость вылетевшего из него снаряда 1,5 км/с? Диаметр ствола 45 мм, масса снаряда 2 кг. (Трение пренебрежимо мало.)

13. По длинной доске массой  $M = 2$  кг, находящейся на гладкой горизонтальной плоскости, скользит шайба массой  $m = 0,5$  кг. Коэффициент трения между шайбой и доской  $\mu = 0,2$ . В начальный момент времени скорость шайбы  $v_0 = 2$  м/с, а доска покоится. В какой момент времени  $\tau$  шайба перестает скользить по доске?



14. Снаряд выпущен из пушки вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два осколка, массы которых относятся как  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{2}{1}$ . Осколок большей массы упал на землю первым со скоростью  $2v_0$ . До какой максимальной высоты  $h_{\max}$  может подняться осколок меньшей массы?

15. Груз массой  $m = 2$  кг, лежащий на горизонтальной плоскости, прикреплен к одному концу легкой пружины жесткостью  $k = 100$  Н/м, другой конец которой закреплен неподвижно (см. рис.). Груз смещают по горизонтали, растягивая пружину, затем отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Груз движется в одном направлении и затем останавливается в положении, в котором пружина уже сжата. Максимальное растяжение пружины, при котором груз движется таким образом, равно  $d = 15$  см. Найдите коэффициент трения  $\mu$  груза о плоскость.



16. Снаряд выпущен из пушки вертикально вверх со начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два осколка, массы которых относятся как 1 : 2. Осколок меньшей массы  $m_1$  упал на землю со скоростью  $u_1 = 20$  м/с. Какова скорость  $u_2$  большего осколка массы  $m_2$  при его падении на землю? Считать поверхность земли плоской и горизонтальной.

# Статика, гидростатика

## Задачи с решениями

1. Результаты, полученные при выполнении лабораторной работы по исследованию условий равновесия рычага, занесены в таблицу:

| $F_1$ , Н | $l_1$ , м | $F_2$ , Н | $l_2$ , м |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ?         | 0,1       | 15        | 0,4       |

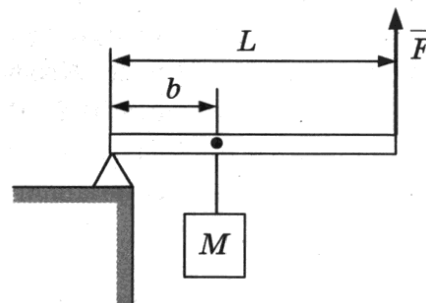
Определите величину силы  $F_1$ , если рычаг находится в равновесии.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

**Решение.** Рычаг находится в равновесии при равенстве моментов сил:  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ . Отсюда  $F_1 = 60$  Н.

Ответ: 60 Н.

2. Приложив вертикальную силу  $F$ , груз массой  $M = 100$  кг удерживают на месте с помощью рычага (см. рис.). Рычаг состоит из шарнира без трения и однородного массивного стержня длиной  $L = 8$  м. Расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза равно  $b = 2$  м. Чему равен модуль силы  $F$ , если масса стержня  $m = 40$  кг?



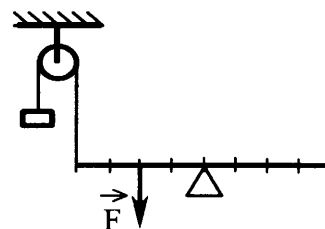
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

**Решение.** Стержень находится в равновесии, если суммарный момент силы  $\vec{F}$ , силы тяжести  $m\vec{g}$  и силы натяжения нити  $\vec{T}$  относительно оси вращения равен нулю:  $Tb + mg \frac{L}{2} - FL = 0$ .

Поскольку  $T = Mg$ ,  $F = g \left( M \frac{b}{L} + \frac{m}{2} \right) = 450$  Н.

Ответ: 450 Н.

3. На рисунке изображена система, состоящая из однородного стержня, блока и груза. Масса груза 100 г. Какую силу нужно приложить к стержню, чтобы система находилась в равновесии?



Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

**Решение.** Поскольку ось вращения стержня совпадает с центром тяжести стержня, то момент силы тяжести относительно оси вращения равен нулю. Стержень находится в равновесии, если суммарный момент силы  $F$ , силы тяжести и силы натяжения нити  $T$  относительно оси вращения равен нулю:

$$T4l = F2l,$$

где  $l$  — длина единичного отрезка на стержне. Поскольку груз на блоке находится в равновесии, то  $T = mg$ . Отсюда  $F = 2T = 2mg = 2 \text{ Н}$ .

**Ответ:**  $F = 2mg = 2 \text{ Н}$ .

4. На тело в форме куба, полностью погруженное в жидкость так, что верхняя грань куба касается поверхности жидкости, действует выталкивающая сила, равная 3 Н. Глубину погружения тела уменьшили в 3 раза. Чему стала равна выталкивающая сила?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Н.

**Решение.** Выталкивающая сила (сила Архимеда) равна  $F_{\text{арх}} = \rho g V$ , где  $\rho$  — плотность жидкости,  $g$  — ускорение свободного падения,  $V$  — объем погруженной в жидкость части тела (в первом случае  $V$  — объем всего тела). После того как глубина погружения тела была уменьшена в 3 раза, выталкивающая сила стала равна  $F_{\text{арх}} = \rho g \frac{V}{3} = 1 \text{ Н}$ .

**Ответ:** 1 Н.

5. Алюминиевый кубик, подвешенный на нити, целиком погружен в воду и не касается дна сосуда. Длина ребра кубика равна  $l = 10 \text{ см}$ . Определите выталкивающую (архимедову) силу, действующую на кубик.

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Н.

**Решение.** Выталкивающая сила (сила Архимеда) равна  $F_{\text{арх}} = \rho g l^3 = 10 \text{ Н}$ , где плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

**Ответ:** 10 Н.

6. Закрытую пробкой бутылку с подсолнечным маслом перевернули. Определите среднюю силу, с которой действует масло на пробку площадью  $S = 5 \text{ см}^2$ , если расстояние от уровня масла в сосуде до пробки равно  $h = 20 \text{ см}$ .

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Н.

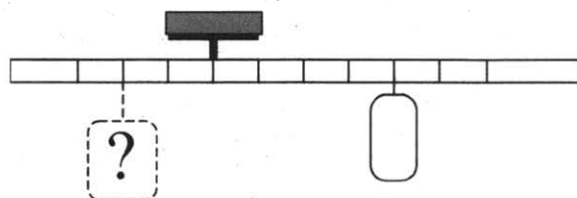
**Решение.** Сила гидростатического давления масла на пробку равна  $F = \rho g h \cdot S = 0,9 \text{ Н}$ .

**Ответ:** 0,9 Н.

### Задачи для самостоятельного решения

1. К правому плечу невесомого рычага подвешено тело массой 0,2 кг (см. рис.). Груз какой массы надо подвесить ко второму делению левого плеча рычага для достижения равновесия?

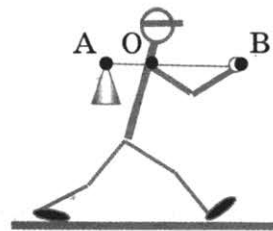
**Ответ:** \_\_\_\_\_ кг.





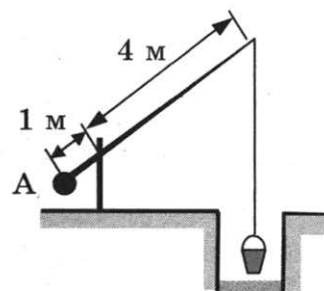
2. Человек несет груз на жерди (см. рис.). Определите, какую минимальную по величине силу человек должен приложить к концу В невесомой жерди, чтобы удержать в равновесии груз массой 2 кг. Расстояние АО равно 0,2 м, расстояние ОВ равно 0,4 м.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.



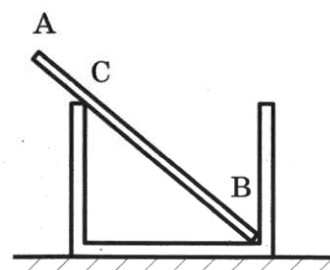
3. Каким должен быть противовес А колодезного журавля (см. рис.), чтобы он уравнивал ведро массой 10 кг? (Рычаг считайте невесомым.)

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.



4. Однородный неподвижный стержень АВ касается края банки в точке С и упирается в стык дна и стенки банки концом В (см. рис.). Модуль силы, с которой стержень давит на стенку сосуда в точке С, равен 0,5 Н. Вертикальная составляющая силы, с которой стержень давит на сосуд в точке В, равна по модулю 0,6 Н, а ее горизонтальная составляющая равна по модулю 0,3 Н. Чему равна сила тяжести, действующая на стержень? Трением пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.



5. На полностью погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная 5 Н. Во время опыта по исследованию выталкивающей силы ученик в 3 раза увеличил глубину погружения тела. Чему стала равна выталкивающая сила?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

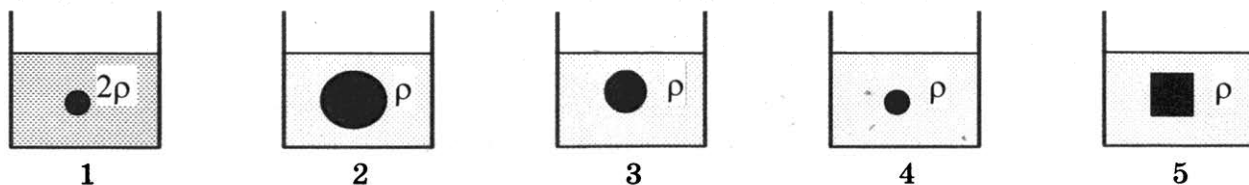
6. Груз, подвешенный к опоре на нити, полностью погрузили в сосуд с водой. Как изменятся действующие на груз сила Архимеда и сила натяжения нити, если массу груза увеличить в 2 раза, не изменяя при этом его объем, и вместо воды налить в сосуд подсолнечное масло? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Сила Архимеда | Сила натяжения нити |
|---------------|---------------------|
|               |                     |

7. Для изучения закона Архимеда в проводимых опытах изменяют объем погруженного в жидкость тела и плотность жидкости. Какую пару опытов необходимо выбрать, чтобы обнаружить зависимость силы Архимеда от плотности жидкости? (На рисунках указана плотность жидкости.)

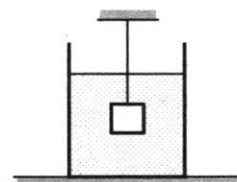


Ответ: 

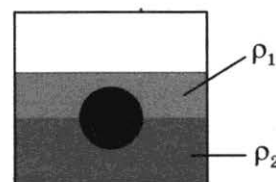
|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

8. Подвешенный на тонкой нити груз массой  $m = 2,0$  кг целиком погружен в воду и не касается дна сосуда (см. рис.). Модуль силы натяжения нити  $T = 13$  Н. Найдите объем груза.

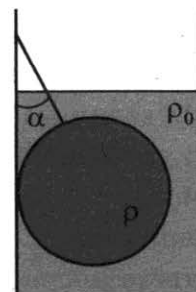
Ответ: \_\_\_\_\_ л.



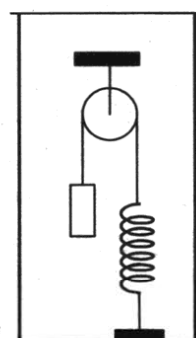
9. На границе раздела двух несмешивающихся жидкостей плавает шарик (см. рис.). Плотности жидкостей равны соответственно  $\rho_1 = 400$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_2 = 2\rho_1$ . Какой должна быть плотность шарика  $\rho$ , чтобы выше границы раздела жидкостей была одна четверть его объема?



10. Свинцовый шар массой 4 кг подвешен на нити и полностью погружен в воду (см. рис.). Нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$ . Определите силу, с которой нить действует на шар. Плотность свинца  $\rho = 11\,300$  кг/м<sup>3</sup>. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шар.



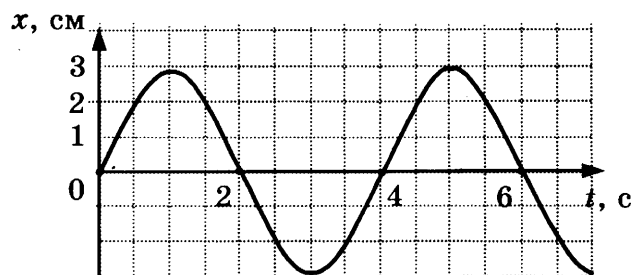
11. В сосуде (см. рис.) находится система тел, состоящая из блока с перекинутой через него нитью, к концам которой привязаны тело объемом  $V$  и пружина жесткостью  $k$ . Нижний конец пружины прикреплен ко дну сосуда. На сколько изменится сила натяжения нити, действующая на пружину, если эту систему целиком погрузить в жидкость плотностью  $\rho$ ? Считать, что трение в оси блока отсутствует.



# Механические колебания, волны

## Задачи с решениями

1. На рисунке изображен график зависимости координаты колеблющегося тела от времени. Чему равна частота колебаний тела?



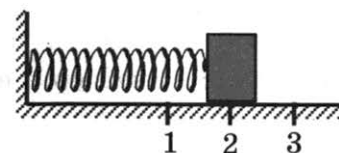
Ответ: \_\_\_\_\_ Гц.

**Решение.** Из графика зависимости координаты колеблющегося тела от времени определим период колебаний  $T = 4$  с. Частота колебаний и период связаны следующим соотношением:

$$\nu = \frac{1}{T} = 0,25 \text{ Гц.}$$

Ответ: 0,25 Гц.

2. Груз пружинного маятника, изображенного на рисунке, совершает гармонические колебания между точками 1 и 3. Как меняются кинетическая энергия груза маятника и модуль ускорения груза при движении груза маятника от точки 2 к точке 1?



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.

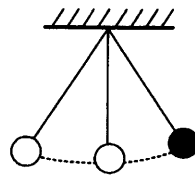
| Кинетическая энергия груза маятника | Модуль ускорения груза |
|-------------------------------------|------------------------|
|                                     |                        |

**Решение.** Как видно на рисунке, точка 2 является положением равновесия. В этой точке скорость груза маятника максимальна. При движении груза от точки 2 к точке 1 модуль скорости груза уменьшается, следовательно, уменьшается его кинетическая энергия. При движении груза от точки 2 к точке 1 происходит сжатие пружины, следовательно, возрастает сила натяжения пружины, а значит, увеличивается модуль ускорения груза маятника.

Ответ:

| Кинетическая энергия груза маятника | Модуль ускорения груза |
|-------------------------------------|------------------------|
| 2                                   | 1                      |

3. Математический маятник, период колебаний которого равен 4 с, отклонили на небольшой угол от положения равновесия и отпустили без начальной скорости (см. рис.). Через какое время после этого потенциальная энергия маятника в первый раз достигнет минимального значения? Сопротивлением воздуха пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ с.

**Решение.** В начальном положении потенциальная энергия маятника принимает максимальное значение. В тот момент, когда угол отклонения маятника от вертикали равен нулю, его потенциальная энергия минимальна. Это произойдет через  $1/4$  периода колебаний, т.е. через 1 с.

Ответ: 1 с.

4. Груз пружинного маятника, имеющий массу  $m = 0,1$  кг, проходит положение равновесия со скоростью  $v = 0,3$  м/с. Чему равна амплитуда колебаний груза  $A$ , если жесткость пружины  $k = 90$  Н/м?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

**Решение.** При гармонических колебаниях максимальная кинетическая энергия равна максимальной потенциальной энергии:  $\frac{mv^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$ . Отсюда  $A = \sqrt{\frac{mv^2}{k}} = v\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,01$  м = 1 см.

Ответ: 1 см.

5. Математический маятник колеблется с периодом  $T = 2$  с. Каким будет период колебаний маятника, если его длину уменьшить в 4 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

**Решение.** Период колебаний математического маятника равен  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ . Если длину маятника уменьшить в 4 раза, то период колебаний уменьшится в 2 раза:  $T' = 2\pi\sqrt{\frac{l}{4g}} = \frac{T}{2} = 1$  с.

Ответ: 1 с.

6. Скорость звука в среде равна  $v = 500$  м/с. Какова частота колебаний  $\nu$  звуковых волн в этой среде, если длина волны  $\lambda = 2$  м?

Ответ: \_\_\_\_\_ Гц.

**Решение.** Частота колебаний, скорость и длина волны связаны следующим соотношением:  $\nu = \frac{v}{\lambda} = 250$  Гц.

Ответ: 250 Гц.

7. Для экспериментального определения скорости звука человек встал на расстоянии  $L = 33$  м от стены и хлопнул в ладоши. В момент хлопка включился электронный секундомер, который выключился отраженным звуком. Время, отмеченное секундомером, равно  $t = 0,2$  с. Какова определенная человеком скорость звука?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

**Решение.** За время  $t$  звук проходит расстояние, равное  $2L$ . Тогда скорость звука равна

$$v = \frac{2L}{t} = 330 \text{ м/с.}$$

Ответ: 330 м/с.

### Задачи для самостоятельного решения

1. В первой серии опытов исследовались малые колебания груза на нити некоторой длины. Затем этот же груз закрепили на нити большей длины. Максимальные углы отклонения нити от вертикали в опытах одинаковые.

Как при переходе от первой серии опытов ко второй изменятся период колебаний и амплитуда колебаний груза?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Период колебаний | Амплитуда колебаний |
|------------------|---------------------|
|                  |                     |

2. Груз, подвешенный на пружине, совершает вынужденные гармонические колебания под действием силы, меняющейся с частотой  $\nu$ .

Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими этот процесс, и частотой их изменения.

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

#### ВЕЛИЧИНЫ

- А) кинетическая энергия груза
- Б) скорость груза

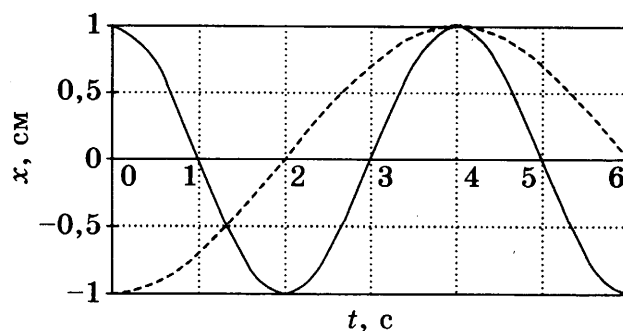
#### ЧАСТОТА ИЗМЕНЕНИЯ

- 1)  $\frac{\nu}{2}$
- 2)  $\nu$
- 3)  $2\nu$
- 4)  $\frac{\nu}{4}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

3. Два тела 1 и 2, прикрепленные к одинаковым пружинам, совершают колебания. На рисунке приведены зависимости координат этих тел от времени. Сплошной линией изображены зависимости координат груза массой  $m_1$ , пунктиром — тела массой  $m_2$ . Выберите два верных утверждения о движении тел.



- 1) Частота колебаний тела 1 равна 1 Гц.
- 2) Амплитуды колебаний тел одинаковы.
- 3) Массы первого тела в два раза больше массы второго тела.
- 4) В промежуток времени между 3 с и 4 с модуль скорости тела 1 уменьшается, а модуль скорости тела 2 увеличиваются.
- 5) В момент времени 2 с кинетическая энергия тела 2 максимальна.

Ответ: ☐ ☐

4. Зависимость смещения груза пружинного маятника от времени имеет следующий вид:  
 $x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ , где период  $T = 2$  с. Через какое минимальное время, начиная с момента  $t = 0$ , потенциальная энергия деформируемой пружины маятника достигнет половины своего максимума?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

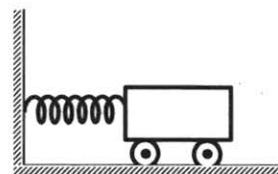
5. Груз, подвешенный на пружине, жесткостью  $k = 200$  Н/м совершает гармонические колебания с частотой  $\nu$ . Какова должна быть жесткость пружины, к которой нужно подвесить этот груз, чтобы частота его колебаний стала равна  $2\nu$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н/м.

6. Подвешенный на пружине шарик массой 100 г совершает гармонические колебания вдоль вертикальной прямой. Какой должна быть масса шарика, подвешенного к той же пружине, чтобы период его колебаний был в 2 раза меньше первоначального?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

7. Груз массой 100 г, закрепленный на пружине, совершает гармонические колебания (см. рис.). Максимальная скорость груза равна 4 м/с. Определите максимальную потенциальную энергию пружины.



Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

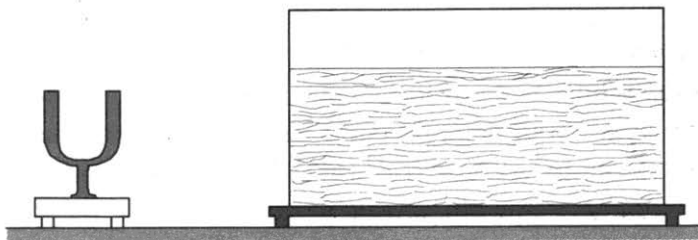
8. Определите длину волны звуковых волн в среде, если скорость звука в этой среде  $v = 600$  м/с, а частота колебаний  $\nu = 200$  Гц.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

9. Скорость распространения волны с периодом 0,5 с равна 20 м/с. Чему равна длина волны?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

10. На лабораторном столе стоят камертон на 440 Гц и аквариум с водой. По ножке камертона ударили молоточком.



Как изменятся период колебаний и длина звуковой волны при переходе звука из воздуха в воду?

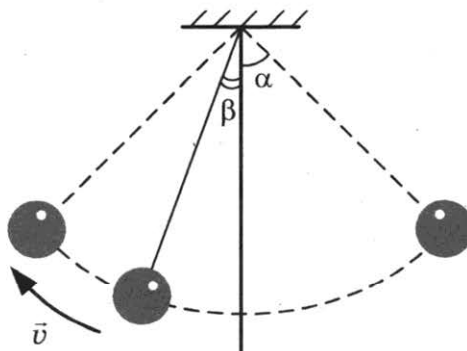
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Период колебаний | Длина волны |
|------------------|-------------|
|                  |             |

11. Подвешенный к потолку на легкой нерастяжимой нити маленький шарик совершает колебания в вертикальной плоскости. Максимальное отклонение нити от вертикали составляет угол  $\alpha = 60^\circ$ . Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к шарiku в тот момент, когда шарик движется влево-вверх, а нить образует угол  $\beta = 30^\circ$  с вертикалью (см. рис.). Покажите на этом рисунке, куда направлено в этот момент ускорение шарика (по нити, перпендикулярно нити, внутрь траектории, наружу от траектории). Ответ обоснуйте. Сопротивление воздуха не учитывать.



# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

## Молекулярно-кинетическая теория, идеальный газ, изопроцессы

### Задачи с решениями

1. При постоянной температуре объем идеального газа увеличился в 4 раза. Во сколько раз уменьшилось при этом давление газа?

Ответ: \_\_\_\_\_.

**Решение.** Давление и объем идеального газа при постоянной температуре в двух различных состояниях связаны соотношением:  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ . Отсюда  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{4}$ .

Ответ: 4.

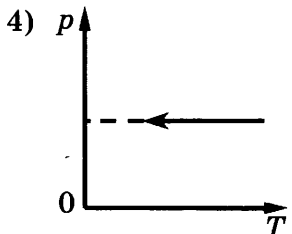
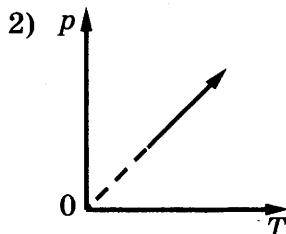
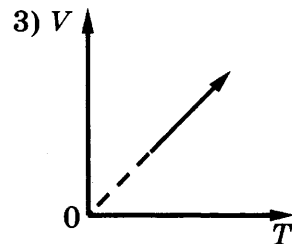
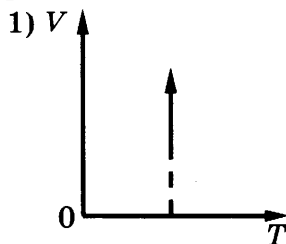
2. Установите соответствие между графиками и процессами изменения состояния идеального газа постоянной массы, которые они описывают ( $p$  — давление,  $V$  — объем,  $T$  — абсолютная температура).

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

#### ПРОЦЕССЫ

- А) изотермическое расширение  
Б) изобарическое сжатие

#### ГРАФИКИ



Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

**Решение.** На графике 1) представлен изотермический процесс, объем газа возрастает, следовательно, график соответствует изотермическому расширению. Изобарический процесс представлен на графиках 3) и 4). Сжатию газа соответствует график 4).

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 1 | 4 |



3. Пробирку держат вертикально и открытым концом медленно погружают в стакан с водой. Как изменяются при этом объем воздуха в пробирке и его давление?  
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.

Ответ:

| Объем воздуха | Давление воздуха |
|---------------|------------------|
|               |                  |

**Решение.** Процесс погружения происходит медленно, поэтому можно считать, что температура газа не изменяется (в системе успевает установиться термодинамическое равновесие). При погружении пробирки давление воздуха будет увеличиваться за счет увеличения гидростатического давления жидкости. Согласно закону Бойля–Мариотта объем воздуха в пробирке будет уменьшаться.

Ответ:

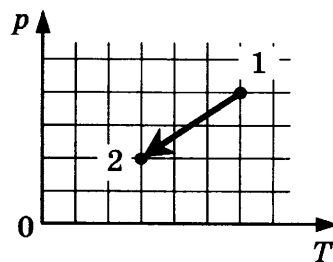
| Объем воздуха | Давление воздуха |
|---------------|------------------|
| 2             | 1                |

4. Идеальный одноатомный газ, масса которого не меняется, переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). Определите, как изменяются плотность газа  $\rho$  и средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа  $\bar{E}$  в ходе указанного на рисунке процесса?

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.



| Плотность газа $\rho$ | Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
|                       |                                                              |

**Решение.** Отношение давления газа к его температуре в процессе 1–2 не изменяется, что соответствует изохорическому процессу  $V = \text{const}$ . Поскольку масса газа постоянна, то и его плотность  $\rho$  не изменяется. Так как температура уменьшается, то средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа также уменьшается, поскольку  $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$  ( $k$  — постоянная Больцмана).

Ответ:

| Плотность газа $\rho$ | Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
| 3                     | 2                                                            |

5. В сосуде находится некоторое количество идеального газа. Температура газа в состоянии 2 равна 100 К. Какова температура этого же количества газа в состоянии 1 (см. рис.)?

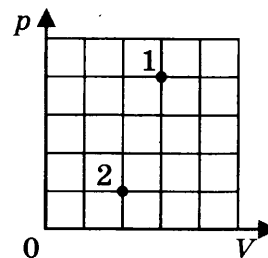
Ответ: \_\_\_\_\_ К.

**Решение.** Поскольку количество газа в состояниях 1 и 2 одинаково, то согласно уравнению Менделеева-Клапейрона  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ .

Тогда

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} T_2 = 600 \text{ К.}$$

Ответ: 600 К.



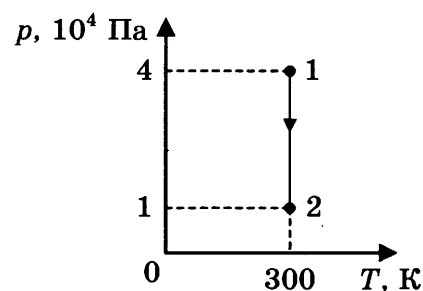
6. На рисунке представлен график зависимости давления от температуры гелия, занимающего в состоянии 1 объем 5 л. Какой объем соответствует состоянию 2, если масса гелия не меняется?

Ответ: \_\_\_\_\_ л.

**Решение.** Поскольку температура газа не изменяется, то, согласно закону Бойля-Мариотта,  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ . Отсюда получим:

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^4} = 20 \cdot 10^{-3} = 0,02 \text{ м}^3 = 20 \text{ л.}$$

Ответ: 20 л.



7. В сосуде находится идеальный одноатомный газ, концентрация которого равна  $n$ . Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа равна  $\bar{E}$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать ( $k$  — постоянная Больцмана).

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

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) давление  
Б) температура

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{2}{3} n \bar{E}$   
2)  $\frac{2 \bar{E}}{3k}$   
3)  $\frac{3 \bar{E}}{2k}$   
4)  $\frac{2}{3} n k \bar{E}$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

**Решение.** В соответствии с основным уравнением молекулярно-кинетической теории давление идеального газа связано со средней квадратичной скоростью и средней кинетической энергией  $E$  поступательного теплового движения молекул идеального газа следующим образом:

$$p = \frac{1}{3} nm \langle v^2 \rangle = \frac{2}{3} n \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

Следовательно, для позиции А) верный ответ — 1.

Температура и средняя кинетическая энергия  $\bar{E}$  поступательного теплового движения молекул связаны следующим соотношением:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT, \text{ где } k \text{ — постоянная Больцмана. Отсюда } T = \frac{2\bar{E}}{3k}. \text{ Для позиции Б) верный ответ — 2.}$$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 1 | 2 |

- 8.** Цилиндрический сосуд разделен неподвижной теплоизолирующей перегородкой. В одной части сосуда находится кислород, в другой — водород, концентрации газов одинаковы. Давление кислорода в 2 раза больше давления водорода. Чему равно отношение средней кинетической энергии молекул кислорода к средней кинетической энергии молекул водорода?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

**Решение.** В соответствии с основным уравнением молекулярно-кинетической теории давление идеального газа связано со средней кинетической энергией  $\bar{E}$  поступательного теплового движения молекул идеального газа следующим образом:  $p = \frac{2}{3} n \bar{E}$ . Тогда  $\frac{\bar{E}_1}{\bar{E}_2} = \frac{n_1 p_1}{n_2 p_2} = \frac{p_1}{p_2} = 2$ .

Ответ: 2.

- 9.** В сосуде неизменного объема 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. Как изменились в результате концентрация первого газа и суммарное давление газов, если температура в сосуде поддерживалась неизменной?

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.

| Концентрация первого газа | Давление смеси газов в сосуде |
|---------------------------|-------------------------------|
|                           |                               |

**Решение.** После того как половину содержимого сосуда выпустили, в сосуде осталось по 0,5 моль каждого газа. При добавлении в сосуд 1 моль первого газа количество первого газа

составило  $\nu_1 = 1,5$  моль, второго —  $\nu_2 = 0,5$  моль. Концентрация молекул первого газа равна  $n_1 = \frac{N_A}{V} \nu_1$ , где  $N_A$  — число Авогадро. Поскольку  $\nu_1 > 1$  моль, концентрация газа возросла. Суммарное количество обоих газов не изменилось и осталось равным 2 моль. Следовательно, суммарное давление газов также не изменилось.

|               |                           |                               |
|---------------|---------------------------|-------------------------------|
| <b>Ответ:</b> | Концентрация первого газа | Давление смеси газов в сосуде |
|               | 1                         | 3                             |

### Задачи для самостоятельного решения

1. В цилиндре под поршнем находится идеальный одноатомный газ. Формулы А и Б позволяют рассчитать значения физических величин, характеризующих состояние газа. Используются обозначения:  $p$  — давление;  $V$  — объем;  $\bar{E}$  — средняя кинетическая энергия молекул;  $\nu$  — количество вещества.

Установите соответствие между формулами и физическими величинами, значение которых можно рассчитать по этим формулам.

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

#### ФОРМУЛЫ

А)  $\frac{3}{2} \frac{pV}{N_A \bar{E}}$

Б)  $\frac{2}{3} \frac{\nu N_A \bar{E}}{p}$

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1) давление

2) объем

3) средняя кинетическая энергия молекул

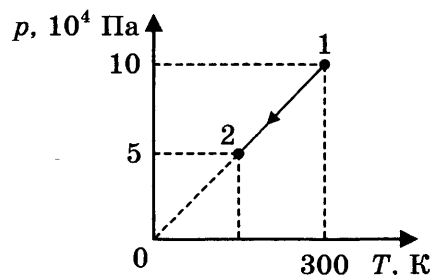
4) количество вещества

**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

2. На рисунке изображен график изменения состояния одноатомного идеального газа в количестве 20 моль. Какая температура соответствует состоянию 2?

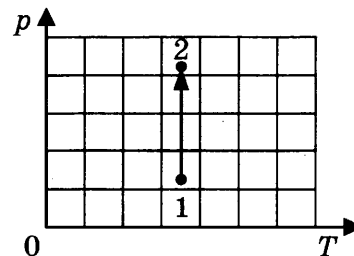
**Ответ:** \_\_\_\_\_ К.



3. Идеальный одноатомный газ, масса которого не меняется, переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. диаграмму). Как изменяются при этом объем газа и его температура?

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.

| Объем газа | Температура газа |
|------------|------------------|
|            |                  |

4. Идеальный газ массой  $m$  при температуре  $T$  находится в сосуде под подвижным поршнем, который может скользить без трения. Массу газа увеличили в 3 раза, а температуру уменьшили в 2 раза. Как изменяются при этом объем газа и его плотность?

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.

| Объем газа | Плотность газа |
|------------|----------------|
|            |                |

5. Объем сосуда с идеальным газом уменьшили вдвое, выпустив половину газа и поддерживая температуру газа в сосуде постоянной. Как изменились в результате этого концентрация газа в сосуде и средняя кинетическая энергия молекул?

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.

| Концентрация газа | Средняя кинетическая энергия молекул |
|-------------------|--------------------------------------|
|                   |                                      |

6. График циклического процесса, проведенного с одним молем идеального газа, показан на рисунке.

Установите соответствие между участками цикла и изменениями физических величин на этих участках ( $\Delta n$  — изменение концентрации газа,  $\Delta p$  — изменение давления газа).

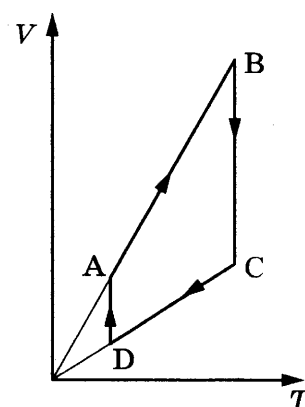
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

УЧАСТКИ ЦИКЛА

- A) BC
- B) CD

ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

- 1)  $\Delta n = 0$ ,  $\Delta p > 0$
- 2)  $\Delta n = 0$ ,  $\Delta p < 0$
- 3)  $\Delta n > 0$ ,  $\Delta p = 0$
- 4)  $\Delta n > 0$ ,  $\Delta p > 0$



Ответ:

|   |   |
|---|---|
| A | B |
|   |   |

7. В сосуде объемом  $V$  находится идеальный одноатомный газ массой  $m$  при температуре  $T$ . Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими газ, и формулами, по которым их можно рассчитать ( $\mu$  — молярная масса газа,  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $N_A$  — число Авогадро).  
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

А) давление газа

Б) концентрация газа

**ФОРМУЛЫ**

1)  $\frac{\mu N_A}{V}$

2)  $\frac{mRT}{\mu V}$

3)  $\frac{m}{\mu} \frac{N_A}{V}$

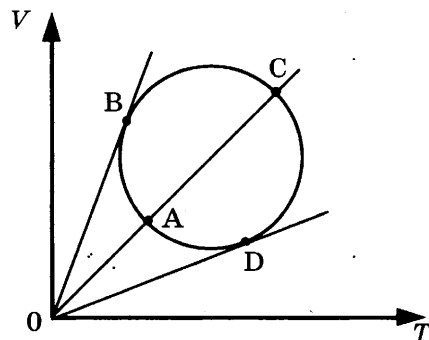
4)  $\frac{\mu}{m} \frac{RT}{V}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

8. Зависимость объема идеального газа от температуры показана на  $VT$ -диаграмме (см. рис.). Масса газа постоянна. Выберите два верных утверждения о процессе, происходящем с газом.

- 1) Давление газа максимально в состоянии D.
- 2) При переходе из состояния D в состояние A средняя квадратичная скорость молекул газа увеличивается.
- 3) При переходе из состояния B в состояние C плотность газа возрастает.
- 4) Давление газа в состоянии C больше, чем давление газа в состоянии A.
- 5) При переходе из состояния B в состояние C средняя кинетическая энергия молекул возрастает.

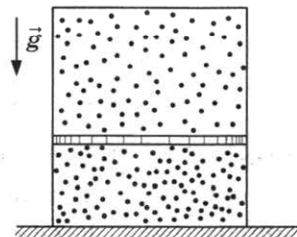


Ответ:

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

9. Три одинаковых сосуда соединены друг с другом трубками малого диаметра: первый сосуд — со вторым, второй — с третьим. Сосуды содержат разреженный газ, первоначальное давление которого было равно соответственно  $3p$ ,  $p$  и  $2p$ . В ходе опыта сначала открыли и закрыли кран, соединяющий второй и третий сосуды, а затем открыли и закрыли кран, соединяющий первый сосуд со вторым. Как изменилось в итоге (уменьшилось, увеличилось или осталось неизменным) количество газа в первом сосуде? (Температура газа оставалась в течение всего опыта неизменной.)

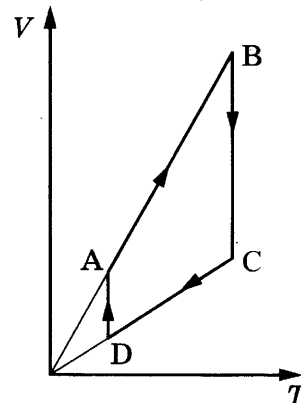
10. Замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см расположен вертикально и разделен подвижным поршнем массой 11 кг на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа при температуре 361 К. Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь.



# Термодинамика

## Задачи с решениями

1. График циклического процесса, проведенного с одним молем одноатомного идеального газа, показан на рисунке. Установите соответствие между участками цикла и изменениями физических величин на этих участках ( $\Delta U$  — изменение внутренней энергии газа,  $\Delta p$  — изменение давления газа). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



УЧАСТКИ ЦИКЛА

А) DA

Б) AB

ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ  
ВЕЛИЧИН

1)  $\Delta U = 0$ ,  $\Delta p > 0$

2)  $\Delta U = 0$ ,  $\Delta p < 0$

3)  $\Delta U > 0$ ,  $\Delta p = 0$

4)  $\Delta U < 0$ ,  $\Delta p < 0$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

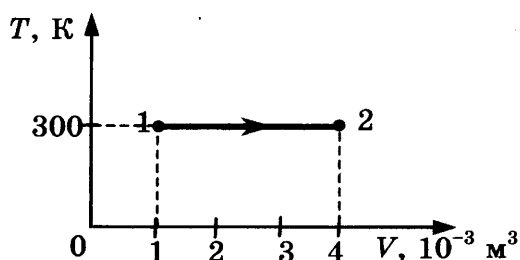
**Решение.** На участке DA температура газа не изменяется, следовательно,  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = 0$ .

Согласно закону Бойля–Мариотта  $pV = \text{const}$ . Так как на этом участке объем газа увеличивается, то давление — уменьшается  $\Delta p < 0$ . Для позиции А) верный ответ — 2. На участке AB давление газа не изменяется ( $\Delta p = 0$ ), поскольку в этом процессе объем пропорционален температуре. Температура газа растет, следовательно,  $\Delta U > 0$ . Для позиции Б) верный ответ — 3.

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 2 | 3 |

2. Процесс изменения состояния идеального одноатомного газа представлен на  $T$ — $V$ -диаграмме. Газ совершает работу, равную 1 кДж. Чему равно количество теплоты, полученное газом?



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

**Решение.** В соответствии с первым началом термодинамики  $Q = A + \Delta U$ , где  $Q$  — количество теплоты, полученное газом,  $A$  — работа, совершенная газом,  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии газа. Рассматриваемый процесс является изотермическим, следовательно, внутрен-

няя энергия газа не изменяется:  $\Delta U = 0$ . В этом случае количество теплоты, полученное газом, равно работе, которую газ совершил:  $Q = A = 1$  кДж.

**Ответ:** 1 кДж.

- 3.** Гелий массой  $m = 0,08$  кг нагрели на  $\Delta T = 50$  К при постоянном давлении. Какую работу он совершил в этом процессе?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ кДж.

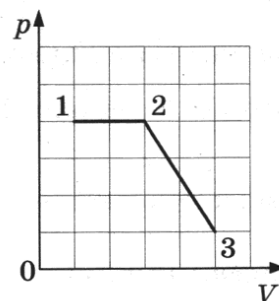
**Решение.** Работа газа при постоянном давлении  $p$  равна  $A = p\Delta V$ . Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева с учетом постоянства давления:  $p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T$ , где  $\Delta V$  — изменение объема

газа,  $\mu$  — молярная масса газа,  $R$  — универсальная газовая постоянная. Отсюда  $A = \frac{m}{\mu} R\Delta T$ .

Подставив численные значения с учетом молярной массы гелия  $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, получим  $A = 8,31$  кДж.

**Ответ:** 8,31 кДж.

- 4.** Давление идеального газа в зависимости от его объема при переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3 менялось, как показано на рисунке. Каково отношение работ газа  $\frac{A_{12}}{A_{23}}$  на этих двух отрезках  $p$ — $V$ -диаграммы?



**Ответ:** \_\_\_\_\_.

**Решение.** Работа газа — площадь под графиком зависимости  $p(V)$ . Обозначим площадь квадратной ячейки, образованной сеткой на диаграмме, как  $S$ . На участке 1–2 работа  $A_{12}$  равна площади прямоугольника:  $A_{12} = 8S$ . На участке 2–3 работа  $A_{23}$  равна площади трапеции:  $A_{23} = 5S$ . Тогда отношение работ  $\frac{A_{12}}{A_{23}} = 1,6$ .

**Ответ:** 1,6.

- 5.** Одноатомный идеальный газ в количестве 0,25 моль при адиабатном расширении совершил работу 2493 Дж. До какой температуры охладился газ, если его начальная температура была 1000 К?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ К.

**Решение.** Для адиабатического процесса согласно первому началу термодинамики:

$$Q = A + \Delta U = 0,$$

где  $A$  — работа газа,  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии газа. Для одноатомного газа  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R\Delta T$ .

Тогда  $\Delta T = -\frac{2A}{3\nu R} = -800$  К. Таким образом, конечная температура равна 200 К.

**Ответ:** 200 К.



6. За цикл работы тепловая машина с КПД 60% получает от нагревателя количество теплоты 100 Дж. Какую полезную работу машина совершает за цикл?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

**Решение.** Коэффициент полезного действия тепловой машины равен  $\eta = \frac{A}{Q_+} \cdot 100\%$ , где  $A$  — работа газа за цикл,  $Q_+$  — количество теплоты, полученное газом за цикл. Отсюда  $A = \frac{\eta Q_+}{100\%} = 60$  Дж.

Ответ: 60 Дж.

7. У идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, температура нагревателя 600 К, а температура холодильника 300 К. Рабочее тело получает за цикл работы от нагревателя количество теплоты, равное 30 кДж. Какую работу совершает за один цикл этот двигатель?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

**Решение.** Коэффициент полезного действия теплового двигателя равен  $\eta = \frac{A}{Q_+} \cdot 100\%$ , где  $A$  — работа газа за цикл,  $Q_+$  — количество теплоты, полученное газом за цикл. Если двигатель работает по циклу Карно, то  $\eta = 1 - \frac{T_x}{T_n} \cdot 100\%$ , где  $T_x$  — температура холодильника,  $T_n$  — температура нагревателя. Отсюда  $A = Q_+ \left( 1 - \frac{T_x}{T_n} \right) = 15$  кДж.

Ответ: 15 кДж.

8. Температуру холодильника тепловой машины Карно понизили, оставив температуру нагревателя прежней. Количество теплоты, полученное газом от нагревателя за цикл, не изменилось. Как изменились при этом КПД тепловой машины и количество теплоты, отданное холодильнику за цикл?

Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

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

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

| КПД тепловой машины | Количество теплоты, отданное газом холодильнику за цикл работы |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|
|                     |                                                                |

**Решение.** Коэффициент полезного действия теплового двигателя равен  $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_n} \cdot 100\%$ , где  $Q_x$  — количество теплоты, переданное газом холодильнику за цикл,  $Q_n$  — количество теплоты, полученное газом за цикл от нагревателя. Коэффициент полезного действия теплового двигателя, работающего по циклу Карно, то  $\eta = 1 - \frac{T_x}{T_n} \cdot 100\%$ , где  $T_x$  — температура холодильника,  $T_n$  — температура нагревателя. Приравнявая друг другу выражения для коэффи-

коэффициента полезного действия, получим  $Q_x = Q_n \frac{T_x}{T_n}$ . Поскольку количество теплоты, полученное газом от нагревателя за цикл, и температура нагревателя не изменились, а температура холодильника понизилась, количество теплоты, отданное холодильнику за цикл, уменьшилось. Уменьшение  $Q_x$  при неизменном  $Q_n$  приведет к увеличению коэффициента полезного действия теплового двигателя.

Ответ:

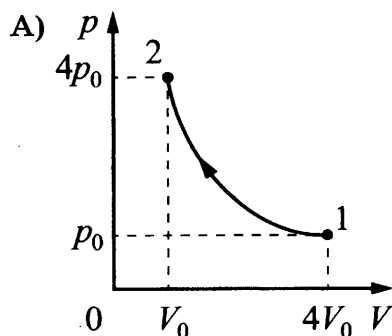
| КПД тепловой машины | Количество теплоты, отданное газом холодильнику за цикл работы |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1                   | 2                                                              |

### Задачи для самостоятельного решения

1. Установите соответствие между графиками процессов, в которых участвует 1 моль идеального газа, и значениями физических величин, характеризующих эти процессы ( $\Delta U$  — изменение внутренней энергии;  $A$  — работа газа).

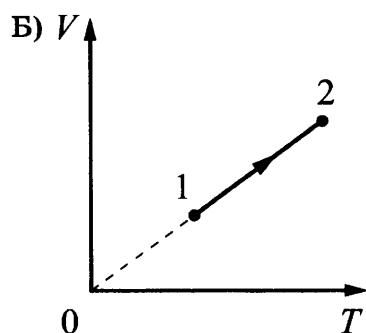
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ГРАФИКИ



#### ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

- 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:

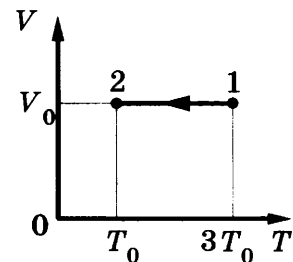
| А | Б |
|---|---|
|   |   |

2. Газ в сосуде сжали, совершив работу 30 Дж. Внутренняя энергия газа при этом увеличилась на 35 Дж. Какое количество теплоты получил газ?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

3. На  $VT$ -диаграмме показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. В процессе 1 — 2 масса газа не изменяется. В этом процессе газ отдал количество теплоты 9 кДж. На сколько уменьшилась внутренняя энергия газа?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.



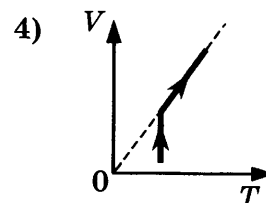
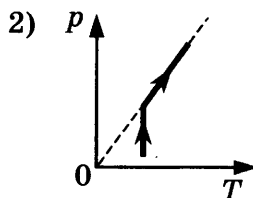
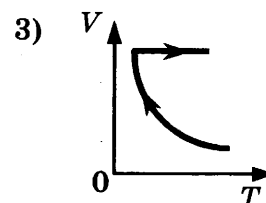
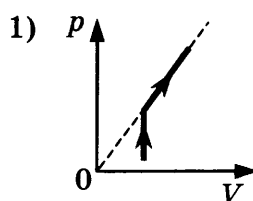
4. Два различных процесса провели с одним молем идеального газа. В одном из них газ сначала совершает положительную работу, а затем работа газа равна нулю. В другом — сначала работа газа равна нулю, а затем его работа положительна. Установите соответствие между процессами, происходящими с газом, и графиками.

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

#### ПРОЦЕССЫ

- А) газ сначала совершает положительную работу, а затем работа газа равна нулю  
Б) работа газа равна нулю, а затем работа газа положительна

#### ГРАФИКИ

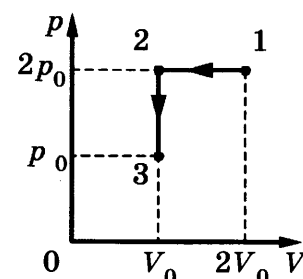


Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

5. Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике зависимости давления газа от объема. Давление  $p_0 = 10$  кПа, объем  $V_0 = 2$  л. Чему равна работа внешних сил?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.



6. За один цикл работы тепловой двигатель получает от нагревателя 5 кДж теплоты. КПД этого двигателя равен 40%. Какое количество теплоты двигатель отдает холодильнику за один цикл работы?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

7. За один цикл работы тепловая машина с КПД 40% получает от нагревателя 100 Дж. Какую полезную работу машина совершает за цикл?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

- 8.** Температура нагревателя идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, равна  $T_1$ , а температура холодильника равна  $T_2$ . За цикл двигатель получает от нагревателя количество теплоты  $Q_1$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.  
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) количество теплоты, отдаваемое двигателем за цикл холодильнику  
Б) КПД двигателя

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $1 - \frac{T_2}{T_1}$   
2)  $\frac{Q_1(T_1 - T_2)}{T_1}$   
3)  $\frac{T_1 - T_2}{T_2}$   
4)  $\frac{Q_1 T_2}{T_1}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 9.** Одному моллю идеального газа в изотермическом процессе было передано количество теплоты  $Q$ . Как изменились в результате этого давление газа и его плотность?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

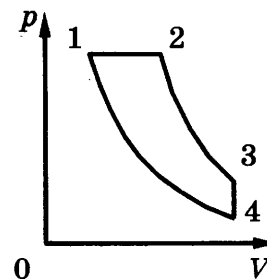
- 1) увеличилась  
2) уменьшилась  
3) не изменилась

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

| Давление газа | Плотность газа |
|---------------|----------------|
|               |                |

- 10.** Одноатомный идеальный газ находится в горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем площадью поперечного сечения  $S = 40 \text{ см}^2$ . Давление окружающего воздуха  $p = 10^5 \text{ Па}$ . Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало. В процессе медленного охлаждения от газа отведено количество теплоты  $|Q| = 80 \text{ Дж}$ . На какое расстояние  $x$  при этом передвинулся поршень?
- 11.** Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 с температурой  $T_1 = 200 \text{ К}$  в состояние 2. В ходе этого процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объему. В результате плотность газа уменьшается в 2 раза. Какое количество теплоты  $Q$  получает газ в ходе процесса?

12. В качестве рабочего вещества теплового двигателя используется 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл работы двигателя изображен на  $PV$ -диаграмме и состоит из двух адиабат, изохоры, изобары. Зная, что КПД цикла равен 50%, определите модуль отношения изменения температуры газа при изобарном процессе  $\Delta T_{12}$  к изменению его температуры  $\Delta T_{34}$  при изохорном процессе.



## Агрегатные состояния вещества

### Задачи с решениями

1. Кусок металла удельной теплоемкостью 500 Дж / (кг · К) нагрели от 20 °С до 80 °С, затратив количество теплоты, равное 75 кДж. Чему равна масса этого куска металла?

**Решение.** Количество теплоты, необходимое для нагрева куска металла, равно  $Q = cm\Delta T$ , где  $Q$  — количество теплоты, переданное телу,  $c$  — удельная теплоемкость металла,  $\Delta T$  — разность температур. Отсюда  $m = \frac{Q}{c\Delta T} = 2,5$  кг.

**Ответ:** 2,5 кг.

2. Горячая жидкость медленно охлаждалась в стакане. В таблице приведены результаты измерений ее температуры с течением времени.

|                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Время, мин      | 0  | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 |
| Температура, °С | 95 | 88 | 81 | 80 | 80 | 80 | 77 | 72 |

Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые соответствуют результатам проведенного экспериментального исследования и укажите их номера.

- 1) Температура кристаллизации вещества в данных условиях составила 81 °С.
- 2) Через 13 мин после начала измерений в стакане вещество находится только в твердом состоянии.
- 3) Теплоемкость вещества в жидком состоянии меньше, чем в твердом состоянии.
- 4) Через 4 мин после начала измерений вещество находилось и в жидком, и в твердом состоянии.
- 5) Процесс кристаллизации вещества занял более 10 минут.

**Ответ:**

**Решение.** Как видно из таблицы, температура жидкости уменьшалась до момента времени  $t = 6$  мин. Далее температура не менялась вплоть до  $t = 10$  мин, потом начала снижаться. Таким образом, в интервале времени от 6 мин до 10 мин происходила кристаллизация этого вещества. Следовательно, через 4 мин после начала измерений вещество находилось только в жидком состоянии. Температура кристаллизации составила 80 °С. Процесс кристаллизации

занял время, меньшее, чем 10 мин. Через 13 мин после начала измерений в стакане вещество находится только в твердом состоянии. Отношение интервала времени к модулю изменения температуры, произошедший за этот интервал, для жидкого состояния меньше, чем для твердого. Значит, при условии одинаковой мощности тепловых потерь в жидком и твердом состояниях, получим, что теплоемкость в жидком состоянии меньше, чем в твердом. Таким образом, верными ответами являются утверждения 2) и 3).

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| 2 | 3 |
|---|---|

3. Какое количество теплоты выделяется при замерзании  $m = 20$  г воды, находящейся при температуре  $0^\circ\text{C}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

**Решение.** Количество теплоты, которое выделится при кристаллизации воды, равно  $Q = \lambda m$ , где  $\lambda$  — удельная теплота плавления. Для льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг. Подставив численные значения, получим  $Q = 6,6$  кДж.

Ответ: 6,6 кДж.

4. Кусок льда, имеющий температуру  $0^\circ\text{C}$ , помещен в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лед в воду температурой  $16^\circ\text{C}$ , требуется количество теплоты 80 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лед получит от нагревателя количество теплоты 60 кДж? Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

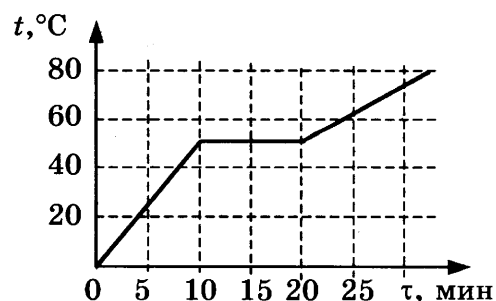
Ответ: \_\_\_\_\_  $^\circ\text{C}$ .

**Решение.** Количество теплоты, необходимое для того, чтобы превратить кусок льда в воду температурой  $16^\circ\text{C}$ , равно  $Q = \lambda m + cm\Delta t$ , где  $\lambda$  — удельная теплота плавления,  $c$  — удельная теплоемкость воды,  $m$  — масса льда. Зная величину  $Q$ , можно определить массу льда:  $m = \frac{Q}{\lambda + c\Delta t}$ . Подставив численные значения  $Q = 80$  кДж,  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг,  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг  $\cdot$  К),  $\Delta t = 16$  К, получим  $m = 0,2$  кг. Определим, какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить этот кусок льда:  $Q_1 = \lambda m = 66$  кДж. Таким образом, 60 кДж, которые получит лед от нагревателя, не хватит, чтобы расплавить весь лед. Следовательно, внутри калориметра установится температура плавления льда, равная  $0^\circ\text{C}$ .

Ответ:  $0^\circ\text{C}$ .

5. График зависимости температуры вещества от времени его нагревания представлен на рисунке. За 1 мин к веществу подводится количество теплоты, равное  $q = 1$  кДж. Изначально вещество было твердым. Определите удельную теплоемкость вещества в твердом состоянии, если его масса равна  $m = 2$  кг.

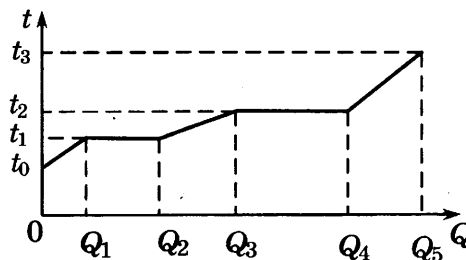
Ответ: \_\_\_\_\_ Дж/(кг  $\cdot$  К).



**Решение.** Удельная теплоемкость вещества равна  $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ , где  $Q = q\tau$  — количество теплоты, подведенное к веществу,  $\Delta t$  — величина изменения температуры,  $\tau$  — время, в течение которого подводится количество теплоты. Как видно на рисунке, в твердом состоянии вещество находилось до момента времени  $t = 10$  мин. Подставив численные значения  $\Delta t = 50^\circ\text{C} = 50\text{ К}$ ,  $\tau = 10$  мин, получим  $c = 100\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

**Ответ:** 100 Дж/(кг · К).

- 6.** Небольшое количество твердого вещества массой  $m$  нагревали в запаянной капсуле. На рисунке показан график изменения температуры  $t$  вещества по мере поглощения им все большего количества теплоты  $Q$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) удельная теплоемкость вещества в газообразном состоянии  
Б) удельная теплота плавления

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{Q_4 - Q_3}{m}$   
2)  $\frac{Q_2 - Q_1}{m}$   
3)  $\frac{Q_3 - Q_2}{(t_2 - t_1)m}$   
4)  $\frac{Q_5 - Q_4}{(t_3 - t_2)m}$

**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

**Решение.** При нагреве твердого вещества его температура увеличивается до тех пор, пока не достигнет температуры плавления. После этого температура вещества не меняется, происходит его плавление. После окончания процесса плавления все вещество находится в жидком состоянии и происходит нагрев жидкости до температуры кипения. После этого температура вещества не меняется, происходит его кипение. После окончания процесса кипения все вещество находится в газообразном состоянии и происходит нагрев пара.

Как видно из графика,  $t_1$  — температура плавления вещества,  $t_2$  — температура кипения. Нагреву газообразного вещества соответствует последний участок графика. В соответствии с определениями: удельная теплота плавления равна  $\frac{Q_2 - Q_1}{m}$ , удельная теплоемкость

вещества в газообразном состоянии равна  $\frac{Q_5 - Q_4}{m(t_3 - t_2)}$ .

**Ответ:**

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 4 | 2 |

7. В закрытом сосуде находится  $m = 6$  г водяного пара под давлением  $p = 25$  кПа и при температуре  $t = 100$  °С. Объем сосуда уменьшили в  $n = 8$  раз, не меняя температуры. Найдите массу пара, оставшегося после этого в сосуде.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

**Решение.** В случае изотермического процесса  $pV = p' \frac{V}{n}$ , где  $p'$  — давление пара после уменьшения объема сосуда. Тогда  $p' = np = 200$  кПа. Температура пара  $t = 100$  °С, давление насыщенного пара при этой температуре равно атмосферному давлению  $p_0 = 100$  кПа. Поскольку давление пара не может быть больше давления насыщенного пара, давление в сосуде стало равным  $p' = 100$  кПа, при этом часть пара сконденсировалась. Запишем уравнение

Клапейрона—Менделеева для двух состояний пара:  $pV = \frac{m}{\mu} RT$ ,  $p' \frac{V}{n} = \frac{m'}{\mu} RT$ . Отсюда полу-

чим  $m' = \frac{mp'}{np} = 3$  г.

Ответ: 3 г.

8. В сосуде под поршнем находится воздух с относительной влажностью  $\phi = 60\%$ . Какая часть  $\alpha$  водяных паров сконденсируется, если объем воздуха под поршнем изотермически уменьшить в  $n = 3$  раза?

**Решение.** Согласно определению относительной влажности  $\phi = \frac{p}{p_n} 100\%$ , где  $p_n$  — давление насыщенного пара. Масса пара в сосуде в начальный момент времени определяется из уравнения Клапейрона—Менделеева:  $m = \frac{pV\mu}{RT} = \frac{\phi p_n V\mu}{RT \cdot 100\%}$ , где  $\mu$  — молярная масса воды. После изотермического уменьшения объема пар становится насыщенным, а его давление — равным  $p_n$ . Тогда оставшаяся масса пара равна  $m_1 = \frac{p_n V\mu}{nRT}$ . Отсюда  $\alpha = \frac{m - m_1}{m} = \frac{n\phi - 100\%}{n\phi} \approx 0,44$ .

Ответ:  $\alpha = \frac{n\phi - 100\%}{n\phi} \approx 0,44$ .

9. Относительная влажность в комнате при температуре  $t = 20$  °С равна  $\phi_1 = 40\%$ . Какую массу  $m$  воды нужно испарить для увеличения влажности в комнате до  $\phi_2 = 60\%$ , если объем комнаты  $V = 50$  м<sup>3</sup>? Плотность насыщенных паров при температуре  $t = 20$  °С равна  $\rho_n = 1,73 \times 10^{-2}$  кг/м<sup>3</sup>.

**Решение.** Так как относительная влажность  $\phi = \frac{p}{p_n} 100\%$ , то масса пара в комнате равна

$m = \rho V = \frac{\phi \rho_n V}{100\%}$ . Для того чтобы увеличить в комнате влажность до  $\phi_2 = 60\%$ , необходимо

испарить  $\Delta m = \frac{\rho_n V}{100\%} (\phi_2 - \phi_1) = 173$  г.

Ответ:  $\Delta m = \frac{\rho_n V}{100\%} (\phi_2 - \phi_1) = 173$  г.



## Задачи для самостоятельного решения

1. Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , начальная температура воды  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплоемкостью термоса можно пренебречь. При переходе к тепловому равновесию часть льда массой  $210\text{ г}$  растаяла. Чему равна исходная масса воды в термосе?

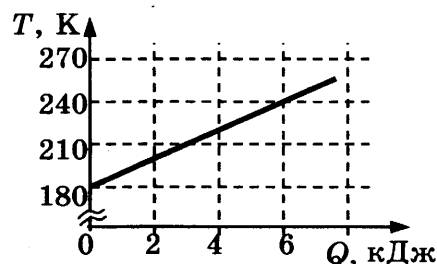
Ответ: \_\_\_\_\_ г.

2. Определите, каково должно быть примерное отношение масс  $\frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{Al}}}$  железного и алюминиевого тел, чтобы при получении одного и того же количества теплоты они нагрелись на одно и то же число градусов. Ответ округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_.

3. На графике представлена зависимость температуры тела от подводимого к нему количества теплоты. Масса тела  $0,2\text{ кг}$ . Чему равна удельная теплоемкость вещества в этом процессе?

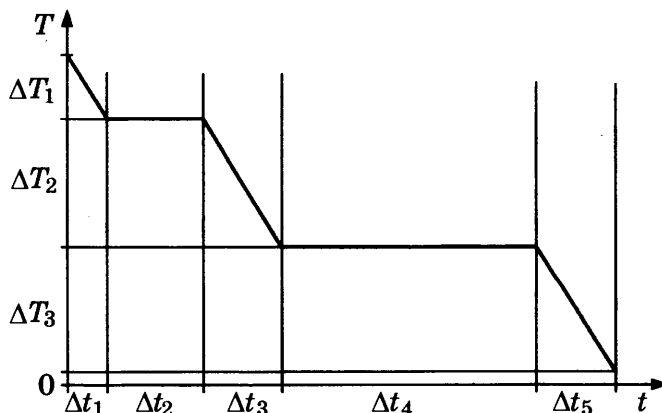
Ответ: \_\_\_\_\_ Дж/(кг·К).



4. Кусок льда, имеющий температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , помещен в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лед в воду температурой  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , требуется количество теплоты  $100\text{ кДж}$ . Какая температура установится внутри калориметра, если лед получит от нагревателя количество теплоты  $75\text{ кДж}$ ? Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ .

5. На рисунке изображен график зависимости абсолютной температуры  $T$  воды массой  $m$  от времени  $t$  при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью  $P$ . В момент времени  $t = 0$  вода находилась в газообразном состоянии. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) удельная теплоемкость воды в твердом состоянии  
Б) удельная теплота парообразования воды

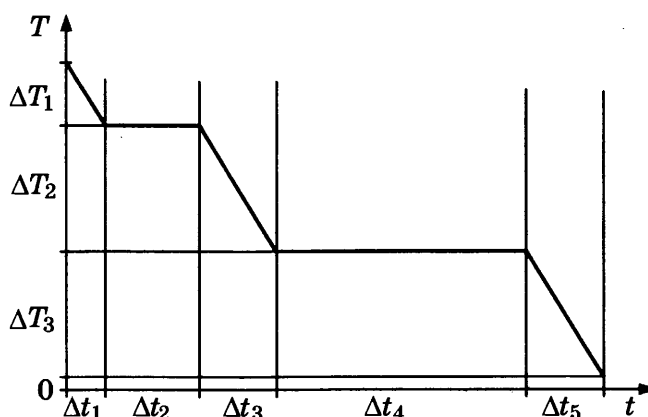
## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{P\Delta t_4}{m}$
- 2)  $\frac{P\Delta t_2}{m}$
- 3)  $\frac{P\Delta t_3}{m\Delta T_2}$
- 4)  $\frac{P\Delta t_5}{m\Delta T_3}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

6. На рисунке показан график зависимости абсолютной температуры  $T$  воды массой  $m$  от времени  $t$  при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью  $P$ . В момент времени  $t = 0$  вода находилась в газообразном состоянии. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) удельная теплоемкость воды в жидком состоянии  
Б) удельная теплота плавления льда

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{P\Delta t_4}{m}$
- 2)  $\frac{P\Delta t_2}{m}$
- 3)  $\frac{P\Delta t_3}{m\Delta T_2}$
- 4)  $\frac{P\Delta t_2}{m\Delta T_1}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

7. В комнате парциальное давление водяного пара в 2 раза меньше давления насыщенного водяного пара при такой же температуре. Чему равна относительная влажность воздуха в комнате?

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

- 8.** Вода и водяной пар находятся в цилиндре под поршнем. Как изменятся масса пара и его давление, если вдвигать поршень в цилиндр, поддерживая температуру внутри цилиндра постоянной? 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.

| Масса пара | Давление пара |
|------------|---------------|
|            |               |

- 9.** В сосуде под поршнем — вода и водяной пар. Масса воды в 3 раза больше, чем масса пара. Объем сосуда изотермически увеличивают в 2 раза. Как изменяются при этом масса воды и давление пара?

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.

| Масса воды | Давление пара |
|------------|---------------|
|            |               |

- 10.** В сосуде под поршнем находился воздух с относительной влажностью  $\varphi = 40\%$ . Объем воздуха изотермически уменьшили в 5 раз. Определите, какая часть водяных паров сконденсировалась после сжатия.

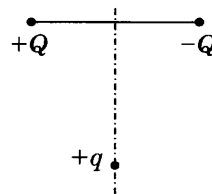
- 11.** В калориметре находился лед при температуре  $t_1 = -5^\circ\text{C}$ . Какой была масса  $m_1$  льда, если после добавления в калориметр  $m_2 = 4$  кг воды, имеющей температуру  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ , и установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной  $t = 0^\circ\text{C}$ , причем в калориметре была только вода?

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

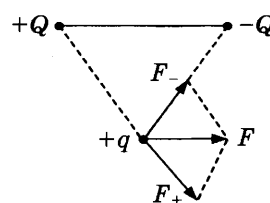
## Электростатика

### Задачи с решениями

1. Заряд  $+q > 0$  находится на равном расстоянии от неподвижных точечных зарядов  $+Q > 0$  и  $-Q$ , расположенных на концах тонкой стеклянной палочки (см. рис.). Куда направлено (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) ускорение заряда  $+q$  в этот момент времени, если на него действуют только заряды  $+Q$  и  $-Q$ . Ответ запишите словом (словами).



**Решение.** Одноименные электрические заряды отталкиваются друг от друга, а разноименные притягиваются. Поэтому сумма сил  $F$ , действующих на заряд  $+q$ , направлена вправо (см. рис.). Согласно второму закону Ньютона, ускорение материальной точки сонаправлено с суммой сил, действующих на нее. Поэтому ускорение также направлено вправо.



**Ответ:** вправо.

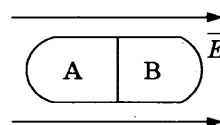
2. Два точечных заряда действуют друг на друга с силой 4 Н. Определите силу взаимодействия между ними, если уменьшить расстояние между ними в 2 раза, не меняя при этом модулей зарядов.

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Н.

**Решение.** Согласно закону Кулона модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов пропорционален произведению модулей этих зарядов и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними. Поэтому после уменьшения расстояния в 2 раза сила взаимодействия между зарядами возрастет в 4 раза.

**Ответ:** 16 Н.

3. В однородное электростатическое поле было сначала внесено незаряженное металлическое тело, а затем разделено на части А и В (см. рис.). Какие два верных утверждения можно сделать по результатам этого опыта?



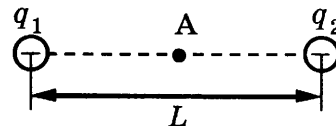
- 1) Напряженность электрического поля внутри тела равна нулю.
- 2) После разделения часть А обладает отрицательным зарядом, а часть В — положительным.
- 3) После разделения обе части останутся нейтральными.
- 4) После внесения в электрическое поле электроны из части А будут переходить в часть В.
- 5) Потенциал части В больше потенциала части А.

**Решение.** В металлическом теле есть свободные заряды — электроны проводимости. Под действием электростатического поля электроны будут перемещаться налево (против силовых

линий поля) и левая часть приобретет отрицательный заряд. По закону сохранения заряда суммарный заряд тела должен остаться равным нулю, поэтому правая часть приобретет положительный заряд. После разделения тела на части они сохраняют приобретенные заряды. Напряженность электрического поля внутри металлического тела (даже заряженного) равна нулю, и потенциалы всех точек этого тела равны друг другу (металлическое тело является эквипотенциальным).

**Ответ:** 12 (или 21).

4. Два точечных отрицательных заряда  $q_1 = -20$  нКл и  $q_2 = -40$  нКл находятся в вакууме на расстоянии  $L = 1,5$  м друг от друга. Определите модуль напряженности электрического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на одинаковом расстоянии от обоих зарядов.



**Ответ:** \_\_\_\_\_ В/м.

**Решение.** По принципу суперпозиции электрических полей суммарный вектор  $\vec{E}$  поля двух зарядов равен векторной сумме напряженностей полей каждого из зарядов, поэтому модуль напряженности поля в точке А равен разности модулей напряженностей полей зарядов  $q_1$  и  $q_2$ :

$$E = E_2 - E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{|q_2|}{(L/2)^2} - \frac{|q_1|}{(L/2)^2} \right) = 320 \text{ В/м.}$$

При расчете использовано числовое значение коэффициента  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , приведенное в таблице в начале книги.

**Ответ:** 320 В/м.

5. Плоский воздушный конденсатор подключен к аккумулятору. Энергия электрического поля конденсатора при этом равна 40 мкДж. Не отключая конденсатор от аккумулятора, расстояние между пластинами конденсатора увеличили в 2 раза. Чему будет равна энергия конденсатора через достаточно большой промежуток времени после изменения его размеров?

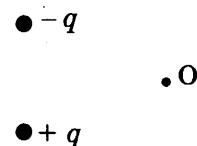
**Ответ:** \_\_\_\_\_ мкДж.

**Решение.** Энергия электрического поля  $W$  конденсатора определяется соотношением  $W = \frac{CU^2}{2}$ , где  $C$  — емкость конденсатора,  $U$  — напряжение между его пластинами. Если конденсатор постоянно подключен к источнику тока (аккумулятору), то  $U$  не изменяется. Для плоского конденсатора  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$ , где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость вещества между обкладками конденсатора (для воздуха  $\epsilon = 1$ ),  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная,  $S$  — площадь пластин конденсатора,  $d$  — расстояние между пластинами. В нашем случае  $d$  увеличили в 2 раза, значит, емкость конденсатора и его энергия также уменьшились в 2 раза.

**Ответ:** 20 мкДж.

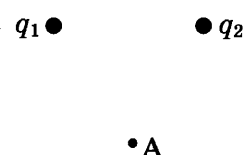
## Задачи для самостоятельного решения

1. Определите, куда направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор напряженности  $\vec{E}$  электрического поля, созданного двумя равными по модулю разноименными зарядами, в точке О (см. рис.). Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_ .

2. Точка А равноудалена от равных по модулю точечных зарядов  $q_1 < 0$  и  $q_2 > 0$ . Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор напряженности электрического поля  $\vec{E}$  в этой точке? Ответ запишите словом (словами).

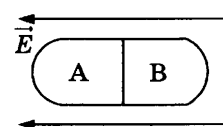


Ответ: \_\_\_\_\_ .

3. Два точечных заряда действуют друг на друга с силой 12 Н. Какой будет сила взаимодействия между ними, если уменьшить величину каждого заряда в 2 раза, не меняя расстояния между ними?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

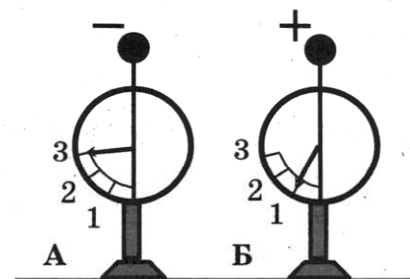
4. В однородное электростатическое поле было сначала внесено незаряженное металлическое тело, а затем разделено на части А и В (см. рис.). Какие два верных утверждения можно сделать по результатам этого опыта?



- 1) Напряженность электрического поля внутри тела отлична от нуля.
- 2) После разделения часть А обладает положительным зарядом, а часть В — отрицательным.
- 3) После разделения обе части останутся нейтральными.
- 4) После внесения в электрическое поле электроны из части А будут переходить в часть В.
- 5) Потенциал части А больше потенциала части В.

Ответ: ☐ ☐

5. На рисунке изображены два одинаковых электрометра, шары которых имеют заряды противоположных знаков. Шары электрометров соединяют проволокой. Какие два верных утверждения можно сделать по результатам этого опыта?



- 1) Сразу после соединения шаров по проволоке потечет ток.
- 2) Заряд электрометра В останется положительным.
- 3) Сила взаимодействия между шарами электрометров уменьшится по модулю в 2 раза.

- 4) После соединения шары электрометров станут отталкиваться друг от друга.  
 5) Заряд электрометра А не изменился.

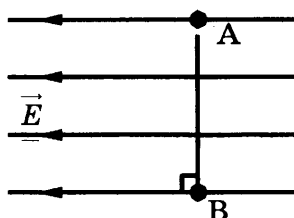
Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

6. Точечный заряд  $+q$  создает в точке А электрическое поле, модуль напряженности которого равен 20 В/м. Каким станет модуль напряженности электрического поля в точке А, если вместо заряда  $+q$  в ту же точку поместить заряд  $-2q$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

7. Линии напряженности однородного электростатического поля изображены на рисунке. Потенциал этого поля в точке А равен 100 В. Чему равен потенциал этого поля в точке В, если линия АВ перпендикулярна линиям напряженности, а расстояние между точками А и В равно 20 см?



Ответ: \_\_\_\_\_ В.

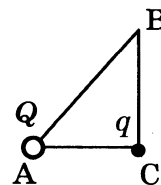
8. Емкость плоского воздушного конденсатора равна 10 нФ. Какой будет емкость конденсатора, если увеличить расстояние между его обкладками в 2 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ нФ.

9. В области пространства, где находилась в состоянии покоя частица с зарядом  $2 \cdot 10^{-11}$  Кл, создали однородное горизонтальное электрическое поле напряженностью 5000 В/м. Какова масса частицы, если за 2 с она переместилась по горизонтали на расстояние 0,4 м от исходной точки? Сопротивлением воздуха и действием силы тяжести пренебречь.

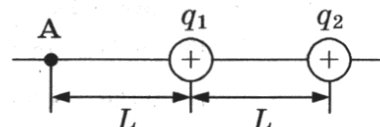
Ответ: \_\_\_\_\_ мг.

10. В треугольнике ABC угол C —  $90^\circ$ . В вершине А находится точечный заряд  $Q$ . Он действует с силой  $2,5 \cdot 10^{-8}$  Н на точечный заряд  $q$ , помещенный в вершину С. Если заряд  $q$  перенести в вершину В, то заряды будут взаимодействовать с силой  $9,0 \cdot 10^{-9}$  Н. Каково отношение  $\frac{AC}{BC}$ ?



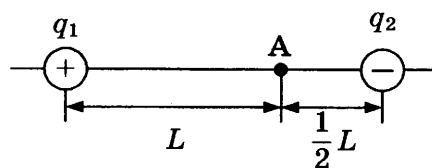
Ответ: \_\_\_\_\_.

11. Два точечных положительных заряда:  $q_1 = 85$  нКл и  $q_2 = 140$  нКл — находятся в вакууме на расстоянии  $L = 2$  м друг от друга. Определите величину напряженности электрического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $L$  от первого заряда (см. рис.).



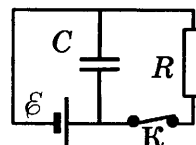
Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

- 12.** Два точечных заряда: положительный  $q_1 = 30$  нКл и отрицательный  $q_2 = -20$  нКл — находятся в вакууме. Определите величину напряженности электрического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $L$  от первого и  $\frac{1}{2}L$  от второго заряда.  $L = 3$  м.



Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

- 13.** Конденсатор емкостью  $C = 5$  мкФ присоединен к батарее с ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. В начальный момент времени ключ К был замкнут (см. рис.). Каким станет заряд конденсатора через длительное время после размыкания ключа К, если сопротивление резистора  $R = 8$  Ом?



Ответ: \_\_\_\_\_ мкКл.

- 14.** Плоский воздушный конденсатор с диэлектриком между пластинами подключен к аккумулятору. Не отключая конденсатор от аккумулятора, диэлектрик удалили из конденсатора. Как изменятся при этом энергия конденсатора и разность потенциалов между его обкладками?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Энергия конденсатора | Разность потенциалов между обкладками конденсатора |
|----------------------|----------------------------------------------------|
|                      |                                                    |

- 15.** Плоский конденсатор с диэлектриком между пластинами зарядили от аккумулятора. После отключения конденсатора от аккумулятора диэлектрик из конденсатора удалили. Как изменятся при этом энергия конденсатора и разность потенциалов между его обкладками?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

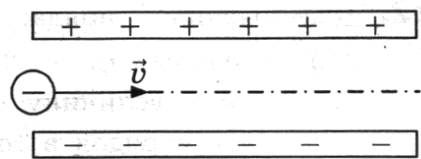
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

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

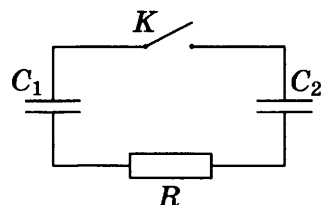
| Энергия конденсатора | Разность потенциалов между обкладками конденсатора |
|----------------------|----------------------------------------------------|
|                      |                                                    |



16. Пылинка, имеющая массу  $10^{-8}$  г и заряд  $(-1,8) \cdot 10^{-14}$  Кл, влетает в электрическое поле воздушного конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рис.). Чему должна быть равна минимальная скорость  $v$ , с которой влетает пылинка в конденсатор, чтобы она смогла пролететь его насквозь? Длина пластин конденсатора 10 см, расстояние между пластинами 1 см, напряжение на пластинах конденсатора 5000 В. Силой тяжести и сопротивлением воздуха пренебречь.



17. Заряженный конденсатор  $C_1 = 1$  мкФ включен в последовательную цепь из резистора  $R = 300$  Ом, незаряженного конденсатора  $C_2 = 2$  мкФ и разомкнутого ключа К (см. рис.). После замыкания ключа в цепи выделяется количество теплоты  $Q = 30$  мДж. Чему равно первоначальное напряжение на конденсаторе  $C_1$ ?



## Постоянный ток

### Задачи с решениями

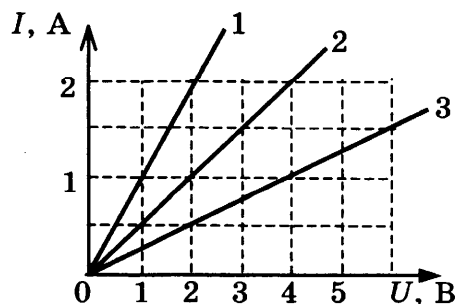
1. На рисунке изображены графики зависимости силы тока от приложенного напряжения для трех проводников. Чему равно сопротивление первого проводника?

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

**Решение.** Согласно закону Ома для участка цепи  $I = \frac{U}{R}$ .

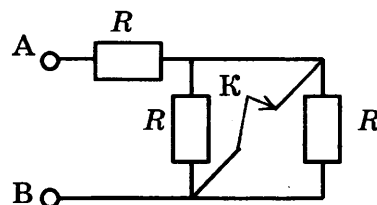
Для нахождения сопротивления проводника по графику нужно взять удобную для расчета точку (например,  $I = 2$  А) и определить соответствующее этому току напряжение ( $U = 2$  В). Получим  $R = 1$  Ом.

Ответ: 1 Ом.



2. На сколько изменится сопротивление участка цепи АВ, изображенного на рисунке, если ключ К разомкнуть? Сопротивление каждого резистора равно 4 Ом.

Ответ: на \_\_\_\_\_ Ом.



**Решение.** До размыкания ключа К ток через два резистора, расположенные на рисунке вертикально, не тек и сопротивление схемы было равно  $R = 4$  Ом. После размыкания ключа вертикальные резисторы можно рассматривать как соединенные параллельно друг другу, их общее сопротивление равно  $R/2$ . К горизонтально расположенному резистору они подключены последовательно, тогда общее сопротивление схемы равно  $R_1 = R + \frac{R}{2} = \frac{3R}{2} = 6$  Ом.

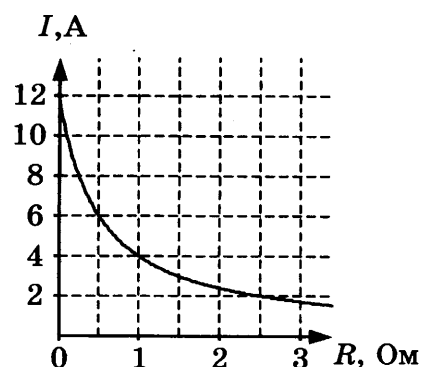
Ответ: на 2 Ом.

3. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $r = 0,5$  Ом подключили реостат. На рисунке показан график изменения силы тока в реостате в зависимости от его сопротивления. Чему равна ЭДС источника тока?

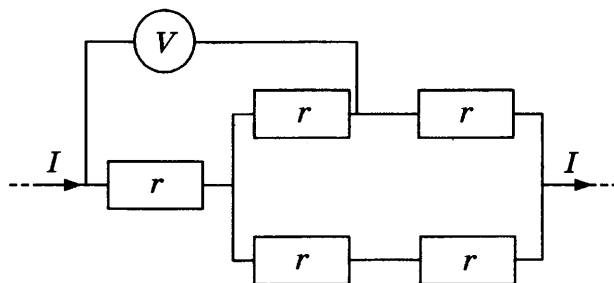
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

**Решение.** Согласно закону Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ , где  $\mathcal{E}$  — ЭДС источника,  $R$  — сопротивление реостата. Из графика видно, что сила тока при сопротивлении реостата  $R_1 = 0,5$  Ом равна  $I_1 = 6$  А. Решив полученное уравнение, найдем ЭДС источника.

Ответ: 6 В.



4. Пять одинаковых резисторов с сопротивлением 1 Ом соединены в электрическую цепь, через которую течет ток  $I = 2$  А (см. рис.). Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?



**Решение.** Напряжение  $U$ , которое показывает вольтметр, равно сумме напряжений на двух резисторах. Через первый течет ток  $I$ , и напряжение на нем  $U_1 = Ir = 2$  В. В узле ток разделяется на два равных, т.к. сопротивления ветвей одинаковы. Через второй резистор течет ток  $I/2$ , поэтому напряжение на нем равно  $U_2 = I/2 \cdot r = 1$  В. Таким образом,  $U = U_1 + U_2 = 3$  В.

Ответ: 3 В.

5. По проволочному резистору течет ток. Как изменятся при уменьшении длины проволоки в 4 раза и увеличении силы тока вдвое следующие величины: тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе, напряжение на нем, его электрическое сопротивление?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе | Напряжение на резисторе | Электрическое сопротивление резистора |
|----------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
|                                              |                         |                                       |

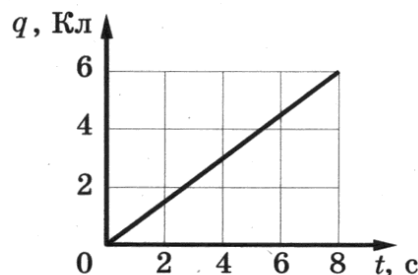
**Решение.** Сопротивление проволоки можно определить, используя соотношение  $R = \rho \frac{l}{S}$ , где  $\rho$  — удельное сопротивление материала проволоки,  $l$  — ее длина,  $S$  — площадь поперечного сечения проволоки. При уменьшении длины проволоки в 4 раза ее сопротивление также уменьшается в 4 раза. Напряжение на резисторе связано с его сопротивлением и силой тока законом Ома для участка цепи  $U = IR$ , поэтому при уменьшении сопротивления в 4 раза и увеличении силы тока в 2 раза  $U$  уменьшится в 2 раза. Тепловую мощность, выделяющуюся на резисторе, можно найти по закону Джоуля–Ленца:  $P = I^2 R$ . В рассматриваемом случае она не изменится.

|               |                                                 |                         |                                          |
|---------------|-------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| <b>Ответ:</b> | Тепловая мощность,<br>выделяющаяся на резисторе | Напряжение на резисторе | Электрическое<br>сопротивление резистора |
|               | 3                                               | 2                       | 2                                        |

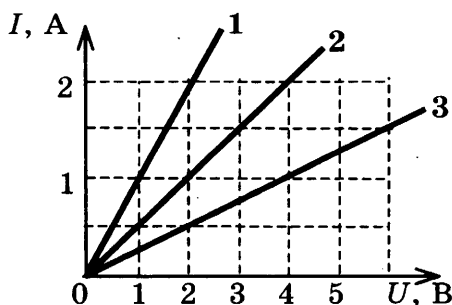
### Задачи для самостоятельного решения

1. По проводнику течет постоянный электрический ток. Величина заряда, проходящего через проводник, возрастает с течением времени согласно графику (см. рис.). Определите силу тока в проводнике.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.



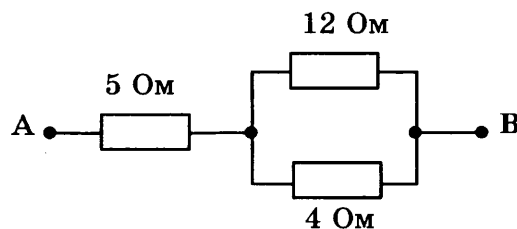
2. На рисунке изображены графики зависимости силы тока от приложенного напряжения для трех проводников. Чему равно отношение сопротивлений третьего и второго проводников  $\frac{R_3}{R_2}$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_.

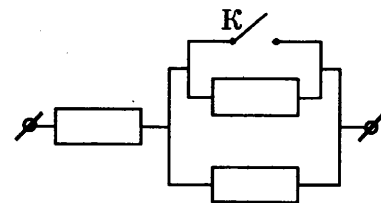
3. Определите сопротивление электрической цепи между точками А и В в схеме, приведенной на рисунке.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



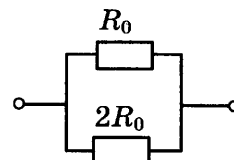
4. Каким будет сопротивление участка цепи (см. рис.), если ключ  $K$  замкнуть? (Каждый из резисторов имеет сопротивление  $R = 1 \text{ Ом}$ .)

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



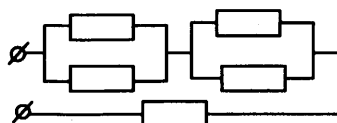
5. Чему равно сопротивление участка цепи, изображенного на рисунке, если  $R_0 = 4,5 \text{ Ом}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



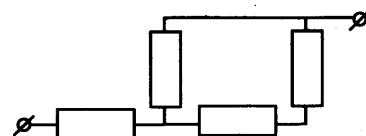
6. В цепи, схема которой изображена на рисунке, сопротивление каждого резистора  $8 \text{ Ом}$ . Найдите общее сопротивление цепи.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



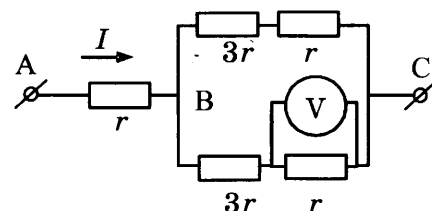
7. В цепи, схема которой изображена на рисунке, сопротивление каждого резистора равно  $3 \text{ Ом}$ . Найдите общее сопротивление цепи.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



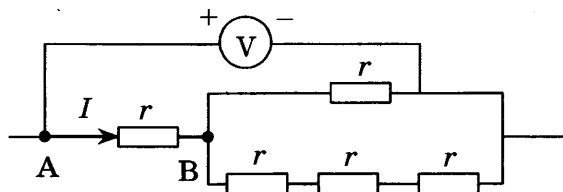
8. На рисунке показана схема участка электрической цепи. По участку  $AB$  течет постоянный ток  $I = 4 \text{ А}$ . Какое напряжение показывает идеальный вольтметр, если сопротивление  $r = 1 \text{ Ом}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ В.



9. Пять одинаковых резисторов с сопротивлением  $r = 1 \text{ Ом}$  соединены в электрическую цепь, схема которой представлена на рисунке. По участку  $AB$  идет ток  $I = 4 \text{ А}$ . Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?

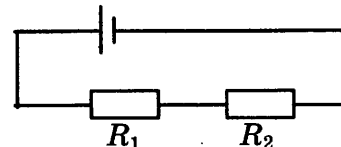
Ответ: \_\_\_\_\_ В.



10. На корпусе электропечи-ростера имеется надпись: « $220 \text{ В}$ ,  $660 \text{ Вт}$ ». Найдите силу тока, потребляемого ростером.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

11. В электрической цепи, представленной на рисунке, сопротивления резисторов равны  $R_1 = 20 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 30 \text{ Ом}$ . Чему равно отношение выделяющихся на резисторах мощностей  $\frac{P_2}{P_1}$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_.

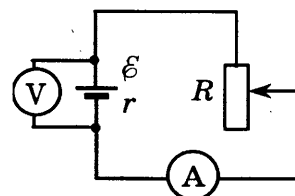
12. Нагревательный элемент состоит из трех одинаковых спиралей, первая из которых последовательно подключена к двум другим, соединенным параллельно. Через нагревательный элемент течет постоянный ток. Во сколько раз уменьшится мощность, потребляемая этим элементом, если напряжение, подаваемое на него, уменьшить в 3 раза, а первую спираль заменить на другую с сопротивлением, в 2 раза меньшим?

Ответ: \_\_\_\_\_.

13. Комната освещается четырьмя одинаковыми параллельно включенными лампочками. Расход электроэнергии за час равен 4 кДж. Каким будет расход электроэнергии в час, если число этих лампочек уменьшить вдвое?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

14. При одном сопротивлении реостата вольтметр показывает 8 В, амперметр — 1 А (см. рис.). При другом сопротивлении реостата показания приборов: 6 В и 2 А. Чему равна ЭДС источника тока? Амперметр и вольтметр считать идеальными.



Ответ: \_\_\_\_\_ В.

15. Установите соответствие между формулами для вычисления физических величин на участке цепи постоянного тока, содержащего резистор, и названиями этих величин.

В формулах использованы обозначения:  $I$  — сила тока на участке цепи;  $U$  — напряжение на участке цепи,  $R$  — сопротивление резистора.

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

#### ФОРМУЛЫ

- А)  $\frac{U}{R}$   
Б)  $IU$

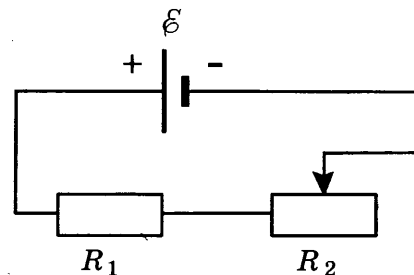
#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) заряд, протекший через резистор  
2) сила тока на участке цепи  
3) мощность тока, выделяющаяся на резисторе  
4) сопротивление резистора

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

- 16.** На рисунке показана цепь постоянного тока, содержащая источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , резистор  $R_1$  и реостат  $R_2$ . Как изменятся напряжение на резисторе  $R_1$  и суммарная тепловая мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи, если увеличить сопротивление реостата  $R_2$  до максимума? Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Напряжение на резисторе $R_1$ | Суммарная тепловая мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                   |

- 17.** Два резистора с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  параллельно подсоединили к клеммам батарейки для карманного фонаря. Напряжение на клеммах батарейки равно  $U$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) мощность, выделяемая на резисторе с сопротивлением  $R_1$   
 Б) сила тока через резистор с сопротивлением  $R_2$

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{U(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$
- 2)  $\frac{U}{R_2}$
- 3)  $\frac{U^2 R_1}{(R_1 + R_2)^2}$
- 4)  $\frac{U^2}{R_1}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 18.** Два плоских воздушных конденсатора подключены к одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым лампам, как показано на рисунках а и б. Пластины конденсаторов имеют разную площадь, но расстояние между пластинами в конденсаторах одинаковое (см. рис.). В некоторый момент времени ключи К в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведенных опытов при переключении ключа лампа вспыхнет ярче. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.

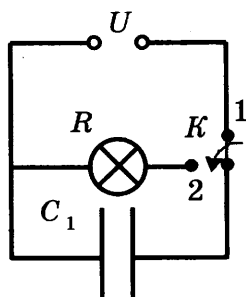


Рис. а

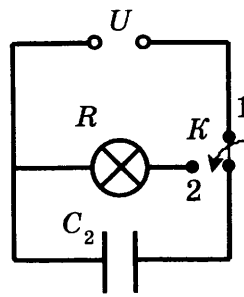
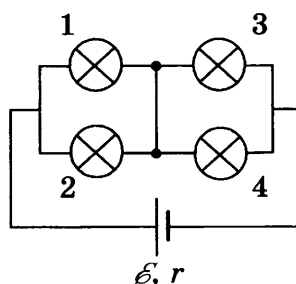
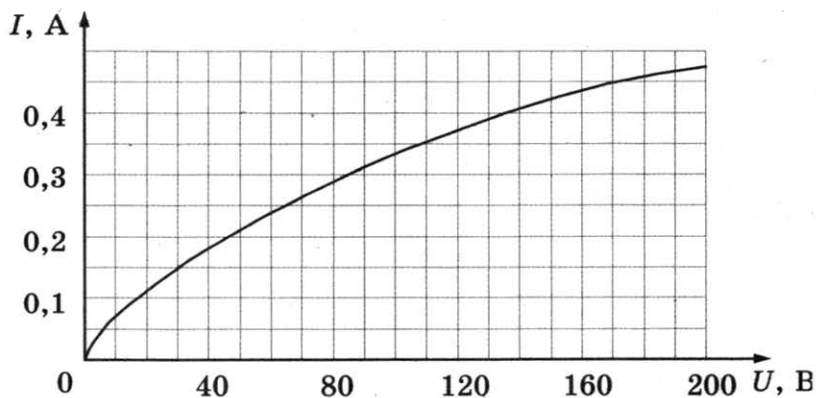


Рис. б

- 19.** Какая тепловая мощность выделяется на лампе 4 в цепи, собранной по схеме, изображенной на рисунке? Сопротивление ламп 1 и 2  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ , ламп 3 и 4  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ . Внутреннее сопротивление источника  $r = 5 \text{ Ом}$ , его ЭДС  $\mathcal{E} = 100 \text{ В}$ .



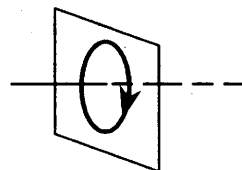
- 20.** На рисунке изображена зависимость силы тока через лампу накаливания от приложенного к ней напряжения. При последовательном соединении двух таких ламп и источника сила тока в цепи оказалась равной  $0,35 \text{ А}$ . Каково напряжение на клеммах источника? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



# Магнитное поле и электромагнитная индукция

## Задачи с решениями

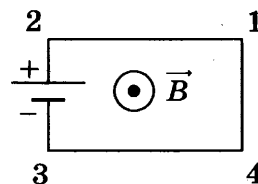
1. На рисунке изображен проволочный виток, по которому течет электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в вертикальной плоскости. Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор индукции магнитного поля тока в центре витка? Ответ запишите словом (словами).



**Решение.** Направление вектора магнитной индукции можно определить по правилу буравчика. Использование этого правила применительно к току, текущему по витку, дает: в центре витка вектор магнитной индукции направлен горизонтально (вдоль оси витка) вправо.

**Ответ:** вправо.

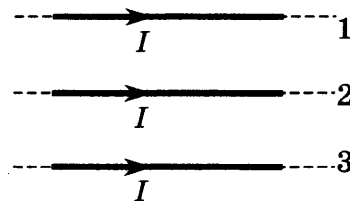
2. Электрическая цепь, состоящая из четырех прямолинейных горизонтальных проводников (1–2, 2–3, 3–4, 4–1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен вертикально вверх перпендикулярно плоскости рисунка (см. рис., вид сверху). Куда направлена (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 4–1? Ответ запишите словом (словами).



**Решение.** Направление силы Ампера, действующей на проводник с током, можно определить по правилу левой руки. Ток в цепи течет от «+» источника к «-». Таким образом, ток на участке 4–1 течет от 1 к 4. Значит, в данном случае сила Ампера направлена горизонтально влево.

**Ответ:** влево.

3. По трем тонким параллельным проводникам текут одинаковые токи  $I$ . Как направлена (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) сила Ампера, действующая на проводник № 3 со стороны двух других (см. рис.)? Расстояния между соседними проводниками одинаковы. Ответ запишите словом (словами).

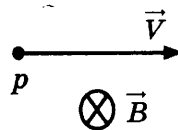


**Решение.** Магнитное взаимодействие проводников с током приводит к тому, что если токи имеют одинаковое направление, то проводники притягиваются, а если токи имеют противоположное направление — проводники отталкиваются. В данном случае токи во всех проводниках имеют одинаковое направление, значит, проводник № 3 притягивается и к проводнику № 1, и к проводнику № 2.

**Ответ:** вверх.



4. Протон влетает в область пространства, в которой создано однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен от нас, перпендикулярно плоскости рисунка. Куда направлена (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) сила Лоренца, действующая на протон? Ответ запишите словом (словами).



**Решение.** Направление силы Лоренца, действующей на заряд, движущийся в однородном магнитном поле, определяется по правилу левой руки (если заряд положительный). Заряд протона положительный, поэтому сила Лоренца направлена вверх.

**Ответ:** вверх.

5. Электрон влетел в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 10^{-3}$  Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите радиус окружности, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле, если модуль его скорости равен 880 км/с. Отношение заряда электрона к его массе равно  $\frac{q}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

**Ответ:** \_\_\_\_\_ мм.

**Решение.** Сила Лоренца, действующая на заряд, движущийся в однородном магнитном поле, равна  $F_L = qvB \sin \alpha$ , где  $\alpha$  — угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$  (в данном случае  $\alpha = 90^\circ$ ), и направлена перпендикулярно векторам  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$  (по правилу левой руки). Эта сила сообщает электрону центростремительное ускорение  $a = \frac{v^2}{R}$ , где  $R$  — радиус окружности, по которой движется заряд. Согласно второму закону Ньютона  $m \frac{v^2}{R} = qvB$ , откуда получаем  $R = \frac{mv}{qB} = 5 \cdot 10^{-3}$  м.

**Ответ:** 5 мм.

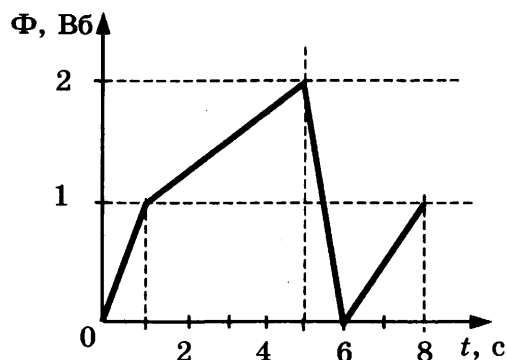
6. Прямолинейный проводник длиной  $l = 0,1$  м, по которому течет ток  $I = 4$  А, расположен в однородном магнитном поле под углом  $90^\circ$  к вектору  $\vec{B}$ . Каков модуль индукции магнитного поля  $B$ , если сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, равна 0,2 Н?

**Ответ:** \_\_\_\_\_ Тл.

**Решение.** На проводник с током в однородном магнитном поле действует сила Ампера, равная по модулю  $F_A = IBl \sin \alpha$ , где  $l$  — длина проводника,  $I$  — сила тока в нем,  $B$  — модуль индукции магнитного поля,  $\alpha$  — угол между направлением вектора магнитной индукции и проводником. Тогда  $B = \frac{F_A}{Il \sin \alpha} = 0,5$  Тл.

**Ответ:** 0,5 Тл.

7. На рисунке приведен график зависимости магнитного потока через плоскость проводочного витка от времени. Определите модуль ЭДС индукции в витке в промежутке времени 1–5 с.

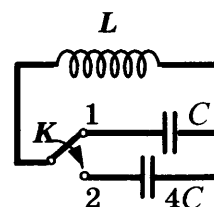


Ответ: \_\_\_\_\_ В.

**Решение.** По закону электромагнитной индукции  $|\mathcal{E}| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$ .

Ответ: 0,25 В.

8. В колебательном контуре, приведенном на рисунке, период электромагнитных колебаний равен 2 мкс. Какой будет частота электромагнитных колебаний в контуре, если ключ К перевести из положения 1 в положение 2?

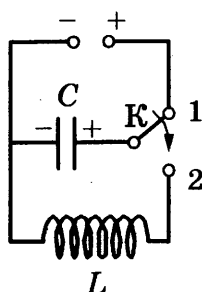


Ответ: \_\_\_\_\_ кГц.

**Решение.** Период собственных электромагнитных колебаний в колебательном контуре равен  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  (формула Томпсона). При переводе ключа в положение 2 емкость конденсатора в контуре увеличится в 4 раза, т.е. период увеличится в 2 раза и станет равным 4 мкс. Тогда частота колебаний  $\nu = \frac{1}{T} = 250 \cdot 10^3$  Гц.

Ответ: 250 кГц.

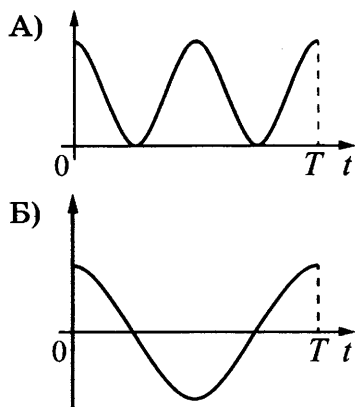
9. Конденсатор колебательного контура длительное время подключен к источнику постоянного напряжения (см. рис.). В момент  $t = 0$  переключатель К переводят из положения 1 в положение 2. Графики А и Б представляют изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре после этого ( $T$  — 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 второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

# ГРАФИКИ

# ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ



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

**Решение.** Когда ключ находится в положении 1, ток через катушку равен 0, а конденсатор заряжен до максимального напряжения. После переключения ключа в положение 2, в контуре начнутся электромагнитные гармонические колебания. Заряд правой обкладки конденсатора вначале был положителен и максимален, затем он будет меняться с течением времени по закону  $q(t) = q_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ . Энергия конденсатора в начальный момент также максимальна, т.к.  $W_c = \frac{q^2}{2C}$ , а период ее изменений вдвое меньше периода колебания заряда конденсатора.

**Ответ:** 34 или 43.

**10.** В таблице показано, как изменялся заряд одной из обкладок конденсатора емкостью 50 пФ в колебательном контуре с течением времени. Выберите два верных утверждения о процессах, происходящих в контуре.

| $t$ , мкс | 0 | 1    | 2 | 3     | 4  | 5     | 6 | 7    | 8 | 9    |
|-----------|---|------|---|-------|----|-------|---|------|---|------|
| $q$ , нКл | 2 | 1,42 | 0 | -1,42 | -2 | -1,42 | 0 | 1,42 | 2 | 1,42 |

- 1) Частота колебаний тока в контуре равна 125 кГц.
- 2) Период колебаний заряда конденсатора равен 4 мкс.
- 3) Амплитудное значение силы тока в контуре равно 2,84 мА.
- 4) В момент времени 4 мкс сила тока в контуре максимальна.
- 5) Энергия магнитного поля катушки в момент времени 6 мкс равна 40 нДж.

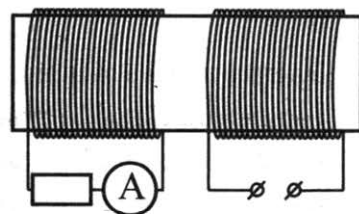
**Ответ:** \_\_\_\_\_ .

**Решение.** Период колебаний в контуре — минимальный промежуток времени, в течение которого совершается одно полное колебание. В данном случае период колебаний равен  $T = 8$  мкс. Частота колебаний обратна периоду  $\nu = \frac{1}{T} = 125 \cdot 10^3$  Гц. Когда заряд конденсатора максимален (по модулю), сила тока через катушку равна 0, а когда заряд конденсатора равен 0 — сила тока через катушку максимальна. Значит, в момент времени 4 мкс сила тока в контуре равна 0. Максимальная энергия конденсатора равна  $W_{\max} = \frac{q_{\max}^2}{2C}$  и равна максимальной энергии магнитного поля катушки  $W_{\max} = \frac{LI_{\max}^2}{2}$ , где  $I_{\max}$  — амплитуда тока через ка-

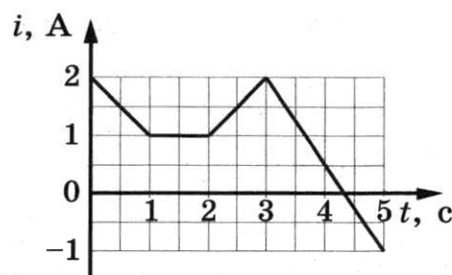
тушку,  $L$  — индуктивность катушки. Максимальная энергия конденсатора в данном случае  $W_{\max} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Дж} = 40 \text{ нДж}$ . Приравнявая друг другу максимальные энергии конденсатора и катушки, можно получить  $I_{\max} = \frac{q_{\max}}{\sqrt{LC}} = \frac{2\pi q_{\max}}{T}$ , где учтено, что  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  (формула Томсона). Используя данные задачи, получим  $I_{\max} \approx 1,57 \text{ мА}$ .

**Ответ:** 15 (или 51).

**11.** На железный сердечник надеты две катушки, как показано на рисунке. По правой катушке пропускают ток, который меняется согласно приведенному графику. На основании этого графика выберите два верных утверждения.



- 1) В промежутке между 1 с и 2 с показания амперметра были равны 0.
- 2) В промежутках 0–1 с и 2–3 с направления тока в левой катушке были одинаковы.
- 3) В промежутке между 1 с и 2 с индукция магнитного поля в сердечнике была равна 0.
- 4) Все время измерений сила тока через амперметр была отлична от 0.
- 5) В промежутках 0–1 с и 2–3 с сила тока в левой катушке была одинаковой.



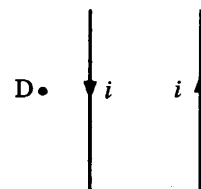
**Решение.** Ток в левой катушке возникает вследствие явления электромагнитной индукции. Ток, текущий в правой катушке, создает магнитное поле, которое пронизывает и левую катушку. При изменении силы тока в правой катушке, магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий левую, изменяется, в ней возникает ЭДС индукции и появляется индукционный ток. Модуль ЭДС индукции определяется законом Фарадея  $|\mathcal{E}_i| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$ . Направление индукционного тока

определяется правилом Ленца и зависит от того, возрастает магнитный поток или убывает. Таким образом, ток в левой катушке тек только в те промежутки времени, когда менялась сила тока в правой катушке. В тех промежутках, когда сила тока уменьшалась, индукционный ток имел одно и то же направление, а когда сила тока возрастала, он тек в противоположном направлении.

**Ответ:** 15 (или 51).

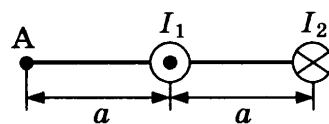
### Задачи для самостоятельного решения

**1.** По двум тонким прямым проводникам, параллельным друг другу, текут одинаковые токи  $i$  (см. рис.), направление которых указано стрелками. Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор индукции создаваемого ими магнитного поля в точке D? Ответ запишите словом (словами).



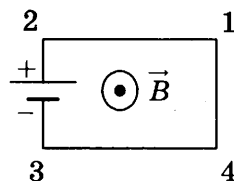
**Ответ:** \_\_\_\_\_.

2. Два параллельных длинных проводника с токами  $I_1 = I_2$  расположены перпендикулярно плоскости чертежа (см. рис.). Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор индукции магнитного поля, создаваемого этими проводниками в точке А? Ответ запишите словом (словами).



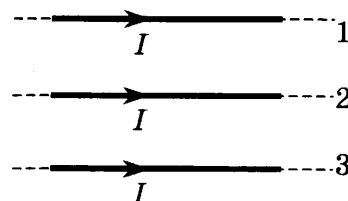
Ответ: \_\_\_\_\_ .

3. Электрическая цепь, состоящая из четырех прямолинейных горизонтальных проводников (1–2, 2–3, 3–4, 4–1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен на нас перпендикулярно плоскости рисунка. Куда направлена (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 2–1? Ответ запишите словом (словами).



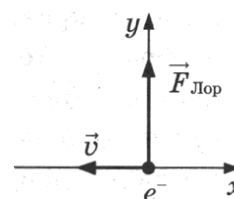
Ответ: \_\_\_\_\_ .

4. По трем тонким параллельным проводникам текут одинаковые токи  $I$ . Как направлена (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) сила Ампера, действующая на проводник № 1 со стороны двух других (см. рис.)? Расстояния между соседними проводниками одинаковы. Ответ запишите словом (словами).



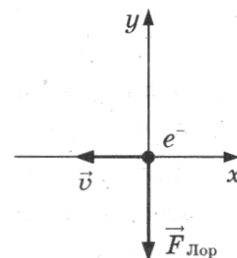
Ответ: \_\_\_\_\_ .

5. В некоторый момент времени скорость  $\vec{v}$  электрона  $e^-$ , движущегося в магнитном поле, направлена вдоль оси  $x$  (см. рис.). Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор магнитной индукции  $\vec{B}$ , если в этот момент сила Лоренца, действующая на электрон, направлена вдоль оси  $y$ ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_ .

6. В некоторый момент времени скорость  $\vec{v}$  электрона  $e^-$ , движущегося в магнитном поле, направлена вдоль оси  $x$  (см. рис.). Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор магнитной индукции  $\vec{B}$ , если в этот момент сила Лоренца, действующая на электрон, направлена вдоль оси  $y$ ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_ .

7. Чему равна сила Ампера, действующая на стальной прямой проводник с током длиной 10 см и площадью поперечного сечения  $2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2$ , если напряжение на нем 3,6 В, а модуль вектора магнитной индукции 0,4 Тл? Вектор магнитной индукции перпендикулярен проводнику. Удельное сопротивление стали  $0,12 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

8. В однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией 0,01 Тл находится прямолинейный проводник, расположенный в горизонтальной плоскости перпендикулярно линиям индукции поля. Какой ток следует пропустить по проводнику, чтобы сила Ампера уравнивала силу тяжести? Масса единицы длины проводника 0,01 кг/м.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

9. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом  $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Сила, действующая на частицу со стороны магнитного поля, равна  $1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Н}$ . Какова кинетическая энергия движущейся частицы?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

10. Две частицы, имеющие отношение масс  $\frac{m_1}{m_2} = 2$ , влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции и движутся по окружностям с отношением радиусов  $\frac{R_1}{R_2} = 2$ . Определите отношение зарядов  $\frac{q_1}{q_2}$  этих частиц, если отношение их скоростей  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{2}$ .

Ответ: \_\_\_\_\_.

11. Заряженная частица массой  $m$ , несущая положительный заряд  $q$ , движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля  $\vec{B}$  по окружности радиусом  $R$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) частота обращения частицы по окружности  
Б) кинетическая энергия частицы

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{q^2 B^2}{2R^2 m}$   
2)  $\frac{\pi m}{qB}$   
3)  $\frac{qB}{2\pi m}$   
4)  $\frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

12. В первой экспериментальной установке положительно заряженная частица влетает в однородное магнитное поле так, что вектор  $\vec{v}_0$  перпендикулярен индукции магнитного поля (рис. 1). Во второй экспериментальной установке вектор  $\vec{v}_0$  той же частицы параллелен напряженности электрического поля (рис. 2). Влиянием силы тяжести пренебречь.

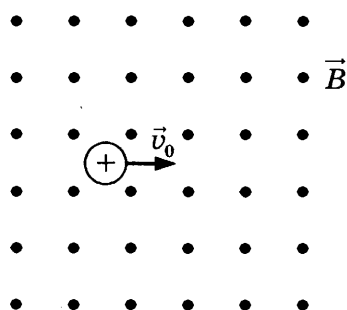


Рис. 1

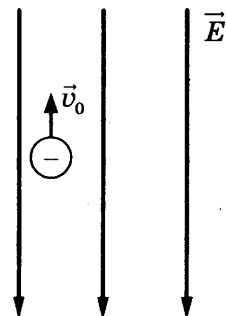


Рис. 2

Установите соответствие между экспериментальной установкой и траекторией движения частицы в ней.

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

**ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ**

- А) в первой установке  
Б) во второй установке

**ТРАЕКТОРИЯ**

- 1) прямая линия  
2) окружность  
3) спираль  
4) парабола

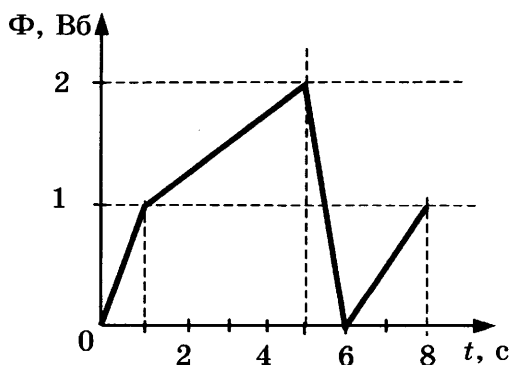
Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

13. Плоская рамка помещена в однородное магнитное поле, линии магнитной индукции которого перпендикулярны ее плоскости. Магнитный поток через рамку равен 0,01 Вб. Чему будет равен магнитный поток через рамку, если площадь рамки и индукцию магнитного поля увеличить в 2 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ Вб.

14. На рисунке приведен график зависимости магнитного потока через плоскость проводочного витка от времени. Определите модуль ЭДС индукции в витке в промежутке времени 5–6 с.

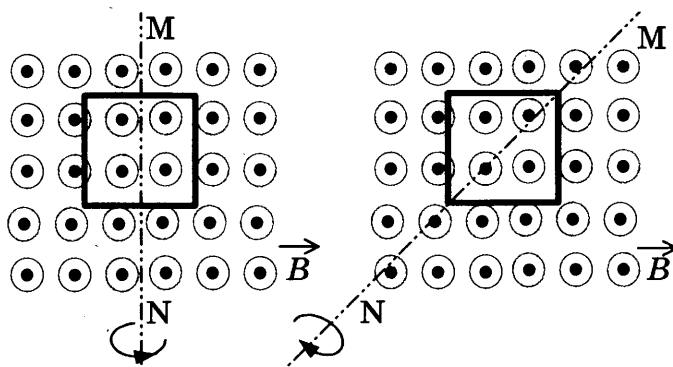


Ответ: \_\_\_\_\_ В.

15. В опыте по наблюдению электромагнитной индукции квадратная рамка из одного витка тонкого провода находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости рамки. Индукция магнитного поля равномерно возрастает от 0 до максимального значения  $B_{\text{макс}}$  за время  $T$ . При этом в рамке возбуждается ЭДС индукции, равная 4 мВ. Определите ЭДС индукции, возникающую в рамке, если  $T$  уменьшить в 2 раза, а  $B_{\text{макс}}$  в 2 раза увеличить.

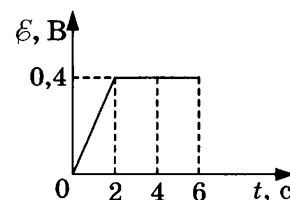
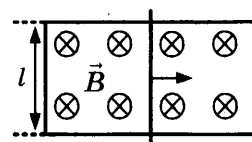
Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

16. На рисунке показаны два способа вращения квадратной проволочной рамки в однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены из плоскости чертежа к нам. Вращение происходит вокруг оси MN, лежащей в плоскости рисунка. В первом случае максимальная величина ЭДС индукции, возникающей в рамке равна 6 мВ. Определите максимальную величину ЭДС индукции, возникающей в рамке во втором случае, если частота вращения рамки в обоих случаях одинакова.



Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

17. По П-образному проводнику, находящемуся в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости проводника, скользит проводящая перемычка (см. рис.). На графике приведена зависимость ЭДС индукции, возникающей в перемычке при ее движении в магнитном поле. Пренебрегая сопротивлением проводника, выберите два верных утверждения о результатах этого опыта. Известно, что модуль индукции магнитного поля равен  $B = 0,5$  Тл, длина проводника  $l = 0,1$  м.

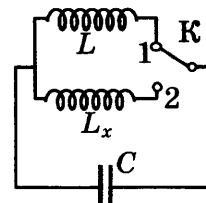


- 1) Проводник сначала двигался равномерно, а затем покоился.
- 2) Через 2 с скорость проводника была равна 8 м/с.
- 3) В момент времени 4 с сила Ампера на проводник не действовала.
- 4) В промежуток времени от 2 с до 6 с сила тока в проводнике не изменялась.
- 5) Через 6 с проводник остановился.

Ответ: ☐ ☐



18. Индуктивность катушки в колебательном контуре, изображенном на рисунке, равна  $L = 2$  мГн. Какой должна быть индуктивность  $L_x$  катушки в контуре, чтобы при переводе ключа К из положения 1 в положение 2 период собственных электромагнитных колебаний в контуре увеличился в 3 раза?



Ответ: \_\_\_\_\_ мГн.

19. В идеальном колебательном контуре происходят колебания с периодом  $T$ . Максимальная энергия магнитного поля катушки равна  $E$ . Индуктивность катушки контура —  $L$ . Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс колебаний, и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) максимальная сила тока в контуре  
Б) емкость конденсатора

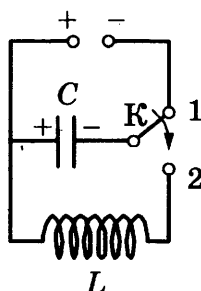
#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{T^2}{4\pi^2 L}$   
2)  $\frac{T}{\pi} \sqrt{\frac{E}{2L}}$   
3)  $\sqrt{\frac{2E}{L}}$   
4)  $\frac{T}{2\pi L}$

Ответ:

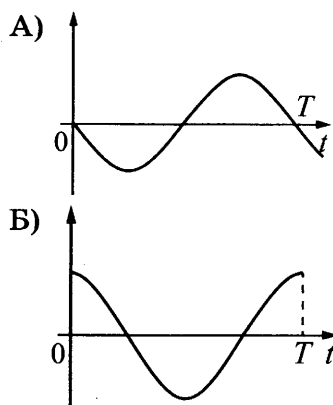
|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

20. Конденсатор колебательного контура длительное время подключен к источнику постоянного напряжения (см. рис.). В момент времени  $t = 0$  переключатель К переводят из положения 1 в положение 2. Приведенные ниже графики А и Б представляют изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре после этого ( $T$  — период электромагнитных колебаний в контуре). Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять.



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

# ГРАФИКИ



Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

# ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) сила тока в катушке
- 2) энергия магнитного поля катушки
- 3) энергия электрического поля конденсатора
- 4) заряд на левой обкладке конденсатора

- 21.** Чему равна энергия магнитного поля катушки, в которой при силе тока 10 А возникает магнитный поток 1 Вб?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

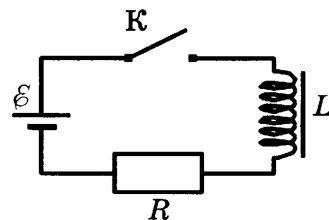
- 22.** Электрический колебательный контур радиоприемника содержит конденсатор и катушку индуктивности. Как изменятся частота колебаний силы тока в контуре и период колебаний энергии конденсатора, если уменьшить расстояние между пластинами конденсатора? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Частота колебаний | Период колебаний энергии конденсатора |
|-------------------|---------------------------------------|
|                   |                                       |

- 23.** Катушка индуктивности подключена к источнику тока с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением через резистор  $R = 60 \text{ Ом}$  (см. рис.). В момент  $t = 0$  ключ  $K$  замыкают. Значения силы тока в цепи, измеренные в последовательные моменты времени, представлены в таблице. Выберите два верных утверждения о процессах, происходящих в цепи. Сопротивлением катушки пренебречь.



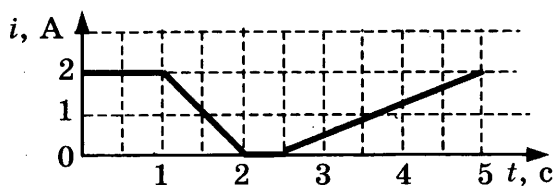
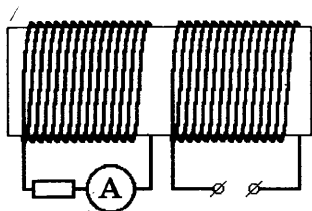
| $t, \text{ с}$ | 0 | 0,5  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 5,0  | 6,0  |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $I, \text{ А}$ | 0 | 0,12 | 0,19 | 0,23 | 0,26 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | 0,30 |

- 1) Напряжение на резисторе в момент времени  $t = 5,0 \text{ с}$  равно 18 В.
- 2) Модуль ЭДС самоиндукции катушки в момент времени  $t = 0 \text{ с}$  равен 18 В.
- 3) ЭДС источника тока равен 20 В.
- 4) Напряжение на катушке максимально в момент времени  $t = 3,0 \text{ с}$ .
- 5) Энергия катушки минимальна в момент времени  $t = 6,0 \text{ с}$ .

Ответ:

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

- 24.** На железный сердечник надеты две катушки, как показано на рисунке. По правой катушке пропускают ток, который меняется согласно приведенному графику. Выберите два верных утверждения о процессах, происходящих в катушках.



- 1) Индукция магнитного поля в сердечнике в интервале времени от  $t = 2$  с. до  $t = 2,5$  с равна нулю.
- 2) Амперметр показывает наличие тока только в промежуток времени от  $t = 2,5$  с до  $t = 5$  с.
- 3) Показания амперметра минимальны в промежуток времени от  $t = 1$  с до  $t = 2$  с.
- 4) Показания амперметра максимальны в промежуток времени от  $t = 2,5$  с до  $t = 5$  с.
- 5) Энергия магнитного поля в правой катушке максимальна в промежуток времени от  $t = 0$  с до  $t = 1$  с.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

- 25.** Установите соответствие между физическими величинами и их единицами измерения в системе СИ.

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

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) энергия магнитного поля катушки  
Б) ЭДС индукции

**ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ**

- 1) 1 Тл  
2) 1 Гн  
3) 1 В  
4) 1 Дж

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 26.** Установите соответствие между физическими величинами и их единицами измерения в СИ.

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

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) напряжение  
Б) магнитный поток

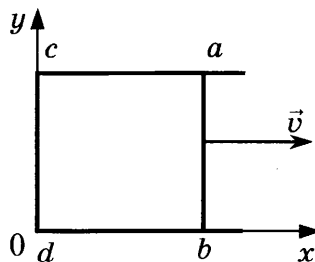
**ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ**

- 1) 1 Ф  
2) 1 Вб  
3) 1 В  
4) 1 Тл

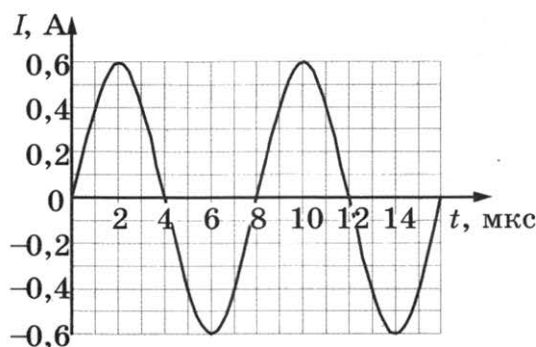
Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

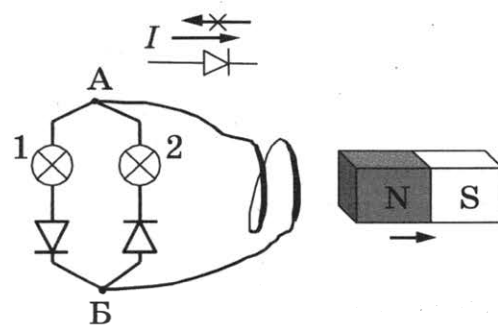
- 27.** По П-образному проводнику  $acdb$  постоянного сечения скользит со скоростью  $\vec{v}$  медная перемычка  $ab$  длиной  $l$  из того же материала и такого же сечения (см. рис.). Проводники, образующие контур, помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости проводников и равен по модулю  $B$ . Определить разность потенциалов  $U$  между точками  $a$  и  $b$  в тот момент, когда  $ac = 2ab$ .



- 28.** Сила тока в идеальном колебательном контуре меняется со временем так, как показано на рисунке. Определите заряд конденсатора в момент времени  $t = 3$  мкс.



- 29.** Электрическая цепь состоит из двух лампочек, двух диодов и витка провода, соединенных, как показано на рисунке. (Диод пропускает ток только в одном направлении, как показано в верхней части рисунка.) Какая из лампочек загорится, если отодвигать от витка северный полюс магнита? Ответ объясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

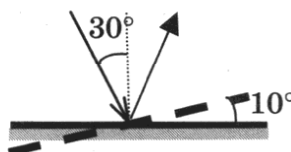


# ОПТИКА

## Геометрическая оптика

### Задачи с решениями

1. Угол падения света на горизонтально расположенное плоское зеркало равен  $30^\circ$ . Каким будет угол отражения света, если повернуть зеркало на  $10^\circ$  так, как показано на рисунке?



Ответ: \_\_\_\_\_  $^\circ$ .

**Решение.** По закону отражения света угол падения равен углу отражения. При повороте зеркала угол падения (угол между падающим лучом и перпендикуляром к зеркалу в точке падения луча) уменьшится на  $10^\circ$ .

Ответ:  $20^\circ$ .

2. Показатель преломления жидкости равен 1,6. Определите синус предельного угла полного внутреннего отражения на границе жидкость–воздух.

Ответ: \_\_\_\_\_.

**Решение.** При переходе из более оптически плотной среды (жидкости) в менее оптически плотную среду (воздух) угол преломления  $\beta$  больше, чем угол падения  $\alpha$ . Явление полного внутреннего отражения наблюдается начиная с того момента, когда угол преломления станет равным  $90^\circ$ . Синус угла падения  $\alpha_0$ , соответствующий этому углу, можно найти из закона преломления света:  $n_{\text{ж}} \sin \alpha_0 = n_{\text{в}} \sin 90^\circ$ , где  $n_{\text{ж}}$  — показатель преломления жидкости,  $n_{\text{в}} = 1$  — показатель преломления воздуха.

Ответ: 0,625.

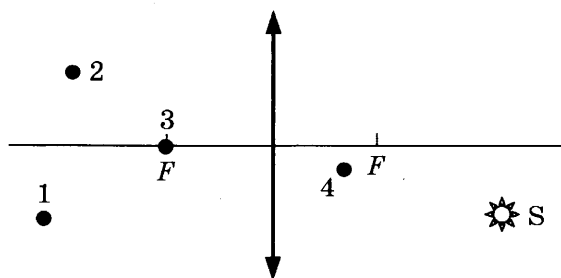
3. Луч света лазерной указки падает на поверхность стекла и распространяется в стекле со скоростью 200 000 км/с. Каков показатель преломления стекла?

Ответ: \_\_\_\_\_.

**Решение.** Показатель преломления вещества равен отношению скорости света в вакууме к скорости света в веществе  $n = \frac{c}{v}$ . Учитывая, что скорость света в вакууме 300 000 км/с, получим  $n = 1,5$ .

Ответ: 1,5.

4. Какая из точек (1, 2, 3 или 4), показанных на рисунке, является изображением точки S в тонкой собирающей линзе с фокусным расстоянием  $F$ ?

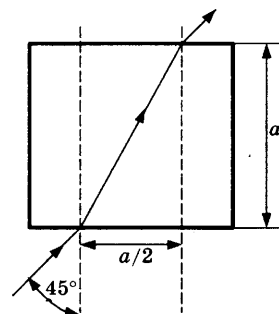


Ответ: \_\_\_\_\_.

**Решение.** При построении изображения, даваемого линзой, нужно провести из точки S два луча, пересечение которых после преломления линзой даст положение изображения точки S. Например, этими лучами могут быть луч, проходящий через оптический центр линзы (проходит через линзу не преломляясь), и луч, параллельный главной оптической оси (после преломления в линзе проходит через фокус).

Ответ: 2.

5. Луч света падает из воздуха на поверхность прозрачного тела кубической формы под углом  $45^\circ$ . Ход луча показан на рисунке. Определите показатель преломления  $n$  материала тела. Ответ округлите до десятых.



**Решение.** Согласно закону преломления  $n_{\text{в}} \sin 45^\circ = n \sin \beta$ , где  $n_{\text{в}} = 1$  — показатель преломления воздуха. Из рисунка видно, что тангенс угла преломления  $\beta$  равен  $\operatorname{tg} \beta = \frac{a/2}{a} = \frac{1}{2} = \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}}$ .

Из этого соотношения находим  $\sin \beta = \frac{1}{\sqrt{5}}$ . Тогда  $n = \frac{\sin 45^\circ}{\sin \beta} = \frac{\sqrt{10}}{2} \approx 1,6$ .

Ответ: 1,6.

6. Предмет высотой 12 см расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 30 см от ее оптического центра. Высота изображения предмета 6 см. Найдите оптическую силу линзы.

Ответ: \_\_\_\_\_ дптр.

**Решение.** Уменьшенное изображение предмета получается в собирающей линзе только действительным. Согласно формуле тонкой линзы  $D = \frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ , где  $D$  — оптическая сила линзы,  $a$  и  $b$  — расстояния от линзы до предмета и до его изображения. Увеличение, даваемое линзой, равно  $\Gamma = \frac{h_{\text{изображения}}}{h_{\text{предмета}}} = \frac{b}{a}$ . Тогда  $b = a/2 = 0,15$  м.

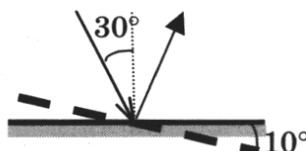
Ответ: 10 дптр.

## Задачи для самостоятельного решения

1. Луч света падает на плоское зеркало. Угол отражения равен  $12^\circ$ . Чему равен угол между падающим лучом и зеркалом?

Ответ: \_\_\_\_\_  $^\circ$ .

2. Угол падения света на горизонтально расположенное плоское зеркало равен  $30^\circ$ . Каким будет угол отражения света, если повернуть зеркало на  $10^\circ$  так, как показано на рисунке?



Ответ: \_\_\_\_\_  $^\circ$ .

3. Расстояние между предметом и плоским зеркалом равно 6 см. Каким будет расстояние между предметом и его изображением, если расстояние от предмета до зеркала увеличить в 2 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

4. Точечный источник света находится на расстоянии 1,2 м от плоского зеркала. На сколько уменьшится расстояние между источником и его изображением, если, не поворачивая зеркала, пододвинуть его ближе к источнику на 0,3 м?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

5. Синус предельного угла полного внутреннего отражения на границе жидкость–воздух равен 0,8. Определите показатель преломления жидкости.

Ответ: \_\_\_\_\_.

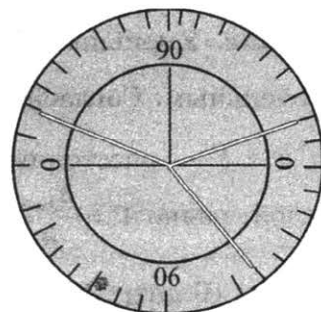
6. Синус угла полного внутреннего отражения на границе вода–воздух равен 0,75. Чему равна скорость света в воде?

Ответ: \_\_\_\_\_ км/с.

7. Ученик провел опыт по преломлению света на границе стекло–воздух, представленный на рисунке.

Как изменятся при увеличении угла падения угол преломления света, распространяющегося в стекле, и показатель преломления стекла?

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



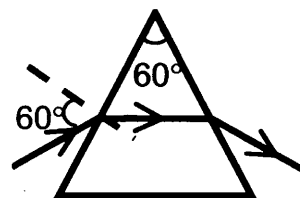
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

| Угол преломления | Показатель преломления стекла |
|------------------|-------------------------------|
|                  |                               |

8. К потолку комнаты высотой 4 м прикреплена небольшая светящаяся лампочка. На высоте 2 м от пола параллельно полу расположен непрозрачный квадрат со стороной 2 м. Лампочка и центр квадрата лежат на одной вертикали. Определите площадь тени на полу.

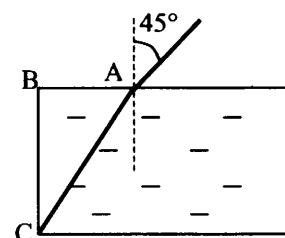
Ответ: \_\_\_\_\_ м<sup>2</sup>.

9. Луч падает из воздуха на призму под углом  $60^\circ$  (см. рис.) и выходит из нее под тем же углом. Преломляющий угол призмы равен  $60^\circ$ . Чему равен показатель преломления призмы? Ответ округлите до десятых.



Ответ: \_\_\_\_\_.

10. Луч света падает из воздуха на поверхность прозрачной жидкости под углом  $45^\circ$ . Ход луча показан на рисунке. Определите показатель преломления  $n$  жидкости, если  $AB = 6$  см и  $BC = 8$  см. Ответ округлите до десятых.



Ответ: \_\_\_\_\_.

11. Стекланную линзу (показатель преломления стекла  $n_{\text{стекла}} = 1,54$ ), показанную на рисунке, перенесли из воздуха ( $n_{\text{воздуха}} = 1$ ) в воду ( $n_{\text{воды}} = 1,33$ ). Как изменились при этом фокусное расстояние и оптическая сила линзы?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

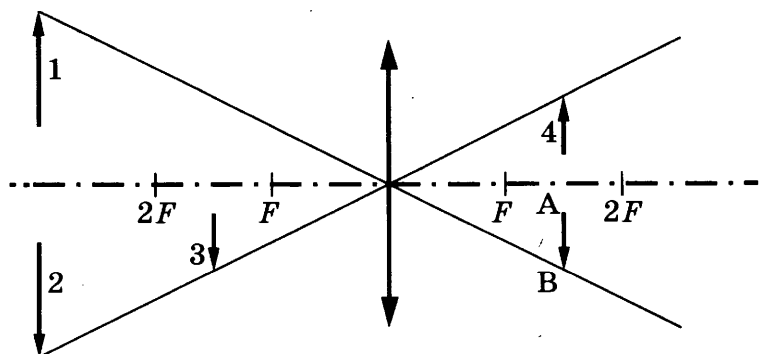
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

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

| Фокусное расстояние | Оптическая сила линзы |
|---------------------|-----------------------|
|                     |                       |

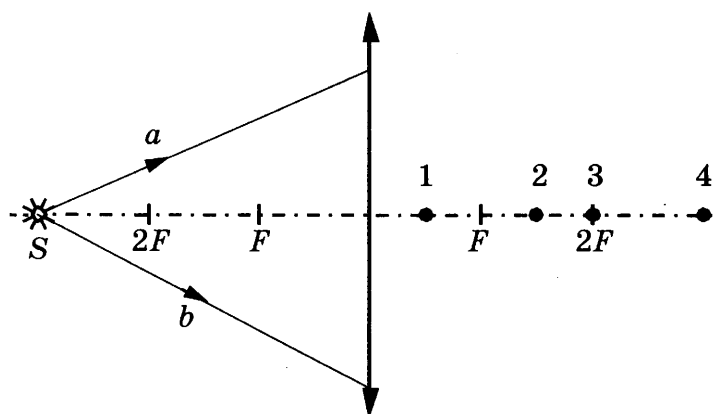
12. Какому из предметов 1–4 соответствует изображение АВ в тонкой линзе с фокусным расстоянием  $F$ ?





Ответ: \_\_\_\_\_.

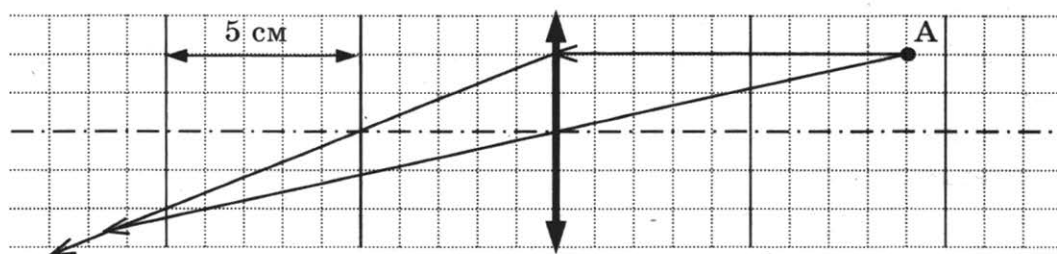
- 13.** От точечного источника света  $S$ , находящегося на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$  на расстоянии  $3F$  от нее, распространяются два луча:  $a$  и  $b$ , как показано на рисунке.



В какой точке: 1, 2, 3 или 4 — пересекутся эти лучи после преломления линзой?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 14.** На рисунке показан ход лучей от точечного источника света  $A$  через тонкую линзу. Какова оптическая сила линзы?



Ответ: \_\_\_\_\_ дптр.

- 15.** Предмет высотой 6 см расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 30 см от ее оптического центра. Высота действительного изображения предмета 12 см. Найдите фокусное расстояние линзы.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

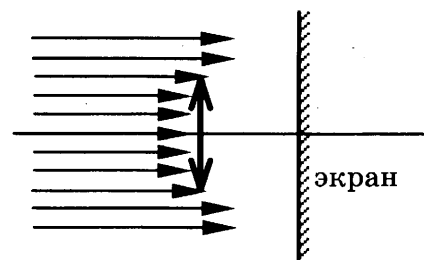
- 16.** Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы с оптической силой 10 дптр. Расстояние от предмета до линзы равно 30 см. Определите расстояние от линзы до изображения предмета

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 17.** На главной оптической оси собирающей линзы оптической силой 5 дптр на расстоянии 40 см от нее находится точечный источник света. Каков диаметр светлого пятна на экране, расположенном на расстоянии 20 см за линзой, перпендикулярно ее главной оптической оси? Диаметр линзы 6 см.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 18.** Пучок параллельных световых лучей падает нормально на тонкую собирающую линзу диаметром 6 см с оптической силой 10 дптр (см. рис.). Экран расположен за линзой на расстоянии 5 см. Рассчитайте диаметр светлого пятна, созданного линзой на экране.



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 19.** В опыте нить накала лампочки расположена вблизи главной оптической оси тонкой линзы с фокусным расстоянием  $F$  перпендикулярно этой оси. Расстояние  $a$  от линзы до спирали равно  $3F$ . Сначала в опыте использовали рассеивающую линзу, а затем — собирающую. Установите соответствие между видом линзы, использовавшейся в опыте, и свойствами изображения. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ВИД ЛИНЗЫ

- А) линза рассеивающая  
Б) линза собирающая

#### СВОЙСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

- 1) действительное, уменьшенное, перевернутое  
2) мнимое, прямое, уменьшенное  
3) действительное, увеличенное, перевернутое  
4) мнимое, увеличенное, перевернутое

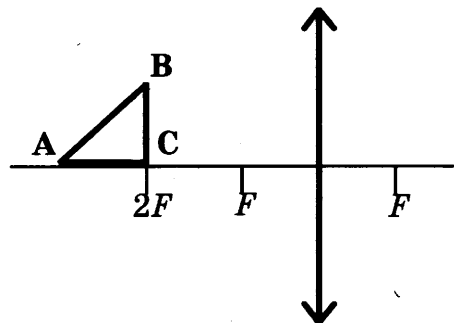
Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 20.** Условимся считать изображение на пленке фотоаппарата резким, если вместо идеального изображения в виде точки на пленке получается изображение пятна диаметром не более некоторого предельного значения. Поэтому если объектив находится на фокусном расстоянии от пленки, то резкими считаются не только бесконечно удаленные предметы, но и все предметы, находящиеся дальше некоторого расстояния  $d$ . Оцените диаметр входного отверстия объектива  $D$ , если при фокусном расстоянии  $F = 80$  мм резкими оказались все предметы, находившиеся на расстояниях более  $d = 4$  м от объектива. Предельный размер пятна равен  $\delta = 0,2$  мм. Сделайте рисунок, поясняющий образование пятна.

21. В дно водоема глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Угол падения солнечных лучей на поверхность воды равен  $30^\circ$ . Определите длину тени сваи на дне водоема. Коэффициент преломления воды  $n = \frac{4}{3}$ .

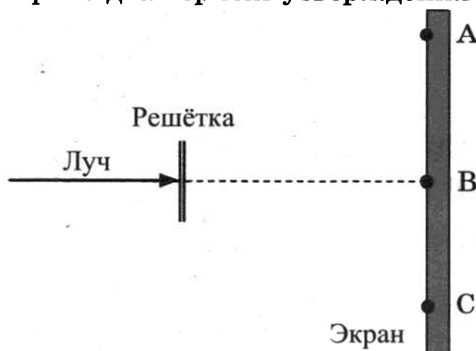
22. Равнобедренный прямоугольный треугольник ABC площадью  $50 \text{ см}^2$  расположен перед тонкой собирающей линзой так, что его катет AC лежит на главной оптической оси линзы. Фокусное расстояние линзы 50 см. Вершина прямого угла C лежит ближе к центру линзы, чем вершина острого угла A. Расстояние от центра линзы до точки C равно удвоенному фокусному расстоянию линзы (см. рис.). Постройте изображение треугольника и найдите площадь получившейся фигуры.



## Волновая оптика

### Задачи с решениями

1. В первом опыте лазерный луч красного цвета падает перпендикулярно на дифракционную решетку, содержащую 50 штрихов на 1 мм (см. рис.). Во втором опыте решетку заменили на другую, содержащую 100 штрихов на 1 мм, оставив угол падения лазерного луча на решетку тем же. Выберите два верных утверждения о результатах этих опытов.



- 1) В обоих опытах в точке В экрана наблюдается красное пятно.
- 2) Во втором опыте расстояния между дифракционными максимумами на экране стали меньше.
- 3) Во втором опыте количество дифракционных максимумов, наблюдаемых на экране, уменьшилось.
- 4) Дифракционная картина, наблюдаемая на экране, не изменилась.
- 5) Решетка слишком частая и дифракционная картина пропадет.

Ответ: ☐ ☐

**Решение.** Согласно условию максимумов для дифракционной решетки  $d \sin \alpha = m\lambda$ , где  $d$  — период решетки,  $\alpha$  — угол между перпендикуляром к плоскости решетки и направлением на

максимум номер  $m$ ,  $\lambda$  — длина волны падающего света. Положение нулевого максимума в точке В ( $m = 0$ ) не изменяется при изменении  $d$  и  $\lambda$ , значит, пятно в точке не сместится. При увеличении числа штрихов решетки на 1 мм ее период  $d$  уменьшается, значит, при неизменной длине волны угол, определяющий направление на  $m$ -й максимум, увеличится, т.е. пятна раздвинутся от центра, расстояния между максимумами увеличатся, а их количество уменьшится. Дифракция будет наблюдаться пока  $\frac{d}{\lambda} > 1$ , иначе на экране останется только нулевой максимум. Во втором случае  $d = 10^{-5}$  м, что существенно больше длины волны красного света.

**Ответ:** 13 (или 31).

- 2.** В прозрачном сосуде, заполненном водой, находится дифракционная решетка. Решетка освещается параллельным пучком монохроматического света, падающим перпендикулярно ее поверхности через боковую стенку сосуда. Как изменятся длина волны, падающей на решетку, и угол между падающим лучом и направлением на второй дифракционный максимум при замене воды в сосуде прозрачной жидкостью с большим показателем преломления?

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.

| Длина волны света,<br>достигающего решетки | Угол между нормалью<br>к решетке и направлением на второй<br>дифракционный максимум |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            |                                                                                     |

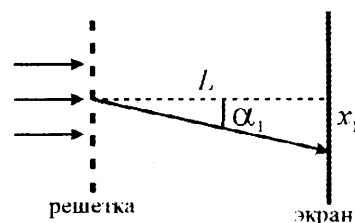
**Решение.** Длина волны равна  $\lambda = \frac{v}{\nu}$ , где  $v$  — скорость света в среде,  $\nu$  — частота световой волны. Частота волны не зависит от вещества, в котором распространяется свет, а скорость света тем меньше, чем больше показатель преломления вещества. Значит, длина волны уменьшится. Угол  $\alpha$  между перпендикуляром к плоскости решетки и направлением на максимум номер 2 определяется из условия максимума для дифракционной решетки  $d \sin \alpha = 2\lambda$ , где  $d$  — период решетки. Если длина волны уменьшится, то угол также должен уменьшиться.

| <b>Ответ:</b> | Длина волны света,<br>достигающего решетки | Угол между нормалью<br>к решетке и направлением на второй<br>дифракционный максимум |
|---------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|               | 2                                          | 2                                                                                   |

- 3.** Дифракционная решетка расположена параллельно экрану на расстоянии 0,7 м от него. Определите количество штрихов на 1 мм для этой дифракционной решетки, если при нормальном падении на нее светового пучка с длиной волны 0,43 мкм первый дифрак-

ционный максимум на экране находится на расстоянии 3 см от центральной светлой полосы. Считать  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ . Ответ округлите до целых.

**Решение.** Согласно условию максимумов для дифракционной решетки  $d \sin \alpha = m \lambda$ , где  $d$  — период решетки,  $\alpha$  — угол между перпендикуляром к плоскости решетки и направлением на максимум номер  $m$ ,  $\lambda$  — длина волны падающего света. Таким образом, синус угла, соответствующего направлению на первый максимум, равен  $\sin \alpha_1 = \frac{\lambda}{d}$ . Из геометрии видно (см. рис.), что



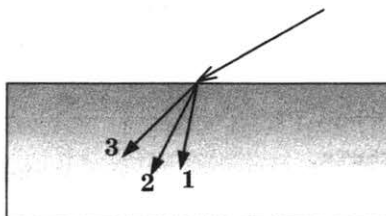
$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{x_1}{L}$ . Используя условие  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ , получим  $d = \frac{L}{x_1} \cdot \lambda$ .

Тогда число штрихов на 1 мм решетки равно

$$N = \frac{10^{-3}}{d} = 10^{-3} \cdot \frac{x_1}{L \lambda} = 10^{-3} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,7 \cdot 0,43 \cdot 10^{-6}} \approx 99,7. \text{ Округляя до целых, получим } N = 100.$$

**Ответ:** 100.

4. Ученик изучал законы преломления света на границе раздела воздух–вода. При падении на поверхность воды узкого пучка белого света он разделился на несколько лучей разных цветов — красного, желтого и синего (см. рис.). Выберите два верных утверждения о результатах данного опыта.



- 1) Луч 2 — красный.
- 2) Угол преломления луча красного цвета больше, чем у синего.
- 3) Данное оптическое явление называется дифракцией.
- 4) Показатель преломления стекла для желтого света, меньше, чем у синего.
- 5) Луч 1 распространяется в стекле с самой большой скоростью (из лучей, рассмотренных в данном опыте).

**Ответ:** ☐ ☐

**Решение.** Данное оптическое явление обусловлено дисперсией света, т.е. зависимостью показателя преломления материала от частоты электромагнитной волны. При этом наименьший показатель преломления имеют волны с наименьшей частотой (красные), а наибольший — с наибольшей частотой (фиолетовые). Согласно закону преломления света синус угла преломления  $\beta$  равен  $\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$ , где  $\alpha$  — угол падения света, а  $n$  — показатель преломления материала. Значит, наибольший угол преломления у волн красного цвета. Так как показатель преломления определяет скорость распространения волны  $v$  в веществе  $n = \frac{c}{v}$ , то понятно, что у волн красного цвета скорость наибольшая.

**Ответ:** 24 (или 42).

## Задачи для самостоятельного решения

1. При освещении одной и той же дифракционной решетки монохроматическим светом на экране, установленном за ней, возникает дифракционная картина, состоящая из светлых линий на темном фоне. Решетку освещали последовательно тремя источниками, разных цветов — красным, желтым, зеленым. Выберите два верных утверждения о наблюдаемой на экране дифракционной картине.

- 1) При освещении красным светом расстояния между дифракционными полосами были самыми маленькими.
- 2) При освещении зеленым светом количество максимумов на экране было максимальным.
- 3) Во всех случаях в центре экрана наблюдалась яркая полоса.
- 4) Расстояние между максимумами желтого цвета были больше, чем между красными.
- 5) Расстояние между максимумами желтого цвета были меньше, чем между зелеными.

Ответ: ☐ ☐

2. При освещении одной и той же дифракционной решетки монохроматическим светом на экране, установленном за ней, возникает дифракционная картина, состоящая из светлых линий на темном фоне. Решетку освещали последовательно тремя источниками, разных цветов — фиолетовым, зеленым и желтым. Выберите два верных утверждения о наблюдаемой на экране дифракционной картине.

- 1) При освещении фиолетовым светом расстояния между дифракционными полосами были самыми маленькими.
- 2) При освещении зеленым светом количество максимумов на экране было минимальным.
- 3) Во всех случаях в центре экрана наблюдалась темная полоса.
- 4) Расстояние между максимумами желтого цвета были больше, чем между фиолетовыми.
- 5) Расстояние между максимумами желтого цвета были меньше, чем между зелеными.

Ответ: ☐ ☐

3. Электромагнитная волна преломляется на границе раздела воды и воздуха. Как изменяются при переходе из воды в воздух частота волны и ее длина?

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.

| Частота волны | Длина волны |
|---------------|-------------|
|               |             |

4. Дифракционная решетка с расстоянием между штрихами  $d$  освещается красным светом. На экране, установленном за решеткой параллельно ей, возникает дифракционная картина, состоящая из темных и светлых вертикальных полос. Как изменятся расстояние между светлыми полосами и число наблюдаемых темных полос, если освещать решетку синим светом?

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.

| Расстояние между светлыми полосами | Число темных полос |
|------------------------------------|--------------------|
|                                    |                    |

5. Лазерный луч зеленого цвета падает перпендикулярно на дифракционную решетку (100 штрихов на 1 мм). На экране, установленном за решеткой параллельно ей, возникает дифракционная картина, состоящая из темных и светлых вертикальных полос. Как изменятся расстояние между светлыми полосами и число наблюдаемых темных полос при замене этой решетки на решетку с 50 штрихами на 1 мм?

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.

| Расстояние между светлыми полосами | Число темных полос |
|------------------------------------|--------------------|
|                                    |                    |

6. На дифракционную решетку, перпендикулярно ее поверхности падает луч лазера. Расстояние между нулевым и первым дифракционным максимумом на удаленном экране равно 5 см. Чему примерно равно расстояние между вторыми дифракционными максимумами на этом экране?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

7. На дифракционную решетку, имеющую 100 штрихов на 1 мм, перпендикулярно ее поверхности падает луч света, длина волны которого 650 нм. Каков максимальный порядок дифракционного максимума, доступного для наблюдения?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

8. На дифракционную решетку, имеющую 200 штрихов на 1 мм, перпендикулярно ее поверхности падает луч света, длина волны которого 500 нм. Какое максимальное количество ярких пятен можно наблюдать в этом случае?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

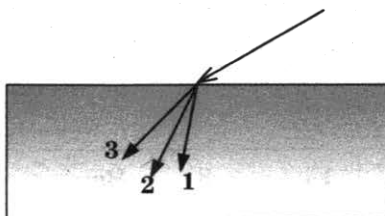
9. Дифракционная решетка с периодом  $10^{-5}$  м расположена параллельно экрану на расстоянии 1,8 м от него. Какого порядка максимум в спектре будет наблюдаться на экране на расстоянии 20,88 см от центра дифракционной картины при освещении решетки нормально падающим пучком света длиной волны 580 нм? Считать  $\sin\varphi \approx \tan\varphi$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ .

10. На дифракционную решетку, имеющую период  $2 \cdot 10^{-5}$  м, падает нормально параллельный пучок фиолетового света с длиной волны  $4 \cdot 10^{-7}$  м. На расстоянии 2 м от решетки параллельно ей расположен экран. Каково расстояние между нулевым и первым дифракционными максимумами на экране. Считать  $\sin\varphi = \tan\varphi$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

11. Ученик изучал законы преломления света на границе раздела воздух–стекло. При падении на поверхность стекла узкого пучка белого света он разделился на несколько лучей разных цветов — красного, фиолетового и зеленого (см. рис.). Выберите два верных утверждения о результатах данного опыта.



- 1) Луч 2 — зеленый.
- 2) Угол преломления луча фиолетового цвета больше, чем у красного.
- 3) Данное оптическое явление называется интерференцией.
- 4) Показатель преломления стекла для зеленого света, меньше, чем у фиолетового.
- 5) Волны фиолетового цвета распространяются в стекле с самой большой скоростью (из цветов, рассмотренных в данном опыте).

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|



# КВАНТОВАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

## Строение ядра атома. Изотопы

### Задачи с решениями

1. Какое количество протонов и нейтронов содержит ядро атома бора  $^{11}_5\text{B}$ ?

**Решение.** Нижний индекс возле названия элемента равен количеству протонов в ядре атома и определяет его заряд. Верхний индекс равен суммарному количеству протонов и нейтронов (количеству нуклонов) в ядре и определяет массу ядра.

Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
| 5              | 6               |

2. На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Под названием элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов, нижний индекс около массового числа указывает (в %) распространенность изотопа в природе.

|   |     |                                                    |                                                                       |                                                      |
|---|-----|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 2 | II  | Li 3<br>Литий<br>7 <sub>93</sub> 6 <sub>74</sub>   | Be 4<br>Бериллий<br>9 <sub>100</sub>                                  | 5 B<br>Бор<br>11 <sub>80</sub> 10 <sub>20</sub>      |
| 3 | III | Na 11<br>Натрий<br>23 <sub>100</sub>               | Mg 12<br>Магний<br>24 <sub>79</sub> 26 <sub>11</sub> 25 <sub>10</sub> | 13 Al<br>Алюминий<br>27 <sub>100</sub>               |
| 4 | IV  | K 19<br>Калий<br>39 <sub>93</sub> 41 <sub>67</sub> | Ca 20<br>Кальций<br>40 <sub>97</sub> 44 <sub>2,1</sub>                | Sc 21<br>Скандий<br>45 <sub>100</sub>                |
|   | V   | 29 Cu<br>Медь<br>63 <sub>69</sub> 65 <sub>31</sub> | 30 Zn<br>Цинк<br>64 <sub>49</sub> 66 <sub>28</sub> 68 <sub>19</sub>   | 31 Ga<br>Галлий<br>69 <sub>60</sub> 71 <sub>40</sub> |

Чему равно число нейтронов и число электронов в нейтральном атоме самого распространенного изотопа магния?

**Решение.** Номер элемента магний в таблице Менделеева равен заряду ядра (количеству протонов в ядре). В нейтральном атоме количество протонов равно количеству электронов. Самый распространенный изотоп магния имеет массовое число, равное 24. Т.е. сумма протонов и нейтронов в этом изотопе — 24.

Ответ:

| Число нейтронов | Число электронов |
|-----------------|------------------|
| 12              | 12               |

## Задачи для самостоятельного решения

- 1.** На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Определите число протонов и нейтронов в атоме наименее распространенного изотопа кальция Ca.

|   |    |                                                    |                                                                       |                                                     |
|---|----|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 2 | II | Li 3<br>Литий<br>7 <sub>93</sub> 6 <sub>74</sub>   | Be 4<br>Бериллий<br>9 <sub>100</sub>                                  | 5 B<br>Бор<br>11 <sub>80</sub> 10 <sub>20</sub>     |
|   |    | Na 11<br>Натрий<br>23 <sub>100</sub>               | Mg 12<br>Магний<br>24 <sub>79</sub> 26 <sub>11</sub> 25 <sub>10</sub> | 13 Al<br>Алюминий<br>27 <sub>100</sub>              |
| 4 | IV | K 19<br>Калий<br>39 <sub>93</sub> 41 <sub>67</sub> | Ca 20<br>Кальций<br>40 <sub>97</sub> 44 <sub>2,1</sub>                | Sc 21<br>Скандий<br>45 <sub>100</sub>               |
|   | V  | 29 Cu<br>Медь<br>63 <sub>69</sub> 65 <sub>31</sub> | 30 Zn<br>Цинк<br>64 <sub>49</sub> 66 <sub>28</sub> 68 <sub>19</sub>   | 31 Ga<br>Галий<br>69 <sub>60</sub> 71 <sub>40</sub> |

Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

- 2.** На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Определите число нейтронов и электронов в атоме алюминия Al.

|   |    |                                                    |                                                                       |                                                     |
|---|----|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 2 | II | Li 3<br>Литий<br>7 <sub>93</sub> 6 <sub>74</sub>   | Be 4<br>Бериллий<br>9 <sub>100</sub>                                  | 5 B<br>Бор<br>11 <sub>80</sub> 10 <sub>20</sub>     |
|   |    | Na 11<br>Натрий<br>23 <sub>100</sub>               | Mg 12<br>Магний<br>24 <sub>79</sub> 26 <sub>11</sub> 25 <sub>10</sub> | 13 Al<br>Алюминий<br>27 <sub>100</sub>              |
| 4 | IV | K 19<br>Калий<br>39 <sub>93</sub> 41 <sub>67</sub> | Ca 20<br>Кальций<br>40 <sub>97</sub> 44 <sub>2,1</sub>                | Sc 21<br>Скандий<br>45 <sub>100</sub>               |
|   | V  | 29 Cu<br>Медь<br>63 <sub>69</sub> 65 <sub>31</sub> | 30 Zn<br>Цинк<br>64 <sub>49</sub> 66 <sub>28</sub> 68 <sub>19</sub>   | 31 Ga<br>Галий<br>69 <sub>60</sub> 71 <sub>40</sub> |

Ответ:

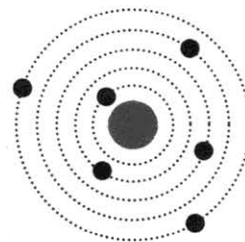
| Число нейтронов | Число электронов |
|-----------------|------------------|
|                 |                  |

- 3.** Сколько электронов и нейтронов содержит атом кислорода  $^{20}_8\text{O}$ ?

Ответ:

| Число электронов | Число нейтронов |
|------------------|-----------------|
|                  |                 |

4. На рисунке изображена схема нейтрального атома, где черными точками обозначены электроны. Массовое число данного атома равно 12. Сколько протонов и нейтронов содержит ядро этого атома?



Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

5. Сколько протонов и нейтронов содержит ядро атома  ${}^{67}_{33}\text{As}$ ?

Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

6. Сколько протонов и нуклонов содержит ядро атома скандия  ${}^{45}_{21}\text{Sc}$ ?

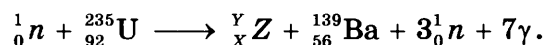
Ответ:

| Число протонов | Число нуклонов |
|----------------|----------------|
|                |                |

## Ядерные реакции

### Задачи с решениями

1. Деление ядра урана тепловыми нейтронами описывается реакцией



При этом образовалось ядро химического элемента  ${}_X^Y\text{Z}$ . Каковы заряд и массовое число ядра элемента Z?

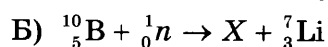
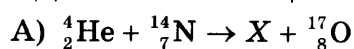
**Решение.** В ядерных реакциях должны выполняться законы сохранения зарядового и массового числа: суммы зарядовых чисел и массовых чисел всех ядер до реакции и после ее окончания должны быть равны (в данной реакции суммарное массовое число равно 236, а зарядовое — 92). При определении массового числа ядра элемента Z нужно учесть, что в результате реакции образуются три нейтрона.

Ответ:

| Заряд | Массовое число |
|-------|----------------|
| 36    | 94             |

2. Установите соответствие между ядерной реакцией и неизвестной частицей X, которая в ней участвовала. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ



### ЧАСТИЦА

1)  $\alpha$ -частица

2) протон

3) нейтрон

4) электрон

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

**Решение.** Рассуждая аналогично решению предыдущей задачи, получим, что и массовое, и зарядовое число элемента  $X$  в задании А равно 1, т.е. это протон. В случае Б массовое и зарядовое число элемента  $X$  равно соответственно 4 и 2, т.е.  $X$  — ядро атома гелия ( $\alpha$ -частица).

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
| 2 | 1 |

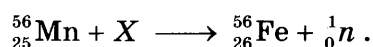
## Задачи для самостоятельного решения

1. При бомбардировке изотопа бора  ${}^{10}_5\text{B}$  нейтронами  ${}^1_0n$  образуются  $\alpha$ -частица  ${}^4_2\text{He}$  и ядро неизвестного изотопа. Определите заряд и массовое число этого изотопа.

Ответ:

| Заряд | Массовое число |
|-------|----------------|
|       |                |

2. Укажите заряд и массовое число частицы  $X$  в ядерной реакции



Ответ:

| Заряд | Массовое число |
|-------|----------------|
|       |                |

3. Альфа-частица столкнулась с ядром азота  ${}^{14}_7\text{N}$ . В результате образовались ядро кислорода  ${}^{17}_8\text{O}$  и некоторая частица. Определите, какое число протонов и нейтронов содержит эта частица.

Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

4. Ядро  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$  поглотило нейтрон  ${}^1_0n$ . Каким зарядом и массовым числом обладает ядро, которое образовалось в результате этой реакции?

Ответ:

| Заряд | Массовое число |
|-------|----------------|
|       |                |

5. Ядро бария  $^{143}_{56}\text{Ba}$  испустило нейтрон, а затем электрон. Какое число протонов и нейтронов содержит ядро, образовавшееся в результате этой реакции?

Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

6. В результате столкновения ядра урана с частицей произошло деление ядра урана, сопровождающееся излучением  $\gamma$ -кванта в соответствии с уравнением



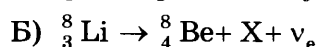
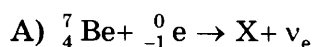
Какое число протонов и нейтронов содержит частица, с которой столкнулось ядро урана?

Ответ:

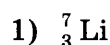
| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

7. Установите соответствие между ядерной реакцией и неизвестной частицей или ядром X, которые в ней участвовали. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

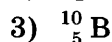
#### ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ



#### ЧАСТИЦА ИЛИ ЯДРО



2) протон



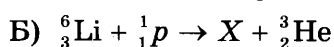
4) электрон

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

8. Установите соответствие между ядерной реакцией и неизвестной частицей X, которая в ней участвовала. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ



#### ЧАСТИЦА

1)  $\alpha$ -частица

2) протон

3) нейтрон

4) электрон

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

# Радиоактивный распад

## Задачи с решениями

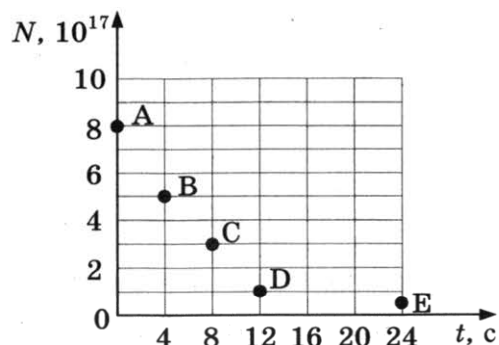
1. В результате серии радиоактивных распадов уран  ${}_{92}^{238}\text{U}$  превращается в свинец  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ . Какое количество  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов он испытывает при этом?

**Решение.** При  $\alpha$ -распаде массовое число ядра уменьшается на 4, при  $\beta$ -распаде массовое число ядра не изменяется, в данной серии произошло  $(238 - 206)/4 = 8$   $\alpha$ -распадов. При каждом таком распаде заряд ядра уменьшался на 2, и за 8 распадов он должен был уменьшиться на 16, но уменьшение заряда ядра равно 10. Значит, в данной серии произошло 6  $\beta$ -распадов (при каждом  $\beta$ -распаде заряд ядра увеличивается на 1).

Ответ:

| Число $\alpha$ -распадов | Число $\beta$ -распадов |
|--------------------------|-------------------------|
| 8                        | 6                       |

2. Ядра радона  ${}_{86}^{219}\text{Rn}$  испытывают  $\alpha$ -распад с периодом полураспада 4 с. В момент начала наблюдения в образце содержится  $8 \cdot 10^{17}$  ядер радона. Через какую из точек, кроме точки А, пройдет график зависимости от времени числа ядер радиоактивного радона в образце?



Ответ: через точку \_\_\_\_\_.

**Решение.** За время, равное одному периоду полураспада, распадается половина изначально имевшихся ядер. За время, равное двум периодам, распадается  $3/4$  ядер и т.д. (закон радиоактивного распада можно записать как  $N = \frac{N_0}{2^{t/T}}$ , где  $N$  — количество нераспавшихся ядер,  $t$  — время наблюдения,  $T$  — период полураспада). Таким образом, через 4 с в образце должно остаться  $4 \cdot 10^{17}$  ядер радона, через 8 с —  $2 \cdot 10^{17}$  ядер, через 12 с —  $1 \cdot 10^{17}$  ядер.

Ответ: через точку D.

## Задачи для самостоятельного решения

1. На сколько изменится заряд и число нуклонов в ядре атома радиоактивного элемента, если ядро испустит  $\gamma$ -квант?

Ответ:

| Заряд | Число нуклонов |
|-------|----------------|
|       |                |

2. Изотоп ксенона  $^{112}_{54}\text{Xe}$  испытывает спонтанный  $\alpha$ -распад. Какой заряд и массовое число будет иметь изотоп Те, образовавшийся в этой реакции ?

Ответ:

| Заряд | Массовое число |
|-------|----------------|
|       |                |

3. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ - распадов должно произойти при радиоактивном распаде ядра урана  $^{238}_{92}\text{U}$  и конечном превращении его в ядро  $^{198}_{82}\text{Pb}$  ?

Ответ:

| Число $\alpha$ -распадов | Число $\beta$ -распадов |
|--------------------------|-------------------------|
|                          |                         |

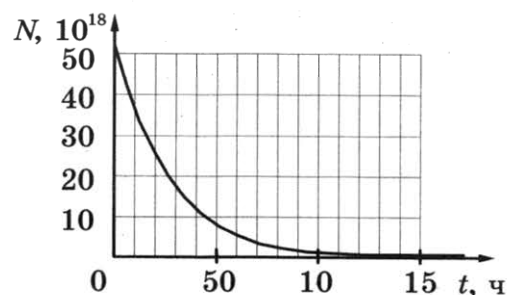
4. Какое число протонов и нейтронов содержит ядро элемента, образовавшегося после двух последовательных  $\alpha$ -распадов из ядра  $^{252}_{102}\text{No}$  ?

Ответ:

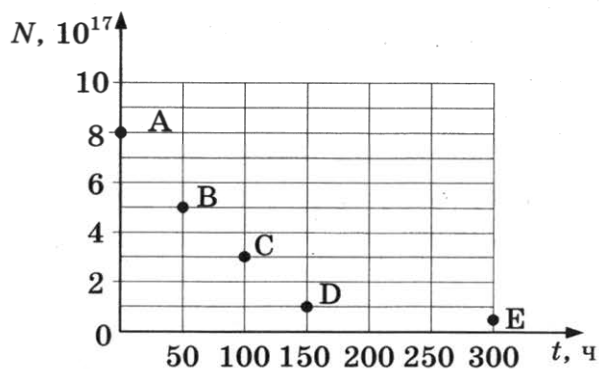
| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |

5. Дан график зависимости числа нераспавшихся ядер ртути  $^{190}_{80}\text{Hg}$  от времени. Чему равен период полураспада этого изотопа ртути?

Ответ: \_\_\_\_\_ ч.



6. Ядра эрбия  $^{172}_{68}\text{Er}$  испытывают  $\beta^-$ -распад с периодом полураспада 50 ч. В момент начала наблюдения в образце содержится  $8 \cdot 10^{17}$  ядер эрбия. Через какую из точек, кроме точки А, пройдет график зависимости от времени числа ядер радиоактивного эрбия в образце?



Ответ: через точку \_\_\_\_\_ .

7. Период полураспада стронция  $^{90}_{38}\text{Sr}$  равен  $T = 29$  лет. Через сколько лет останется  $1/4$  первоначального числа радиоактивных ядер?

Ответ: \_\_\_\_\_ лет.

8. В образце имеется  $2 \cdot 10^{10}$  ядер радиоактивного изотопа цезия  $^{137}_{55}\text{Cs}$ , имеющего период полураспада 26 лет. Через сколько лет останутся нераспавшимися  $0,25 \cdot 10^{10}$  ядер данного изотопа?

Ответ: \_\_\_\_\_ лет.

9. Закон радиоактивного распада ядер некоторого изотопа имеет вид  $N = N_0 \cdot 2^{-\lambda t}$ , где  $\lambda = 0,05 \text{ с}^{-1}$ . Чему равен период полураспада ядер?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

10. Период полураспада изотопа ртути  $^{190}_{80}\text{Hg}$  — 20 мин. Если изначально было 40 г этого изотопа, то сколько примерно его будет через 1 ч?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

11. Как изменятся при  $\alpha$ -распаде число нейтронов и количество нуклонов в ядре?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Число нейтронов в ядре | Число нуклонов в ядре |
|------------------------|-----------------------|
|                        |                       |

12. Большое число  $N$  радиоактивных ядер  $^{203}_{80}\text{Hg}$  распадается, образуя стабильные дочерние ядра  $^{203}_{81}\text{Tl}$ . Период полураспада равен 46,6 сут. Какое количество исходных ядер останется через 139,8 сут., а дочерних появится за 93,2 сут. после начала наблюдений?

Установите соответствие между величинами и их значениями.

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

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) количество ядер  $^{203}_{80}\text{Hg}$  через 139,8 сут  
 Б) количество ядер  $^{203}_{81}\text{Tl}$  через 93,2 сут

#### ЗНАЧЕНИЯ

- 1)  $\frac{N}{8}$
- 2)  $\frac{N}{4}$
- 3)  $\frac{3N}{4}$
- 4)  $\frac{7N}{8}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |



- 13.** Радиоактивный препарат помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает  $\alpha$ -частицы энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех  $\alpha$ -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Найдите активность препарата  $A$ , т.е. количество  $\alpha$ -частиц, рождающихся в нем за 1 с. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.
- 14.** Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп  ${}^{24}_{11}\text{Na}$ . Активность 1 см<sup>3</sup> этого раствора  $a_0 = 2000$  распадов в секунду. Период полураспада изотопа  ${}^{24}_{11}\text{Na}$  равен  $T = 15,3$  ч. Через  $t = 3$  ч 50 мин активность 1 см<sup>3</sup> крови пациента стала  $a = 0,28$  распадов в секунду. Каков объем введенного раствора, если общий объем крови пациента  $V = 6$  л? Переходом ядер изотопа  ${}^{24}_{11}\text{Na}$  из крови в другие ткани организма пренебречь.

## Излучение и поглощение света атомами.

### Фотоны. Фотоэффект

#### Задачи с решениями

- 1.** Поток фотонов с энергией 15 эВ выбивает из металла фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 2 раза меньше работы выхода. Какова максимальная кинетическая энергия образовавшихся фотоэлектронов?

*Ответ:* \_\_\_\_\_ эВ.

*Решение.* Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта  $E_{\text{ф}} = A_{\text{вых}} + E_{\text{max}}$ , где  $E_{\text{ф}}$  — энергия фотона,  $A_{\text{вых}}$  — работа выхода электронов из металла,  $E_{\text{max}}$  — максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов. В данной задаче  $A_{\text{вых}} = 2E_{\text{max}}$ . Тогда  $3E_{\text{max}} = 15$  эВ.

*Ответ:* 5 эВ.

- 2.** Работа выхода электрона из металла  $A_{\text{вых}} = 3 \cdot 10^{-19}$  Дж. Найдите максимальную длину волны  $\lambda$  излучения, которым могут выбиваться электроны.

*Ответ:* \_\_\_\_\_ нм.

*Решение.* Минимальная энергия, которой должен обладать фотон, чтобы выбить электрон из металла, равна работе выхода  $E_{\text{ф}} = h\nu_{\text{к}} = A_{\text{вых}}$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $\nu_{\text{к}}$  — частота фотона (красная граница фотоэффекта). Учитывая связь частоты фотона с его длиной волны  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  ( $c$  — скорость света в вакууме), получим  $\lambda_{\text{к}} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} = 6,6 \cdot 10^{-7}$  м.

*Ответ:* 660 нм.

3. В опытах по фотоэффекту взяли пластину из металла с работой выхода  $3,4 \cdot 10^{-19}$  Дж и стали освещать ее светом частоты  $6 \cdot 10^{14}$  Гц. Как изменятся количество фотонов  $N_\phi$  падающего излучения и максимальная кинетическая энергия электронов  $E_{\max}$ , вылетающих с поверхности металла, если увеличить интенсивность падающего света?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Количество фотонов $N_\phi$ | Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|
|                             |                                                  |

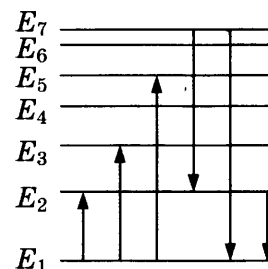
**Решение.** Так как энергия фотонов  $h\nu = 3,96 \cdot 10^{-19}$  Дж  $> A_{\text{вых}}$ , то фотоны выбивают электроны из металла, т.е. наблюдается явление фотоэффекта. При увеличении интенсивности света увеличивается количество фотонов, падающих на поверхность металла, но не изменяется энергия каждого из фотонов. Работа выхода зависит только от свойств материала. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не изменится.

Ответ:

| Количество фотонов $N_\phi$ | Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| 1                           | 3                                                |

4. На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Установите соответствие между отмеченными стрелками переходами между энергетическими уровнями и происходящими при этом процессами.

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



#### ПРОЦЕССЫ

- А) поглощение фотона максимальной частоты
- Б) излучение фотона минимальной частоты

#### ПЕРЕХОДЫ

- 1) с уровня 1 на уровень 5
- 2) с уровня 1 на уровень 2
- 3) с уровня 5 на уровень 1
- 4) с уровня 2 на уровень 1

**Решение.** Согласно постулатам Бора при переходе атома из одного стационарного состояния в другое (с одного энергетического уровня на другой) излучается или поглощается фотон, энергия которого равна разности энергий данных уровней. Если энергия атома увеличивается — он поглощает фотон, если уменьшается — фотон излучается атомом. На диаграмме расстояние между уровнями пропорционально разнице их энергий. Энергия фотона тем больше, чем больше его частота  $E_\phi = h\nu$ .

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
| 1 | 4 |

## Задачи для самостоятельного решения

1. Один лазер излучает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda_1 = 700$  нм, другой — с длиной волны  $\lambda_2 = 350$  нм. Чему равно отношение импульсов  $\frac{P_1}{P_2}$  фотонов, излучаемых лазерами?

Ответ: \_\_\_\_\_.

2. Длина электромагнитной волны равна 400 нм. Какой должна быть длина волны, чтобы энергия фотона в ней уменьшилась в 1,5 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

3. Детектор полностью поглощает падающий на него свет частотой  $\nu = 9 \cdot 10^{14}$  Гц и мощностью  $P = 13,2 \cdot 10^{-14}$  Вт. За какое время детектор поглощает  $N = 2 \cdot 10^6$  фотонов?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

4. Работа выхода материала пластины равна 2 эВ. Пластина освещается монохроматическим светом. Чему равна энергия фотонов падающего света, если запирающее напряжение равно 1,5 В?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

5. Металлическую пластину освещают светом с энергией фотонов 6,2 эВ. Работа выхода для металла пластины равна 2,5 эВ. Какова максимальная кинетическая энергия образовавшихся фотоэлектронов?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

6. Энергия фотонов, падающих на фотокатод, в 4 раза больше работы выхода материала фотокатода. Каково отношение максимальной кинетической энергии фотоэлектронов к работе выхода?

Ответ: \_\_\_\_\_.

7. Фотоэффект наблюдают, освещая поверхность металла светом фиксированной частоты. При этом задерживающая разность потенциалов равна  $U$ . После изменения частоты света задерживающая разность потенциалов увеличилась на  $\Delta U = 1,2$  В. На сколько изменилась частота падающего света? Ответ округлите до десятых.

Ответ: на \_\_\_\_\_  $\cdot 10^{14}$  Гц.

8. Интенсивность монохроматического светового пучка плавно уменьшают, не меняя частоту света. Как изменяются при этом концентрация фотонов в световом пучке и скорость каждого фотона?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не меняется

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

| Концентрация | Скорость |
|--------------|----------|
|              |          |

- 9.** На металлическую пластинку направили пучок света от лазера, вызвав фотоэффект. Интенсивность лазерного излучения плавно уменьшают, не меняя его частоты. Как меняются в результате этого число вылетающих в единицу времени фотоэлектронов и максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не меняется

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

| Число фотоэлектронов<br>в единицу времени | Максимальная кинетическая энергия<br>фотоэлектронов |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                           |                                                     |

- 10.** При исследовании зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от длины волны падающего света фотоэлемент освещался через различные светофильтры. В первой серии опытов использовался светофильтр, пропускающий только зеленый свет, а во второй — пропускающий только фиолетовый свет. В каждом опыте наблюдали явление фотоэффекта и измеряли запирающее напряжение.

Как изменяются длина световой волны и запирающее напряжение при переходе от первой серии опытов ко второй? Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не меняется

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

| Длина световой волны,<br>падающей на фотоэлемент | Запирающее напряжение |
|--------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                  |                       |

- 11.** На установке, представленной на рисунках (рис. а — общий вид; рис. б — фотоэлемент), исследовали зависимость кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Для этого в прорезь осветителя помещали различные светофильтры и измеряли запирающее напряжение. В первой серии опытов использовался светофильтр, пропускающий только красный свет, а во второй — пропускающий только желтый.

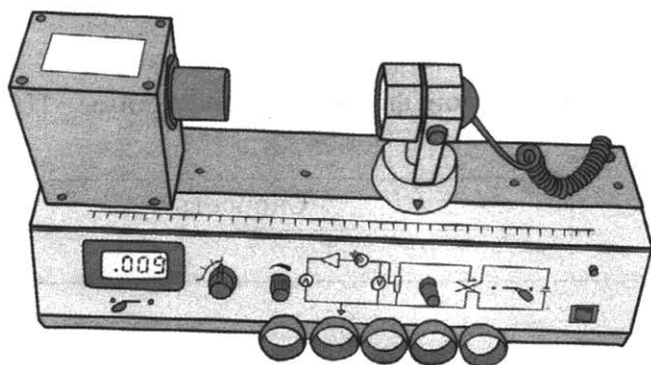


Рис. а

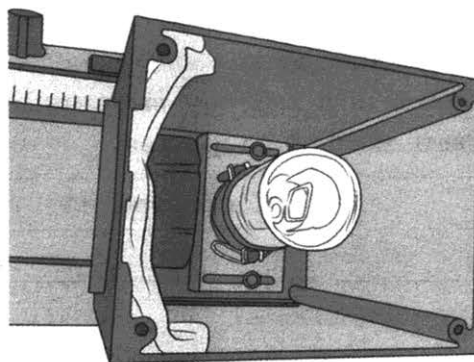


Рис. б

Как изменяются работа выхода электронов и запирающее напряжение при переходе от первой серии опытов ко второй? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения.

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

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

| Работа выхода | Запирающее напряжение |
|---------------|-----------------------|
|               |                       |

- 12.** Излучение лазера представляет собой поток фотонов с энергией  $E$ . Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими данное излучение, и формулами, по которым их можно рассчитать ( $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света в вакууме).

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

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) импульс фотона
- Б) длина волны излучения

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $\frac{Ec}{h}$
- 2)  $\frac{hc}{E}$
- 3)  $\frac{Ec}{h}$
- 4)  $\frac{E}{c}$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 13.** Установите соответствие между физическими величинами и их единицами измерения в СИ.

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

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) импульс фотона  
Б) работа выхода электронов из металла

**ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ**

- 1) 1 Гц·м/с  
2) 1 В/м  
3) 1 Дж  
4) 1 кг·м/с

Ответ:

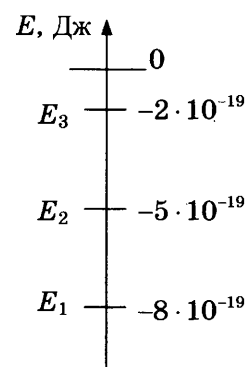
|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 14.** Схема нижних энергетических уровней атомов разреженного газа имеет вид, показанный на рисунке. Атомы переходят из состояния с энергией  $E_2$  в состояние с энергией  $E_1$ . Как изменятся энергия излученных фотонов и длина волны излучения, если атомы будут переходить из состояния с энергией  $E_3$  в состояние с энергией  $E_1$ ? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

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

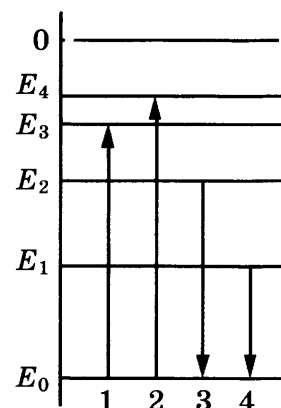
| Энергия фотонов | Длина волны излучения |
|-----------------|-----------------------|
|                 |                       |



- 15.** На рисунке изображена упрощенная диаграмма энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями.

Установите соответствие между процессами поглощения света наибольшей длины волны и испускания света наибольшей частоты и энергией соответствующего фотона.

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



**ПРОЦЕСС**

- А) излучение света наибольшей частоты  
Б) поглощение света наибольшей длины волны

**ЭНЕРГИЯ ФОТОНА**

- 1)  $E_1 - E_0$   
2)  $E_2 - E_0$   
3)  $E_3 - E_0$   
4)  $E_4 - E_0$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 16.** Значения энергии стационарных состояний атома водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ . При переходе атома из одного состояния в другое он излучает или поглощает фотон. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими излученный или поглощенный фотон, и формулами, по которым их можно рассчитать ( $h$  — постоянная Планка). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) энергия фотона, излученного при переходе атома из состояния с энергией  $E_2$  в состояние с энергией  $E_1$   
 Б) частота фотона, поглощенного при переходе атома из состояния с энергией  $E_2$  в состояние с энергией  $E_3$

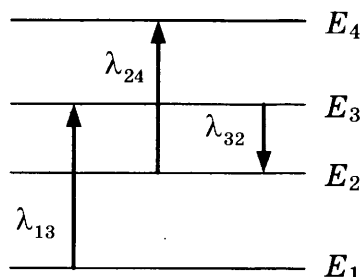
#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{8}{9}E_0$   
 2)  $\frac{3}{4}E_0$   
 3)  $\frac{8E_0}{9h}$   
 4)  $\frac{5E_0}{36h}$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

- 17.** Металлическую пластину освещают монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 531$  нм. Каков максимальный импульс фотоэлектронов, если работа выхода электронов из данного металла  $A_{\text{вых}} = 1,73 \cdot 10^{-19}$  Дж?
- 18.** При увеличении в 2 раза частоты света, падающего на поверхность металла, запирающее напряжение  $U$  для фотоэлектронов увеличилось в 4 раза. Определите первоначальную частоту падающего света  $\nu$ , если длина волны, соответствующая «красной границе» фотоэффекта, для этого металла равна  $\lambda_k = 750$  нм.
- 19.** На рисунке изображены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Экспериментально установлено, что минимальная длина волны для фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями, равна  $\lambda_0 = 250$  нм. Какова величина  $\lambda_{13}$ , если  $\lambda_{32} = 545$  нм,  $\lambda_{24} = 400$  нм?



**20.** Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой:

$$E_n = -\frac{13,6\text{эВ}}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с  $n = 1$  образуют серию Лаймана, на уровень с  $n = 2$  — серию Бальмера и т. д. Найдите отношение  $\gamma$  максимальной длины волны фотона в серии Бальмера к максимальной длине волны фотона в серии Лаймана.

## Методы научного познания

### Задачи с решениями

- 1.** При определении сопротивления резистора ученик измерил напряжение на нем:  $U = (4,6 \pm 0,2)$  В. Сила тока через резистор измерялась настолько точно, что погрешностью можно пренебречь:  $I = 0,500$  А. Запишите в ответ величину сопротивления резистора, с учетом погрешности измерений.

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

**Решение.** Для определения среднего значения сопротивления резистора воспользуемся законом Ома для участка цепи  $R = \frac{U}{I} = 9,2$  Ом. Аналогично определяем погрешность измерений

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I} = 0,4 \text{ Ом. Ответ: } (9,2 \pm 0,4) \text{ Ом.}$$

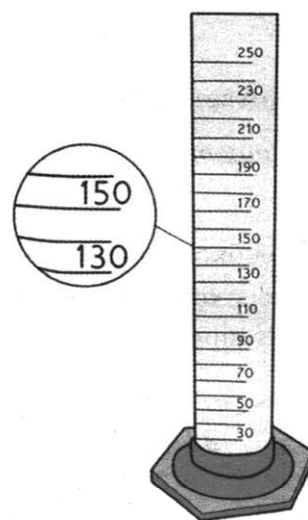
Ответ в бланке: 9,20,4.

- 2.** Для проведения опыта ученик налил воду в мензурку. Шкала мензурки проградуирована в миллилитрах (мл). Погрешность измерений объема равна цене деления шкалы мензурки. Запишите в ответ величину объема налитой учеником воды с учетом погрешности измерений.

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

**Решение.** Объем воды, налитой в мензурку равен 150 мл. Для нахождения погрешности измерений определим цену деления шкалы  $\Delta V = \frac{150 - 130}{10} = 2$  мл. Ответ:  $(150 \pm 2)$  мл.

Ответ в бланке: 1502.



- 3.** Ученик изучает свойства маятников. В его распоряжении имеются маятники, параметры которых приведены в таблице.



Какие из маятников нужно использовать для того, чтобы на опыте обнаружить зависимость периода колебаний маятника от его длины?

| № маятника | Длина маятника | Объем сплошного шарика | Материал, из которого сделан шарик |
|------------|----------------|------------------------|------------------------------------|
| 1          | 1,0 м          | 5 см <sup>3</sup>      | сталь                              |
| 2          | 1,5 м          | 5 см <sup>3</sup>      | сталь                              |
| 3          | 2,0 м          | 5 см <sup>3</sup>      | алюминий                           |
| 4          | 1,0 м          | 8 см <sup>3</sup>      | сталь                              |
| 5          | 1,0 м          | 5 см <sup>3</sup>      | медь                               |

В ответе запишите номера выбранных маятников

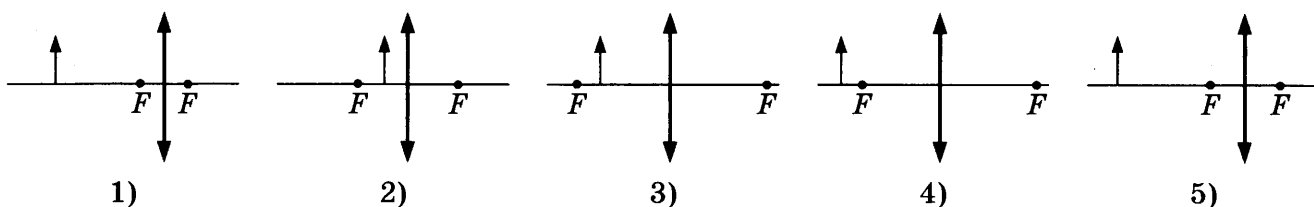
Ответ:

**Решение.** Период колебаний маятника зависит от нескольких параметров. Для того, чтобы проверить зависимость периода колебаний именно от длины, нужно взять маятники, у которых разная длина, а остальные параметры совпадают.

Ответ в бланке: 12 (или 21).

### Задачи для самостоятельного решения

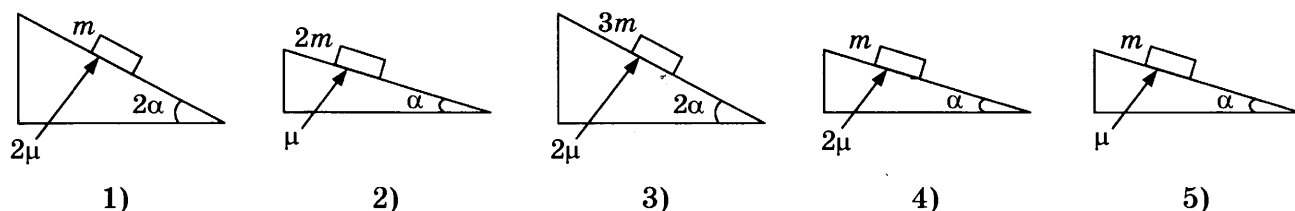
1. Была выдвинута гипотеза, что размер действительного изображения предмета, создаваемого собирающей линзой, зависит от оптической силы линзы. Необходимо экспериментально проверить эту гипотезу. Какие два опыта можно провести для такого исследования?



В ответ запишите номера выбранных опытов.

Ответ:

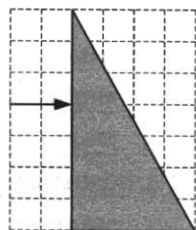
2. Необходимо экспериментально изучить зависимость ускорения тела, скользящего по шероховатой наклонной плоскости от коэффициента трения груза о плоскость. Какие две установки из изображенных ниже следует выбрать, чтобы провести такое исследование?



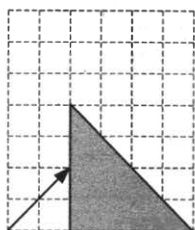
В ответ запишите номера выбранных установок.

Ответ:

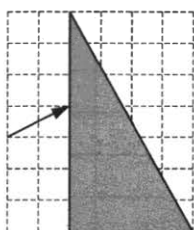
3. Пучок белого света, пройдя через призму, разлагается в спектр. Была выдвинута гипотеза, что ширина спектра, получаемого на стоящем за призмой экране, зависит от геометрических размеров призмы. Необходимо экспериментально проверить эту гипотезу. Какие два опыта нужно провести для такого исследования?



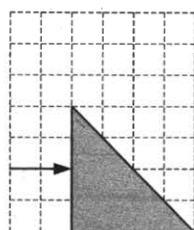
1)



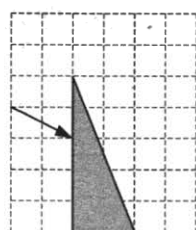
2)



3)



4)



5)

В ответ запишите номера выбранных опытов.

Ответ:

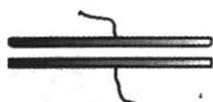
4. Конденсатор состоит из двух круглых пластин, разделенных воздушным промежутком. Какие два конденсатора нужно использовать, чтобы экспериментально установить, зависит ли емкость конденсатора от расстояния между пластинами?



1)



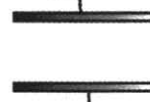
2)



3)



4)



5)

В ответ запишите номера выбранных конденсаторов.

Ответ:

5. Ученик изучает свойства силы трения скольжения. В его распоряжении имеются установки, состоящие из горизонтальной опоры и сплошного тела. Параметры установок приведены в таблице.

Какие из установок нужно использовать для того, чтобы на опыте обнаружить зависимость коэффициента трения от массы тела?

| № установки | Материал опоры | Объем сплошного тела | Материал, из которого сделано тело |
|-------------|----------------|----------------------|------------------------------------|
| 1           | сталь          | 25 см <sup>3</sup>   | сталь                              |
| 2           | сталь          | 50 см <sup>3</sup>   | сталь                              |
| 3           | сталь          | 25 см <sup>3</sup>   | алюминий                           |
| 4           | чугун          | 25 см <sup>3</sup>   | сталь                              |
| 5           | чугун          | 50 см <sup>3</sup>   | медь                               |

В ответе запишите номера выбранных установок.

Ответ:

6. Нужно провести лабораторную работу по обнаружению зависимости сопротивления проводника от его диаметра. Какие два проводника из перечисленных в таблице необходимо выбрать, чтобы провести такое исследование?

| № проводника | Длина проводника | Диаметр проводника | Материал |
|--------------|------------------|--------------------|----------|
| 1            | 5 м              | 1,0 мм             | медь     |
| 2            | 10 м             | 0,5 мм             | медь     |
| 3            | 20 м             | 1,0 мм             | медь     |
| 4            | 10 м             | 0,5 мм             | алюминий |
| 5            | 10 м             | 1,0 мм             | медь     |

В ответе запишите номера выбранных проводников.

Ответ:

7. С помощью барометра проводились измерения атмосферного давления. Верхняя шкала барометра проградуирована в кПа, а нижняя шкала — в мм рт. ст. Погрешность измерений давления равна цене деления шкалы барометра.

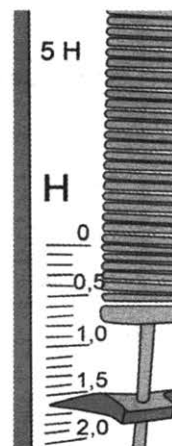


Запишите в ответ величину атмосферного давления, выраженного в кПа, с учетом погрешности измерений.

Ответ: (   $\pm$   ) кПа.

8. Ученик измерял силу тяжести, действующую на груз. Показания динамометра приведены на рисунке. Погрешность измерения равна цене деления динамометра. Запишите в ответ величину силы тяжести, действующей на груз, с учетом погрешности измерений.

Ответ: (   $\pm$   ) Н.



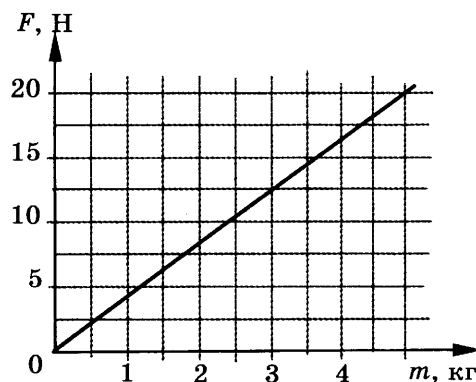
9. При измерении периода колебаний маятника было измерено время, за которое совершается 20 колебаний, которое оказалось равным 18,0 с. Погрешность измерения времени составила 0,2 с. Запишите в ответ измеренный период колебаний с учетом погрешности измерений.

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

10. Космонавты исследовали зависимость силы тяжести от массы тела на открытой ими планете. Результаты измерений представлены в виде графика на рисунке.

Погрешность измерения массы равна 0,1 кг, силы — 1,5 Н.

Чему равна с учетом погрешности измерений масса тела, на которое действует сила тяжести равная 12,5 Н?



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

# ИТОГОВАЯ РАБОТА

## Инструкция по выполнению работы

Для выполнения работы по физике отводится 3 часа 55 минут (235 минут). Работа состоит из 2 частей, включающих в себя 31 задание.

В заданиях 1–4, 8–10, 14, 15, 20, 24–26 ответом является целое число или конечная десятичная дробь. Число запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу в бланк ответа № 1. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

Ответ: 7,5 см. В бланке: 

|   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 3 | 7 | , | 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Ответом к заданиям 5–7, 11, 12, 16–18, 21 и 23 является последовательность двух цифр. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу без пробелов, запятых и других дополнительных символов в бланк ответов № 1.

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 4 | 1 |

 В бланке: 

|   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 7 | 4 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Ответом к заданию 13 является слово. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу в бланк ответов № 1.

Ответ: ВПРАВО. В бланке: 

|   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1 | 3 | В | П | Р | А | В | О |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Ответом к заданию 19 и 22 являются два числа. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите по приведенному ниже образцу, не разделяя числа пробелом, в бланк ответов № 1.

Ответ: (1,4 ± 0,2) Н. В бланке: 

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

Ответ к заданиям 27–31 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 черными чернилами. Допускается использование гелевой, капиллярной или перьевой ручек.

При выполнении заданий можно пользоваться черновиком. Записи в черновике не учитываются при оценивании работы.

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

*Желаем успеха!*

Ниже приведены справочные данные, которые могут понадобиться нам 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                                  | $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$                      |
| газовая постоянная                                         | $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$                                            |
| 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                                          | $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$                                     |

**Соотношение 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 | $900 \text{ кг/м}^3$     |
| древесины (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 теплоемкость**

|        |                                                 |          |                                      |
|--------|-------------------------------------------------|----------|--------------------------------------|
| воды   | $4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ | алюминия | $900 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ |
| льда   | $2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ | меди     | $380 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ |
| железа | $640 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$            | чугуна   | $500 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ |
| свинца | $130 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$            |          |                                      |

**Удельная теплота**

|                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| парообразования воды | $2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ |
| 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  $0 \text{ }^\circ\text{С}$ **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            | $20 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ |
| гелия    | $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  | углекислого газа | $44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ |

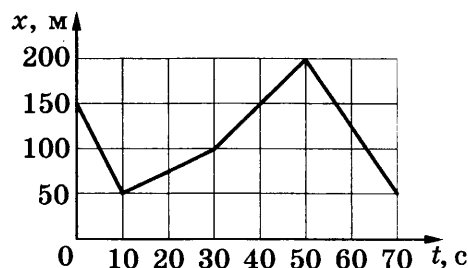
# ВАРИАНТ 1

## Часть 1

Ответами к заданиям 1–23 являются цифра, слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

1. Зависимость координаты  $x$  велосипедиста от времени  $t$  представлена на рисунке. Определите проекцию скорости велосипедиста на ось  $Ox$  в интервале времени от 50 до 70 с?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.



2. Космонавт на Земле притягивается к ней с силой 800 Н. С какой приблизительно силой он будет притягиваться к Марсу, находясь на его поверхности, если радиус Марса в 2 раза, а масса — в 10 раз меньше, чем у Земли?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

3. Шайба, начав скользить вверх по ледяной горке после удара клюшкой, приобрела у вершины горки скорость, равную 5 м/с. Чему равнялась скорость шайбы после удара, если высота горки 10 м? Трением шайбы о лед пренебречь.

Ответ \_\_\_\_\_ м/с.

4. Подвешенный на пружине шарик массой 100 г совершает гармонические колебания вдоль вертикальной прямой. Какой должна быть масса шарика, подвешенного к той же пружине, чтобы период его колебаний был в 2 раза больше первоначального?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

5. В таблице приведены результаты измерения модуля скорости тела (материальной точки), брошенного с поверхности земли вертикально вверх в момент времени  $t = 0$ , в зависимости от времени. Выберите два верных утверждения на основании данных, приведенных в таблице.

| Время, с             | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Модуль скорости, м/с | 20  | 15  | 10  | 5   | 0   | 5   | 10  | 15  | 20  | 25  |

- 1) В момент времени  $t = 1,0$  с, тело находилось на высоте 20 м от поверхности земли.
- 2) На высоте 30 м от поверхности земли модуль скорости тела был равен 10 м/с.
- 3) Начальная скорость тела была равна 20 м/с.
- 4) Тело поднялось на максимальную высоту в момент времени  $t = 2,5$  с.
- 5) Максимальная высота подъема тела составила 35 м.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

- 6.** Брусок, лежащий на горизонтальном диске, вращается вместе с ним с некоторой угловой скоростью. Период вращения диска увеличили. При этом положение бруска на диске осталось прежним. Как изменились при этом угловая скорость диска и центростремительное ускорение бруска?

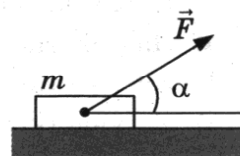
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Угловая скорость диска | Центростремительное ускорение бруска |
|------------------------|--------------------------------------|
|                        |                                      |

- 7.** Под действием постоянной силы  $F$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту, брусок массой  $m$  движется равномерно по горизонтальной шероховатой поверхности. Работа силы  $F$  по перемещению бруска за время  $t$  равна  $A$ .



Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) коэффициент трения между бруском и плоскостью
- Б) скорость движения бруска

#### ФОРМУЛЫ

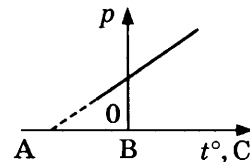
- 1)  $\frac{A}{tF \cos \alpha}$
- 2)  $\frac{F \cos \alpha}{mg - F \sin \alpha}$
- 3)  $\frac{A}{t\mu F \cos \alpha}$
- 4)  $\frac{F \sin \alpha}{mg - F \cos \alpha}$

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |



8. На рисунке приведен график зависимости давления идеального газа от температуры при постоянном объеме. Какой температуре соответствует точка А?

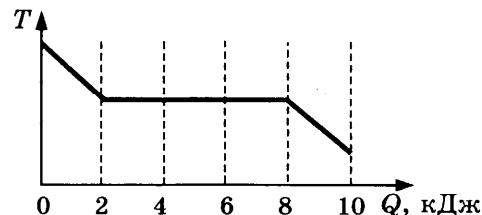


Ответ: \_\_\_\_\_ °С.

9. За один цикл работы тепловой двигатель получает от нагревателя 5 кДж теплоты и отдает холодильнику 2 кДж теплоты. Определите КПД этого двигателя.

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

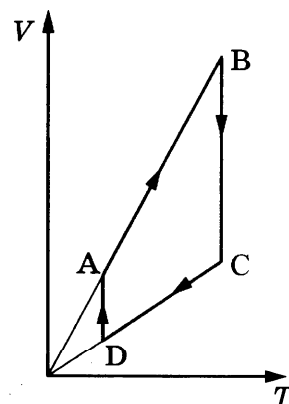
10. На рисунке представлена зависимость температуры первоначально жидкого серебра от количества выделенной им теплоты. Определите, какое количество теплоты выделилось при кристаллизации серебра.



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

11. График циклического процесса, проведенного с одним молем идеального газа, показан на рисунке.

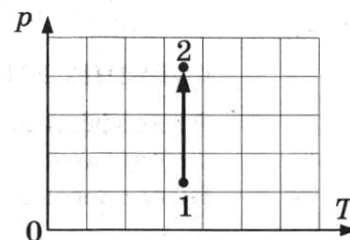
Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые соответствуют результатам проведенных экспериментальных наблюдений и укажите их номера.



- 1) На участке АВ внутренняя энергия газа увеличивается.
- 2) Представленный цикл является циклом теплового двигателя.
- 3) На участке ВС газ получает количество теплоты.
- 4) На участке CD работа газа отрицательна.
- 5) На участке DA внутренняя энергия газа уменьшается.

Ответ:

12. Идеальный одноатомный газ, масса которого постоянна, переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. диаграмму). Как изменяются при этом давление газа и его внутренняя энергия?



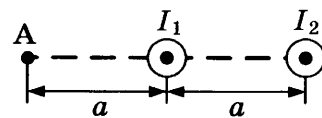
Для каждой величины выберите соответствующий характер изменения:

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

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

| Давление газа | Внутренняя энергия газа |
|---------------|-------------------------|
|               |                         |

13. На рисунке показаны два параллельных длинных проводника с токами  $I_1$  и  $I_2$ , расположенных перпендикулярно плоскости рисунка. Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор  $\vec{B}$  индукции магнитного поля, создаваемого этими проводниками в точке А? Ответ запишите словом (словами).

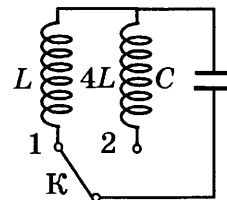


Ответ: \_\_\_\_\_.

14. Нагревательный элемент состоит из трех одинаковых спиралей. Первая спираль последовательно подключена к двум другим, соединенным параллельно. Элемент подключен к цепи постоянного тока. Во сколько раз увеличится мощность, потребляемая этим элементом, если напряжение, подаваемое на него, увеличить в 3 раза, а первую спираль заменить на другую с сопротивлением в 4 раза большим?

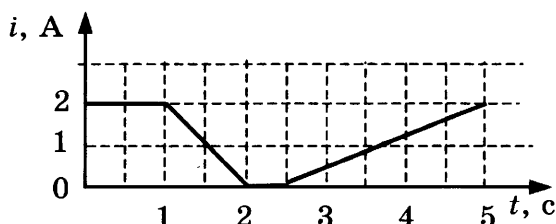
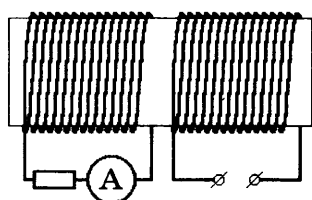
Ответ: \_\_\_\_\_.

15. В изображенном на рисунке колебательном контуре наблюдаются собственные электромагнитные колебания с периодом 1 мкс. Чему будет равен период колебаний в контуре, если ключ К перевести из положения 1 в положение 2?



Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.

16. Две катушки надеты на железный сердечник, как показано на рисунке. По правой катушке пропускают ток, который меняется согласно приведенному графику. Выберите два верных утверждения о процессах, происходящих в катушках.



- 1) Индукция магнитного поля в сердечнике в интервале времени от  $t = 0$  с до  $t = 1$  с равна нулю.
- 2) Амперметр показывает наличие тока только в промежуток времени от  $t = 1$  с до  $t = 2$  с.
- 3) Показания амперметра максимальны в промежуток времени от  $t = 1$  с до  $t = 2$  с.
- 4) Показания амперметра максимальны в промежуток времени от  $t = 2,5$  с до  $t = 5$  с.
- 5) Модуль ЭДС индукции в левой катушке минимален в промежутках времени от  $t = 0$  с до  $t = 1$  с и от  $t = 2,0$  с до  $t = 2,5$  с.

Ответ: ☐ ☐

- 17.** Между пластинами плоского конденсатора находится диэлектрик. Конденсатор зарядили от аккумулятора, после чего, отключив конденсатор от аккумулятора, удалили диэлектрик из конденсатора. Как изменятся при этом емкость конденсатора и величина заряда на его обкладках?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Емкость конденсатора | Величина заряда конденсатора |
|----------------------|------------------------------|
|                      |                              |

- 18.** Установите соответствие между формулами для вычисления физических величин на участке цепи постоянного тока, содержащего резистор, и названиями этих величин. В формулах использованы обозначения:  $I$  — сила тока на участке цепи;  $U$  — напряжение на участке цепи;  $R$  — сопротивление резистора.

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

#### ФОРМУЛЫ

- А)  $\frac{U}{I}$
- Б)  $\frac{U^2}{R}$

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) заряд, протекший через резистор
- 2) сила тока через резистор
- 3) мощность тока, выделяющаяся на резисторе
- 4) сопротивление резистора

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

- 19.** В результате реакции синтеза ядра дейтерия с ядром  ${}^X_Z$  образуется ядро бора и нейтрон в соответствии с реакцией:  ${}^2_1\text{H} + {}^X_Z \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$ . Определите массовое число  $X$  и заряд  $Z$  (в единицах элементарного заряда) ядра, вступившего в реакцию с дейтерием.

Ответ:

| Массовое число $X$ | Заряд $Z$ |
|--------------------|-----------|
|                    |           |

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

- 20.** Длина электромагнитной волны равна 300 нм. Какой должна быть длина волны, чтобы энергия фотона в ней увеличилась в 1,5 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

- 21.** Излучение лазера представляет собой поток фотонов с импульсом  $p$ . Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими данное излучение, и формулами, по которым их можно рассчитать ( $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света в вакууме).

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

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) энергия фотона  
Б) частота излучения

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $\frac{pc}{h}$   
2)  $\frac{h}{p}$   
3)  $pc$   
4)  $\frac{ph}{c}$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

- 22.** Толщину пачки из 500 листов бумаги измерили с помощью ученической линейки. Толщина пачки оказалась  $(50 \pm 1)$  мм. Чему равна толщина одного листа бумаги? Запишите в ответ толщину одного листа бумаги с учетом погрешности измерений.

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

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

- 23.** Необходимо экспериментально проверить гипотезу, состоящую в том, что размер мнимого изображения предмета, создаваемого собирающей линзой, зависит от оптической силы линзы. Ученик провел пять опытов. В таблице приведены фокусные расстояния  $F$  линз, находившихся в распоряжении ученика, а также расстояния  $S$  от предмета до линзы. Какие два опыта из пяти, проведенных учеником, можно выбрать для проверки этой гипотезы.

| $N$ | $F$ , см | $S$ , см |
|-----|----------|----------|
| 1   | 5        | 10       |
| 2   | 10       | 20       |
| 3   | 5        | 3        |
| 4   | 8        | 5        |
| 5   | 10       | 5        |

В ответе запишите номера выбранных опытов.

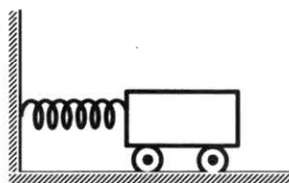
Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

## Часть 2

Ответом к заданиям 24–26 является число. Запишите это число 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

- 24.** Груз, закрепленный на пружине жесткостью  $200 \text{ Н/м}$ , совершает гармонические колебания с амплитудой  $1 \text{ см}$  (см. рис.). Определите максимальную кинетическую энергию груза.

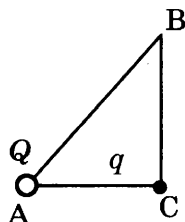


Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

- 25.** Гелий нагрели при постоянном давлении, в результате чего он совершил работу  $8,31 \text{ кДж}$ . Масса гелия  $0,04 \text{ кг}$ . Насколько увеличилась температура газа?

Ответ: \_\_\_\_\_ К.

- 26.** Точечный заряд  $Q$ , находящийся в вершине  $A$  прямоугольного треугольника (угол  $C$  — прямой), действует с силой  $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$  на точечный заряд  $q$ , помещенный в вершину  $C$ . Если заряд  $q$  перенести в вершину  $B$ , то заряды будут взаимодействовать с силой  $16,0 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$ . Найдите отношение  $AC/AB$ .

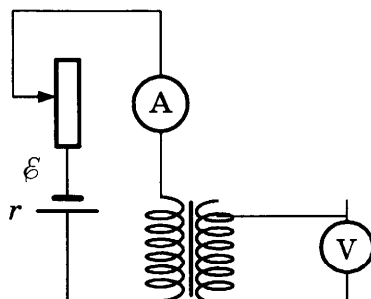


Ответ: \_\_\_\_\_ .

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

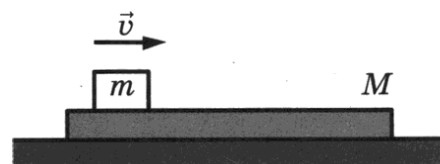
Полное решение задач 27–31 необходимо записать в бланке ответов № 2. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (27, 28 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте четко и разборчиво.

- 27.** Электрическая цепь состоит из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра, как показано на рисунке. В начальный момент времени ползунок реостата установлен в крайнее верхнее положение и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата вниз. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с  $\mathcal{E}$ .

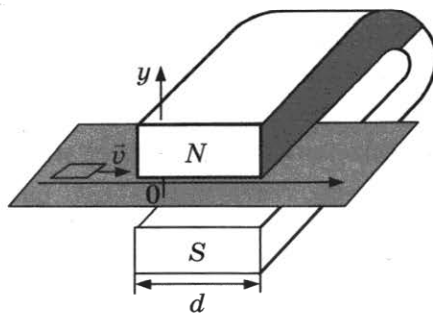


Полное правильное решение каждой из задач 28–31 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

- 28.** По длинной доске массой  $M = 2$  кг, находящейся на гладкой горизонтальной плоскости, скользит шайба массой  $m$ . Коэффициент трения между шайбой и доской  $\mu = 0,2$ . В начальный момент времени скорость шайбы  $v_0 = 2$  м/с, а доска покоится. В момент  $\tau = 0,8$  с шайба перестает скользить по доске. Чему равна масса шайбы  $m$ ?



- 29.** В сосуде с жесткими стенками объемом  $V = 0,02$  м<sup>3</sup> находится одноатомный идеальный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда есть отверстие площадью  $s$ , заткнутое пробкой. Максимальная сила трения покоя  $F$  пробки о края отверстия равна 100 Н. Пробка выскакивает, если газу передать количество теплоты не менее 15 кДж. Определите значение  $s$ .
- 30.** Квадратную рамку из медной проволоки со стороной  $b = 5$  см перемещают вдоль оси  $Ox$  по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью  $v = 1$  м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает полностью пройти между полюсами магнита. Для поддержания постоянной скорости движения рамки (из-за тормозящего действия индукционных токов, возникающих в ней) к рамке прикладывают внешнюю силу  $F$ , направленную вдоль оси  $Ox$ . Определите сопротивление проволоки рамки, если суммарная работа внешней силы за время движения  $A = 2,5 \cdot 10^{-3}$  Дж. Ширина полюсов магнита  $d = 20$  см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция  $B = 1$  Тл.



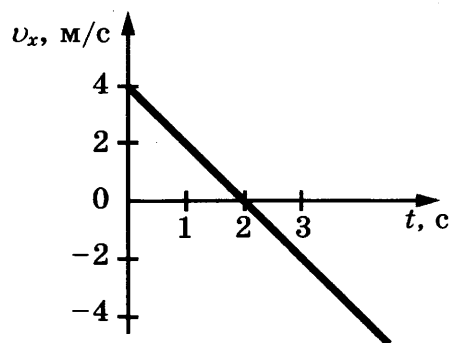
- 31.** Мощность излучения лазерной указки с длиной волны  $\lambda = 600$  нм равна  $P = 2$  мВт. Определите число фотонов, излучаемых указкой за 1 с.

## ВАРИАНТ 2

### Часть 1

Ответами к заданиям 1–23 являются цифра, слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

1. На рисунке приведен график зависимости скорости тела от времени при его прямолинейном движении вдоль оси  $X$ . Все величины выражены в СИ. Определите проекцию ускорения тела на ось  $X$ .



Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

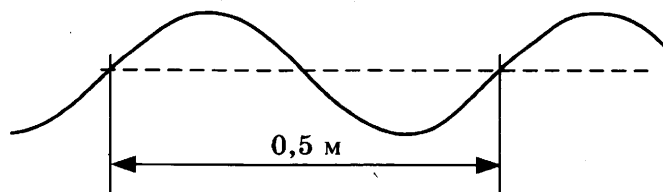
2. Расстояние от спутника до центра Земли равно трем радиусам Земли. Во сколько раз уменьшится сила притяжения спутника к Земле, если расстояние от него до центра Земли станет равным шести радиусам Земли?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

3. Две пружины имеют одинаковую жесткость. Первая из них растянута на 1 см. Потенциальная энергия второй пружины в 4 раза больше, чем первой. Определите, чему равно растяжение второй пружины.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

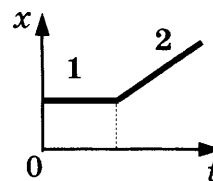
4. По длинному шнуру распространяется волна. В один из моментов времени форма шнура оказалась такой, как показано на рисунке. Скорость распространения колебаний по шнуру равна 2 м/с. Чему равна частота колебаний?



Ответ: \_\_\_\_\_ Гц.



5. На рисунке изображен график зависимости координаты бусинки, свободно скользящей по горизонтальной спице, от времени. На основании графика выберите два верных утверждения о движении бусинки.



- 1) На участке 1 движение является равномерным, а на участке 2 — равноускоренным.
- 2) Проекция ускорения бусинки увеличивается на обоих участках.
- 3) На участке 2 проекция ускорения бусинки положительна.
- 4) На участке 1 бусинка покоится, а на участке 2 — движется равномерно.
- 5) Проекция ускорения бусинки на обоих участках равна нулю.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

6. Груз, подвешенный к опоре на нити, полностью погрузили в сосуд с водой. Как изменятся действующие на груз сила Архимеда и сила натяжения нити, если массу груза и его объем увеличить в 2 раза? 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 Архимеда | Сила натяжения нити |
|---------------|---------------------|
|               |                     |

7. Автомобиль массой  $m$ , движущийся по прямолинейному горизонтальному участку дороги со скоростью  $v$ , совершает торможение до полной остановки. При торможении колеса автомобиля не вращаются. Коэффициент трения между колесами и дорогой равен  $\mu$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) модуль силы трения, действующей на автомобиль  
Б) тормозной путь автомобиля

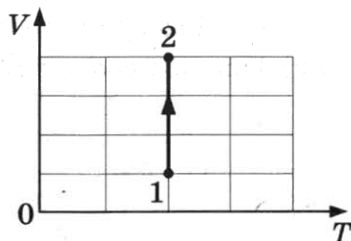
#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\mu mg$
- 2)  $\mu g$
- 3)  $\frac{v}{\mu g}$
- 4)  $\frac{v^2}{2\mu g}$

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

8. Идеальный одноатомный газ, масса которого постоянна, переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. диаграмму). Найдите отношение давления в состоянии 2 к давлению в состоянии 1.

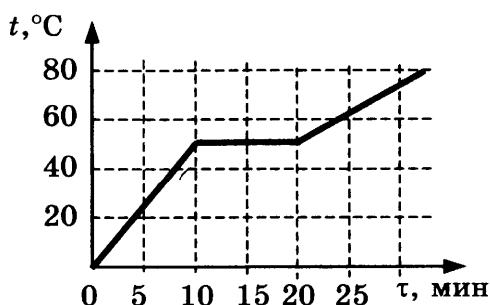


Ответ: \_\_\_\_\_.

9. Внутренняя энергия идеального газа увеличилась на 8 кДж. Какая работа была совершена внешними силами, если газ получил количество теплоты 5 кДж?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

10. График зависимости температуры кристаллического вещества от времени его нагревания представлен на рисунке. За 1 мин к веществу подводится количество теплоты, равное 1 кДж. Определите удельную теплоту плавления вещества, если его масса равна 2 кг.



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж/кг.

11. В двух сосудах с одинаковыми объемами находятся идеальные газы в количестве 1 моль. В первом сосуде находится аргон при температуре 27 °С, во втором — гелий при температуре 270 К. Выберите два верных утверждения о параметрах состояния указанных газов.

- 1) Температура газа во втором сосуде больше, чем в первом.
- 2) Среднеквадратичная скорость молекул в первом сосуде больше, чем во втором.
- 3) Давление газа во втором сосуде больше, чем в первом.
- 4) Отношение средней кинетической энергии молекул газа во втором сосуде к средней кинетической энергии молекул в первом сосуде равно 0,9.
- 5) Концентрации газов в сосудах одинаковые.

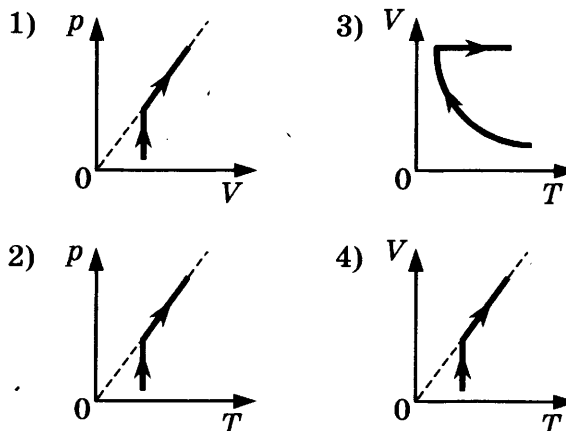
Ответ: ☐ ☐

- 12.** С одним молем идеального газа провели два различных процесса. В одном из них газ сначала изотермически сжимали, а затем изохорно нагревали. В другом — сначала изотермически расширяли, а затем изобарно нагревали. Установите соответствие между процессами, происходящими с газом, и графиками.
- К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ПРОЦЕССЫ**

- А) изотермическое сжатие, изохорное нагревание  
 Б) изотермическое расширение, изобарное нагревание

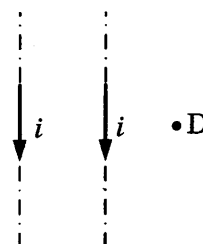
**ГРАФИКИ**



Ответ:

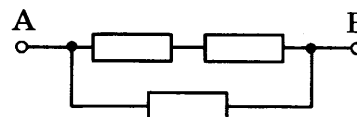
|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 13.** Одинаковые токи  $i$ , направление которых указано стрелками, текут по двум тонким прямым проводникам, параллельным друг другу (см. рис.). Как направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор индукции создаваемого ими магнитного поля в точке D? Ответ запишите словом (словами).



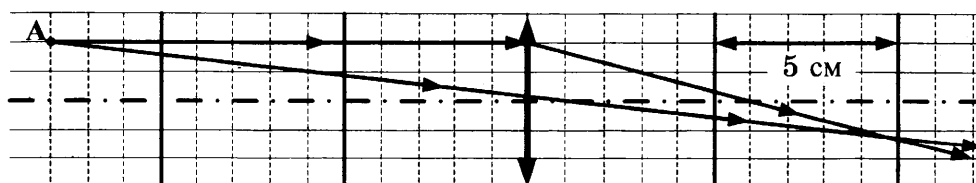
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 14.** Определите, чему равно полное сопротивление участка цепи между клеммами А и В (см. рис.), если сопротивление каждого резистора равно 3 Ом.



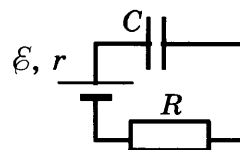
Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

- 15.** Ход лучей от точечного источника света А через тонкую линзу показан на рисунке. Каково фокусное расстояние линзы?



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 16.** В момент времени  $t = 0$  конденсатор подключают к источнику тока последовательно с резистором  $R = 10$  кОм (см. рис.). Значения напряжения между обкладками конденсатора, измеренные в последовательные моменты времени, представлены в таблице. Выберите два верных утверждения о процессах, происходящих в цепи. Сопротивлением проводов и внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.



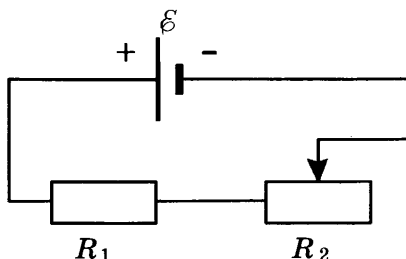
|               |   |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $t, \text{с}$ | 0 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| $U, \text{В}$ | 0 | 3,8 | 5,2 | 5,7 | 5,9 | 6,0 | 6,0 | 6,0 |

- 1) Падение напряжения на резисторе в момент времени  $t = 1$  с равно 3,8 В.
- 2) Сила тока в цепи минимальна в момент времени  $t = 0$  с.
- 3) ЭДС источника тока равна 6 В.
- 4) Падение напряжения на резисторе максимально в момент времени  $t = 7$  с.
- 5) Сила тока в цепи в момент времени  $t = 2$  с равна 80 мкА.

Ответ:

- 17.** Цепь постоянного тока содержит источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , резистор  $R_1$  и реостат  $R_2$ , как показано на рисунке. Как изменятся сила тока в цепи и суммарная тепловая мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи, если уменьшить сопротивление реостата  $R_2$  до минимума?

Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Сила тока в цепи | Суммарная тепловая мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                  |                                                                   |

- 18.** Отрицательно заряженная частица влетает в первой экспериментальной установке в однородное магнитное поле так, что вектор скорости  $\vec{v}_0$  перпендикулярен индукции магнитного поля (рис. 1). Во второй экспериментальной установке вектор скорости  $\vec{v}_0$  такой же частицы параллелен вектору напряженности электрического поля (рис. 2).

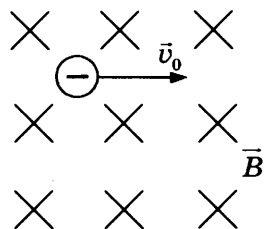


Рис. 1

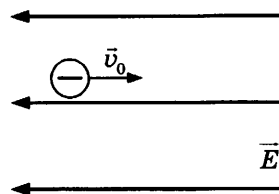


Рис. 2

Установите соответствие между экспериментальными установками и траекториями движения частиц в них.

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

**ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ**

- А) в первой установке  
Б) во второй установке

**ТРАЕКТОРИЯ**

- 1) прямая линия  
2) окружность  
3) спираль  
4) парабола

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 19.** Реакции превращения нептуния  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  в уран  ${}_{93}^{237}\text{Np} \rightarrow {}_{91}^{233}\text{Pa} \rightarrow {}_{92}^{233}\text{U}$  происходят в образце, содержащем этот изотоп. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов при этом происходит?

Ответ:

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| Число $\alpha$ – распадов | Число $\beta$ – распадов |
|                           |                          |

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

- 20.** Период полураспада стронция  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  равен  $T = 29$  лет. Определите, через сколько лет распадется  $7/8$  первоначального числа радиоактивных ядер.

Ответ: \_\_\_\_\_ лет.

- 21.** Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать ( $\nu$  — частота фотона,  $c$  — скорость света в вакууме,  $h$  — постоянная Планка). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) длина волны фотона  
Б) импульс фотона

**ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ**

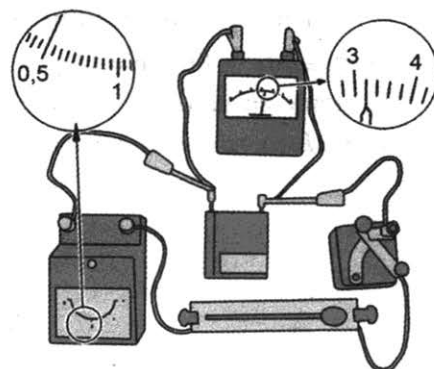
- 1)  $\frac{h\nu}{c}$   
2)  $hc$   
3)  $\frac{c}{\nu}$   
4)  $c\nu$

Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 22.** На рисунке приведена электрическая цепь для измерения сопротивления реостата. Погрешности измерения силы тока в цепи и напряжения на реостате равны половине цены деления амперметра и вольтметра. Чему равна по результатам этих измерений сила тока в цепи?

Ответ: (\_\_\_\_ ± \_\_\_\_ ) А.



В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

- 23.** Ученик изучает зависимость периода электромагнитных колебаний в контуре от индуктивности катушки. В таблице представлены параметры колебательных контуров ( $C$  — емкость конденсатора,  $L$  — индуктивность катушки). Какие два контура он должен выбрать для этого исследования?

| $N$ | $C$ , нФ | $L$ , мкГн |
|-----|----------|------------|
| 1   | 10       | 100        |
| 2   | 5        | 80         |
| 3   | 8        | 50         |
| 4   | 10       | 80         |
| 5   | 15       | 100        |

В ответе запишите номера выбранных контуров.

Ответ:

## Часть 2

Ответом к заданиям 24–26 является число. Запишите это число 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

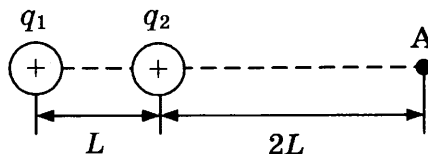
- 24.** Со скоростью 10 м/с с крыши дома почти вертикально вверх брошен камень, который упал на землю через 3 с после броска. С какой высоты брошен камень? Сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 25.** Под давлением 50 кПа и при температуре 100 °С в закрытом сосуде находится 2 г водяного пара. Объем сосуда уменьшили в 4 раза, не изменяя температуру. Найдите массу образовавшейся при этом воды.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

- 26.** В вакууме на расстоянии  $L = 0,5$  м друг от друга находятся два точечных положительных заряда:  $q_1 = 30$  нКл и  $q_2 = 10$  нКл. Определите модуль напряженности электрического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $2L$  от второго заряда (см. рис.).



Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

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

Полное решение задач 27–31 необходимо записать в бланке ответов № 2. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (27, 28 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте четко и разборчиво.

- 27.** К одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым лампам подключены два плоских воздушных конденсатора, как показано на рисунках а и б. Конденсаторы имеют одинаковую площадь пластин, но различаются расстоянием между пластинами. В некоторый момент времени ключи К в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведенных опытов при переключении ключа лампа вспыхнет ярче. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.

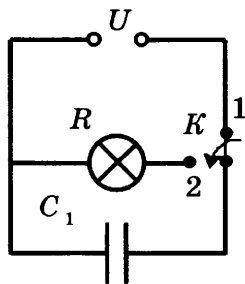


Рис. а

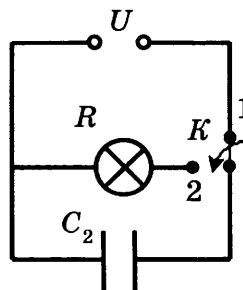


Рис. б

Полное правильное решение каждой из задач 28–31 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

- 28.** Брусок массой  $m_1 = 600$  г, движущийся со скоростью  $v_1 = 2$  м/с, сталкивается с неподвижным бруском массой  $m_2 = 200$  г. Удар считать центральным и абсолютно упругим. Определите, какой будет скорость первого бруска после столкновения.
- 29.** Цикл теплового двигателя, рабочим веществом которого является один моль идеального одноатомного газа, состоит из изотермического расширения, изохорного охлаждения и адиабатического сжатия. В изохорном процессе температура газа понижается на  $\Delta T$ , а работа, совершенная газом в изотермическом процессе, равна  $A$ . Определите КПД теплового двигателя.
- 30.** На горизонтальной плоскости укреплен отрицательно заряженный диск, создающий вертикально направленное однородное электрическое поле напряженностью  $E = 10^4$  В/м. На нем с высоты  $h = 10$  см падает шарик массой  $m = 20$  г, имеющий положительный заряд  $q = 10^{-5}$  Кл. Какой импульс шарик передаст диску при абсолютно упругом ударе?
- 31.** При какой температуре газа энергия электронов, выбиваемых из металлической пластинки с работой выхода  $A_{\text{вых}} = 2$  эВ при облучении монохроматическим светом с длиной волны 300 нм, будет равна средней энергии теплового движения атомов одноатомного газа?

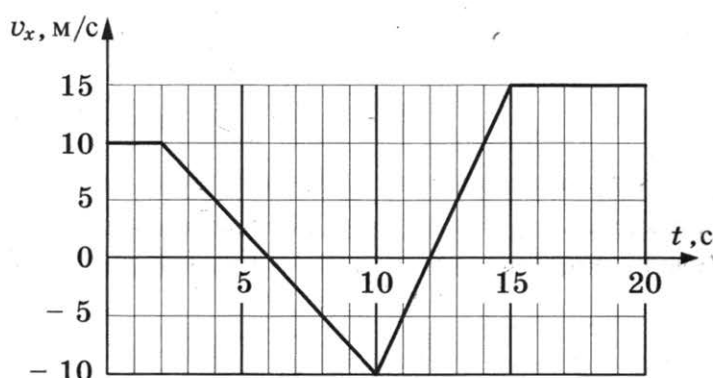


# ВАРИАНТ 3

## Часть 1

Ответами к заданиям 1–23 являются цифра, слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

1. График зависимости проекции скорости тела от времени приведен на рисунке. Определите путь, пройденный телом за время от 2 с до 10 с.



Ответ: \_\_\_\_\_ м.

2. При движении по горизонтальной поверхности на тело массой 40 кг действует сила трения скольжения 10 Н. Какой станет сила трения скольжения после уменьшения массы тела в 5 раз, если коэффициент трения не изменится.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

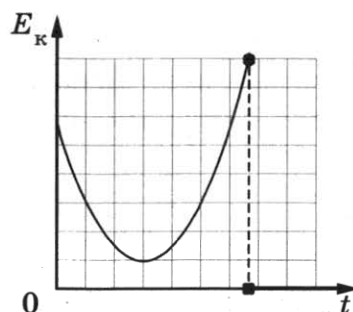
3. Шарик массой 100 г скатился с горки длиной 2 м, составляющей с горизонталью угол 30°. Вычислите работу силы тяжести.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

4. Подвешенный на пружине груз массой  $m = 200$  г совершает гармонические колебания с частотой  $\nu$ . Какой должна быть масса груза, подвешенного к той же пружине, чтобы частота его колебаний была равна  $2\nu$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

5. На рисунке представлен схематичный вид графика изменения кинетической энергии тела с течением времени. Выберите два верных утверждения о движении тела.



- 1) Тело брошено вертикально вверх с поверхности земли и упало на балкон.
- 2) Тело брошено под углом к горизонту с балкона и упало на землю.
- 3) Тело брошено под углом к горизонту с поверхности земли и упало обратно на землю.
- 4) В верхней точке движения скорость тела была равна нулю.
- 5) Перед падением скорость тела была больше начальной скорости.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

- 6.** Груз лежит на полу покоящегося лифта. Лифт начинает двигаться вверх с постоянным ускорением. Как изменятся при этом сила давления груза на пол лифта и действующая на него сила тяжести? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

| Сила давления груза на пол лифта | Сила тяжести |
|----------------------------------|--------------|
|                                  |              |

- 7.** Установите соответствие между зависимостью координаты тела от времени (где все величины выражены в СИ) и значениями проекций его начальной скорости и ускорения. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

КООРДИНАТА

НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ И УСКОРЕНИЕ

А)  $x = 6t^2$

Б)  $x = 6 - 3t$

1)  $v_{0x} = -3 \text{ м/с}, a_x = 0$

2)  $v_{0x} = 6 \text{ м/с}, a_x = 3 \text{ м/с}^2$

3)  $v_{0x} = 0, a_x = 12 \text{ м/с}^2$

4)  $v_{0x} = 3 \text{ м/с}, a_x = 6 \text{ м/с}^2$

Ответ: 

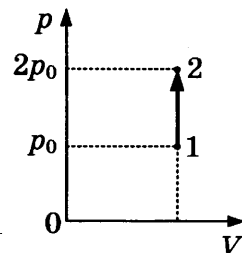
|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 8.** В сосуде с жесткими стенками находится идеальный газ при температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении  $60 \text{ кПа}$ . Каким будет давление газа, если его нагреть до температуры  $127^\circ\text{C}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ кПа.

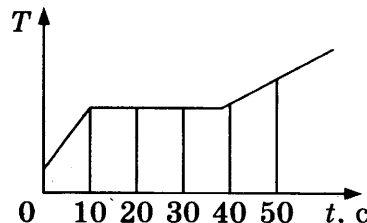
9. На  $p$ — $V$ -диаграмме показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Масса газа постоянна. Внутренняя энергия газа увеличилась на 20 кДж. Чему равно количество теплоты, полученное газом?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.



10. Вещество, находящееся в твердом состоянии, стали нагревать. При этом за 1 с к нему подводят количество теплоты, равное 2 кДж. График зависимости температуры вещества от времени показан на рисунке. Какое количество теплоты подвели к веществу для того, чтобы нагреть его до температуры плавления?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.



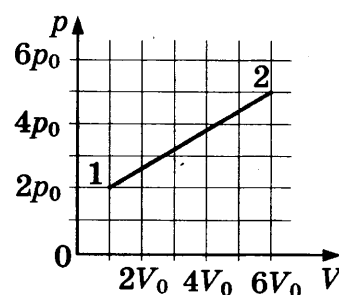
11. В сосуде под поршнем находится вода и водяной пар при температуре 100 °С. Масса воды равна массе пара. Объем сосуда изотермически увеличивают в 4 раза. Выберите из предложенных утверждений два, которые верно отражают результаты этого опыта.

- 1) Масса воды в сосуде не изменяется.
- 2) В конечном состоянии давление пара в сосуде равно 50 кПа.
- 3) Давление пара постоянно уменьшалось.
- 4) Плотность пара сначала была постоянной, а затем стала уменьшаться.
- 5) Концентрация пара в сосуде в начале и в конце опыта одинакова.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

12. Один моль идеального газа перевели из состояния 1 в состояние 2 так, как показано на  $p$ — $V$ -диаграмме. Установите соответствие между изменением температуры газа  $\Delta T_{12}$ , его работой  $A$  в этом процессе и формулами, по которым их можно рассчитать ( $R$  — универсальная газовая постоянная). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) изменение температуры газа  $\Delta T_{12}$

Б) работа газа  $A$

#### ФОРМУЛЫ

1)  $28 \frac{p_0 V_0}{R}$

2)  $12 \frac{p_0 V_0}{R}$

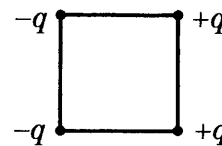
3)  $17,5 p_0 V_0$

4)  $12,5 p_0 V_0$

Ответ:

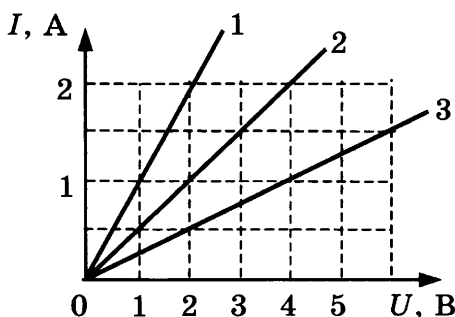
| А | Б |
|---|---|
|   |   |

13. В какую сторону (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) направлен вектор напряженности электрического поля в центре квадрата, созданного зарядами, которые расположены в его вершинах так, как это представлено на рисунке? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

14. На рисунке изображены графики зависимости силы тока от приложенного напряжения для трех проводников. Чему равно отношение сопротивлений третьего и первого проводников  $\frac{R_3}{R_1}$ ?

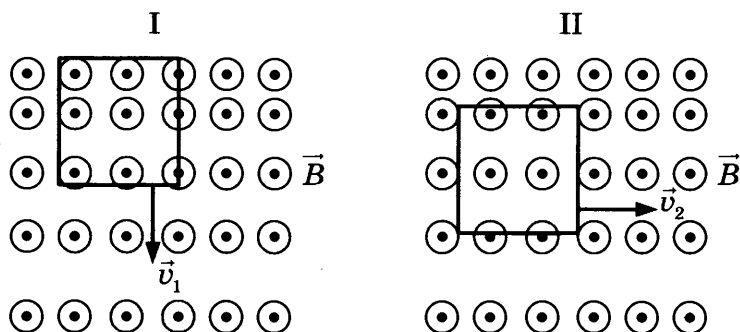


Ответ: \_\_\_\_\_.

15. Луч падает на плоское зеркало. Чему равен угол между отраженным лучом и зеркалом, если угол между падающим и отраженным лучами света равен  $30^\circ$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_°.

16. В неоднородном магнитном поле с силовыми линиями, выходящими из плоскости листа на нас, движется проволочная рамка: в случае I со скоростью  $\vec{v}_1$ , направленной вниз, в случае II со скоростью  $\vec{v}_2$ , направленной вправо (см. рис.). Модуль скорости рамки во втором случае в 2 раза больше чем в первом  $v_2 = 2v_1$ . Плоскость рамки остается перпендикулярной линиям вектора магнитной индукции.



Выберите из предложенных утверждений два, которые верно отражают результаты этих опытов.

- 1) Сила тока, возникающего в рамке во втором случае в 2 раза больше, чем в первом.
- 2) Во втором опыте ЭДС индукции в рамке равна нулю.

- 3) Сила Ампера, действующая на рамку в первом случае направлена вверх.  
 4) В первом случае магнитный поток через рамку не меняется при ее движении.  
 5) Для равномерного перемещения рамки во втором случае, к ней нужно приложить постоянную силу.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

- 17.** Электромагнитная волна преломляется на границе раздела воздуха и воды. Как изменяются при переходе из воздуха в воду частота волны и скорость ее распространения? 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.

| Частота волны | Скорость волны |
|---------------|----------------|
|               |                |

- 18.** Период колебаний, происходящих в идеальном колебательном контуре, равен  $T$ . Максимальная энергия магнитного поля катушки равна  $E$ . Индуктивность катушки контура —  $L$ .

Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс колебаний, и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) максимальный заряд конденсатора  
 Б) максимальное напряжение на конденсаторе

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $\frac{2\pi}{T} \sqrt{2EL}$   
 2)  $\frac{T}{\pi} \sqrt{\frac{E}{2L}}$   
 3)  $\sqrt{\frac{2E}{L}}$   
 4)  $\frac{T}{2\pi L}$

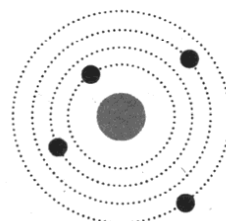
Ответ:

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

- 19.** На схеме атома черными точками обозначены электроны. Массовое число ядра данного элемента равно 6. Какое число протонов и нейтронов содержится в ядре этого элемента?

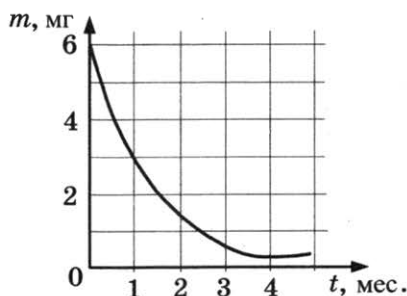
Ответ:

| Число протонов | Число нейтронов |
|----------------|-----------------|
|                |                 |



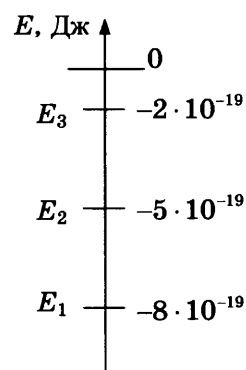
В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

20. График изменения с течением времени массы находящегося в пробирке радиоактивного вещества приведен на рисунке. Чему равен период полураспада этого вещества?



Ответ: \_\_\_\_\_ мес.

21. На рисунке представлена схема нижних энергетических уровней атомов разреженного газа. Атомы переходят из состояния с энергией  $E_3$  в состояние с энергией  $E_1$ . Как изменятся энергия излученных фотонов и длина волны излучения, если атомы будут переходить из состояния с энергией  $E_3$  в состояние с энергией  $E_2$ . Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

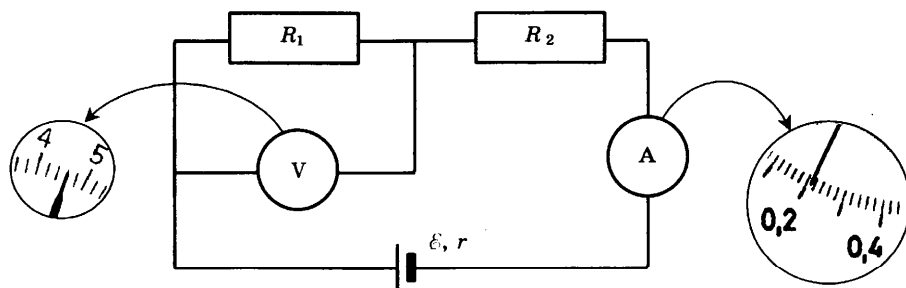


- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

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

| Энергия фотонов | Длина волны излучения |
|-----------------|-----------------------|
|                 |                       |

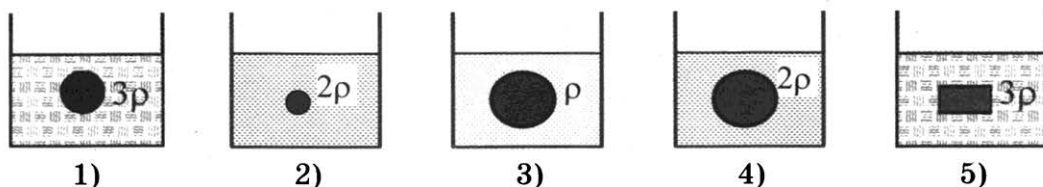
22. При проведении лабораторной работы ученик собрал электрическую цепь по схеме на рисунке и записал показания амперметра и вольтметра. Погрешность измерения силы тока и напряжения равна цене деления шкалы соответствующих приборов. Запишите значение силы тока с учетом погрешности.



Ответ: (\_\_\_\_ ± \_\_\_\_ ) А.

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

- 23.** В опытах по изучению закона Архимеда изменяют объем погруженного в жидкость тела и плотность жидкости. Какую пару опытов необходимо выбрать, чтобы обнаружить зависимость силы Архимеда от объема погруженного тела? (На рисунках указана плотность жидкости.)



В ответе запишите номера выбранных опытов.

Ответ:

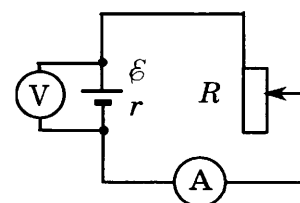
## Часть 2

Ответом к заданиям 24–26 является число. Запишите это число 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

- 24.** После попадания горизонтально летящей пластилиновой пули в груз, неподвижно висевший на нити длиной 40 см, груз с прилипшей к нему пулей начинает совершать колебания. Максимальный угол отклонения нити от вертикали при этом равен  $\alpha = 60^\circ$ . Масса пули равна 9 г, ее скорость — 20 м/с. Определите массу груза.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

- 25.** При одном сопротивлении реостата вольтметр показывает 6 В, амперметр — 1 А (см. рис.). Показания приборов при другом сопротивлении реостата составили 4 В и 2 А. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока? Амперметр и вольтметр считать идеальными.



Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

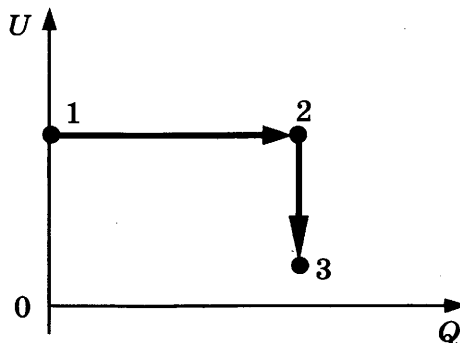
- 26.** Детектор за время  $t = 3$  с поглощает  $N = 6 \cdot 10^5$  фотонов падающего на него монохроматического света. Поглощаемая мощность  $P = 6 \cdot 10^{-14}$  Вт. Какова длина волны падающего света?

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

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

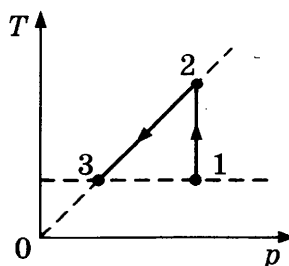
Полное решение задач 27–31 необходимо записать в бланке ответов № 2. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (27, 28 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте четко и разборчиво.

- 27.** Идеальный газ находится в цилиндре, закрытом подвижным поршнем. На рисунке дана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии  $U$  газа и передаваемое ему количество теплоты  $Q$ . Опишите изменение объема газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



Полное правильное решение каждой из задач 28–31 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

- 28.** На находящемся вдали от Земли космическом аппарате начал работать реактивный двигатель. Из сопла ракеты каждую секунду выбрасывается 2 кг газа ( $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 2$  кг/с) со скоростью  $v = 500$  м/с. Исходная масса космического аппарата  $M = 500$  кг. Какую скорость приобретет аппарат, пройдя расстояние  $S = 36$  м? Начальную скорость аппарата принять равной нулю. Изменением массы аппарата за время движения пренебречь.
- 29.** Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладил до первоначальной температуры 300 К, уменьшив давление в 3 раза (см. рис.). Определите, какое количество теплоты было сообщено газу на участке 1–2.





- 30.** В электрическую цепь соединили одни и те же элементы сначала по схеме 1, а затем по схеме 2 (см. рис.). Сопротивление резистора равно  $R$ , сопротивление амперметра  $\frac{1}{100}R$ , сопротивление вольтметра  $9R$ . В первой схеме показания амперметра равны  $I_1$ . Каковы его показания во второй схеме? Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь.

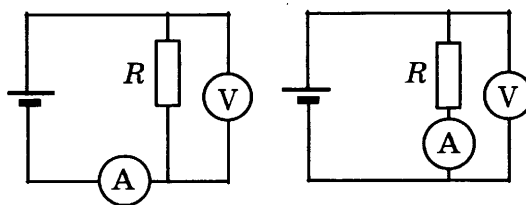


Схема 1

Схема 2

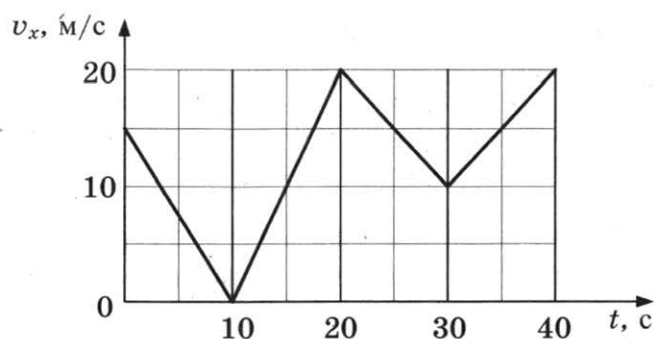
- 31.** Оптический центр тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием  $F_1 = 20$  см находится на оси  $Ox$  в точке  $x_1 = 0$ , а оптический центр тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F_2 = 30$  см — в точке  $x_2 = 20$  см. Главные оптические оси обеих линз лежат на оси  $Ox$ . Свет от точечного источника  $S$ , расположенного в точке  $x < 0$ , пройдя данную оптическую систему, распространяется параллельным пучком. Найдите координату  $x$  точечного источника.

## ВАРИАНТ 4

### Часть 1

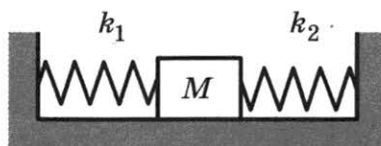
Ответами к заданиям 1–23 являются цифра, слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы, а затем перенесите в БЛАНК ОТВЕТОВ № 1 справа от номера соответствующего задания, начиная с первой клеточки. Каждый символ пишите в отдельной клеточке в соответствии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

1. На рисунке дан график зависимости проекции скорости тела  $v_x$  от времени. Чему равна проекция ускорения этого тела  $a_x$  в интервале времени от 10 с до 20 с?



Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

2. На гладком горизонтальном столе покоится кубик массой 1 кг, сжатый с боков пружинами (см. рис.). Левая пружина жесткостью  $k_1 = 400$  Н/м сжата на 4 см. С какой силой правая пружина жесткостью  $k_2 = 200$  Н/м действует на кубик?



Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

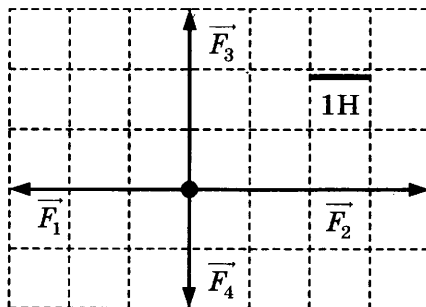
3. Под действием постоянной силы за 10 с импульс тела, движущегося по прямой в одном направлении, изменился на 50 кг · м/с. Чему равен модуль силы?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

4. С какой скоростью проходит груз пружинного маятника, имеющий массу 0,1 кг, положение равновесия, если жесткость пружины 40 Н/м, а амплитуда колебаний 2 см?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

5. На рисунке показаны силы, действующие на закрепленное на горизонтальном столе небольшое тело массой 200 г (вид сверху). Выберите из предложенных утверждений два, которые правильно описывают движение тела под действием этих четырех сил после того, как его отпустили.



- 1) Траекторией движения тела является парабола.
- 2) Ускорение тела примерно равно  $7 \text{ м/с}^2$ .
- 3) После отпущения тело начало двигаться в направлении силы  $\vec{F}_3$ .
- 4) Кинетическая энергия тела после отпущения уменьшается.
- 5) Сила  $\vec{F}_1$  совершает отрицательную работу.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

6. На наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом, покоится тело. Угол, который составляет наклонная плоскость с горизонтом, уменьшили. Как изменятся при этом силы трения и нормальной реакции опоры, действующие на тело? 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 трения | Сила нормальной реакции опоры |
|-------------|-------------------------------|
|             |                               |

7. Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите радиусом  $R$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. ( $M$  — масса Земли,  $R$  — радиус орбиты,  $G$  — гравитационная постоянная). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) скорость спутника  
Б) период обращения спутника вокруг Земли

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $2\pi\sqrt{\frac{GM}{R}}$       3)  $4\pi^2\sqrt{\frac{R}{GM}}$   
2)  $2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$       4)  $\sqrt{\frac{GM}{R}}$

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

8. Концентрация и давление идеального газа увеличились в 2 раза. Чему равно отношение абсолютных температур газа в конечном и начальном состоянии  $\frac{T_2}{T_1}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_.

9. КПД теплового двигателя равен 40 %. Какое количество теплоты двигатель получил от нагревателя, если холодильнику было отдано количество теплоты, равное 30 кДж?

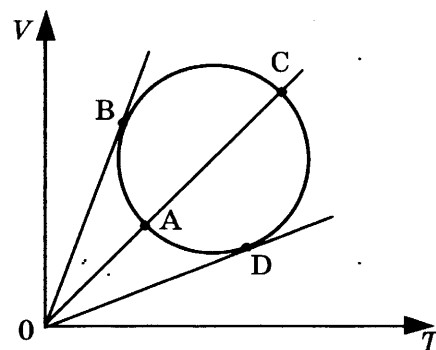
Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

10. Относительная влажность воздуха в комнате равна 40%. Определите отношение давления  $p_n$  насыщенного водяного пара при такой же температуре к парциальному давлению  $p$  водяного пара в комнате ( $p_n/p$ )?

Ответ: \_\_\_\_\_.

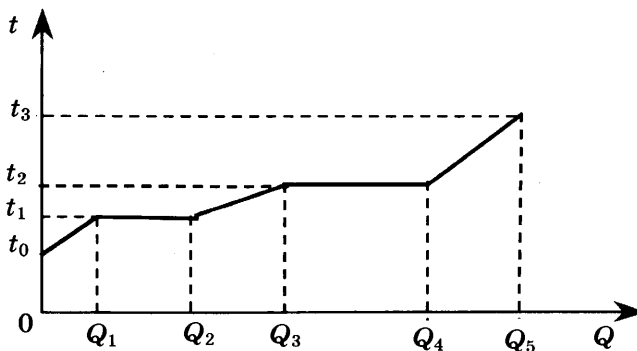
11. Зависимость объема идеального газа постоянной массы от температуры показана на  $V-T$ -диаграмме (см. рис.). Выберите два верных утверждения о процессе, происходящем с газом.

- 1) Давление газа максимально в состоянии В.
- 2) При переходе из состояния В в состояние С внутренняя энергия газа увеличивается.
- 3) При переходе из состояния D в состояние А работа газа все время отрицательна.
- 4) В состояниях А и С давления газа равны.
- 5) Процесс DB — изотермический.



Ответ: ☐ ☐

12. Небольшое количество твердого вещества массой  $m$  стали нагревать в запаянной капсуле. На рисунке показан график изменения температуры  $t$  вещества по мере поглощения им все большего количества теплоты  $Q$ .



Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

# ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) удельная теплоемкость вещества в твердом состоянии  
Б) удельная теплота парообразования

# ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{Q_2}{m}$   
2)  $\frac{Q_2 - Q_1}{m}$   
3)  $\frac{Q_1}{(t_1 - t_0)m}$   
4)  $\frac{Q_4 - Q_3}{m}$

Ответ: 

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
|   |   |

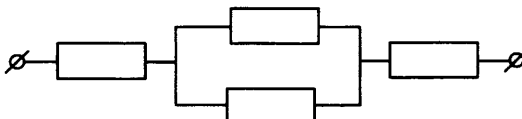
13. Точка А равноудалена от равных по модулю точечных зарядов  $q_1 > 0$  и  $q_2 < 0$ . Куда направлен (*вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю*) вектор напряженности электрического поля в этой точке? Ответ запишите словом (словами).

●  $q_1$       ●  $q_2$

• А

Ответ: \_\_\_\_\_.

14. Сопротивление каждого из резисторов в цепи, схема которой изображена на рисунке, равно 2 Ом. Найдите общее сопротивление цепи.



Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

15. Энергия магнитного поля катушки равна 2 мДж. Чему будет равна энергия магнитного поля этой катушки, если сила тока, протекающего через нее, увеличится в 2 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

16. При попадании солнечного света на капли дождя образуется радуга. Выберите из предложенных утверждений два, которые правильно описывают это явление.

- 1) Данное явление объясняется дифракцией света на каплях воды.
- 2) Скорость электромагнитных волн в среде зависит от их частоты.
- 3) Белый свет состоит из электромагнитных волн с разной длиной волны, которые каплями воды по-разному преломляются.
- 4) Показатели преломления волн различных длин одинаковы.
- 5) Угол преломления волн красного цвета меньше, чем волн фиолетового цвета.

Ответ: 

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

- 17.** Длина волны, на которую настроен электрический колебательный контур радиоприемника, равна  $\lambda$ . Как изменятся период колебаний в контуре и их частота, если площадь пластин конденсатора уменьшить?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Период колебаний | Частота |
|------------------|---------|
|                  |         |

- 18.** К клеммам батарейки для карманного фонаря параллельно подсоединили два резистора с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ . Напряжение на клеммах батарейки равно  $U$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) сила тока через батарейку
- Б) напряжение на резисторе с сопротивлением  $R_2$

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $\frac{U(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$
- 2)  $U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
- 3)  $\frac{U}{R_1 + R_2}$
- 4)  $U$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

- 19.** Определите, сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов должно произойти при радиоактивном распаде ядра урана  ${}_{92}^{238}\text{U}$  и конечном превращении его в ядро  ${}_{82}^{198}\text{Pb}$ .

Ответ:

| Число $\alpha$ -распадов | Число $\beta$ -распадов |
|--------------------------|-------------------------|
|                          |                         |

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

- 20.** Ядра радона  ${}_{86}^{219}\text{Rn}$  испытывают  $\alpha$ -распад с периодом полураспада 4 с. В образце в момент начала наблюдения содержится  $4 \cdot 10^{17}$  ядер радона. Сколько ядер гелия выделится в образце за 8 с?

Ответ: \_\_\_\_\_  $\cdot 10^{17}$ .

**21.** Значения энергии стационарных состояний атома водорода задаются формулой

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots. \text{ Атом при переходе из одного состояния в другое излучает или поглощает фотон. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими излученный или поглощенный фотон, и формулами, по которым их можно рассчитать } (h \text{ — постоянная Планка}). \text{ К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.}$$

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) энергия фотона, излученного при переходе атома из состояния с энергией  $E_3$  в состояние с энергией  $E_2$   
 Б) частота фотона, поглощенного при переходе атома из состояния с энергией  $E_1$  в состояние с энергией  $E_3$

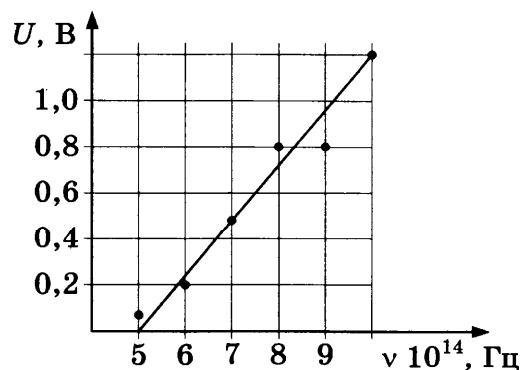
### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{8}{9}E_0$   
 2)  $\frac{5}{36}E_0$   
 3)  $\frac{8E_0}{9h}$   
 4)  $\frac{5E_0}{36h}$

Ответ:

| А | Б |
|---|---|
|   |   |

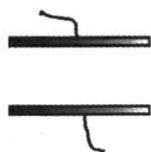
**22.** При изучении законов фотоэффекта получили зависимость запирающего напряжения от частоты падающих фотонов. Результаты измерений представлены на графике. Погрешность измерения частоты фотонов равна  $1 \cdot 10^{14}$  Гц, напряжения — 0,1 В. Запишите в ответ величину запирающего напряжения при частоте фотонов  $10^{15}$  Гц с учетом погрешности измерений.



Ответ: (\_\_\_\_ ± \_\_\_\_ ) В.

В бланк ответов №1 перенесите только числа, без пробелов и других дополнительных символов.

**23.** Конденсатор состоит из двух круглых пластин, разделенных воздушным промежутком. Какие два конденсатора нужно использовать для того, чтобы экспериментально установить, зависит ли емкость конденсатора от радиуса пластин?



1)



2)



3)



4)



5)

В ответе запишите номера выбранных конденсаторов.

Ответ:

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

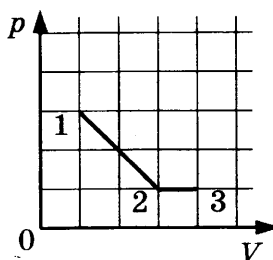
## Часть 2

Ответом к заданиям 24–26 является число. Запишите это число 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 приведенными в бланке образцами. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

- 24.** По прямой улице мимо остановки проезжает грузовик со скоростью 10 м/с. Через 5 с вдогонку грузовику от остановки отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением 3 м/с<sup>2</sup>. Чему равна скорость мотоциклиста в момент, когда он догонит грузовик?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

- 25.** На диаграмме показано, как менялось давление идеального газа в зависимости от его объема при переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Определите отношение работ газа  $\frac{A_{12}}{A_{23}}$  на этих двух отрезках  $p$ – $V$ -диаграммы.



Ответ: \_\_\_\_\_.

- 26.** В однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл горизонтально на двух нитях подвешен прямолинейный проводник. Вектор магнитной индукции горизонтален и перпендикулярен проводнику. Во сколько раз изменится сила натяжения нитей при изменении направления тока на противоположное? Масса единицы длины проводника 0,01 кг/м, сила тока в проводнике 5 А.

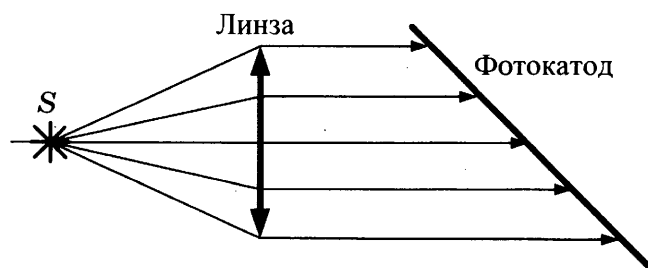
Ответ: \_\_\_\_\_.

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

Полное решение задач 27–31 необходимо записать в бланке ответов № 2. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (27, 28 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте четко и разборчиво.

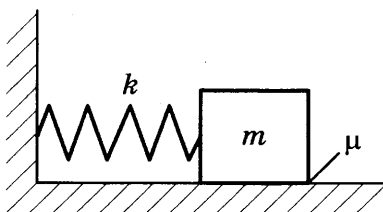


- 27.** Свет от точечного источника  $S$  в установке по наблюдению фотоэффекта падает на фотокатод параллельным пучком, пройдя через собирающую линзу. В схему было внесено изменение: на место первоначальной линзы поставили другую того же диаметра, но с большим фокусным расстоянием. Источник света переместили вдоль главной оптической оси линзы так, что на фотокатод свет снова стал падать параллельным пучком. Как изменился при этом (уменьшился или увеличился) фототок насыщения? Объясните, почему изменяется фототок насыщения, и укажите, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

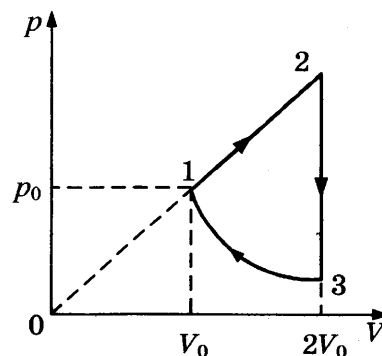


Полное правильное решение каждой из задач 28–31 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

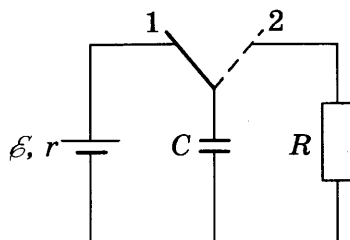
- 28.** К одному концу легкой пружины жесткостью  $k = 100 \text{ Н/м}$  прикреплен массивный груз, лежащий на горизонтальной плоскости, другой конец пружины закреплен неподвижно (см. рис.). Коэффициент трения груза о плоскость равен  $\mu = 0,2$ . Растягивая пружину, груз смещают по горизонтали, после чего отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Груз движется в одном направлении и затем останавливается в положении, в котором пружина уже сжата. Максимальное растяжение пружины, при котором груз движется таким образом, равно  $d = 15 \text{ см}$ . Найдите массу  $m$  груза.



- 29.** Циклический процесс, проводимый над одноатомным идеальным газом, представлен на рисунке. На участке 1–2 газ совершает работу  $A_{12} = 1000 \text{ Дж}$ . Участок 3–1 — адиабата. Количество теплоты, отданное газом за цикл холодильнику, равно  $|Q_{\text{хол}}| = 3370 \text{ Дж}$ . Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите работу  $|A_{31}|$  внешних сил в адиабатном процессе.



- 30.** Ключ  $K$  в схеме, показанной на рисунке, долгое время находился в положении 1. В момент  $t_0 = 0$  ключ перевели в положение 2. К моменту  $t > 0$  на резисторе  $R$  выделилось количество теплоты  $Q = 25$  мкДж. Сила тока в цепи в этот момент равна  $I = 0,1$  мА. Чему равно сопротивление резистора  $R$ ? ЭДС батареи  $\mathcal{E} = 15$  В, ее внутреннее сопротивление  $r = 30$  Ом, емкость конденсатора  $C = 0,4$  мкФ. Потерями на электромагнитное излучение пренебречь.



- 31.** Образец, содержащий радий, за 1 с испускает  $N = 3,7 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -частиц. За  $T = 1$  ч выделяется энергия  $E = 100$  Дж. Масса  $\alpha$ -частиц равна  $m = 6,7 \cdot 10^{-27}$  кг. Определите средний импульс  $\alpha$ -частиц  $p$ . Энергией отдачи ядер,  $\gamma$ -излучением и релятивистским эффектом пренебречь.

# ОТВЕТЫ

## Диагностическая работа

| № задания | Вариант 1 | Вариант 2 | № задания | Вариант 1 | Вариант 2 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Часть 1   |           |           | Часть 1   |           |           |
| 1         | 125       | 2,5       | 15        | 0,01      | 1         |
| 2         | 20        | 16        | 16        | 23 или 32 | 23 или 32 |
| 3         | 5         | 8         | 17        | 32        | 22        |
| 4         | 0,2       | 4         | 18        | 23        | 24        |
| 5         | 15 или 51 | 25 или 52 | 19        | 1416      | 1211      |
| 6         | 13        | 13        | 20        | 2         | 1,5       |
| 7         | 41        | 13        | 21        | 13        | 13        |
| 8         | 2         | 1,5       | 22        | 461       | 421       |
| 9         | 4         | 30        | 23        | 14 или 41 | 15 или 51 |
| 10        | 400       | 3,3       | Часть 2   |           |           |
| 11        | 23 или 32 | 15 или 51 |           |           |           |
| 12        | 13        | 12        | 24        | 0,25      | 0,3       |
| 13        | вверх     | вверх     | 25        | 0,1       | 0         |
| 14        | 1         | 1,5       | 26        | 0,6       | 0,2       |

### Вариант 1

27.

1) В соответствии с законами Бойля–Мариотта и Дальтона (примененными к парциальным давлениям газов во втором и третьем сосудах) суммарное давление этих газов после закрывания второго крана равно  $3p/2 + p/2 = 2p$ .

2) Аналогично этому давление в первом и втором сосудах после закрывания первого крана равно  $p/2 + 2p/2 = 1,5p$ . Это означает, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, что количество газа в первом сосуде в итоге увеличилось.

Ответ: количество газа в первом сосуде увеличилось.

28.

1) Сила давления пороховых газов  $F = pS$ , где  $p$  — среднее давление пороховых газов,  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  — площадь поперечного сечения ствола,  $d$  — диаметр ствола.

2) Кинетическая энергия вылетевшего снаряда  $W = \frac{mv^2}{2}$ , где  $m$  — масса снаряда,  $v$  — его скорость.

3) Работа силы давления пороховых газов  $A = Fl$ , где  $l$  — длина ствола.

4) Согласно закону изменения механической энергии  $W = A$ .

Объединяя соотношения 1)–3), получаем  $p = \frac{2mv^2}{\pi d^2 l}$ .

Ответ:  $p = \frac{2mv^2}{\pi d^2 l} \approx 4,7 \cdot 10^8$  Па.

29.

1) Изобразим процесс на  $p$ — $V$ -диаграмме и обозначим давления и объемы газа в состояниях 1 и 2 через  $(p_1, V_1)$  и  $(p_2, V_2)$  соответственно. Температуру газа в состоянии 1 обозначим через  $T_1$ , а в состоянии 2 — через  $T_2$ .

2) Изменение внутренней энергии газа равно

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

Совершенная газом работа равна площади трапеции под графиком процесса на  $p$ — $V$ -диаграмме:

$$A_{12} = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

3) Из первого закона термодинамики следует, что полученное газом количество теплоты  $Q = \Delta U_{12} + A_{12} = 2(p_2 V_2 - p_1 V_1)$ .

4) Из графика процесса следует, что  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$ .

Поэтому

$$\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \text{ и } Q = 2p_1 V_1 \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = 2\nu R T_1 \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right).$$

5) Отношение плотностей газа массой  $m$  в состояниях 1 и 2 равно

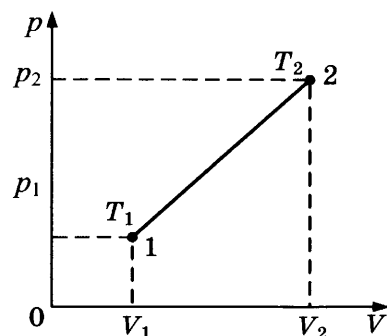
$$\alpha = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m/V_1}{m/V_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Поэтому  $Q = 2\nu R T_1 \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = 2\nu R T_1 (\alpha^2 - 1)$ , откуда

$$T_1 = \frac{Q}{2\nu R (\alpha^2 - 1)}.$$

Подставляя в полученную формулу числовые данные, находим  $T_1$ .

Ответ:  $T_1 = \frac{Q}{2\nu R (\alpha^2 - 1)} \approx 400 \text{ К.}$



30.

1) При движении перемычки в магнитном поле возникает ЭДС  $\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = Blv$ .

2) Согласно закону Ома для замкнутой цепи  $abcd$ :

$$I = \frac{\mathcal{E}}{4R} = \frac{Blv}{4R},$$

где  $R$  — сопротивление перемычки  $ab$ .

3) Следовательно,  $U = \mathcal{E} - I \cdot R = \frac{3}{4} Blv$ .

Ответ:  $B = \frac{4U}{3lv}$ .

31.

1) Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + eU, 2h\nu = A + 3eU,$$

где  $A$  — работа выхода электронов из металла.

2) Для красной границы фотоэффекта  $A = \frac{hc}{\lambda_K}$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим  $A = \frac{h\nu}{2}$ .

Тогда для искомой длины волны

$$\lambda_K = \frac{2c}{\nu} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 800 \text{ нм}.$$

Ответ:  $\lambda_K = \frac{2c}{\nu} = 800 \text{ нм}.$

## Вариант 2

27.

1) Свет, падающий на пластину, можно представить как поток фотонов с энергией  $E_\phi = h\nu$ . Частота зеленого света больше, чем красного, следовательно, энергия фотонов зеленого света больше, чем красного.

2) Мощность светового излучения, падающего на пластину,  $P = E_\phi \frac{\Delta N}{\Delta t}$ , где  $\Delta t$  — интервал времени измерения (например,  $\Delta t = 1 \text{ с}$ );  $\Delta N$  — число фотонов, упавших на пластину за это время. В данном случае  $P_1 = P_2$ ,  $E_{\phi 1} > E_{\phi 2}$ , откуда  $\frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = \frac{E_{\phi 1}}{E_{\phi 2}} > 1$ .

Следовательно, число фотонов увеличится.

Ответ: число фотонов увеличится.

28.

1) Запишем закон изменения механической энергии:  $mgH - \frac{mv^2}{2} = \Delta E$ , где  $v$  — скорость шайбы в точке В.

2) Запишем законы движения шайбы из точки В в точку D в системе отсчета с началом координат в точке В:

$$y = v \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0, \quad x = v \cos \alpha \cdot t = BD.$$

3) Объединяя 1) и 2), получим  $BD = 2 \left( H - \frac{\Delta E}{mg} \right) \sin 2\alpha$ .

Отсюда:  $\Delta E = mg \left( H - \frac{BD}{2 \sin 2\alpha} \right)$ .

Ответ:  $\Delta E = mg \left( H - \frac{BD}{2 \sin 2\alpha} \right) = 2 \text{ Дж}.$

29.

1) На участках 2–3 и 4–1 газ не обменивается теплом с окружающими телами, так как это по условию адиабатические процессы. Газ получает тепло на участке 1–2 (изобарический нагрев) и отдает на участке 3–4 (изохорическое охлаждение).

2) По определению КПД цикла равен  $\eta = 1 - \frac{|Q_X|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_{34}|}{Q_{12}}$ , где  $Q_X = Q_{34}$  — отданное тепло, а  $Q_H = Q_{12}$  — полученное тепло.

3) По первому закону термодинамики  $|Q_{34}| = \Delta U_{34} + A_{34} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_4)$ .

4) Объединяя записанные выражения, получим  $\eta = 1 - \frac{3\nu R(T_3 - T_4)}{2Q_{12}}$ .

Откуда окончательно найдем

$$Q_{12} = \frac{3\nu R(T_3 - T_2)}{2(1 - \eta)} = \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 265}{2 \cdot 0,85} = 3886,15 \approx 3886 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $Q_{12} = \frac{3\nu R(T_3 - T_2)}{2(1 - \eta)} \approx 3886 \text{ Дж.}$

30.

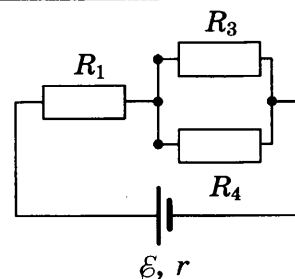
1) После перегорания резистора  $R_2$  данную электрическую схему можно заменить эквивалентной схемой (см. рис.). Тогда сопротивление внешней цепи  $R_0 = R + \frac{R}{2} = 1,5R$ .

2) По закону Ома для полной цепи сила тока, текущего через источник в схеме,  $I = \frac{\mathcal{E}}{1,5R + r}$ .

3) Сила тока, текущего через резистор  $R_1$ , равна силе тока, текущего через источник. По закону Джоуля–Ленца мощность, выделяющаяся на нем,

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(1,5R + r)^2} \approx 236 \text{ Вт.}$$

Ответ:  $P = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(1,5R + r)^2} \approx 236 \text{ Вт.}$



31.

1) При изменении магнитного потока через площадь рамки в ней возникнет ЭДС индукции, равная

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

2) Скорость изменения проекции вектора индукции магнитного поля  $B_n$  на перпендикуляр к плоскости рамки определим из графика: за время  $\Delta t_1$  от 0 до 2 с  $\left(\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\right)_1 = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ Тл/с}$ ; за время  $\Delta t_1$  от 2 до 10 с  $\left(\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\right)_2 = -\frac{1}{8} = -0,125 \text{ Тл/с}$ .

3) Согласно закону Джоуля–Ленца в рамке выделится количество теплоты

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{(\mathcal{E}_1^2)}{R} \Delta t_1 + \frac{(\mathcal{E}_2^2)}{R} \Delta t_2 = \frac{\Delta t_1}{R} \left( \left( \frac{\Delta B_n}{\Delta t} \right)_1 S \right)^2 + \frac{\Delta t_2}{R} \left( \left( \frac{\Delta B_n}{\Delta t} \right)_2 S \right)^2.$$

4) Так как площадь рамки равна  $S = l^2$ , то получим

$$R = \frac{l^4}{Q} \left( \left( \frac{\Delta B_n}{\Delta t} \right)_1^2 \Delta t_1 + \left( \frac{\Delta B_n}{\Delta t} \right)_2^2 \Delta t_2 \right) = \frac{10^{-4}}{10^{-4}} (0,09 \cdot 2 + 0,015625 \cdot 8) \approx 0,3 \text{ Ом}.$$

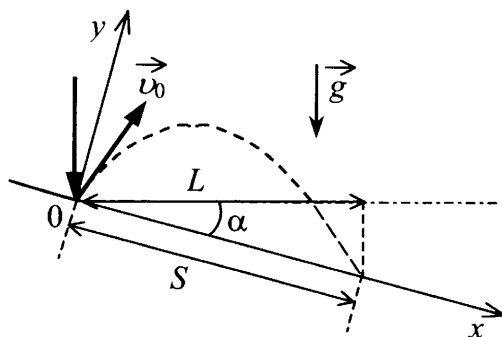
Ответ:  $R = \frac{l^4}{Q} \left( \left( \frac{\Delta B_n}{\Delta t} \right)_1^2 \Delta t_1 + \left( \frac{\Delta B_n}{\Delta t} \right)_2^2 \Delta t_2 \right) \approx 0,3 \text{ Ом}.$

## Механика

### Кинематика

| 1  | 2   | 3    | 4  | 5  | 6  | 7 | 8            | 9            |
|----|-----|------|----|----|----|---|--------------|--------------|
| 40 | 2,5 | -2,5 | 32 | 13 | 13 | 3 | 34 или<br>43 | 14 или<br>41 |

10.



1) Законы движения шарика имеют вид:

$$x = v_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2}, \quad y = v_0 \cos \alpha \cdot t - \frac{g \cos \alpha \cdot t^2}{2}.$$

2) В момент второго соударения шарика с плоскостью  $x = S, y = 0$ ,

$$\Rightarrow \begin{cases} S = v_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2} & (1) \\ 0 = v_0 \cos \alpha \cdot t - \frac{g \cos \alpha \cdot t^2}{2} & (2) \end{cases}$$

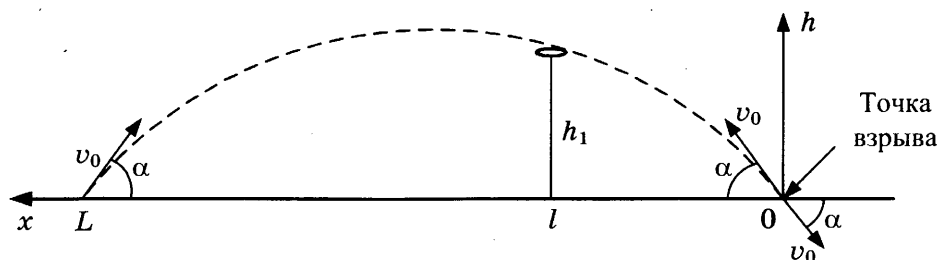
3) Совместное решение (1) и (2) приводит к  $t = \frac{2v_0}{g}$  и  $S = \frac{4v_0^2 \sin \alpha}{g}$ .

Из рисунка видно, что  $L = S \cos \alpha = \frac{2v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \approx 0,173 \text{ м}.$

Ответ:  $L \approx 0,173 \text{ м}.$

11.

1) Если из точки взрыва выпустить воображаемый снаряд обратно со скоростью  $\vec{v}_0$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту, то он полетит по той же траектории (параболе) и упадет в точку вылета (см. рис.), поскольку сопротивление воздуха отсутствует.



2) В выбранной системе координат

$$l = v_0 t_1 \cos \alpha; h_1 = v_0 t_1 \sin \alpha - \frac{1}{2} g t_1^2,$$

где  $t_1 = 3$  с — время полета до этой точки обнаружения снаряда,  $l = 1700$  м и  $h = h_1$  — координаты этой точки.

3) Запишем закон движения снаряда:  $h = v_0 t \sin \alpha - \frac{1}{2} g t^2$ .

Время полета  $\tau$  снаряда определяется из условия  $h = 0$  при  $t = \tau$ .

4) Объединяя 1), 2) и 3), получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_1 + \frac{1}{2} g t_1^2}{l} = \frac{1655 + 5 \cdot 9}{1700} = 1, \alpha = 45^\circ; \tau = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot l}{g t_1} \approx 113 \text{ с.}$$

Ответ:  $\tau \approx 113$  с.

## Динамика

| 1 | 2   | 3 | 4  | 5    | 6  | 7 | 8   | 9  | 10 |
|---|-----|---|----|------|----|---|-----|----|----|
| 2 | 2,5 | 8 | 42 | 0,25 | 15 | 5 | 0,4 | 32 | 22 |

11.

1) На груз действуют сила натяжения нити  $\vec{T}$  и сила тяжести  $m\vec{g}$ , как указано на рисунке.

2) В инерциальной системе отсчета, связанной с Землей, ускорение тела определяется вторым законом Ньютона:

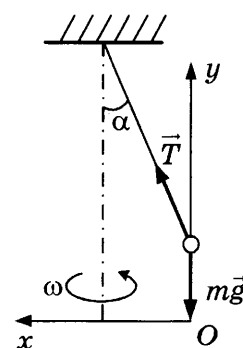
$$m a_x = T \sin \alpha, \quad 0 = T \cos \alpha - mg.$$

Здесь  $a_x = \frac{v^2}{l \sin \alpha}$  — центростремительное ускорение.

3) Решая полученную систему, получим

$$v = \sqrt{\frac{g l \sin^2 \alpha}{\cos \alpha}} = 1,5 \text{ м/с.}$$

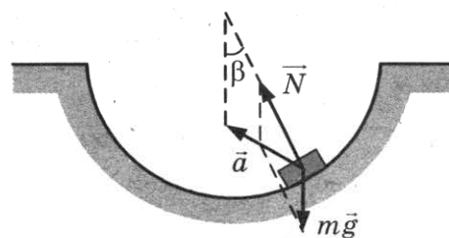
Ответ:  $v = \sqrt{\frac{g l \sin^2 \alpha}{\cos \alpha}} = 1,5 \text{ м/с.}$





12.

1) К шайбе приложены сила тяжести,  $m\vec{g}$ , направленная вертикально вниз, и сила реакции опоры  $\vec{N}$ , направленная по радиусу вверх. Ускорение шайбы  $\vec{a}$  направлено внутрь траектории левее направления силы  $\vec{N}$  (см. рис.).



2) В промежуточной точке скорость шайбы  $\vec{v} \neq 0$ , поэтому у шайбы есть центростремительное ускорение  $\vec{a}_n \neq 0$ , направленное к центру окружности, по которой движется шайба.

3) Проекция ускорения шайбы на касательную к окружности равна по модулю  $g \sin \beta$ . Поэтому у шайбы есть касательная составляющая ускорения  $\vec{a}_\tau \neq 0$ , направленная в сторону нижней точки сферы.

4) Ускорение шарика  $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$  направлено внутрь сферической поверхности левее направления силы  $\vec{N}$ .

Ответ: ускорение шарика направлено внутрь сферической поверхности левее направления силы  $\vec{N}$ .

13.

1) Если масса  $m$  достаточно велика, но грузы еще покоятся, то сила трения покоя, действующая на груз массой  $M$ , направлена вниз вдоль наклонной плоскости (см. рис.).

2) Будем считать систему отсчета, связанную с наклонной плоскостью, инерциальной. Запишем второй закон Ньютона для каждого из покоящихся тел в проекциях на оси введенной системы координат:

$$\left. \begin{aligned} O_1 x_1 : T_1 - Mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} &= 0 \\ O_1 y_1 : N - Mg \cos \alpha &= 0 \\ O_2 y_2 : mg - T_2 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Учтем, что

$$\begin{aligned} T_1 &= T_2 = T \text{ (нить легкая, между блоком и нитью трения нет),} \\ F_{\text{тр}} &\leq \mu N \text{ (сила трения покоя).} \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} T &= mg, \\ F_{\text{тр}} &= mg - Mg \sin \alpha, \\ N &= Mg \cos \alpha \end{aligned}$$

и мы приходим к неравенству

$$mg - Mg \sin \alpha \leq \mu Mg \cos \alpha$$

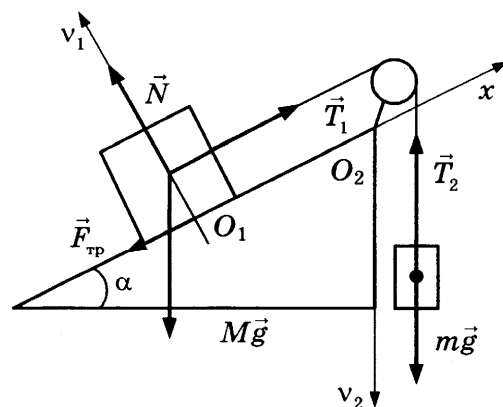
с решением

$$m \leq M(\sin \alpha + \mu \cos \alpha).$$

Таким образом,

$$m_{\text{max}} = M(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \approx 0,76 \text{ кг.}$$

Ответ:  $m_{\text{max}} = M(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \approx 0,76 \text{ кг.}$



## Импульс, механическая энергия, работа, мощность

| 1 | 2  | 3  | 4   | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 |
|---|----|----|-----|---|---|---|----|----|----|----|
| 4 | 20 | 44 | 100 | 4 | 3 | 4 | 20 | 20 | 31 | 43 |

12.

1) Сила давления пороховых газов  $F = pS$ , где  $p$  — среднее давление пороховых газов,  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  — площадь поперечного сечения ствола,  $d$  — диаметр ствола.

2) Кинетическая энергия вылетевшего снаряда  $W = \frac{mv^2}{2}$ , где  $m$  — масса снаряда,  $v$  — его скорость.

3) Работа силы давления пороховых газов  $A = Fl$ , где  $l$  — длина ствола.

4) Согласно закону изменения механической энергии  $W = A$ .

Объединяя соотношения 1)–3), получаем  $l = \frac{2mv^2}{\pi d^2 p}$ .

Ответ:  $l = \frac{2mv^2}{\pi d^2 p} \approx 2,8$  м.

13.

1) Импульс системы тел «доска — шайба» относительно Земли сохраняется:  $mv_0 = (M + m)v$ , где  $v$  — скорость шайбы и доски после того, как шайба перестала скользить по доске.

2) Сила трения, действующая на доску со стороны шайбы, постоянна и равна  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

3) Под действием этой силы доска движется с ускорением  $a = \mu \frac{m}{M} g$  и достигает скорости  $v$  за время  $\tau = \frac{v}{a} = \frac{Mv}{\mu mg} = \frac{Mv_0}{\mu g(M + m)}$ .

Ответ:  $\tau = \frac{Mv_0}{\mu g(M + m)} = 0,8$  с.

14.

1) Запишем закон сохранения механической энергии для снаряда:

$$mgh = \frac{mv_0^2}{2},$$

где  $h$  — высота подъема снаряда,  $m$  — масса снаряда.

2) Запишем закон сохранения импульса для вертикальных компонент скоростей осколков:  $0 = m_1v_1 + m_2v_2$ , где  $v_1$  и  $v_2$  — скорости первого и второго осколков сразу после разрыва снаряда.

3) Запишем закон сохранения механической энергии для первого осколка:

$$m_1gh + \frac{m_1v_1^2}{2} = \frac{m_1(2v_0)^2}{2}.$$

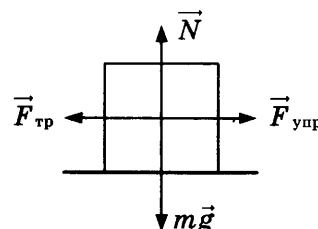
4) Высоту подъема меньшего осколка  $m_2$  определим из закона сохранения механической энергии:  $m_2gh_{\max} = m_2gh + \frac{m_2v_2^2}{2}$ .

5) Объединяя 1)–4), получим:  $h_{\max} = \frac{13v_0^2}{2g} = 65 \text{ м.}$

Ответ:  $h_{\max} = \frac{13v_0^2}{2g} = 65 \text{ м.}$

15.

1) Найдем максимальное сжатие пружины  $b$ , при котором груз еще покоится на столе. В случае сжатой пружины на груз действуют силы, показанные на рисунке (сама пружина не показана). При максимальном сжатии пружины имеем



$$kb = F_{\text{тр. max}} = \mu N = \mu mg.$$

Отсюда  $b = \frac{\mu mg}{k}$ .

2) Изменение механической энергии системы тел «груз + пружина» при переходе из начального состояния в конечное равно работе силы трения скольжения:  $\frac{kb^2}{2} - \frac{kd^2}{2} = -\mu mg(d + b)$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим  $d = \frac{3\mu mg}{k}$ .

Отсюда  $\mu = \frac{kd}{3mg} = 0,25$ .

Ответ:  $\mu = \frac{kd}{3mg} = 0,25$ .

16.

1) Высоту подъема снаряда  $h$  можно определить, используя закон сохранения механической энергии, записанный для снаряда в начальный момент и в момент разрыва:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh. \quad (1)$$

2) Из закона сохранения механической энергии, записанного для первого осколка в момент разрыва и в момент падения на землю, можно определить начальную скорость  $v_1$  первого осколка:

$$\frac{m_1(u_1)^2}{2} = m_1gh + \frac{m_1v_1^2}{2}. \quad (2)$$

3) Скорость второго осколка после разрыва снаряда может быть определена из закона сохранения импульса:

$$0 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2. \quad (3)$$

4) Для определения скорости второго осколка  $u_2$  при падении его на землю воспользуемся законом сохранения механической энергии:

$$m_2 gh + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_2 u_2^2}{2}. \quad (4)$$

5) Из (1) и (2) определим  $h = \frac{v_0^2}{2g}$ ,  $v_1 = \sqrt{u_1^2 - 2gh} = \sqrt{u_1^2 - v_0^2}$ . Из (3) получим  $\vec{v}_2 = \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1 = \frac{\vec{v}_1}{2}$ . Тогда определим из (4)

$$u_2^2 = 2gh + v_2^2 = 2gh + \frac{v_1^2}{4} = v_0^2 + \frac{u_1^2 - v_0^2}{4} = \frac{3v_0^2 + u_1^2}{4},$$

$$u_2 = \frac{\sqrt{3v_0^2 + u_1^2}}{2} = 13,2 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $u_2 = \frac{\sqrt{3v_0^2 + u_1^2}}{2} = 13,2 \text{ м/с.}$

### Статика, гидростатика

| 1   | 2  | 3  | 4 | 5 | 6  | 7  | 8   |
|-----|----|----|---|---|----|----|-----|
| 0,4 | 10 | 40 | 1 | 5 | 21 | 14 | 0,7 |

9.

1) Шарик и жидкости неподвижны в ИСО, связанной с Землей. В этом случае, как следует из второго закона Ньютона, сила Архимеда, действующая на шарик, уравновешивает действующую на него силу тяжести:

$$\rho_1 V_1 g + \rho_2 V_2 g = \rho (V_1 + V_2) g$$

(здесь  $V_1$  и  $V_2$  — соответственно объемы шарика, находящиеся выше и ниже границы раздела).

2) Доли объема шарика, находящиеся выше и ниже границы раздела жидкостей, связаны соотношением

$$\frac{V}{V_1 + V_2} = 1.$$

3) По условию задачи  $\frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{1}{4}$ .

Объединяя 1), 2) и 3), получим:  $\rho = \frac{1}{4}(\rho_1 + 3\rho_2) = \frac{7}{4}\rho_1 = 700 \text{ кг/м}^3$ .

Ответ:  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ .

10.

1) Систему отсчета, связанную с Землей, считаем инерциальной.

Поскольку трение шара о стенку отсутствует, линия действия силы натяжения нити будет проходить через центр шара.

2) Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси  $Ox$  и  $Oy$  в виде:

$$0x : N - T \sin \alpha = 0; \quad (1)$$

$$0y : mg - T \cos \alpha - F_A = 0 \quad (2)$$

3) Объем шара  $V = \frac{m}{\rho}$ .

Величина выталкивающей силы  $F_A$  в соответствии с законом Архимеда:

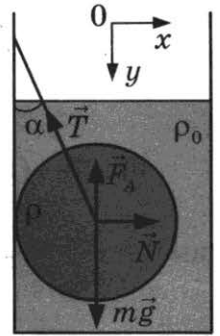
$$F_A = \rho_0 g V = mg \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  — плотность воды.

4) Решая систему уравнений, получим:

$$T = \frac{mg(\rho - \rho_0)}{\rho \cos \alpha} = \frac{4 \cdot 10 \cdot (11\,300 - 1000)}{11\,300 \cdot 0,866} \approx 42 \text{ Н.}$$

Ответ:  $T \approx 42 \text{ Н.}$



11.

1) Направим ось  $x$  декартовой системы координат вертикально вверх. Запишем второй закон Ньютона для груза в проекции на выбранную ось:

$$mg - T_1 = 0, \quad (1)$$

где  $T_1$  — сила натяжения нити до погружения системы в жидкость,  $m$  — масса груза.

2) Для случая, когда система погружена в жидкость, с учетом силы Архимеда:

$$mg - T_2 - \rho g V = 0. \quad (2)$$

3) С помощью уравнений (1)–(2) определим изменение силы натяжения нити:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = -\rho V g.$$

Ответ:  $\Delta T = -\rho V g.$

### Механические колебания, волны

| 1  | 2  | 3  | 4    | 5   | 6  | 7   | 8 | 9  | 10 |
|----|----|----|------|-----|----|-----|---|----|----|
| 11 | 32 | 25 | 0,25 | 800 | 25 | 0,8 | 3 | 10 | 31 |

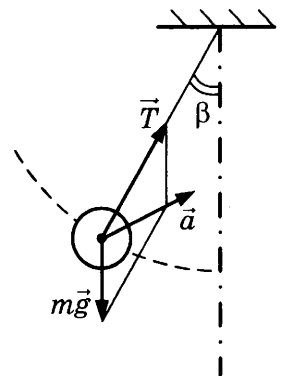
11.

1) К шарiku приложены сила тяжести  $m\vec{g}$ , направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити  $\vec{T}$ , направленная по нити вверх. Ускорение шарика  $\vec{a}$  направлено внутрь траектории правее направления силы  $\vec{T}$  (см. рис.).

2) В промежуточной точке скорость шарика  $\vec{v} \neq 0$ , поэтому у шарика есть центростремительное ускорение  $\vec{a}_{ц} \neq 0$ , направленное к центру окружности, по которой движется шарик.

3) Проекция ускорения шарика на касательную к окружности равна по модулю  $g \sin \beta$ . Поэтому у шарика есть касательная составляющая ускорения  $a_{\tau} \neq 0$ , направленная в сторону положения равновесия.

4) Ускорение шарика  $\vec{a} = \vec{a}_{ц} + \vec{a}_{\tau}$  направлено внутрь траектории правее направления силы  $\vec{T}$ .



# Молекулярная физика и термодинамика

## Молекулярно-кинетическая теория, идеальный газ, изопроцессы

| 1  | 2   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8         |
|----|-----|----|----|----|----|----|-----------|
| 42 | 150 | 23 | 11 | 33 | 43 | 23 | 15 или 51 |

9.

1) В соответствии с законами Бойля–Мариотта и Дальтона (примененными к парциальным давлениям газов во втором и третьем сосудах) суммарное давление этих газов после закрывания второго крана равно

$$p/2 + 2p/2 = 3p/2.$$

2) Аналогично этому давление в первом и втором сосудах после закрывания первого крана равно

$$3p/2 + 3p/4 = 2,25p.$$

Это означает, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, что количество газа в первом сосуде в итоге уменьшилось.

*Ответ:* Количество газа в первом сосуде уменьшилось.

10.

1) Запишем уравнения состояния газа для верхней и нижней частей:

$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu RT, \\ p_2 V_2 &= \nu RT, \end{aligned}$$

где  $V_1$  и  $V_2$  — объемы верхней и нижней частей.

$$2) V_1 = S(H - h), V_2 = Sh,$$

где  $S$  — сечение поршня,  $H$  — высота сосуда,  $h$  — высота, на которой находится поршень.

3) Условие равновесия поршня

$$p_1 S + mg - p_2 S = 0,$$

где  $m$  — масса поршня.

4) Объединяя 1), 2) и 3), получим соотношение для количества молей газа.

$$\nu = \frac{mg}{RT \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{H-h} \right)} \approx 0,022 \text{ моль.}$$

$$\text{Ответ: } \nu = \frac{mg}{RT \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{H-h} \right)} \approx 0,022 \text{ моль.}$$

## Термодинамика

| 1  | 2 | 3 | 4  | 5  | 6 | 7  | 8  | 9  |
|----|---|---|----|----|---|----|----|----|
| 42 | 5 | 9 | 31 | 40 | 3 | 40 | 41 | 22 |

10.

1) При медленном охлаждении газа его можно все время считать равновесным, поэтому можно пользоваться уравнением Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$  и выражением для внутренней энергии одноатомного идеального газа

$$U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV.$$

2) Поршень движется медленно, сил трения между поршнем и стенками сосуда нет, поэтому давление газа постоянно и равно давлению окружающего воздуха.

3) Запишем первое начало термодинамики для изобарного сжатия газа:

$$A_{\text{внешн}} = \Delta U + |Q|,$$

где  $A_{\text{внешн}} = pSx$  — работа внешних сил,  $\Delta U = \frac{3}{2} p\Delta V = -\frac{3}{2} pSx$  — изменение внутренней энергии газа,  $|Q|$  — количество теплоты, отведенное от газа.

4) Объединяя 1)–3), получим  $|Q| = \frac{5}{2} pSx$ , откуда  $x = \frac{2|Q|}{5pS} = 8$  см.

Ответ:  $x = \frac{2|Q|}{5pS} = 8$  см.

11.

1) Изобразим процесс на  $p$ – $V$ -диаграмме и обозначим давления и объемы газа в состояниях 1 и 2 через  $(p_1, V_1)$  и  $(p_2, V_2)$  соответственно. Температуру газа в состоянии 1 обозначим через  $T_1$ , а в состоянии 2 — через  $T_2$ .

2) Изменение внутренней энергии газа равно

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

Совершенная газом работа равна площади трапеции под графиком процесса на  $p$ – $V$ -диаграмме:

$$A_{12} = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

3) Из первого закона термодинамики следует, что полученное газом количество теплоты

$$Q = \Delta U_{12} + A_{12} = 2(p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

4) Из графика процесса следует, что  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$ .

Поэтому  $\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$  и  $Q = 2p_1 V_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1\right) = 2\nu RT_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1\right)$ .

5) Отношение плотностей газа массой  $m$  в состояниях 1 и 2 равно

$$\alpha = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m/V_1}{m/V_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Поэтому  $Q = 2\nu RT_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1\right) = 2\nu RT_1 (\alpha^2 - 1) = 9972$  Дж.

Ответ:  $Q = 2\nu RT_1 (\alpha^2 - 1) = 9972$  Дж.

12.

1) При изобарном расширении на участке 1–2 газ получает от нагревателя количество теплоты  $Q_{12}$ , а на участке 3–4 отдает холодильнику в изохорном процессе количество теплоты  $Q_{34}$ . На других участках теплообмен отсутствует.

2) КПД теплового двигателя

$$\eta = \frac{A}{Q_{12}} = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{12}}.$$

3) Количество теплоты  $Q_{12}$ , полученное на участке 1–2, равно

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12},$$

где изменение внутренней энергии  $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} R\Delta T_{12}$ ,

а работа газа  $A_{12} = p_1(V_2 - V_1) = R\Delta T_{12}$ .

4) Количество теплоты  $Q_{34}$ , отданное на участке 3–4, равно уменьшению внутренней энергии газа на этом участке:

$$Q_{34} = |\Delta U_{34}| = \frac{3}{2} R|\Delta T_{34}|.$$

5) Объединяя 1)–4), получим  $\eta = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{12}} = 1 - \frac{3|\Delta T_{34}|}{5\Delta T_{12}}$ .

Отсюда находим  $\frac{\Delta T_{12}}{|\Delta T_{34}|} = \frac{3}{5(1 - \eta)} = 1,2$ .

Ответ:  $\frac{\Delta T_{12}}{|\Delta T_{34}|} = \frac{3}{5(1 - \eta)} = 1,2$ .

### Агрегатные состояния вещества

| 1   | 2   | 3   | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|-----|-----|-----|---|----|----|----|----|----|
| 550 | 1,4 | 500 | 0 | 42 | 31 | 50 | 23 | 23 |

10.

1) Относительная влажность равна  $\varphi = \frac{p}{p_{\text{нп}}} 100\%$ . В начальном состоянии парциальное давление пара в сосуде было равно

$$p_1 = \frac{\varphi}{100\%} p_{\text{нп}} = 0,4 p_{\text{нп}},$$

где  $p_{\text{нп}}$  — давление насыщенного пара.

2) Согласно уравнению Клапейрона—Менделеева

$$p_1 = \frac{m_0}{MV} RT,$$

где  $T$  — температура пара,  $V$  — объем сосуда,  $M$  — молярная масса воды,  $m_0$  — начальная масса водяного пара в сосуде.

3) После сжатия пар стал насыщенным, а его масса уменьшилась до  $m_1$ :

$$p_2 = p_{\text{нп}} = \frac{m_1}{M(V/5)} RT.$$



4) Объединяя 1), 2) и 3), получаем  $\alpha = \frac{m_0 - m_1}{m_0} = 0,5$ .

Ответ:  $\alpha = 0,5$ .

11.

1) Количество теплоты, полученное при нагревании льда, находящегося в калориметре, до температуры  $0^\circ\text{C}$ :

$$Q_1 = c_1 m_1 (0 - t_1).$$

2) Количество теплоты, полученное льдом при его таянии при  $0^\circ\text{C}$ :

$$Q_2 = \lambda m_1.$$

3) Количество теплоты, отданное водой при охлаждении ее до  $0^\circ\text{C}$ :

$$Q = c_2 m_2 (t_2 - 0).$$

4) Уравнение теплового баланса:  $Q = Q_1 + Q_2$ .

5) Объединяя 1)–4), получим  $m_1 = \frac{m_2 c_2 (t_2 - 0)}{c_1 (0 - t_1) + \lambda} \approx 1 \text{ кг}$ .

Ответ:  $m_1 = \frac{m_2 c_2 (t_2 - 0)}{c_1 (0 - t_1) + \lambda} \approx 1 \text{ кг}$ .

## Электродинамика

### Электростатика

| 1     | 2     | 3 | 4               | 5               | 6  | 7   | 8 | 9   | 10   | 11  | 12  | 13 | 14 | 15 |
|-------|-------|---|-----------------|-----------------|----|-----|---|-----|------|-----|-----|----|----|----|
| вверх | влево | 3 | 24<br>или<br>42 | 14<br>или<br>41 | 40 | 100 | 5 | 0,5 | 0,75 | 270 | 110 | 50 | 23 | 11 |

16.

1) В конденсаторе со стороны поля на частицу действует сила, направленная вертикально вверх и равная по модулю  $F_{\text{эл}} = Eq$ .

2) Согласно второму закону Ньютона  $F_{\text{эл}} = ma$ , где  $a$  — модуль ускорения частицы.

3) По закону равноускоренного движения для того, чтобы пролететь конденсатор, ускорение частицы должно быть равно

$$a = \frac{2(d/2)}{t^2} = \frac{d}{t^2},$$

где  $d$  — расстояние между пластинами.

4) Движение частицы по горизонтали является равномерным, поэтому  $v = \frac{l}{t}$ , где  $l$  — длина пластин конденсатора.

Объединяя 1)–4) и используя связь модуля напряженности электрического поля с напряжением на пластинах конденсатора  $E = \frac{U}{d}$ , получим:  $v = \frac{l}{d} \sqrt{\frac{U|q|}{m}} = 30 \text{ м/с}$ .

Ответ:  $v = \frac{l}{d} \sqrt{\frac{U|q|}{m}} = 30 \text{ м/с}$ .

17.

1) Первоначальный заряд конденсатора  $q = C_1 U$ .

2) В результате перезарядки конденсаторов после замыкания ключа их заряды равны соответственно

$$q_1 \text{ и } q_2, \text{ причем } q_1 + q_2 = C_1 U \quad (1)$$

(по закону сохранения электрического заряда).

3) В результате перезарядки на конденсаторах устанавливаются одинаковые напряжения, ток в цепи прекращается, и напряжение на резисторе  $R$  становится равным нулю. Поэтому

$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}. \quad (2)$$

4) По закону сохранения энергии выделившееся в цепи количество теплоты равно разности значений энергии конденсаторов в начальном и конечном состояниях:

$$Q = \frac{C_1 U^2}{2} - \left( \frac{q_1^2}{2C_1} + \frac{q_2^2}{2C_2} \right). \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1)–(3), получаем:

$$U = \sqrt{\frac{2Q(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}} = 300 \text{ В}. \quad (4)$$

Ответ:  $U = 300 \text{ В}$ .

### Постоянный ток

| 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11  | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|---|---|---|---|----|---|---|---|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 0,75 | 2 | 8 | 1 | 3 | 16 | 5 | 2 | 7 | 3  | 1,5 | 6  | 2  | 10 | 23 | 22 | 42 |

18.

1) Конденсатор, подключенный к источнику постоянного напряжения, будет заряжаться. В результате этого он приобретает энергию  $W = \frac{CU^2}{2}$ .

2) Электроемкость плоского воздушного конденсатора определяется формулой  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ .

У конденсатора на рисунке *a* площадь пластин  $S$  больше, чем у конденсатора на рисунке *б*, следовательно, его электроемкость больше:  $C_1 > C_2$ , а значит, и энергия, накопленная в нем, больше:  $W_1 > W_2$ .

3) При переводе ключей из положения 1 в положение 2 конденсаторы отключают от источников и соединяют с лампами, в результате чего через лампы кратковременно будет протекать электрический ток. Энергия электрического поля, накопленная конденсатором, выделится в лампе в виде световой энергии, что приведет к кратковременной вспышке лампы. Энергия, накопленная конденсатором  $C_1$ , больше, следовательно, при переключении ключа лампа в схеме на рисунке *a* вспыхнет ярче.

Ответ: лампа в схеме на рисунке *a* вспыхнет ярче.

19.

1) Сопротивление внешней цепи равно  $R_0 = \frac{R_1}{2} + \frac{R_2}{2} = \frac{R_1 + R_2}{2}$ .

2) По закону Ома для полной цепи ток, текущий через источник в цепи,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_0 + r} = \frac{2\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + 2r}.$$

3) Сила тока, текущего через лампу 4, равна половине силы тока, текущего через источник. По закону Джоуля–Ленца мощность, выделяющаяся на лампе 4,

$$P = \left(\frac{I}{2}\right)^2 R_2 = \frac{\mathcal{E}^2 R_2}{(R_1 + R_2 + 2r)^2} = 62,5 \text{ Вт.}$$

Ответ:  $P = \frac{\mathcal{E}^2 R_2}{(R_1 + R_2 + 2r)^2} = 62,5 \text{ Вт.}$

20.

1) При последовательном включении ламп напряжение источника равно сумме напряжений на всех лампах:  $U = 2U_L$

2) Напряжение на одной лампе  $U = 110 \text{ В}$  определяется по графику при силе тока в цепи  $I = 0,35 \text{ А}$ .

3) Отсюда напряжение источника  $U = 2U_L = 220 \text{ В}$ .

Ответ:  $U = 2U_L = 220 \text{ В}$ .

### Магнитное поле и электромагнитная индукция

| 1             | 2    | 3    | 4    | 5             | 6            |
|---------------|------|------|------|---------------|--------------|
| отнаблюдателя | вниз | вниз | вниз | отнаблюдателя | кнаблюдателю |

| 7    | 8  | 9    | 10  | 11 | 12 | 13   | 14 | 15 | 16 | 17        |
|------|----|------|-----|----|----|------|----|----|----|-----------|
| 0,24 | 10 | 1000 | 0,5 | 34 | 21 | 0,04 | 2  | 16 | 6  | 24 или 42 |

| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23        | 24        | 25 | 26 |
|----|----|----|----|----|-----------|-----------|----|----|
| 18 | 31 | 14 | 5  | 21 | 12 или 21 | 15 или 51 | 43 | 32 |

27.

1) При движении перемычки в магнитном поле в контуре возникает ЭДС индукции

$$\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = Blv.$$

2) Согласно закону Ома для замкнутой цепи  $abcd$ :

$$I = \frac{\mathcal{E}}{6R} = \frac{Blv}{6R}.$$

где  $R$  — сопротивление перемычки  $ab$ .

3) Следовательно,

$$U = \mathcal{E} - I \cdot R = \frac{5Blv}{6}.$$

Ответ:  $U = \frac{5Blv}{6}.$

28.

1) Согласно закону сохранения энергии

$\frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{LI^2(t)}{2} + \frac{q^2(t)}{2C}$ , где  $I(t)$  и  $q(t)$  — соответственно сила тока в контуре и заряд конденсатора в момент времени  $t$ ,  $I_{\max}$  — амплитуда силы тока в контуре.

Отсюда  $q^2(t) = LC(I_{\max}^2 - I^2(t))$ .

2) Согласно формуле Томсона период колебаний в контуре  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ .

3) Объединяя 1 и 2, получим:  $q(t) = \frac{T}{2\pi} \sqrt{I_{\max}^2 - I^2(t)}$

4) Из графика находим: период колебаний  $T = 8$  мкс, амплитуду силы тока в контуре  $I_{\max} = 0,6$  А и силу тока в момент времени  $t = 3$  мкс  $I \approx 0,4$  А.

Вычисляем искомый заряд:  $q \approx 0,6$  мкКл.

Ответ:  $q \approx 0,6$  мкКл.

29.

При отодвигании магнита от витка будет меняться магнитный поток поля магнита сквозь виток и в витке возникнет индукционный ток. Согласно правилу Ленца магнитное поле этого тока должно препятствовать движению магнита, поэтому входящие в виток линии индукции этого поля будут направлены со стороны магнита. Для создания такого поля согласно правилу буравчика индукционный ток в цепи витка должен быть направлен против часовой стрелки, а в цепи ламп — от А к Б. Ток такого направления пропускает только диод на участке цепи лампочки 1, она и будет гореть.

Ответ: Загорится лампочка 1.

## Оптика

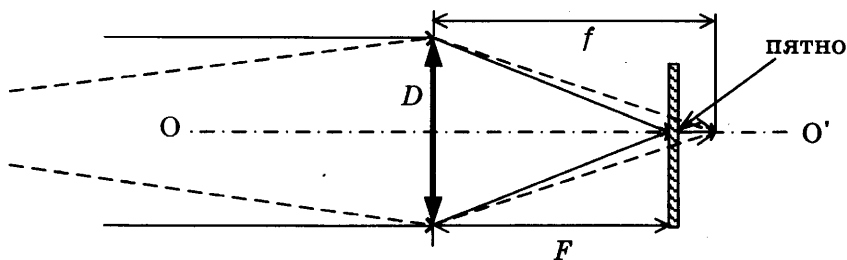
### Геометрическая оптика

| 1  | 2  | 3  | 4   | 5    | 6      | 7  | 8  | 9   | 10  |
|----|----|----|-----|------|--------|----|----|-----|-----|
| 78 | 40 | 24 | 0,6 | 1,25 | 225000 | 13 | 16 | 1,7 | 1,2 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 12 | 1  | 2  | 20 | 20 | 15 | 3  | 3  | 21 |

**20.**

1) Лучи, идущие от предмета на расстоянии  $d$ , собираются на расстоянии  $f$ , которое больше фокусного расстояния, и поэтому образуют на пленке пятно диаметром  $\delta$ . Из подобия треугольников получаем соотношение:



$$\frac{\delta}{D} = \frac{f - F}{f}.$$

2) Из формулы тонкой линзы  $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$  находим  $\frac{f-F}{f} = \frac{F}{d}$ .

3) Объединяя 1) и 2), получаем окончательно:  $D = \frac{\delta d}{F} = 1 \text{ см.}$

Ответ:  $D = \frac{\delta d}{F} = 1 \text{ см.}$

**21.**

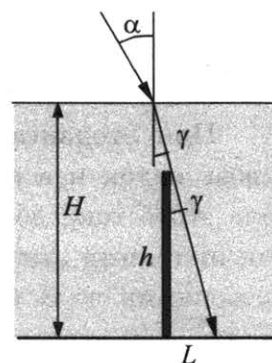
Согласно рисунку, длина тени  $L$  определяется высотой сваи  $h$  и углом  $\gamma$  между сваей и скользящим по ее вершине лучом света:  
 $L = h \cdot \operatorname{tg} \gamma$ .

Этот угол является и углом преломления солнечных лучей на поверхности воды. Согласно закону преломления,  $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n$ ,

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{1}{2n}, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin \gamma}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma}} = \frac{1}{\sqrt{4n^2 - 1}}.$$

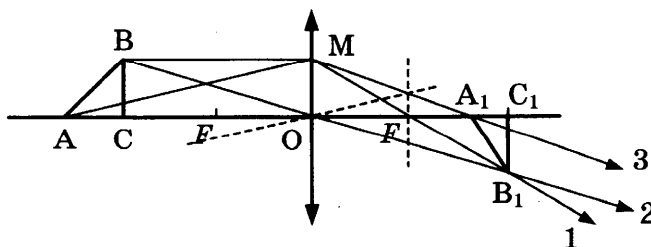
Следовательно,  $L = h \frac{1}{\sqrt{4n^2 - 1}} = \frac{6}{\sqrt{55}} \approx 0,8 \text{ м.}$

**Ответ:**  $L \approx 0,8$  м.



**22.**

Площадь треугольника равна  $S = \frac{1}{2} AC \cdot BC = \frac{a^2}{2}$ , где  $a$  — катет треугольника ABC. Тогда  $a = \sqrt{2S} = 10$  см.



Для построения изображения вершины В проведем из точки В луч, параллельный главной оптической оси (ГОО). После преломления в линзе он пойдет через фокус (луч 1 на рисунке). Луч, вышедший из точки В и проходящий через оптический центр линзы, не преломляется (луч 2 на рисунке). В точке пересечения этих лучей и получается изображение точки В – В<sub>1</sub>. Для построения изображения точки А рассмотрим два луча: один распространяется вдоль ГОО оси линзы и не преломляется, а другой пустим из точки А в точку М. Проведем пунктиром луч, параллельный лучу АМ и проходящий через центр линзы. После преломления в линзе луч АМ пройдет через точку пересечения вспомогательного луча и фокальной плоскости (луч 3 на рисунке). Точка А<sub>1</sub> будет в том месте, где этот луч пересекает ГОО.

Площадь изображения равна  $S_1 = \frac{1}{2} A_1 C_1 \cdot B_1 C_1$ .  $B_1 C_1 = BC = a$  (так как сторона ВС расположена на расстоянии  $2F$  от линзы).  $A_1 C_1 = OC_1 - OA_1$ .  $OC_1 = 2F = 100$  см. Для нахождения  $OA_1$  воспользуемся формулой тонкой линзы  $\frac{1}{F} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{OA_1}$ . Откуда

$$OA_1 = \frac{F \cdot OA}{OA - F} = \frac{F \cdot (2F + a)}{2F + a - F} = \frac{F \cdot (2F + a)}{F + a} = \frac{50 \cdot 110}{60} \approx 91,7 \text{ см.}$$

$$\text{Ответ: } S_1 = \frac{10 \cdot 8,3}{2} \approx 41,5 \text{ см}^2.$$

### Волновая оптика

| 1            | 2            | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 | 11           |
|--------------|--------------|----|----|----|----|----|----|---|----|--------------|
| 23 или<br>32 | 14 или<br>41 | 31 | 21 | 21 | 20 | 15 | 21 | 2 | 4  | 14 или<br>41 |

## Квантовая и ядерная физика

### Строение ядра атома. Изотопы

| 1    | 2    | 3   | 4  | 5    | 6    |
|------|------|-----|----|------|------|
| 2024 | 1413 | 812 | 66 | 3334 | 2145 |

### Ядерные реакции

| 1  | 2  | 3  | 4     | 5    | 6  | 7  | 8  |
|----|----|----|-------|------|----|----|----|
| 37 | 11 | 10 | 82208 | 5785 | 01 | 14 | 21 |

### Радиоактивный распад

| 1  | 2     | 3    | 4     | 5  | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|----|-------|------|-------|----|---|----|----|----|----|----|----|
| 00 | 52108 | 1010 | 98146 | 20 | D | 58 | 78 | 20 | 5  | 22 | 13 |

13.

За время  $\Delta t$  в препарате выделяется количество теплоты  $Q = AE_0 \Delta t$ , где  $A$  — активность препарата,  $E_0$  — энергия  $\alpha$ -частицы,  $\Delta t$  — время.

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера.

Изменение температуры контейнера определяется равенством

$Q = Cm \cdot \Delta T$ , где  $C$  — удельная теплоемкость меди,  $m$  — масса контейнера,  $\Delta T$  — изменение температуры контейнера.

Отсюда  $A = \frac{Cm\Delta T}{E_0\Delta t} \approx 1,6 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$ .

Ответ:  $A = \frac{Cm\Delta T}{E_0\Delta t} \approx 1,6 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$ .

14.

Активность всего объема крови пациента по прошествии времени  $t$  равна  $a(t) = a_0 2^{\frac{t}{T}}$ .

Активность образца крови в момент времени  $t$ :  $a = a(t) \frac{V_0}{V}$ .

Отсюда  $V_0 = V \frac{a \cdot 2^{\frac{t}{T}}}{a_0}$ .

Ответ:  $V_0 \approx 1 \text{ см}^3$ .

### Излучение и поглощение света атомами. Фотоны. Фотоэффект

|     |     |   |     |     |   |     |    |
|-----|-----|---|-----|-----|---|-----|----|
| 1   | 2   | 3 | 4   | 5   | 6 | 7   | 8  |
| 0,5 | 600 | 9 | 3,5 | 3,7 | 3 | 2,9 | 23 |

|    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 23 | 21 | 31 | 42 | 43 | 12 | 23 | 24 |

17.

1) Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}, \text{ где } h \text{ — постоянная Планка, } c \text{ — скорость света в вакууме,}$$

$E_{\text{кин}}$  — максимальная кинетическая энергия электронов.

2)  $E_{\text{кин}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = \frac{p_{\text{max}}^2}{2m_e}$ , где  $m_e$  — масса электрона,  $v_{\text{max}}$  — его максимальная скорость.

3) Объединяя 1 и 2, получим:

$$p_{\text{max}} = \sqrt{2m_e \left( \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)} \approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Ответ:  $p_{\text{max}} \approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .

18.

1) Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu = A + eU$ ,

$2h\nu = A + 4eU$ , где  $A$  — работа выхода электронов из металла.

2) Для красной границы фотоэффекта  $A = \frac{hc}{\lambda_k}$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим  $A = \frac{2}{3} h\nu$ . Тогда для искомой длины волны

$$\nu = \frac{3c}{2\lambda_K} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$$

*Ответ:*  $\nu = \frac{3c}{2\lambda_K} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$

19.

1) Минимальная длина волны соответствует максимальной частоте и энергии фотона:

$$\lambda_0 = \lambda_{41}, \text{ и } \nu_{14} = \frac{c}{\lambda_0}.$$

2)  $\nu_{24} = \frac{c}{\lambda_{24}}; \nu_{32} = \frac{c}{\lambda_{32}}.$

3) Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней. Поэтому

$$\nu_{13} = \nu_{14} - \nu_{24} + \nu_{32} = c \left( \frac{1}{\lambda_{14}} - \frac{1}{\lambda_{24}} + \frac{1}{\lambda_{32}} \right);$$

$$\lambda_{13} = \frac{c}{\nu_{13}} = \frac{\lambda_{14}\lambda_{24}\lambda_{32}}{\lambda_{24}\lambda_{32} - \lambda_{14}\lambda_{32} + \lambda_{14}\lambda_{24}} \approx 3 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

*Ответ:*  $\lambda_{13} = \frac{\lambda_{14}\lambda_{24}\lambda_{32}}{\lambda_{24}\lambda_{32} - \lambda_{14}\lambda_{32} + \lambda_{14}\lambda_{24}} \approx 300 \text{ нм.}$

20.

В серии Лаймана энергия фотона равна  $E_n - E_1$ , где  $n = 2, 3, \dots$ . Аналогично, в серии Бальмера энергия фотона равна  $E_n - E_2$ , где  $n = 3, 4, \dots$ . Длина волны  $\lambda$  фотона связана с его энергией равенством  $\frac{hc}{\lambda} = E$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света. Отсюда следует, что фотону с максимальной длиной волны соответствует минимальная энергия, поэтому:

$$\gamma = \frac{\max \lambda_B}{\max \lambda_L} = \frac{\min \nu_L}{\min \nu_B} = \frac{E_2 - E_1}{E_3 - E_2} = \frac{3/4}{5/36} = 5,4.$$

*Ответ:*  $\gamma = 5,4.$

### Методы научного познания

| 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7       | 8      | 9        | 10     |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|--------|----------|--------|
| 45 или<br>54 | 45 или<br>54 | 14 или<br>41 | 15 или<br>51 | 12 или<br>21 | 25 или<br>52 | 99,40,1 | 1,60,1 | 0,900,01 | 3,00,1 |



## Итоговая работа

| № задания      | Вариант 1 | Вариант 2    | Вариант 3 | Вариант 4 |
|----------------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| <b>Часть 1</b> |           |              |           |           |
| 1              | -7,5      | -2           | 40        | 2         |
| 2              | 320       | 4            | 2         | 16        |
| 3              | 15        | 2            | 1         | 5         |
| 4              | 400       | 4            | 50        | 0,4       |
| 5              | 14 или 41 | 45 или 54    | 25 или 52 | 25 или 52 |
| 6              | 22        | 11           | 13        | 21        |
| 7              | 21        | 14           | 31        | 42        |
| 8              | -273      | 0,25         | 80        | 1         |
| 9              | 60        | 3            | 20        | 50        |
| 10             | 6         | 5            | 20        | 2,5       |
| 11             | 14 или 41 | 45 или 54    | 24        | 24        |
| 12             | 13        | 24           | 13        | 34        |
| 13             | вниз      | кнаблюдателю | влево     | вправо    |
| 14             | 3         | 2            | 4         | 5         |
| 15             | 2         | 6            | 75        | 8         |
| 16             | 35 или 53 | 35 или 53    | 23 или 32 | 23 или 32 |
| 17             | 23        | 11           | 32        | 21        |
| 18             | 43        | 21           | 21        | 14        |
| 19             | 24        | 11           | 42        | 1010      |
| 20             | 200       | 87           | 1         | 3         |
| 21             | 31        | 31           | 21        | 23        |
| 22             | 0         | 0,5000,025   | 0,210,02  | 1,20,1    |
| 23             | 45 или 54 | 14 или 41    | 24 или 42 | 25 или 52 |
| <b>Часть 2</b> |           |              |           |           |
| 24             | 0,01      | 15           | 81        | 30        |
| 25             | 100       | 1            | 2         | 4         |
| 26             | 0,8       | 210          | 660       | 3         |

### Вариант 1

27.

1) При перемещении ползунка вниз сопротивление цепи уменьшается, а сила тока увеличивается в соответствии с законом Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ , где  $R$  — сопротивление внешней цепи.

2) Изменение тока, текущего по первичной обмотке трансформатора, вызывает изменение индукции магнитного поля, создаваемого этой обмоткой. Это приводит к изменению магнитного потока через вторичную обмотку трансформатора.

3) В соответствии с законом индукции Фарадея возникает ЭДС индукции  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

во вторичной обмотке, а следовательно, напряжение  $U$  на ее концах, регистрируемое вольтметром.

4) Когда движок придет в крайнее нижнее положение и его движение прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.

*Ответ:* во время перемещения движка реостата показания амперметра будут увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки; когда движок придет в крайнее нижнее положение и его движение прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.

28.

1) Импульс системы тел «доска-шайба» относительно Земли сохраняется:

$$mv_0 = (M + m)v,$$

где  $v$  — скорость шайбы и доски после того, как шайба перестала скользить по доске.

2) Сила трения, действующая на доску со стороны шайбы, постоянна и равна  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

3) Под действием этой силы доска движется с ускорением  $a = \mu \frac{m}{M} g$  и достигает скорости  $v$  за время

$$\tau = \frac{v}{a} = \frac{Mv}{\mu mg} = \frac{Mv_0}{\mu g(M + m)}.$$

$$\text{Отсюда: } m = M \left( \frac{v_0}{\mu g \tau} - 1 \right) = 2 \left( \frac{2}{0,2 \cdot 10 \cdot 0,8} - 1 \right) = 0,5 \text{ кг.}$$

$$\text{Ответ: } m = M \left( \frac{v_0}{\mu g \tau} - 1 \right) = 0,5 \text{ кг.}$$

29.

1) Пробка выскочит, если сила, с которой газ давит изнутри на пробку, превысит суммарную силу атмосферного давления и трения пробки о края отверстия, т.е. когда давление газа превысит атмосферное давление на величину  $\Delta p = \frac{F}{s}$ , откуда  $s = \frac{F}{\Delta p}$ .

2) Поскольку объем  $V$  газа не меняется, то, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,  $V \cdot \Delta p = \nu R \cdot \Delta T$ , где  $\nu$  — количество газообразного вещества.

3) Согласно первому закону термодинамики  $Q = \Delta U + A = \Delta U$ , так как  $A = 0$ .

4) Для идеального одноатомного газа  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \cdot \Delta T$ .

5) Объединяя 1)–4), находим  $s = \frac{3FV}{2Q} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

$$\text{Ответ: } s = \frac{3FV}{2Q} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

30.

1) При пересечении рамкой границы области поля со скоростью  $v$  изменяющийся магнитный поток создает ЭДС индукции  $|\mathcal{E}_{\text{инд}}| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = vBb$ . Сила тока в это время  $I = \frac{|\mathcal{E}_{\text{инд}}|}{R} = \frac{vBb}{R}$ .

При этом возникает тормозящая сила Ампера  $F_A = IBb = v \frac{(Bb)^2}{R}$ , равная по модулю внешней силе:  $F = F_A$ .

2) Ток течет в рамке только во время изменения магнитного потока, т.е. при входе в пространство между полюсами и при выходе. За это время рамка перемещается на расстояние  $x = 2b$ , а приложенная внешняя сила совершает работу  $A = F \cdot x = 2Fb$ .

3) Для сопротивления получим:

$$R = 2v \frac{B^2 b^3}{A} = 2 \cdot 1 \frac{1 \cdot 125 \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 0,1 \text{ Ом.}$$

Ответ:  $R = 2v \frac{B^2 b^3}{A} = 0,1 \text{ Ом.}$

31.

1) Для энергии одного фотона запишем  $E_{\text{фот}} = h\nu_{\text{гр}} = h \frac{c}{\lambda}$ , где  $c$  — скорость света в вакууме.

2) Энергия, излучаемая указкой за указанное время,  $E = P \cdot t$ .

3) Число излученных фотонов равно

$$N = \frac{E}{E_{\text{фот}}} = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c} \approx 6 \cdot 10^{15}.$$

Ответ:  $N = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c} \approx 6 \cdot 10^{15}.$

## Вариант 2

27.

1) Конденсатор, подключенный к источнику постоянного напряжения, будет заряжаться. В результате этого он приобретает энергию  $W = \frac{CU^2}{2}$ .

2) Электроемкость плоского воздушного конденсатора определяется формулой  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ .

У конденсатора на рисунке б расстояние между пластинами  $d$  больше, чем у конденсатора на рисунке а, следовательно, его электроемкость меньше:  $C_2 < C_1$ , а значит, и энергия, накопленная в нем, меньше:  $W_2 < W_1$ .

3) При переводе ключей из положения 1 в положение 2 конденсаторы отключают от источников и соединяют с лампами, в результате чего через лампы кратковременно будет протекать электрический ток. Энергия электрического поля, накопленная конденсатором, выделится в лампе в виде световой энергии, что приведет к кратковременной вспышке лампы. Энергия, накопленная конденсатором  $C_1$ , больше, следовательно, при переключении ключа лампа в схеме на рис. а вспыхнет ярче.

Ответ: лампа в схеме на рисунке а вспыхнет ярче.

28.

1) Запишем закон сохранения импульса  $m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ , где  $v_1'$  — скорость первого бруска после удара,  $v_2'$  — скорость второго бруска после удара.

2) Запишем закон сохранения механической энергии:  $\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим  $v_1' = \frac{(m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2} = 1 \text{ м/с}$ .

Ответ:  $v_1' = \frac{(m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2} = 1 \text{ м/с}$ .

29.

1) Коэффициент полезного действия тепловой машины  $\eta = \frac{A_{\text{ц}}}{Q^+} = 1 - \frac{|Q^-|}{Q^+}$ , где  $A_{\text{ц}}$  — работа, совершенная за цикл;  $Q^+$  — количество теплоты, полученное за цикл рабочим веществом тепловой машины от нагревателя;  $|Q^-|$  — количество теплоты, отданное за цикл холодильнику.

В рассматриваемом цикле газ получает количество теплоты в изотермическом процессе и отдает в изохорном.

2) В изотермическом процессе внутренняя энергия идеального газа не изменяется, следовательно, в соответствии с первым законом термодинамики количество теплоты, полученное газом, равно работе газа:  $Q^+ = A$ .

3) Поскольку в изохорном процессе газ работу не совершает, количество теплоты, отданное газом (в соответствии с первым законом термодинамики), равно изменению его внутренней энергии:  $|Q^-| = \frac{3}{2} \nu R |\Delta T|$ .

Подставляя второе и третье соотношения в первое, получаем значение КПД тепловой машины  $\eta = 1 - \frac{3\nu R |\Delta T|}{2A}$ .

Ответ:  $\eta = 1 - \frac{3\nu R |\Delta T|}{2A}$ .

30.

1) При абсолютно упругом ударе о пластину шарик передаст ей импульс, равный  $\Delta p = 2mv$ , где  $v$  — скорость шарика перед ударом.

2) Согласно закону изменения механической энергии  $\frac{mv^2}{2} - mgh = A$ , где  $A = qEh$  — работа внешней силы.

3) Объединяя 1) и 2), получим

$$\Delta p = \sqrt{2mh(mg + qE)} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Ответ:  $\Delta p = \sqrt{2mh(mg + qE)} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .

31.

1) Средняя кинетическая энергия теплового движения атомов  $E = \frac{3}{2}kT$ .

2) Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта  $\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_k$ , где  $E_k$  — максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

3) Учитывая равенство кинетических энергий, получим  $\frac{3}{2}kT = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}$ .

Отсюда  $T = \frac{2(hc - \lambda A_{\text{в}})}{3k\lambda} \approx 1,6 \cdot 10^4 \text{ К.}$

Ответ:  $T = \frac{2(hc - \lambda A_{\text{в}})}{3k\lambda} \approx 1,6 \cdot 10^4 \text{ К.}$

### Вариант 3

27.

1) В процессе  $1 \rightarrow 2$  газ получает некоторое количество теплоты, но его внутренняя энергия не меняется. Следовательно, согласно первому началу термодинамики он совершает работу, т.е. в данном процессе его объем увеличивается.

2) В процессе  $2 \rightarrow 3$  теплообмена газа с внешней средой нет, но его внутренняя энергия уменьшается. Следовательно, и этот процесс связан с расширением газа, поскольку он совершает работу.

Ответ: переход газа из состояния 1 в состояние 3 все время сопровождается увеличением его объема.

28.

1) В соответствии с законом сохранения импульса для системы «аппарат + газ» масса газа, выброшенного за интервал времени  $\Delta t$ ,  $0 = M \cdot V - \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot v \Delta t$ ;

2) Ускорение аппарата  $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ ; скорость движения аппарата  $V = \sqrt{2aS}$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим  $V = \sqrt{\frac{2Sv \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}}{M}}$ .

Ответ:  $V = \sqrt{\frac{2Sv \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}}{M}} = 12 \text{ м/с.}$

29.

1) Согласно первому закону термодинамики:  $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$ , где  $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1)$ ;  $A_{12} = \nu R(T_2 - T_1)$ .

Отсюда  $Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R(T_2 - T_1)$ .

2) Согласно закону Шарля:  $\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}$ ; следовательно,  $T_2 = 3T_1$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим  $Q_{12} = 5\nu RT_1 = 12,5 \text{ кДж.}$

Ответ:  $Q_{12} = 5\nu RT_1 = 12,5 \text{ кДж.}$

30.

1) Пусть  $R_A$  — сопротивление амперметра;  $R_V$  — сопротивление вольтметра;  $\mathcal{E}$  — ЭДС источника. В схеме 1 сопротивление внешней цепи  $R_0 = R_A + \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}$ , внутреннее сопротивление источника равно нулю, поэтому показание амперметра  $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_0}$ .

2) В схеме 2 внутреннее сопротивление источника равно нулю, поэтому напряжение на участке, содержащем резистор и амперметр, равно  $\mathcal{E}$ . Показание амперметра  $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R + R_A}$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим

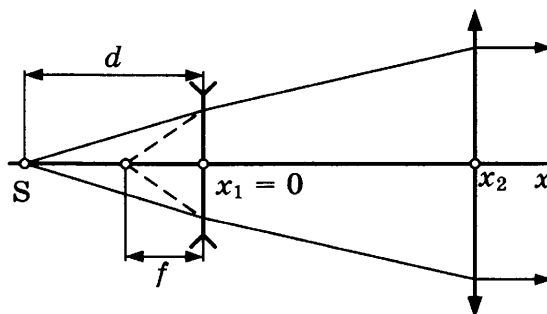
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_0}{R + R_A} = \frac{R_A R + R_A R_V + R R_V}{(R + R_A)(R + R_V)}.$$

Отсюда:  $I_2 = I_1 \frac{R_A R + R_A R_V + R R_V}{(R + R_A)(R + R_V)} = \frac{91}{101} I_1 \approx 0,9 I_1.$

Ответ:  $I_2 = I_1 \frac{R_A R + R_A R_V + R R_V}{(R + R_A)(R + R_V)} \approx 0,9 I_1.$

31.

1) На рисунке изображен ход лучей через систему линз. Поскольку из собирающей линзы выходит пучок света, параллельный главной оптической оси, изображение источника в рассеивающей линзе находится в фокусе собирающей линзы.



2) Из рисунка видно, что  $f + (x_2 - x_1) = F_2$ , где  $f$  — расстояние от рассеивающей линзы до изображения источника света.

3) Запишем формулу тонкой линзы для рассеивающей линзы с учетом знаков:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F_1},$$

где  $d$  — расстояние от рассеивающей линзы до источника S.

4) Объединяя 2) и 3), получим

$$x = -d = -\frac{f F_1}{F_1 - f} = -20 \text{ см.}$$

Ответ:  $x = -\frac{f F_1}{F_1 - f} = -20 \text{ см.}$

## Вариант 4

27.

1) Поскольку за линзой свет идет параллельным пучком, точечный источник света находится в переднем фокусе линзы.

2) Поэтому в случае линзы с большим фокусным расстоянием источник света находится на большем расстоянии от линзы.

3) В результате фотоны, попадающие на первую линзу близко к ее краю, уже не попадают на вторую линзу. Поэтому число фотонов, падающих на вторую линзу в единицу времени, меньше, чем падающих на первую.

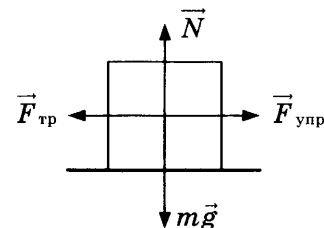
4) Фототок насыщения пропорционален числу фотонов, падающих на фотокатод в единицу времени. В предложенной установке на фотокатод падают все фотоны, прошедшие линзу, поэтому фототок насыщения при использовании второй линзы будет меньше, чем в первом случае.

*Ответ:* фототок насыщения уменьшится.

28.

1) Найдем максимальное сжатие пружины  $b$ , при котором груз еще покоится на столе. В случае сжатой пружины на груз действуют силы, показанные на рисунке (сама пружина не показана). При максимальном сжатии пружины имеем  $kb = F_{\max} = \mu N = \mu mg$ .

Отсюда  $b = \frac{\mu mg}{k}$ .



2) Изменение механической энергии системы тел «груз + пружина» при переходе из начального состояния в конечное равно работе силы трения скольжения:

$$\frac{kb^2}{2} - \frac{kd^2}{2} = -\mu mg(d + b).$$

3) Объединяя 1) и 2), получим  $d = \frac{3\mu mg}{k}$ .

Отсюда  $m = \frac{kd}{3\mu g} = 2,5 \text{ кг}$ .

*Ответ:*  $m = \frac{kd}{3\mu g} = 2,5 \text{ кг}$ .

29.

1) Работа газа на участке 1–2 равна площади под графиком:

$$A_{12} = \frac{p_2 + p_1}{2} (V_2 - V_1).$$

Из условия задачи  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$ , откуда  $p_2 = p_1 \frac{V_2}{V_1} = 2p_0$ .

Следовательно,  $A_{12} = \frac{3}{2} p_0 V_0$ .

2) На участке 2–3 (изохора) рабочее тело отдает холодильнику количество теплоты  $|Q_{\text{хол}}| = U_2 - U_3$ , где  $U_2$  и  $U_3$  — внутренняя энергия газа в состояниях 2 и 3 соответственно.

На участке 3-1 (адиабата) внешние силы сжимают газ, совершая работу

$$|A_{31}| = U_1 - U_3 = (U_2 - U_3) - (U_2 - U_1) = |Q_{\text{хол}}| - (U_2 - U_1).$$

3) Внутренняя энергия одноатомного идеального газа равна

$$U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV,$$

следовательно,

$$U_2 - U_1 = \frac{3}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1 = \frac{3}{2} (2p_0 \cdot 2V_0 - p_0 V_0) = \frac{9}{2} p_0 V_0.$$

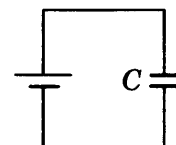
4) Объединяя 1)-3), получим  $U_2 - U_1 = 3A_{12}$ .

Отсюда  $|A_{31}| = |Q_{\text{хол}}| - 3A_{12} = 370 \text{ Дж}$ .

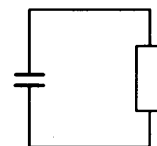
Ответ:  $|A_{31}| = |Q_{\text{хол}}| - 3A_{12} = 370 \text{ Дж}$ .

30.

1) К моменту  $t_0 = 0$  конденсатор полностью заряжен, ток в левой части схемы (см. рис.) равен нулю, поэтому напряжение между обкладками конденсатора равно ЭДС  $\mathcal{E}$ , энергия конденсатора  $W_0 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}$ .



2) В момент  $t > 0$  напряжение на конденсаторе  $U$  равно напряжению  $IR$  на резисторе в правой части схемы (см. рис.). Энергия конденсатора в этот момент  $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C(IR)^2}{2}$ .



3) Пренебрегая потерями на излучение, получим

$$W_0 = W + Q, \text{ или } \frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{C(IR)^2}{2} + Q,$$

откуда  $R = \frac{1}{I} \sqrt{\mathcal{E}^2 - \frac{2Q}{C}} = 100 \text{ кОм}$ .

Ответ:  $R = \frac{1}{I} \sqrt{\mathcal{E}^2 - \frac{2Q}{C}} = 100 \text{ кОм}$ .

31.

1) За время  $\Delta t = 1 \text{ с}$  в образце выделяется энергия  $\Delta E = E \cdot \frac{\Delta t}{T}$ .

2) Энергия одной  $\alpha$ -частицы  $E_1 = \frac{p^2}{2m} = \frac{\Delta E}{N}$ .

3) Объединяя 1) и 2), получим импульс  $\alpha$ -частицы:

$$p = \sqrt{2mE_1} = \sqrt{2mE \cdot \frac{\Delta t}{NT}} \approx 1,0 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Ответ:  $p = \sqrt{2mE \cdot \frac{\Delta t}{NT}} \approx 1,0 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .



*Справочное издание*

**Лукашева Екатерина Викентьевна  
Чистякова Наталия Игоревна**

# **ЕГЭ ФИЗИКА ТРЕНАЖЁР**

Издательство «**ЭКЗАМЕН**»

Гигиенический сертификат  
№ РОСС RU.АД44.Н02841 от 30.06.2017 г.

Главный редактор *Л. Д. Лапто*  
Редактор *Г. А. Лонцова*  
Технический редактор *Л. В. Павлова*  
Корректоры *В. В. Кожуткина, Л. В. Дьячкова*  
Дизайн обложки *Л. В. Демьянова*  
Компьютерная верстка *О. И. Голубинская, М. А. Серова*

107045, Москва, Луков пер., д. 8.

[www.examen.biz](http://www.examen.biz)

E-mail: по общим вопросам: [info@examen.biz](mailto:info@examen.biz);

по вопросам реализации: [sale@examen.biz](mailto:sale@examen.biz)

тел./факс 8(495)641-00-30 (многоканальный)

Общероссийский классификатор продукции  
ОК 005-93, том 2; 953005 — книги, брошюры, литература учебная

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами  
в ООО «Красногорская типография», 143405, Московская область, г. Красногорск,  
Коммунальный квартал, д.2 [www.ktprint.ru](http://www.ktprint.ru).

**По вопросам реализации обращаться по тел.: 8(495)641-00-30 (многоканальный)**