

Библиотечка  
СтатГрад



# Подготовка к ЕГЭ

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

# ЕГЭ

# 2017

Е. А. ВИШНЯКОВА,  
М. В. СЕМЕНОВ,  
А. А. ЯКУТА,  
Е. В. ЯКУТА

# ФИЗИКА

# ЕГЭ 2017

ФГОС

Государственное автономное образовательное учреждение  
дополнительного профессионального образования города Москвы  
«Центр педагогического мастерства»

---

Е. А. Вишнякова, М. В. Семенов, А. А. Якута, Е. В. Якута

# Физика

Подготовка к ЕГЭ в 2017 году

Диагностические работы

Материалы книги соответствуют Федеральному государственному  
образовательному стандарту (ФГОС)

Москва  
Издательство МЦНМО  
2017

УДК 373:51  
ББК 22.1я72  
B55

**Вишнякова Е. А. и др.**

B55 Физика. Подготовка к ЕГЭ в 2017 году. Диагностические работы. — М.: МЦНМО, 2017.

ISBN 978-5-4439-1052-9

Данное пособие предназначено для отработки практических умений и навыков учащихся при подготовке к экзамену по физике в 11 классе в формате ЕГЭ. Оно содержит варианты диагностических работ по физике, содержание которых соответствует контрольно-измерительным материалам, разработанным Федеральным институтом педагогических измерений для проведения единого государственного экзамена. В книгу входят также ответы к заданиям и критерии проверки и оценивания выполнения заданий с развёрнутым ответом. Авторы пособия являются разработчиками тренировочных и диагностических работ для системы СтатГрад (<http://statgrad.org>).

Материалы книги рекомендованы учителям и методистам для выявления уровня и качества подготовки учащихся по предмету, определения степени их готовности к единому государственному экзамену.

Издание соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту (ФГОС).

ББК 22.1я72

Оригинал-макет издания подготовлен в ГАОУ ДПО ЦПМ.

*Приказом № 729 Министерства образования и науки Российской Федерации Московский центр непрерывного математического образования включён в перечень организаций, осуществляющих издание учебных пособий, допущенных к использованию в образовательном процессе.*

Учебно-методическое издание

Физика. Подготовка к ЕГЭ в 2017 году.

Диагностические работы

Подписано в печать 07.07.2016 г. Формат 60 × 90 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Тираж 3000 экз. Заказ № .

Издательство Московского центра  
непрерывного математического образования.

119002, Москва, Большой Власьевский пер., д. 11. Тел. (499) 241-08-04.

Отпечатано в ООО «Типографии „Миттель Пресс“»

г. Москва, ул. Руставели, д. 14, стр. 6.

Тел./факс: +7(495) 619-08-30, 647-01-89, E-mail: [mittelpressmail.ru](mailto:mittelpressmail.ru).

---

Книги издательства МЦНМО можно приобрести в магазине «Математическая книга», Москва, Большой Власьевский пер., д. 11. Тел. (495) 745-80-31. E-mail: [biblio@mcme.ru](mailto:biblio@mcme.ru)

---

12+

ISBN 978-5-4439-1052-9

© Коллектив авторов, 2017.

© МЦНМО, 2017.

## Предисловие

СтатГрад – это всероссийский интернет-проект, созданный для того, чтобы обеспечить каждое образовательное учреждение качественными дидактическими и методическими материалами. Основные направления деятельности СтатГрада – система диагностики образовательных достижений учащихся, методическая поддержка систем внутришкольного контроля, учебно-методические материалы для подготовки учащихся к ЕГЭ и ОГЭ. СтатГрад предоставляет методические материалы по всем ведущим дисциплинам школьной программы: математике, физике, биологии, русскому языку, литературе, истории, обществознанию, химии, информатике, географии, иностранным языкам. Использование на уроках и при самостоятельной работе тренировочных и диагностических работ в формате ЕГЭ и ОГЭ, диагностических работ для 5–11 классов позволит учителям выявить пробелы в знаниях учащихся, а учащимся – подготовиться к государственным экзаменам, заранее попробовать свои силы. Авторы и эксперты СтатГрада – специалисты высокого класса, кандидаты и доктора наук, авторы учебной литературы для средней и высшей школы. В настоящее время СтатГрад сотрудничает более чем с 13 000 образовательных организаций России.

Настоящий сборник содержит диагностические материалы, разработанные специалистами СтатГрада для подготовки учащихся выпускных классов основной школы к ЕГЭ по физике. Материалы соответствуют нормативным документам ФИПИ 2016 года.

## **Инструкция по выполнению работы**

Для выполнения работы по физике отводится 3 часа 55 минут (235 минут). Работа состоит из двух частей, включающих в себя 32 задания.

Ответы к заданиям 1, 2, 8, 9, 13, 14, 19, 20 и 23 записываются в виде одной цифры, которая соответствует номеру правильного ответа. Эту цифру запишите в поле ответа в тексте работы.

В заданиях 3–5, 10, 15, 16, 21, 25–27 ответом является целое число или конечная десятичная дробь. Число запишите в поле ответа в тексте работы, единицы измерения физических величин писать не нужно.

Ответом к заданиям 6, 7, 11, 12, 17, 18, 22 и 24 является последовательность двух цифр. Ответ запишите в поле ответа в тексте работы.

Ответ к заданиям 28–32 включает в себя подробное описание всего хода выполнения задания. На чистом листе укажите номер задания и запишите его полное решение.

При вычислениях разрешается использовать непрограммируемый калькулятор.

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!**

## Справочные данные

### Десятичные приставки

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

### Константы

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

### Соотношения между различными единицами

температура	$0 \text{ К} = -273 \text{ }^\circ\text{С}$
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	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

## Справочные данные

### Масса частиц

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

### Плотность

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

### Удельная теплоёмкость

воды	$4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К)	алюминия	900 Дж/(кг·К)
льда	$2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К)	меди	380 Дж/(кг·К)
железа	640 Дж/(кг·К)	чугуна	500 Дж/(кг·К)
свинца	130 Дж/(кг·К)		

### Удельная теплота

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

### Нормальные условия

давление:  $10^5$  Па, температура: 0 °С

### Молярная масса

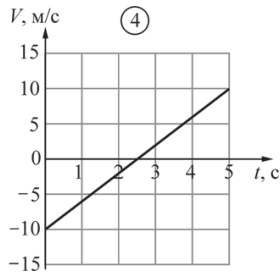
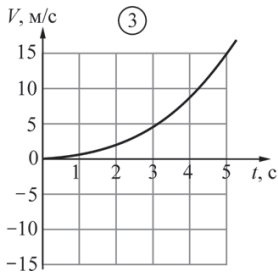
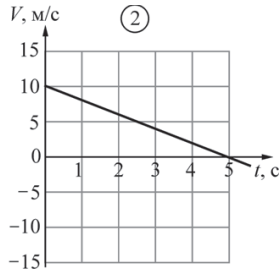
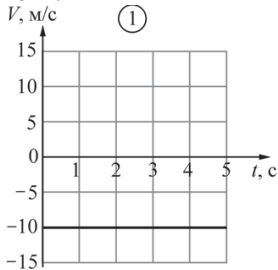
азота	$28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	гелия	$4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
аргона	$40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	кислорода	$32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
водорода	$2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	лития	$6 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
воздуха	$29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	неона	$20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
воды	$18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль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

# Вариант 1

## Часть 1

Ответами к заданиям 1–24 являются цифра, число или последовательность цифр. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.

- 1 Точечное тело движется вдоль горизонтальной оси  $OX$ . При этом его координата изменяется с течением времени  $t$  по закону  $x(t) = 5 - 10t + 2t^2$  (все величины заданы в единицах СИ). Какой из следующих графиков соответствует графику зависимости проекции скорости  $V$  этого тела на ось  $OX$  от времени?



Ответ:

- 2 Небольшое тело двигалось вдоль прямой и обладало импульсом, равным по модулю  $8 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ . В некоторый момент времени на это тело начала действовать постоянная сила, всё время направленная вдоль этой прямой. Через  $4 \text{ с}$  после начала действия силы модуль импульса тела увеличился в 2 раза. Чему мог быть равен модуль силы, действовавшей на тело?

- 1)  $2 \text{ Н}$  или  $4 \text{ Н}$     2)  $4 \text{ Н}$  или  $6 \text{ Н}$     3)  $2 \text{ Н}$  или  $6 \text{ Н}$     4)  $4 \text{ Н}$  или  $8 \text{ Н}$

Ответ:



3 Брусок массой 5 кг покоится на шероховатом горизонтальном столе. Коэффициент трения между поверхностью бруска и поверхностью стола равен 0,2. На этот брусок действуют горизонтально направленной силой 2,5 Н. Чему равна по модулю возникающая при этом сила трения?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

4 Телу массой 1 кг, находящемуся у основания шероховатой наклонной плоскости, сообщили начальную скорость 2 м/с в направлении вверх вдоль наклонной плоскости. Через некоторое время тело вернулось в исходную точку, имея вдвое меньшую кинетическую энергию. Какую работу совершила сила трения за время движения тела?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

5 Кубик из пробки с ребром 10 см опускают в воду. Каково отношение объёма части кубика, находящейся над водой, к объёму части кубика, находящейся под водой?

Плотность пробки  $0,25 \text{ г/см}^3$ .

Ответ: \_\_\_\_\_.

6 Математический маятник, представляющий собой свинцовую дробинку, подвешенную на длинной нити, колеблется с угловой амплитудой 1 градус. Как изменятся частота колебаний маятника и запас его полной механической энергии, если увеличить длину нити маятника и увеличить массу дробинки, оставив угловую амплитуду прежней? 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

А) частота колебаний маятника

1) увеличится

Б) запас полной механической энергии маятника

2) уменьшится

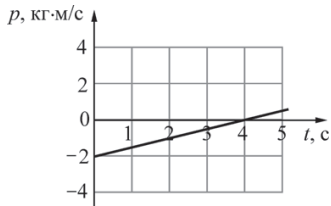
3) не изменится

Ответ:

А	Б

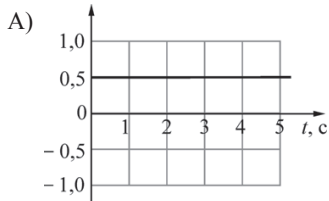
7

На рисунке изображён график зависимости проекции импульса  $p$  точечного тела массой 2 кг, движущегося вдоль координатной оси по гладкой горизонтальной поверхности, от времени  $t$ . Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять.



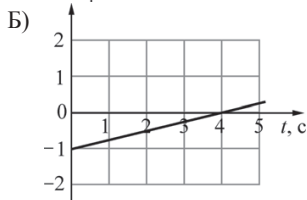
В каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ГРАФИК**



**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

- 1) модуль силы, действующей на тело
- 2) проекция на координатную ось ускорения тела
- 3) проекция на координатную ось скорости тела
- 4) кинетическая энергия тела



А	Б

Ответ:

8

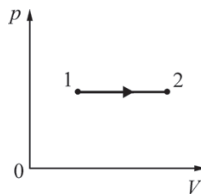
Вечером через некоторое время после захода солнца на траве выпала роса. Это произошло потому, что

- 1) водяной пар, который содержался в приземном слое воздуха до захода солнца, был насыщенным
- 2) после захода солнца температура в приземном слое воздуха понизилась и водяной пар, который содержался в воздухе, стал насыщенным
- 3) относительная влажность приземного слоя воздуха после захода солнца уменьшилась
- 4) после захода солнца трава начала более интенсивно выделять содержащуюся в ней воду, и излишки воды выступили на травинках в виде капель

Ответ:

9

На  $pV$ -диаграмме (где  $p$  – давление,  $V$  – объём) изображён процесс перехода двух молей идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 2. Выберите верное утверждение, характеризующее этот процесс.



- 1) Изменение внутренней энергии газа в 1,5 раза больше, чем совершённая им работа.
- 2) Работа, совершённая газом, в 2,5 раза больше, чем количество теплоты, полученное газом в этом процессе.
- 3) В данном процессе газ не совершал работу.
- 4) В данном процессе не происходит изменения внутренней энергии газа.

Ответ:

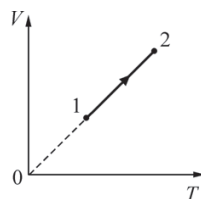
10

Газ в некотором процессе получил количество теплоты 25 Дж, а внутренняя энергия газа в этом процессе уменьшилась на 10 Дж. Какую работу совершил газ?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

11

На графике зависимости объёма  $V$  от абсолютной температуры  $T$  изображён процесс перехода идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 2. Известно, что масса газа в этом процессе не изменялась. Как изменились при этом переходе плотность и давление газа?



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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) плотность газа
- Б) давление газа

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

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

Ответ:

А	Б

12

В топке тепловой машины сгорело топливо массой  $m$  с удельной теплотой сгорания  $q$ . При этом рабочее тело машины передало холодильнику количество теплоты  $Q_{\text{хол}} < 0$ . Считая, что вся теплота, выделившаяся при сгорании топлива, была передана рабочему телу, установите соответствие между физическими величинами и выражающими их формулами.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

А) работа, совершённая тепловой машиной

Б) КПД тепловой машины

1)  $1 - \frac{|Q_{\text{хол}}|}{qm}$

2)  $\frac{Q_{\text{хол}}}{qm}$

3)  $qm - Q_{\text{хол}}$

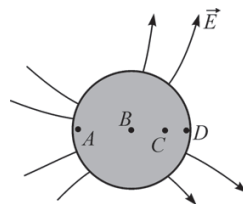
4)  $qm + Q_{\text{хол}}$

Ответ:

А	Б

13

Незаряженный металлический шарик помещён в неоднородное электрическое поле с напряжённостью  $\vec{E}$  (см. рисунок). Точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  лежат на поверхности шарика. Выберите верное утверждение.



- 1) Разность потенциалов между точками  $A$  и  $B$  больше, чем разность потенциалов между точками  $C$  и  $D$ .
- 2) На поверхности шарика в окрестности точки  $A$  появится индуцированный положительный заряд.
- 3) На поверхности шарика в окрестности точки  $D$  появится индуцированный положительный заряд.
- 4) Направление вектора напряжённости электрического поля в любой точке внутри шарика совпадает с направлением вектора напряжённости внешнего электрического поля.

Ответ:

14

По очень длинному тонкому прямому проводнику протекает постоянный электрический ток. Линии индукции магнитного поля, создаваемого этим током, имеют вид

- 1) прямых линий, перпендикулярных проводу
- 2) прямых линий, параллельных проводу
- 3) изогнутых кривых сложной формы, которые начинаются и заканчиваются на проводе
- 4) окружностей, центры которых лежат на проводе

Ответ:

15

В школьной лаборатории есть два проводника круглого сечения. Удельное сопротивление первого проводника в 2 раза больше удельного сопротивления второго проводника. Длина первого проводника в 2 раза больше длины второго. При подключении этих проводников к одинаковым источникам постоянного напряжения за одинаковые интервалы времени во втором проводнике выделяется количество теплоты, в 4 раза большее, чем в первом. Отношение радиуса второго проводника к радиусу первого проводника равно

Ответ: \_\_\_\_\_.

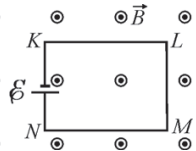
16

В состав колебательного контура входят конденсатор ёмкостью 2 мкФ, катушка индуктивности и ключ. Соединение осуществляется при помощи проводов с пренебрежимо малым сопротивлением. Вначале ключ разомкнут, а конденсатор заряжен до напряжения 4 В. Затем ключ замыкают. Чему будет равна запасённая в конденсаторе энергия через  $\frac{1}{12}$  часть периода колебаний, возникших в контуре?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкДж.

17

Проводящий контур  $KLMN$  подключён к источнику постоянного напряжения и находится в однородном магнитном поле, линии индукции  $\vec{B}$  которого перпендикулярны плоскости контура (см. рисунок). Провода имеют поперечное сечение  $S$  и удельное сопротивление  $\rho$ . Как изменятся следующие физические



величины: сила тока, протекающая в контуре, и модуль силы Ампера, действующей на сторону  $LM$ , – если уменьшить в 2 раза поперечное сечение проводов и увеличить в 2 раза модуль индукции магнитного поля?

Вариант 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) сила тока в контуре
- Б) модуль силы Ампера

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

Ответ:

А	Б

18

Проволочная рамка сопротивлением  $R$  и площадью  $S$  находится в однородном постоянном магнитном поле  $\vec{B}$ , линии индукции которого перпендикулярны плоскости рамки. В момент времени  $t = 0$  рамка начинает вращаться с частотой  $n$  оборотов в секунду вокруг оси, лежащей в плоскости рамки. Установите для момента времени  $t > 0$  соответствие между физическими величинами и выражающими их формулами. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

- А) поток вектора магнитной индукции через плоскость рамки
- Б) модуль ЭДС индукции, возникающей в рамке

- 1)  $\frac{BS}{2\pi n} \cos(2\pi nt)$
- 2)  $BS |\sin(2\pi nt)|$
- 3)  $BS \cos(2\pi nt)$
- 4)  $2\pi nBS |\sin(2\pi nt)|$

Ответ:

А	Б

19

В ядре  ${}_{13}^{27}\text{Al}$  содержится

- 1) 27 протонов и 13 нейтронов
- 2) 13 протонов и 27 нейтронов
- 3) 14 протонов и 13 нейтронов
- 4) 13 протонов и 14 нейтронов

Ответ:

--



Вариант 1

Согласно этому графику можно утверждать, что

- 1) в своём эксперименте ученик направлял ствол пистолета под углом к горизонтальной плоскости
- 2) в момент времени, соответствующий точке  $B$  графика, модуль скорости шарика был равен нулю
- 3) проекция начальной скорости шарика на вертикальное направление была равна  $2 \text{ м/с}$
- 4) модуль скорости шарика в момент времени  $t = 0,5 \text{ с}$  был равен  $3 \text{ м/с}$

Ответ:

24

Луч света идёт в воде, падает на плоскую границу раздела вода–воздух и выходит из воды в воздух, частично отражаясь от границы раздела. Затем угол падения луча на границу раздела начинают увеличивать. Выберите **два** верных утверждения о характере изменений углов, характеризующих ход луча, и о ходе самого луча.

- 1) Угол преломления луча будет уменьшаться.
- 2) Преломление луча может совсем исчезнуть.
- 3) Отражённый луч может совсем исчезнуть.
- 4) Если преломление будет возможно, то угол преломления луча будет увеличиваться.
- 5) Угол отражения луча может стать больше угла падения.

Ответ:

Часть 2

*Ответом к заданиям 25–27 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

25

Куб с ребром  $a$  сделан из материала, плотность которого равна  $6000 \text{ кг/м}^3$ . Из этого куба вырезают маленький кубик с ребром  $\frac{a}{2}$  и заменяют его кубиком таких же размеров, но сделанным из другого материала с плотностью  $3000 \text{ кг/м}^3$ . Определите среднюю плотность полученного составного куба.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{кг/м}^3$ .



- 26 В большом сосуде с жёсткими стенками, закрытом подвижным поршнем, находятся воздух и насыщенный водяной пар при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Давление в сосуде равно  $300\text{ кПа}$ . Поршень переместили, поддерживая температуру содержимого сосуда постоянной. При этом половина водяного пара сконденсировалась. Какое давление установилось в сосуде?

Ответ: \_\_\_\_\_ кПа.

- 27 Светящаяся точка находится на расстоянии  $3\text{ см}$  от главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Расстояние от линзы до изображения этой точки в  $4$  раза больше, чем фокусное расстояние линзы. Определите, на каком расстоянии от главной оптической оси линзы находится изображение светящейся точки.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

*Для записи ответов на задания этой части (28–32) используйте чистый лист. Запишите сначала номер задания (28, 29 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

- 28 Вакуумные лампочки накаливания имеют весьма ограниченный срок службы. Если они уже долго светили, то их стеклянные баллоны постепенно покрываются изнутри чёрным налётом, а перегорают они чаще всего в момент включения в сеть. Объясните указанные факты, указав, какие физические явления и законы Вы использовали.

*Полное правильное решение каждой из задач 29–32 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.*

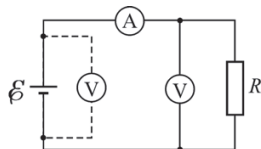
- 29 Струя воды круглого сечения радиусом  $r_0 = 1\text{ см}$  начинает бить из шланга вверх со скоростью  $V_0 = 20\text{ м/с}$ . Найдите радиус струи  $r$  на высоте  $h = 16\text{ м}$  по вертикали от конца шланга. Трением и силами поверхностного натяжения можно пренебречь. Считайте скорость движения частиц воды по вертикали в любом поперечном сечении струи одинаковой для данного сечения, а сами частицы – находящимися в состоянии свободного падения в поле силы тяжести.

30

Гелий в количестве  $\nu = 0,1$  моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой  $F_1 = 200$  Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет  $V_1 = 1100$  м/с. Затем гелий стали нагревать, а поршень удерживать в равновесии, медленно сдвигая его и постепенно увеличивая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась  $F_2 = 300$  Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной  $V_2 = 1500$  м/с. На какое расстояние  $\Delta l$  от исходного положения при этом сдвинулся поршень?

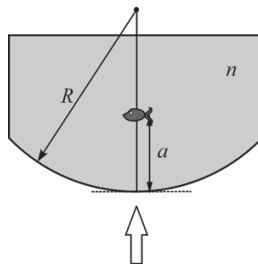
31

У школьника в наличии был источник постоянного напряжения с малым внутренним сопротивлением, два точных, но неидеальных измерительных прибора – амперметр и вольтметр, а также резистор с сопротивлением  $R = 4$  Ом. Школьник вначале подключил к источнику только вольтметр, и он показал напряжение  $U_0 = 5$  В. Потом школьник собрал цепь, схема которой изображена на рисунке, и обнаружил, что амперметр показывает ток  $I_1 = 1$  А, а вольтметр – напряжение  $U_1 = 3$  В. Затем школьник поменял в цепи местами измерительные приборы. Чему при этом стали равны их показания  $I_2$  и  $U_2$ ?



32

Аквариум имеет прозрачные вертикальные стенки: три плоские (боковые и заднюю) и одну цилиндрическую (переднюю), с радиусом  $R = 0,8$  м. В него налита вода с показателем преломления  $n = \frac{4}{3}$ . Мальчик, глядя в аквариум сверху (см. рисунок), видит маленькую рыбку в аквариуме на расстоянии  $a = 20$  см от его передней стенки. На каком расстоянии  $b$  от этой стенки будет видна рыбка, если мальчик будет смотреть на неё по горизонтали, перпендикулярно стенке?

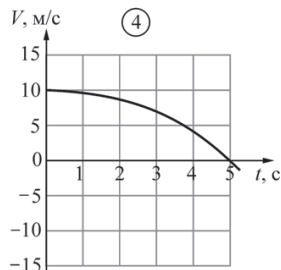
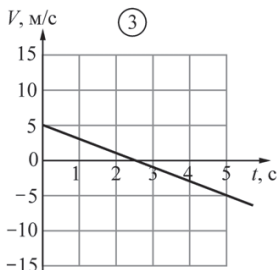
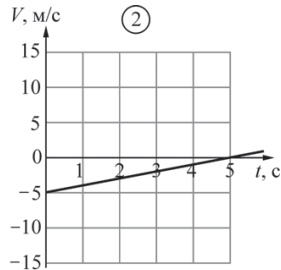
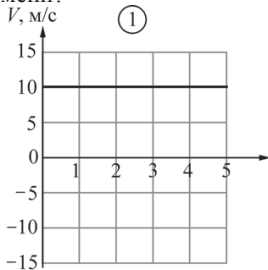


## Вариант 2

### Часть 1

*Ответами к заданиям 1–24 являются цифра, число или последовательность цифр. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

- 1 Точечное тело движется вдоль горизонтальной оси  $Ox$ . При этом его координата изменяется с течением времени  $t$  по закону  $x(t) = 10 + 5t - t^2$  (все величины заданы в единицах СИ). Какой из следующих графиков соответствует графику зависимости проекции скорости  $V$  этого тела на ось  $Ox$  от времени?



Ответ:

- 2 Небольшое тело двигалось вдоль прямой и обладало импульсом, равным по модулю  $8 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$ . В некоторый момент времени на это тело начала действовать постоянная сила, всё время направленная вдоль этой прямой. Через 4 с после начала действия силы модуль импульса тела уменьшился в 2 раза. Чему мог быть равен модуль силы, действовавшей на тело?

- 1) 1 Н или 3 Н  
2) 3 Н или 5 Н

- 3) 1 Н или 5 Н  
4) 3 Н или 6 Н

Ответ:

3 Брусок массой 5 кг покоится на шероховатом горизонтальном столе. Коэффициент трения между поверхностью бруска и поверхностью стола равен 0,2. На этот брусок действуют горизонтально направленной силой 15 Н. Чему равна по модулю возникающая при этом сила трения?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

4 Телу массой 2 кг, находящемуся у основания шероховатой наклонной плоскости, сообщили начальную скорость 3 м/с в направлении вверх вдоль наклонной плоскости. Через некоторое время тело вернулось в исходную точку, имея втрое меньшую кинетическую энергию. Какую работу совершила сила трения за время движения тела?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

5 Кубик из резины с ребром 10 см опускают в воду. Каково отношение объёма части кубика, находящейся под водой, к объёму части кубика, находящегося над водой? Плотность резины  $0,8 \text{ г/см}^3$ .

Ответ: \_\_\_\_\_.

6 Математический маятник, представляющий собой свинцовую дробинку, подвешенную на длинной нити, колеблется с угловой амплитудой 1 градус. Как изменятся период колебаний маятника и запас его полной механической энергии, если уменьшить длину нити маятника и уменьшить массу дробинки, оставив угловую амплитуду прежней? 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

А) период колебаний маятника

1) увеличится

Б) запас полной механической энергии маятника

2) уменьшится

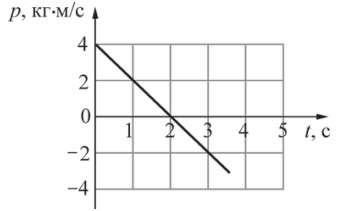
3) не изменится

Ответ:

А	Б

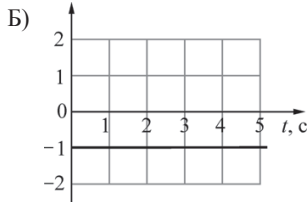
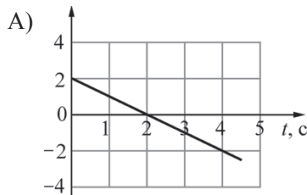
7

На рисунке изображён график зависимости проекции импульса  $p$  точечного тела массой 2 кг, движущегося вдоль координатной оси по гладкой горизонтальной поверхности, от времени  $t$ . Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять.



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

ГРАФИК



ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- 1) модуль силы, действующей на тело
- 2) проекция на координатную ось ускорения тела
- 3) проекция на координатную ось скорости тела
- 4) кинетическая энергия тела

Ответ:

А	Б

8

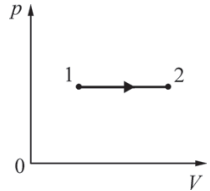
Утром после восхода солнца роса, лежавшая на траве, через некоторое время исчезла. Это произошло потому, что

- 1) водяной пар, который содержался в приземном слое воздуха до восхода солнца, был ненасыщенным
- 2) после восхода солнца температура в приземном слое воздуха повысилась, и водяной пар, который содержался в воздухе, стал ненасыщенным
- 3) относительная влажность приземного слоя воздуха после восхода солнца увеличилась
- 4) после восхода солнца трава начала менее интенсивно выделять содержащуюся в ней воду, и капли воды с травинок испарились

Ответ:

9

На  $pV$ -диаграмме (где  $p$  – давление,  $V$  – объём) изображён процесс перехода двух молей идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 2. Выберите верное утверждение, характеризующее этот процесс.



- 1) Изменение внутренней энергии газа в 1,5 раза меньше, чем совершённая им работа.
- 2) Работа, совершённая газом, в 2,5 раза меньше, чем количество теплоты, полученное газом в этом процессе.
- 3) В данном процессе газ не совершал работу.
- 4) В данном процессе не происходит изменения внутренней энергии газа.

Ответ:

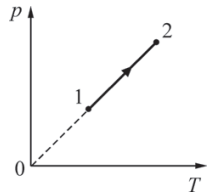
10

Газ в некотором процессе отдал количество теплоты 35 Дж, а внутренняя энергия газа в этом процессе увеличилась на 10 Дж. Какую работу совершили над газом внешние силы?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

11

На графике зависимости давления  $p$  от абсолютной температуры  $T$  изображён процесс перехода идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 2. Известно, что масса газа в этом процессе не изменялась. Как изменились при этом переходе объём 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

А) объём газа

1) увеличилась

Б) плотность газа

2) уменьшилась

3) не изменилась

Ответ:

А	Б

12

В топке тепловой машины сгорело топливо массой  $m$  с удельной теплотой сгорания  $q$ . При этом рабочее тело машины совершило работу  $A$ . Считая, что вся теплота, выделившаяся при сгорании топлива, была передана рабочему телу, установите соответствие между физическими величинами и выражающими их формулами.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

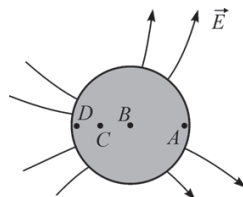
- |   |   |
|---|---|
| <p>А) модуль количества теплоты, переданного рабочим телом холодильнику</p> <p>Б) КПД тепловой машины</p> | <p>1) <math>\frac{A}{qm}</math></p> <p>2) <math>qm - A</math></p> <p>3) <math>1 - \frac{A}{qm}</math></p> <p>4) <math>qm + A</math></p> |
|---|---|

Ответ:

А	Б

13

Незаряженный металлический шарик помещён в неоднородное электрическое поле с напряжённостью  $\vec{E}$ . Точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  лежат на поверхности шарика. Выберите верное утверждение.



- 1) Разность потенциалов между точками  $A$  и  $B$  меньше, чем разность потенциалов между точками  $C$  и  $D$ .
- 2) На поверхности шарика в окрестности точки  $A$  появится индуцированный положительный заряд.
- 3) На поверхности шарика в окрестности точки  $D$  появится индуцированный положительный заряд.
- 4) Направление вектора напряжённости электрического поля в любой точке внутри шарика совпадает с направлением вектора напряжённости внешнего электрического поля.

Ответ:

14

На нити подвешен полосовой постоянный магнит, имеющий форму тонкого стержня. Северный и южный полюсы магнита находятся на концах этого стержня. Линии индукции магнитного поля, создаваемого этим магнитом, имеют вид

- 1) прямых линий, перпендикулярных стержню
- 2) прямых линий, параллельных стержню
- 3) изогнутых кривых сложной формы, которые выходят из одного конца стержня и входят в другой его конец
- 4) окружностей, центры которых лежат на оси стержня

Ответ:

15

В школьной лаборатории есть два проводника круглого сечения. Удельное сопротивление первого проводника в 2 раза больше удельного сопротивления второго проводника. Длина первого проводника в 2 раза больше длины второго. При подключении этих проводников к одинаковым источникам постоянного напряжения за одинаковые интервалы времени во втором проводнике выделяется количество теплоты, в 4 раза меньшее, чем в первом. Чему равно отношение радиуса первого проводника к радиусу второго проводника?

Ответ: \_\_\_\_\_.

16

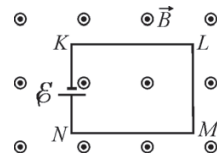
В состав колебательного контура входят конденсатор ёмкостью 2 мкФ, катушка индуктивности и ключ. Соединение осуществляется при помощи проводов с пренебрежимо малым сопротивлением. Вначале ключ разомкнут, а конденсатор заряжен до напряжения 8 В. Затем ключ замыкают. Чему будет равна запасённая в конденсаторе энергия через  $\frac{1}{6}$  часть периода колебаний, возникших в контуре?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкДж.



17

Проводящий контур  $KLMN$  подключён к источнику постоянного напряжения и находится в однородном магнитном поле, линии индукции  $\vec{B}$  которого перпендикулярны плоскости контура (см. рисунок). Провода имеют поперечное сечение  $S$  и удельное сопротивление  $\rho$ . Как изменятся следующие физические



величины: сила тока, протекающая в контуре, и модуль силы Ампера, действующей на сторону  $LM$ , – если уменьшить в 2 раза модуль индукции магнитного поля и увеличить в 2 раза ЭДС источника?

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) сила тока в контуре  
Б) модуль силы Ампера

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

Ответ:

А	Б

18

Проволочная рамка сопротивлением  $R$  и площадью  $S$  находится в однородном постоянном магнитном поле  $\vec{B}$ , линии индукции которого перпендикулярны плоскости рамки. В момент времени  $t = 0$  рамка начинает вращаться с частотой  $n$  оборотов в секунду вокруг оси, лежащей в плоскости рамки. Установите для момента времени  $t > 0$  соответствие между физическими величинами и выражающими их формулами. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

- А) поток вектора магнитной индукции через плоскость рамки  
Б) модуль силы электрического тока, протекающего в рамке

- 1)  $BS \cos(2\pi nt)$
- 2)  $BSR |\sin(2\pi nt)|$
- 3)  $\frac{2\pi nBS |\sin(2\pi nt)|}{R}$
- 4)  $\frac{BS}{R} \cos(2\pi nt)$

Ответ:

А	Б

19

В ядре  $^{17}_8\text{O}$  содержится

- 1) 17 протонов и 8 нейтронов                      3) 8 протонов и 9 нейтронов  
 2) 8 протонов и 17 нейтронов                    4) 9 протонов и 8 нейтронов

Ответ:

20

При каком виде радиоактивного распада из ядра атома вылетает незаряженная частица?

- 1) альфа-распад                                      3) электронный бета-распад  
 2) позитронный бета-распад                    4) гамма-распад

Ответ:

21

В вакууме распространяются два параллельных пучка света. Свет первого пучка характеризуется длиной волны 600 нм, а свет второго пучка – частотой  $10^{15}$  Гц. Во сколько раз отличается энергия фотона из второго пучка от энергии фотона из первого пучка?

Ответ: \_\_\_\_\_.

22

При переходе электрона в атоме с  $(n + 1)$ -го энергетического уровня на  $n$ -й энергетический уровень испускается фотон. Как изменятся следующие физические величины при уменьшении  $n$  на единицу: энергия испускаемого фотона, длина волны испускаемого фотона?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

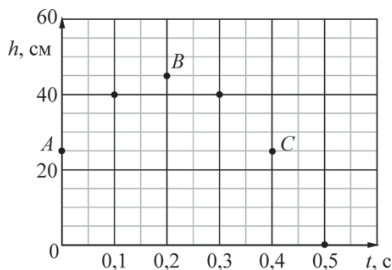
- |  |   |
|--|---|
| А) энергия испускаемого фотона<br>Б) длина волны испускаемого фотона | 1) увеличится<br>2) уменьшится<br>3) не изменится |
|--|---|

Ответ: 

А	Б

23

На занятиях физического кружка школьник изучал движение тел вблизи поверхности Земли. В своём эксперименте он использовал игрушечный пистолет с маленьким тяжёлым шариком в качестве пули, фотодатчик и электронный секундомер. В результате своей работы он построил график, показанный на рисунке, – зависимость высоты  $h$  подъёма шарика от времени  $t$ .



Согласно этому графику можно утверждать, что

- 1) в своём эксперименте ученик направлял ствол пистолета вертикально вверх
- 2) за первые 0,3 секунды перемещение шарика составляет 15 см
- 3) модуль начальной скорости шарика был равен 2 м/с
- 4) проекция скорости шарика на вертикальное направление в момент времени  $t = 0,5$  с равна  $-3$  м/с

Ответ:

24

Луч света идёт в воде, падает на плоскую границу раздела вода–воздух и целиком отражается от границы раздела. Затем угол падения луча на границу раздела начинают уменьшать. Выберите **два** верных утверждения о характере изменений углов, характеризующих ход луча, и о ходе самого луча.

- 1) Угол отражения луча будет уменьшаться.
- 2) Может появиться преломлённый луч.
- 3) Отражённый луч может совсем исчезнуть.
- 4) Если преломление будет возможно, то угол преломления луча будет увеличиваться.
- 5) Угол отражения может стать больше угла падения.

Ответ:

*Ответом к заданиям 25–27 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

- 25 Куб с ребром  $a$  сделан из материала, плотность которого равна  $6000 \text{ кг/м}^3$ . Из этого куба вырезают маленький кубик с ребром  $\frac{a}{2}$  и заменяют его кубиком таких же размеров, но сделанным из другого материала с плотностью  $12\,000 \text{ кг/м}^3$ . Определите среднюю плотность полученного составного куба.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{кг/м}^3$ .

- 26 В большом сосуде с жёсткими стенками, закрытом подвижным поршнем, находятся воздух, малое количество воды и насыщенный водяной пар при температуре  $100^\circ\text{C}$ . Давление в сосуде равно  $300 \text{ кПа}$ . Поршень переместили, поддерживая температуру содержимого сосуда постоянной. При этом масса водяного пара в сосуде возросла в два раза и на дне сосуда осталось некоторое количество жидкой воды. Какое давление установилось в сосуде?

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{кПа}$ .

- 27 Изображение светящейся точки находится на расстоянии  $2 \text{ см}$  от главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Расстояние от линзы до изображения этой точки в 3 раза больше, чем фокусное расстояние линзы. Определите, на каком расстоянии от главной оптической оси линзы находится сама светящаяся точка.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{см}$ .

*Для записи ответов на задания этой части (28–32) используйте чистый лист. Запишите сначала номер задания (28, 29 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

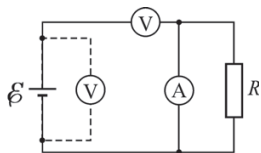
- 28 Вакуумные лампочки накаливания имеют весьма ограниченный срок службы – в конце своей «жизни» они перегорают, причём случается это, как правило, в момент включения в сеть. Объясните эти факты, указав, какие физические явления и законы Вы использовали.

*Полное правильное решение каждой из задач 29–32 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.*

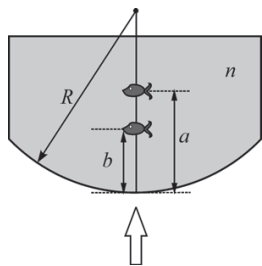
**29** Струя воды круглого сечения радиусом  $r_0 = 1,1$  см начинает бить из шланга вверх со скоростью  $V_0 = 15$  м/с. Найдите радиус струи  $r$  на высоте  $h = 10$  м по вертикали от конца шланга. Трением и силами поверхностного натяжения можно пренебречь. Считать скорость движения частиц воды по вертикали в любом поперечном сечении струи одинаковой для данного сечения, а сами частицы – находящимися в состоянии свободного падения в поле силы тяжести.

**30** Гелий в количестве  $\nu = \frac{1}{20}$  моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой  $F_1 = 280$  Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет  $V_1 = 1400$  м/с. Затем гелий стали охлаждать, а поршень медленно сдвигать, постепенно уменьшая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась  $F_2 = 150$  Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной  $V_2 = 1200$  м/с. На какое расстояние  $\Delta l$  при этом сдвинулся поршень?

**31** У школьника в наличии был источник постоянного напряжения с малым внутренним сопротивлением, два точных, но неидеальных измерительных прибора – амперметр и вольтметр, а также резистор с сопротивлением  $R = 4$  Ом. Школьник вначале подключил к источнику только вольтметр, и он показал напряжение  $U_0 = 5$  В. Потом школьник собрал цепь, схема которой изображена на рисунке, и обнаружил, что амперметр показывает ток  $I_1 = 0,25$  А, а вольтметр – напряжение  $U_1 = 4,5$  В. Затем школьник понял, что перепутал положения приборов, и поменял их в цепи местами. Чему при этом стали равны показания амперметра и вольтметра  $I_2$  и  $U_2$ ?



**32** Аквариум имеет прозрачные вертикальные стенки: три плоские (боковые и заднюю) и одну цилиндрическую (переднюю), с радиусом  $R = 0,8$  м. В него налита вода с показателем преломления  $n = \frac{4}{3}$ . Мальчик, глядя на маленькую рыбку в аквариуме по горизонтали, перпендикулярно цилиндрической стенке, видит рыбку (точнее, её изображение) на расстоянии  $b = 16$  см от этой стенки (см. рисунок). На каком расстоянии  $a$  от этой стенки будет видна рыбка, если мальчик будет смотреть на неё сквозь поверхность воды по вертикали, сверху вниз?



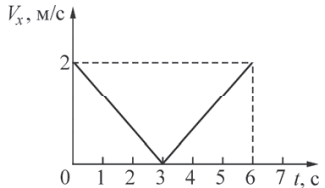
## Вариант 3

### Часть 1

*Ответами к заданиям 1–24 являются цифра, число или последовательность цифр. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

1

Материальная точка движется вдоль оси  $OX$ . На рисунке приведён график зависимости проекции скорости  $V_x$  этой точки на ось  $OX$  от времени  $t$ . Согласно графику, материальная точка



- 1) в момент времени  $t = 3$  с изменила направление движения на противоположное
- 2) всё время двигалась в одном направлении
- 3) всё время имела положительную проекцию ускорения на ось  $OX$
- 4) за всё время движения ни разу не останавливалась

Ответ:

2

Точечное тело движется по гладкой горизонтальной поверхности под действием постоянной горизонтальной силы, направленной вдоль оси  $OX$ . Известно, что проекция импульса этого тела на указанную ось изменяется со временем по закону  $p_x = -4 + t$ . Чему равен модуль силы, действующей на это тело?

- 1) 8 Н                      2) 4 Н                      3) 2 Н                      4) 1 Н

Ответ:

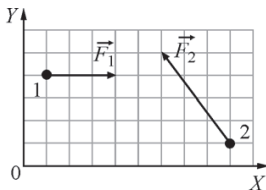
3

На неподвижном горизонтальном столе лежит однородный куб. Его убирают, и вместо него кладут другой куб, сделанный из материала с вдвое большей плотностью и с ребром втрое большей длины. Во сколько раз увеличится давление, оказываемое кубом на стол?

Ответ: \_\_\_\_\_.

4

Тела 1 и 2 находятся на гладкой горизонтальной плоскости (см. рисунок, вид сверху). На них одновременно начинают действовать постоянные силы, равные соответственно,  $F_1 = 3$  Н и  $F_2$ . Чему равно изменение проекции импульса системы этих тел на ось  $OY$  за первые две секунды?



Ответ: \_\_\_\_\_ кг·м/с.

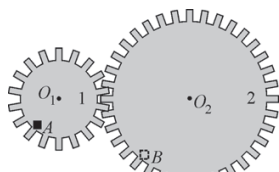
5

Груз подвешен на лёгкой вертикальной пружине и совершает на ней колебания с частотой  $\omega = 10$  рад/с, двигаясь по вертикали. На какую длину растянется эта пружина, если аккуратно подвесить к ней тот же груз, не возбуждая колебаний?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

6

На рисунке изображены две шестерёнки 1 и 2, закреплённые на двух параллельных осях  $O_1$  и  $O_2$ . Ось  $O_2$  шестерёнки 2 вращают с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . На краю шестерёнки 1 в точке  $A$  закреплено точечное тело. Как изменятся период обращения этого тела и модуль его линейной скорости, если закрепить это тело в точке  $B$  на краю шестерёнки 2 (при неизменной угловой скорости вращения оси шестерёнки 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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

А) период обращения

1) увеличится

Б) модуль линейной скорости

2) уменьшится

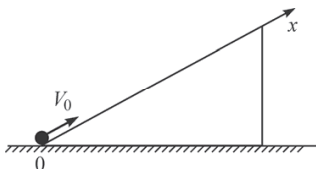
3) не изменится

Ответ:

А	Б

7

Маленькой шайбе, покоящейся у основания гладкой наклонной плоскости, сообщают начальную скорость  $V_0$ , направленную вдоль наклонной плоскости вверх (см. рисунок). Наклонная плоскость достаточно длинная. Установите соответствие между зависимостями физических величин от времени и графиками.

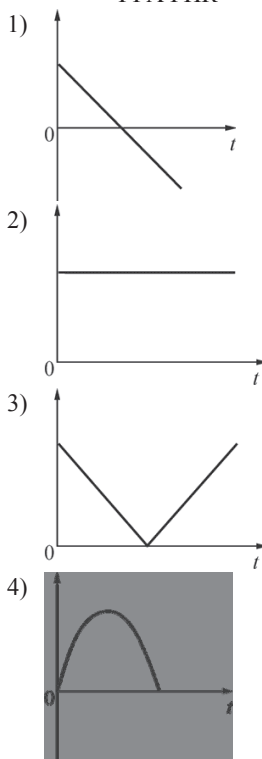


К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) проекция скорости  $V_x$
- Б) модуль скорости  $V$

ГРАФИК



Ответ:

А	Б



8 Скорость диффузии **не зависит** от

А) температуры

Б) агрегатного состояния веществ

Какие из представленных утверждений верны

1) только А

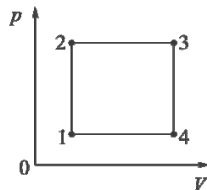
3) и А, и Б

2) только Б

4) ни А, ни Б

Ответ:

9 С постоянным количеством идеального газа провели процесс 1–2–3–4–1, изображённый на графике зависимости давления  $p$  от объёма  $V$ . Какая точка на графике соответствует состоянию с наибольшей температурой?



1) 1

2) 2

3) 3

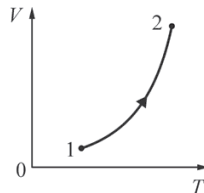
4) 4

Ответ:

10 Определите плотность водяного пара в воздухе, который находится при температуре  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , если известно, что относительная влажность этой порции воздуха равна 30 %. Ответ округлите до сотых долей.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг/м<sup>3</sup>.

11 На рисунке изображён график зависимости объёма  $V$  одного моля идеального одноатомного газа от его температуры  $T$  в процессе 1–2. Как в результате перехода из состояния 1 в состояние 2 изменяются внутренняя энергия газа и давление газа?



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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

А) внутренняя энергия газа

1) увеличится

Б) давление газа

2) уменьшится

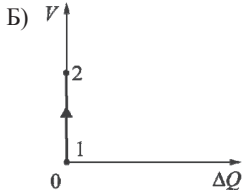
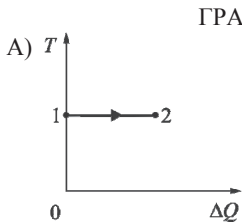
3) не изменится

Ответ:

А	Б

12

Один моль идеального газа находился в некотором состоянии 1. Затем в результате некоторых процессов, в ходе которых газ мог обмениваться количеством теплоты  $\Delta Q$  с окружающими телами, газ медленно перешёл в состояние 2. Установите соответствие между графиками процессов 1–2 и названиями этих процессов, если  $T$  – абсолютная температура газа, а  $V$  – его объём. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



НАЗВАНИЕ ПРОЦЕССА

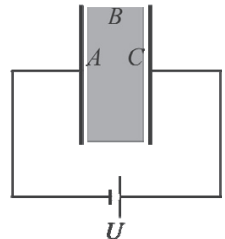
- 1) изотермический
- 2) изохорный
- 3) изобарный
- 4) адиабатный

Ответ:

А	Б

13

В плоский конденсатор помещена диэлектрическая пластина, толщина которой намного меньше размера обкладок конденсатора. Конденсатор подключён к источнику постоянного напряжения  $U$  так, как показано на рисунке. На какой поверхности диэлектрической пластины локализованы положительные поляризационные заряды?

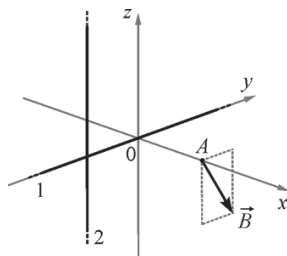


- 1) А
- 2) В
- 3) С
- 4) на всех трёх поверхностях А, В и С

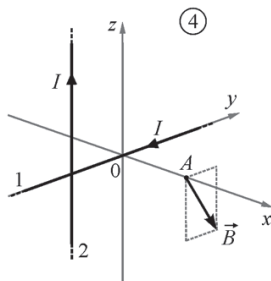
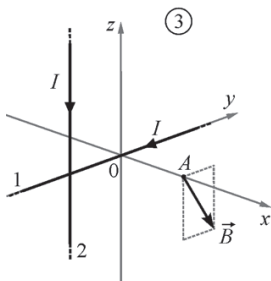
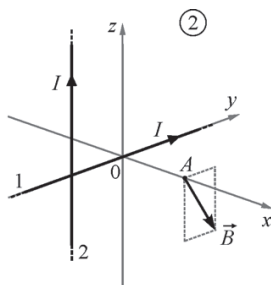
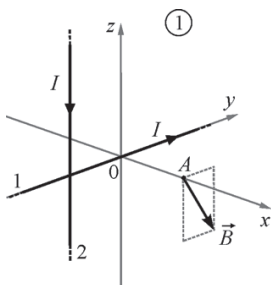
Ответ:

14

Магнитное поле образовано двумя бесконечно длинными прямыми проводами, по которым протекают одинаковые токи  $I$ . Провод 1 лежит на оси  $OY$ , провод 2 параллелен оси  $OZ$  и пересекает ось  $OX$ . Направление вектора индукции магнитного поля, создаваемого этими токами в точке  $A$ , изображено на рисунке (пунктирный прямоугольник параллелен плоскости  $YOZ$ ).



На каком из следующих рисунков правильно показаны направления протекания токов в проводах?



1) 1

2) 2

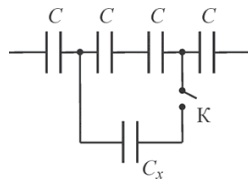
3) 3

4) 4

Ответ:

15

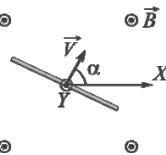
Участок цепи, схема которого изображена на рисунке, до замыкания ключа  $K$  имел электрическую ёмкость  $3$  нФ. После замыкания ключа электроёмкость данного участка цепи стала равной  $4$  нФ. Чему равна электроёмкость конденсатора  $C_x$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ нФ.

16

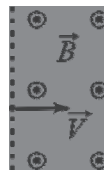
Прямой проводник длиной  $25$  см равномерно поступательно движется в однородном постоянном магнитном поле, направление которого совпадает с направлением вертикальной оси  $Y$  (на рисунке эта ось направлена «на нас»). Скорость проводника равна  $1$  м/с, направлена перпендикулярно проводнику, и составляет угол  $60^\circ$  с горизонтальной осью  $X$ , как показано на рисунке. Разность потенциалов между концами проводника равна  $75$  мВ. Определите модуль индукции магнитного поля.



Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

17

Заряженная частица влетает в полупространство, в котором создано однородное постоянное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Вектор скорости  $\vec{V}$  частицы в момент попадания в магнитное поле перпендикулярен вектору  $\vec{B}$ . Как изменятся радиус траектории частицы при движении в поле и время нахождения частицы в поле, если увеличить модуль скорости частицы при её попадании в поле?



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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) радиус траектории частицы при движении в поле
- Б) время нахождения частицы в поле

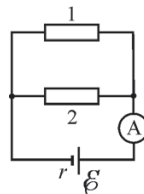
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Ответ:

А	Б

18

На рисунке изображена схема электрической цепи, состоящей из источника постоянного напряжения с ЭДС  $E$  и с внутренним сопротивлением  $r$ , двух одинаковых резисторов 1 и 2 сопротивлением  $2r$  каждый и идеального амперметра. 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.



ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

- А) ток, протекающий через амперметр  
 Б) мощность, выделяющаяся в резисторе 2

- 1)  $\frac{E^2}{8r}$   
 2)  $\frac{E}{2r}$   
 3)  $\frac{2}{25} \frac{E^2}{r}$   
 4)  $\frac{E}{r}$

Ответ:

А	Б

19

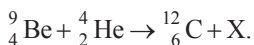
Ядро какого изотопа из нижеперечисленных содержит наибольшее количество нейтронов?

- 1)  ${}^{13}_6\text{C}$                       2)  ${}^{19}_9\text{F}$                       3)  ${}^8_4\text{Be}$                       4)  ${}^7_2\text{He}$

Ответ:

20

Определите неизвестный продукт X ядерной реакции



- 1) электрон                      2) протон                      3)  $\alpha$ -частица                      4) нейтрон

Ответ:

21

Современная зелёная лазерная указка обеспечивает генерацию лазерного луча площадью поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$  и мощностью  $0,3 \text{ Вт}$ . Какая энергия запасена в одном кубическом сантиметре этого луча?

Ответ: \_\_\_\_\_ нДж/см<sup>3</sup>.

22

В пробирке находится  $\nu$  молей атомов  $\beta$ -радиоактивного вещества с периодом полураспада  $T$ . Экспериментатор отмеряет время  $10T$ . Потом он берёт другую пробирку с тем же количеством атомов другого радиоактивного вещества с периодом полураспада  $2T$  и отмеряет то же самое время  $10T$ . Известно, что продуктами распада обоих веществ являются стабильные изотопы.

Как для второй пробирки по сравнению с первой через время  $10T$  изменяются следующие физические величины: количество вещества в пробирке; количество радиоактивных атомов в пробирке? 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- |   |                 |
|---|-----------------|
| А) количество вещества в пробирке             | 1) увеличится   |
| Б) количество радиоактивных атомов в пробирке | 2) уменьшится   |
|   | 3) не изменится |

Ответ:

А	Б

23

Школьник собирается проверить гипотезу о том, что коэффициент сухого трения зависит от материала трущихся поверхностей. Для этого он кладёт на горизонтальную стальную поверхность деревянный брусок массой  $m$  и измеряет модуль минимальной горизонтально направленной силы, которую нужно приложить к бруску для того, чтобы сдвинуть его с места. Какой второй опыт должен провести школьник для того, чтобы проверить гипотезу?

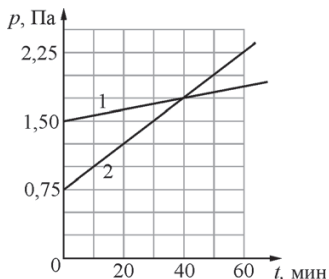
- 1) с деревянным бруском массой  $2m$ , лежащим на стальной поверхности
- 2) со стальным бруском массой  $\frac{m}{2}$ , лежащим на деревянной поверхности
- 3) с деревянным бруском массой  $2m$ , лежащим на деревянной поверхности
- 4) с деревянным бруском массой  $m$ , лежащим на деревянной поверхности

Ответ:

24

В двух закрытых сосудах одинакового объёма (1 литр) нагревают два различных газа 1 и 2. На рисунке показаны зависимости давления  $p$  этих газов от времени  $t$ . Известно, что начальные температуры газов были одинаковы.

Выберите два верных утверждения, соответствующие результатам этих экспериментов.



- 1) Количество вещества первого газа меньше, чем количество вещества второго газа.
- 2) Так как по условию эксперимента газы имеют одинаковые объёмы, а в момент времени  $t = 40$  мин они имеют и одинаковые давления, температуры этих газов в этот момент времени также одинаковы.
- 3) В момент времени  $t = 40$  мин температура газа 1 больше температуры газа 2.
- 4) В процессе проводимого эксперимента внутренняя энергия обоих газов увеличивается.
- 5) В процессе проводимого эксперимента оба газа не совершают работу.

Ответ:

--	--

### Часть 2

*Ответом к заданиям 25–27 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

25

Камень бросили вертикально вверх с начальной скоростью 30 м/с. Через какое минимальное время после броска кинетическая энергия камня будет в 3 раза меньше его потенциальной энергии, отсчитанной от уровня точки бросания? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

26

В идеальной тепловой машине температура холодильника отличается от температуры нагревателя в 0,75 раза. Над рабочим телом машины совершается один цикл. Чему равно отношение модуля количества теплоты, отданного рабочим телом, к совершённой машиной работе?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 27 Поток фотонов падает на металлическую пластину с работой выхода 2,6 эВ и выбивает из пластины фотоэлектроны, которые попадают в замедляющее однородное электрическое поле с модулем напряжённости 1 В/м. Какое время проходит от момента начала замедления фотоэлектронов до их полной остановки, если энергия падающего фотона 11,5 эВ? Считайте, что все фотоэлектроны при вылете из пластины имеют одинаковую скорость.

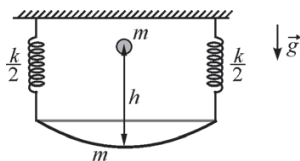
Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.

*Для записи ответов на задания этой части (28–32) используйте чистый лист. Запишите сначала номер задания (28, 29 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

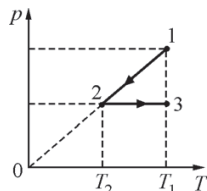
- 28 Во время грозы было видно, как между облаками проскакивает длинная молния, а затем, через некоторое время, был слышен удар грома и его раскаты, как бы «разбегающиеся» в разные стороны от середины молнии. Объясните описанные выше явления, наблюдаемые во время грозы.

*Полное правильное решение каждой из задач 29–32 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.*

- 29 К потолку на двух одинаковых лёгких пружинах общей жёсткостью  $k = 400$  Н/м подвешена чашка массой  $m = 500$  г. С высоты  $h = 10$  см в чашку падает и прилипает к ней груз такой же массой  $m$  (см. рисунок). На какое максимальное расстояние  $H$  после этого опустится чашка относительно своего исходного положения? Потерями механической энергии можно пренебречь.



- 30 Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 3$  моль сначала охладили, уменьшив его температуру от  $T_1 = 300$  К до  $T_2 = \frac{T_1}{n}$ , где  $n = 2$ , а затем нагрели до начальной температуры. При этом давление  $p$  газа изменялось так, как показано на графике. Какое суммарное количество теплоты газ отдал и получил в процессе 1–2–3?





31 Плоский конденсатор имеет между своими обкладками пластину из твёрдого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 7$ , полностью заполняющую зазор между ними. Ёмкость конденсатора при этом равна  $C = 100$  пФ. Конденсатор подсоединён к источнику с напряжением  $U = 50$  В. Какую работу  $A$  надо совершить для того, чтобы медленно вытянуть диэлектрическую пластину из конденсатора? Трения нет.

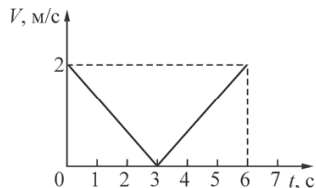
32 Небольшой уединённый металлический шарик долго облучали в вакууме светом с длиной волны  $\lambda = 412$  нм, в результате чего он зарядился и приобрёл потенциал  $\phi = 1$  В. Чему равна работа выхода электрона из этого металла? Ответ выразите в эВ.

## Вариант 4

### Часть 1

*Ответами к заданиям 1–24 являются цифра, число или последовательность цифр. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

1 Материальная точка движется вдоль оси  $OX$ . На рисунке приведён график зависимости модуля скорости  $V$  этой точки от времени  $t$ . Согласно графику, материальная точка



- 1) в момент времени  $t = 3$  с изменила направление движения на противоположное
- 2) всё время двигалась в одном направлении
- 3) всё время имела положительную проекцию ускорения на ось  $OX$
- 4) в момент времени  $t = 3$  с остановилась

Ответ:

2 Точечное тело движется по гладкой горизонтальной поверхности под действием постоянной горизонтальной силы, направленной вдоль оси  $OX$ . Известно, что проекция импульса этого тела на указанную ось изменяется со временем по закону  $p_x = -10 + 4t$ . Чему равен модуль силы, действующей на это тело?

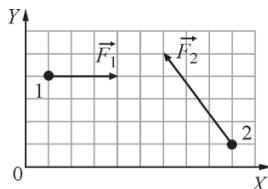
- 1) 10 Н
- 2) 5 Н
- 3) 4 Н
- 4) 2 Н

Ответ:

- 3 На неподвижном горизонтальном столе лежит однородный куб. Его убирают, и вместо него кладут другой куб, сделанный из материала с втрое меньшей плотностью и с ребром вдвое меньшей длины. Во сколько раз уменьшится давление, оказываемое кубом на стол?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 4 Тела 1 и 2 находятся на гладкой горизонтальной плоскости (см. рисунок, вид сверху). На них одновременно начинают действовать постоянные силы, равные соответственно  $F_1 = 3$  Н и  $F_2$ . Чему равно изменение проекции импульса системы этих тел на ось  $Ox$  за первые две секунды?

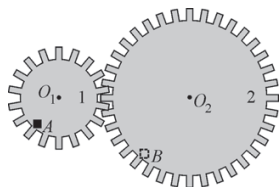


Ответ: \_\_\_\_\_ кг·м/с.

- 5 Груз подвешен на лёгкой вертикальной пружине и совершает на ней колебания с частотой  $\omega = 5$  рад/с, двигаясь по вертикали. На какую длину растянется эта пружина, если аккуратно подвесить к ней тот же груз, не возбуждая колебаний?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 6 На рисунке изображены две шестерёнки 1 и 2, закреплённые на двух параллельных осях  $O_1$  и  $O_2$ . Ось  $O_2$  шестерёнки 2 вращают с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . На краю шестерёнки 1 в точке  $A$  закреплено точечное тело. Как изменятся модуль центростремительного ускорения этого тела и его угловая скорость, если закрепить это тело в точке  $B$  на краю шестерёнки 2 (при неизменной угловой скорости вращения оси шестерёнки 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) модуль центростремительного  
Б) угловая скорость

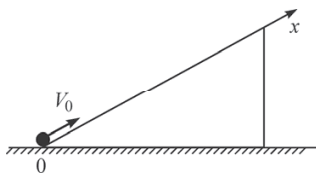
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Ответ:

А	Б

7

Маленькой шайбе, покоящейся у основания гладкой наклонной плоскости, сообщают начальную скорость  $V_0$ , направленную вдоль наклонной плоскости вверх (см. рисунок). Наклонная плоскость достаточно длинная. Установите соответствие между зависимостями физических величин от времени и графиками.

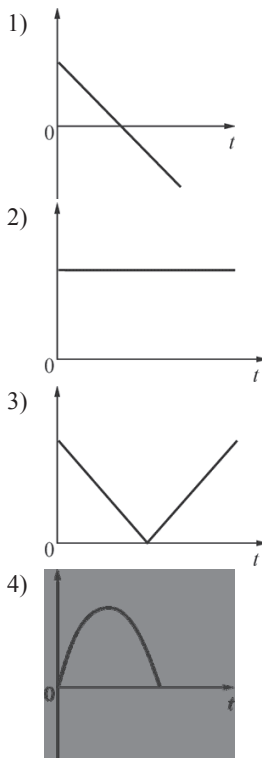


К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) модуль ускорения  $a$
- Б) потенциальная энергия  $U$  (относительно начального положения шайбы)

ГРАФИК



Ответ:

А	Б

8 Скорость диффузии зависит от

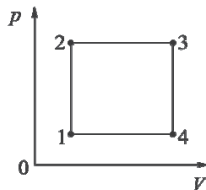
- А) температуры  
Б) агрегатного состояния веществ

Какие из представленных утверждений являются верными?

- 1) только А  
2) только Б  
3) и А, и Б  
4) ни А, ни Б

Ответ:

9 С постоянным количеством идеального газа провели процесс 1–2–3–4–1, изображённый на графике зависимости давления  $p$  от объёма  $V$ . Какая точка на графике соответствует состоянию с наименьшей температурой?



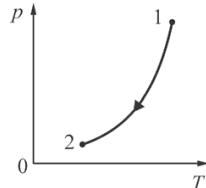
- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4

Ответ:

10 Определите массу водяного пара в воздухе, который находится в объёме  $1 \text{ м}^3$  при температуре  $100^\circ\text{C}$ , если известно, что относительная влажность этой порции воздуха равна 60 %. Ответ округлите до сотых долей.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

11 На рисунке изображён график зависимости давления  $p$  одного моля идеального одноатомного газа от его температуры  $T$  в процессе 1–2. Как в результате перехода из состояния 1 в состояние 2 изменяются внутренняя энергия газа и объём газа?



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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) внутренняя энергия газа  
Б) объём газа

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

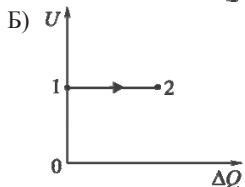
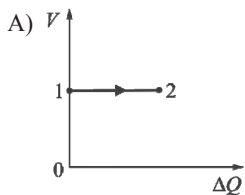
Ответ: 

А	Б

12

Один моль идеального газа находился в некотором состоянии 1. Затем в результате некоторых процессов, в ходе которых газ мог обмениваться количеством теплоты  $\Delta Q$  с окружающими телами, газ медленно перешёл в состояние 2. Установите соответствие между графиками процессов 1–2 и названиями этих процессов, если  $V$  – объём газа, а  $U$  – его внутренняя энергия. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИК



НАЗВАНИЕ ПРОЦЕССА

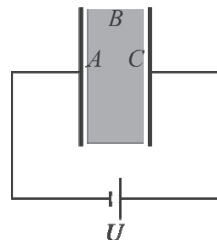
- 1) изотермический
- 2) изохорный
- 3) изобарный
- 4) адиабатный

Ответ:

А	Б

13

В плоский конденсатор помещена диэлектрическая пластина, толщина которой намного меньше размера обкладок конденсатора. Конденсатор подключён к источнику постоянного напряжения  $U$  так, как показано на рисунке. На какой поверхности диэлектрической пластины локализованы отрицательные поляризационные заряды?

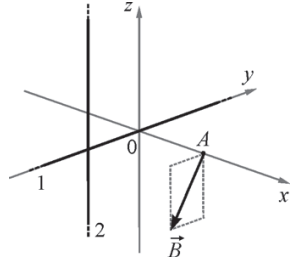


- 1) A
- 2) B
- 3) C
- 4) на всех трёх поверхностях A, B и C

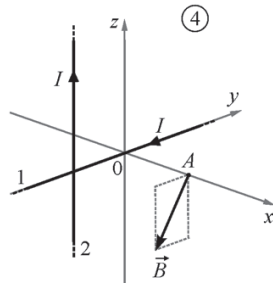
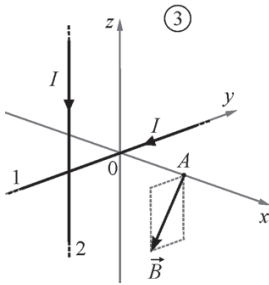
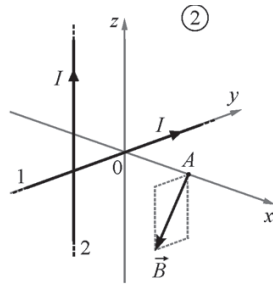
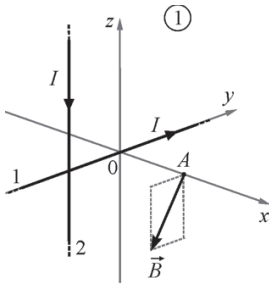
Ответ:

14

Магнитное поле образовано двумя бесконечно длинными тонкими прямыми проводами, по которым протекают одинаковые токи  $I$ . Провод 1 лежит на оси  $OY$ , провод 2 параллелен оси  $OZ$  и пересекает ось  $OX$ . Направление вектора индукции магнитного поля, создаваемого этими токами в точке  $A$ , изображено на рисунке (пунктирный прямоугольник параллелен плоскости  $YOZ$ ).



На каком из следующих рисунков правильно показаны направления протекания токов в проводах?



1) 1

2) 2

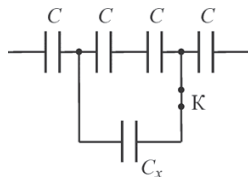
3) 3

4) 4

Ответ:

15

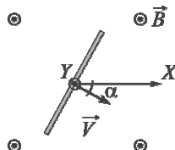
Участок цепи, схема которого изображена на рисунке, до размыкания ключа К имел электрическую ёмкость 8 нФ. После размыкания ключа электроёмкость данного участка цепи стала равной 6 нФ. Чему равна электроёмкость конденсатора  $C_x$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ нФ.

16

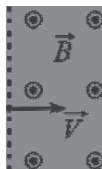
Прямой проводник длиной 50 см равномерно поступательно движется в однородном постоянном магнитном поле, направление которого совпадает с направлением вертикальной оси  $Y$  (на рисунке эта ось направлена «на нас»). Скорость проводника направлена перпендикулярно ему и составляет угол  $30^\circ$  с горизонтальной осью  $X$ , как показано на рисунке. Разность потенциалов между концами проводника равна 25 мВ, модуль индукции магнитного поля 0,1 Тл. Определите модуль скорости движения этого проводника.



Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

17

Заряженная частица влетает в полупространство, в котором создано однородное постоянное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Вектор скорости  $\vec{V}$  частицы в момент попадания в магнитное поле перпендикулярен вектору  $\vec{B}$ . Как изменятся радиус траектории частицы при движении в поле и время нахождения частицы в поле, если уменьшить скорость частицы при её попадании в поле?



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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) радиус траектории частицы при движении в поле
- Б) время нахождения частицы в поле

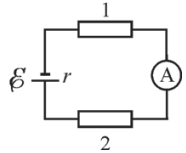
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Ответ:

А	Б

18

На рисунке изображена схема электрической цепи, состоящей из источника постоянного напряжения с ЭДС  $E$  и с внутренним сопротивлением  $r$ , двух одинаковых резисторов 1 и 2 сопротивлением  $2r$  каждый и идеального амперметра. 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.



ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

А) ток, протекающий через амперметр

1)  $\frac{E^2}{5r}$

Б) мощность, выделяющаяся в резисторе 1

2)  $\frac{E}{2r}$

3)  $\frac{2}{25} \cdot \frac{E^2}{r}$

4)  $\frac{E}{5r}$

Ответ:

А	Б

19

Ядро какого изотопа из нижеперечисленных содержит наименьшее количество нейтронов?

1)  ${}^1_6\text{C}$

2)  ${}^{15}_9\text{F}$

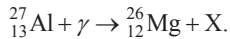
3)  ${}^8_4\text{Be}$

4)  ${}^7_2\text{He}$

Ответ:

20

Определите неизвестный продукт X ядерной реакции



1) электрон

2) протон

3)  $\alpha$ -частица

4) нейтрон

Ответ:

21

Современная зелёная лазерная указка обеспечивает генерацию лазерного луча мощностью 0,6 Вт. В одном кубическом сантиметре этого луча запасена энергия 2 нДж. Какова площадь поперечного сечения такого луча?

Ответ: \_\_\_\_\_ мм<sup>2</sup>.



22

В пробирке находится  $\nu$  молей атомов  $\beta$ -радиоактивного вещества с периодом полураспада  $T$ . Экспериментатор отмеряет время  $10T$ . Потом он берёт другую пробирку с тем же количеством атомов другого радиоактивного вещества с периодом полураспада  $5T$  и отмеряет то же самое время  $10T$ . Известно, что продуктами распада обоих веществ являются стабильные изотопы.

Как для второй пробирки по сравнению с первой через время  $10T$  изменятся следующие физические величины: количество вещества в пробирке; количество нерадиоактивных атомов в пробирке? 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- |   |                 |
|---|-----------------|
| А) количество вещества в пробирке               | 1) увеличится   |
| Б) количество нерадиоактивных атомов в пробирке | 2) уменьшится   |
|   | 3) не изменится |

Ответ:

А	Б

23

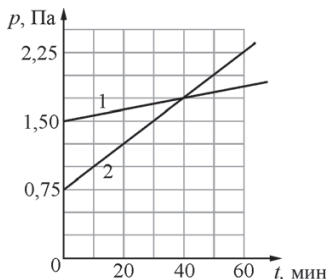
Школьник собирается проверить гипотезу о том, что коэффициент сухого трения не зависит от площади соприкосновения трущихся поверхностей. Для этого он кладёт на горизонтальную стальную поверхность деревянный брусок с площадью нижнего основания  $S$  и измеряет модуль минимальной горизонтально направленной силы, которую нужно приложить к бруску для того, чтобы сдвинуть его с места. Какой второй опыт должен провести школьник для того, чтобы проверить гипотезу?

- 1) с деревянным бруском большей массы с площадью нижнего основания  $S$ , лежащим на стальной поверхности
- 2) с деревянным бруском той же массы с площадью нижнего основания  $2S$ , лежащим на деревянной поверхности
- 3) с деревянным бруском той же массы с площадью нижнего основания  $2S$ , лежащим на стальной поверхности
- 4) со стальным бруском меньшей массы с площадью нижнего основания  $S$ , лежащим на деревянной поверхности

Ответ:

24

В двух закрытых сосудах одинакового объёма (1 литр) нагревают два различных газа 1 и 2. На рисунке показаны зависимости давления  $p$  этих газов от времени  $t$ . Известно, что начальные температуры газов были одинаковы. Выберите два верных утверждения, соответствующие результатам этих экспериментов.



- 1) Количество вещества первого газа больше, чем количество вещества второго газа.
- 2) Так как по условию эксперимента газы имеют одинаковые объёмы, а в момент времени  $t = 40$  мин они имеют и одинаковые давления, температуры этих газов в этот момент времени также одинаковы.
- 3) В момент времени  $t = 40$  мин температура газа 1 меньше температуры газа 2.
- 4) В процессе проводимого эксперимента не происходит изменения внутренней энергии газов.
- 5) В процессе проводимого эксперимента оба газа совершают положительную работу.

Ответ:

--	--

## Часть 2

*Ответом к заданиям 25–27 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

25

Камень бросили вертикально вверх с начальной скоростью 15 м/с. Через какое минимальное время после броска потенциальная энергия камня, отсчитанная от уровня точки бросания, будет в 8 раз больше кинетической энергии камня? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

26

В идеальной тепловой машине температура холодильника отличается от температуры нагревателя в 1,5 раза. Над рабочим телом машины совершается один цикл. Чему равно отношение полезной работы этой тепловой машины к модулю количества теплоты, отданного рабочим телом?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 27 Поток фотонов падает на металлическую пластину с работой выхода 4,3 эВ и выбивает из пластины фотоэлектроны, которые попадают в замедляющее однородное электрическое поле с модулем напряжённости 0,1 В/м. Какое время проходит от момента начала замедления фотоэлектронов до их полной остановки, если энергия падающего фотона 13,2 эВ? Считайте, что все фотоэлектроны при вылете из пластины имеют одинаковую скорость.

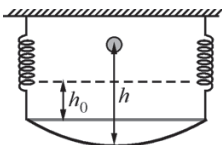
Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.

*Для записи ответов на задания этой части (28–32) используйте чистый лист. Запишите сначала номер задания (28, 29 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

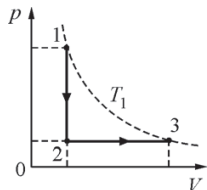
- 28 Во время грозы было видно, как между облаками и землёй проскочила длинная молния, а затем, через некоторое время, был слышен удар грома и его раскаты, продолжающиеся в течение довольно длительного времени после молнии. Объясните описанные выше явления, наблюдаемые во время грозы.

*Полное правильное решение каждой из задач 29–32 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.*

- 29 К потолку на двух одинаковых лёгких пружинах подвешена чашка, растягивающая пружины на расстояние  $h_0 = 5$  см. С высоты  $h = 15$  см в чашку падает и прилипает к ней груз с массой, равной массе чашки (см. рисунок). На какое максимальное расстояние  $H$  относительно своего исходного положения после этого опустится чашка? Потерями механической энергии можно пренебречь.



- 30 Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 5$  моль сначала охладили, уменьшив его температуру от  $T_1 = 400$  К до  $T_2 = \frac{T_1}{n}$ , где  $n = 4$ , а затем нагрели до начальной температуры. При этом давление  $p$  газа изменялось так, как показано на графике. Какое суммарное количество теплоты газ отдал и получил в процессе 1–2–3?



- 31 Плоский конденсатор имеет между своими обкладками пластину из твёрдого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4$ , полностью заполняющую зазор между ними. Ёмкость конденсатора при этом равна  $C = 50$  пФ. Конденсатор подсоединён к источнику с напряжением  $U = 240$  В. Какую работу  $A$  надо совершить для того, чтобы медленно вытянуть диэлектрическую пластину из конденсатора? Трения нет.

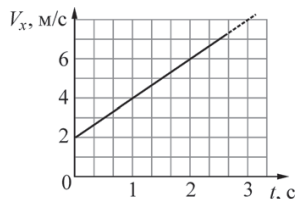
- 32 Небольшой уединённый металлический шарик долго облучали в вакууме светом с длиной волны  $\lambda = 300$  нм, в результате чего он зарядился и приобрёл потенциал  $\phi = 2,23$  В. Чему равна работа выхода электрона из этого металла? Ответ выразите в эВ.

## Вариант 5

### Часть 1

*Ответами к заданиям 1–24 являются цифра, число или последовательность цифр. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

- 1 Точечное тело движется вдоль оси  $Ox$ . В начальный момент времени тело находилось в точке с координатой  $x = -5$  м. На рисунке изображена зависимость проекции скорости  $V_x$  этого тела от времени  $t$ . В момент времени  $t = 4$  с координата этого тела равна

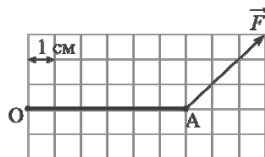


- 1) 11 м                      2) 16 м                      3) 19 м

4) 24 м

Ответ:

- 2 Стержень  $OA$ , расположенный в плоскости рисунка, может вращаться вокруг неподвижной оси  $O$ , которая расположена перпендикулярно плоскости рисунка. К концу стержня  $A$  приложена постоянная сила  $F = 0,5$  Н, перпендикулярная оси  $O$ . Используя рисунок, на котором указан масштаб, определите, чему равен по модулю момент силы  $F$  относительно оси  $O$ .



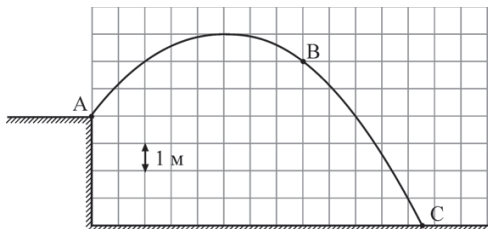
- 1)  $3\sqrt{2}$  Н·см              2)  $\frac{3}{\sqrt{2}}$  Н·см              3)  $6\sqrt{2}$  Н·см              4) 0 Н·см

Ответ:

3 Чему равен модуль силы тяжести, действующей на тело массой 9 кг, на высоте, равной половине радиуса Земли?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

4 Мальчик бросил камень массой 100 г под углом к горизонту из точки *A*. На рисунке в некотором масштабе изображена траектория *ABC* полёта камня.



Сопrotивление воздуха пренебрежимо мало. В точке *B* траектории модуль скорости камня был равен 8 м/с. Какую кинетическую энергию имел камень в точке *A*?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

5 Пустой цилиндрический стеклянный стакан плавает в воде, погрузившись на половину своей высоты. Дно стакана при плавании горизонтально, плотность стекла 2500 кг/м<sup>3</sup>. Чему равно отношение внутреннего объёма стакана к его наружному объёму? Ответ представьте в виде десятичной дроби, округлив до десятых долей.

Ответ: \_\_\_\_\_.

6 Бруску, лежащему на горизонтальной шероховатой поверхности, сообщили некоторую начальную скорость, после чего он прошёл до полной остановки некоторое расстояние. Затем тот же самый брусок положили на другую горизонтальную поверхность и сообщили ему ту же самую начальную скорость. Коэффициент трения бруска о поверхность в первом случае меньше, чем во втором. Как изменятся во втором случае по сравнению с первым следующие физические величины: модуль работы силы сухого трения; расстояние, пройденное бруском до остановки?

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) модуль работы силы сухого трения  
 Б) расстояние, пройденное бруском до остановки

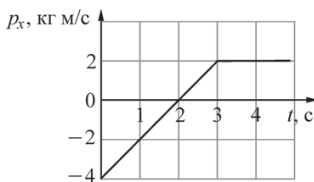
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Ответ:

А	Б

7

Точечное тело массой 2 кг движется вдоль оси  $Ox$ . Зависимость проекции импульса  $p_x$  этого тела от времени  $t$  изображена на рисунке.



Установите соответствие между физическими величинами и их значениями в СИ. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ (В СИ)

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| А) проекция на ось $Ox$ силы, действующей на тело в момент времени $t = 4$ с<br>Б) проекция скорости тела на ось $Ox$ в момент времени $t = 4$ с | 1) 0<br>2) 0,5<br>3) 1<br>4) 2 |
|--|--------------------------------|

Ответ:

А	Б

8

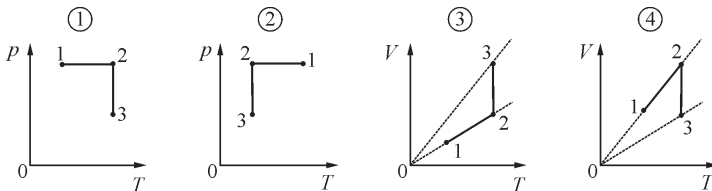
В стакане находится вода в кристаллическом состоянии при температуре  $0^\circ\text{C}$ . Из-за контакта с тёплым стаканом и с комнатным воздухом вся вода переходит в жидкое состояние. В процессе перехода воды из кристаллического состояния в жидкое

- 1) её объём увеличивается
- 2) её плотность увеличивается
- 3) её внутренняя энергия сохраняется постоянной
- 4) её температура возрастает

Ответ:

9

Идеальный газ в результате изобарного расширения перешёл из состояния 1 в состояние 2, а затем, в результате изотермического сжатия – в состояние 3. На каком из следующих рисунков правильно изображены эти переходы?

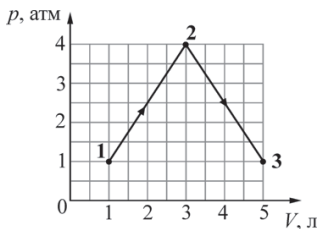


- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4

Ответ:

10

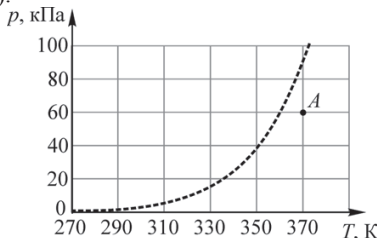
Идеальный газ медленно переводят из состояния 1 в состояние 3. Процесс 1–2–3 представлен на графике зависимости давления газа  $p$  от его объёма  $V$  (см. рисунок). Считая, что  $1 \text{ атм.} = 10^5 \text{ Па}$ , найдите, какую работу совершает газ в процессе 1–2–3.



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

11

Водяной пар находится в сосуде объёмом 10 литров при давлении 60 кПа (точка  $A$  на графике).



Используя график зависимости давления  $p$  насыщенных паров воды от температуры  $T$ , приведённый на рисунке, определите, как будут изменяться масса пара и его внутренняя энергия при изотермическом уменьшении объёма, занимаемого паром, на 10%.

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) масса пара
- Б) внутренняя энергия пара

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

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

Ответ:

А	Б

12

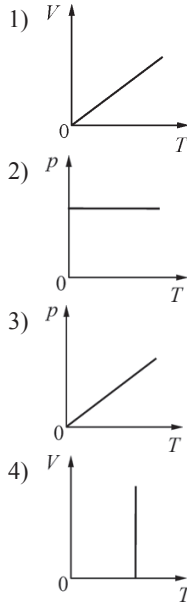
Установите соответствие между уравнениями процессов, в которых участвует постоянное количество идеального газа, и графиками процессов, изображёнными на диаграммах ( $\rho$  – плотность,  $V$  – объём,  $T$  – абсолютная температура,  $p$  – давление).

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

УРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССА

- А)  $\rho = \text{const}$
- Б)  $pV = \text{const}$

ГРАФИК ПРОЦЕССА



Ответ:

А	Б



13

Четыре металлические рамки находятся в однородном магнитном поле. Направление вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  и начальное расположение рамок показано на рис. 1: плоскости рамок 1 и 4 перпендикулярны оси  $Oz$ , плоскость рамки 2 перпендикулярна оси  $Oy$ , а плоскость рамки 3 перпендикулярна оси  $Ox$ .

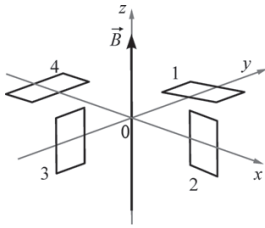


рис. 1

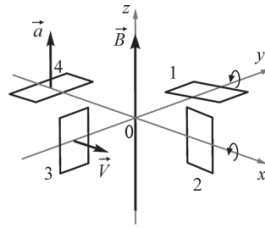


рис. 2

В некоторый момент времени (см. рис. 2)

рамку № 1 начинают вращать вокруг оси  $Oy$ ;

рамку № 2 начинают вращать вокруг оси  $Ox$ ;

рамку № 3 начинают перемещать с постоянной скоростью  $\vec{V}$  параллельно оси  $Ox$ ;

рамку № 4 начинают перемещать с постоянным ускорением  $\vec{a}$  параллельно оси  $Oz$ .

Для какой из этих рамок на рис. 3 правильно изображена зависимость ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени  $t$ ?

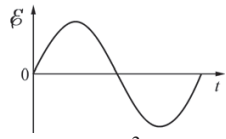


рис. 3

1) 1

2) 2

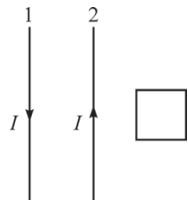
3) 3

4) 4

Ответ:

14

Два длинных прямых провода расположены параллельно друг другу. В одной плоскости с ними лежит квадратный проволочный контур, две стороны которого параллельны проводам. По проводам текут одинаковые электрические токи силой  $I$ , направленные в противоположные стороны. Электрический ток в проводе 1 начинает уменьшаться. Индукционный ток, который при этом будет протекать по квадратному контуру,



1) направлен против часовой стрелки

2) направлен по часовой стрелке

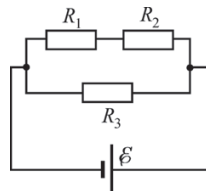
3) равен нулю

4) может быть направлен как против часовой стрелки, так и по часовой стрелке

Ответ:

15

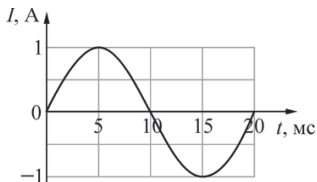
Какая мощность выделяется в резисторе  $R_1$ , включённом в электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке?  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ Ом}$ , ЭДС источника  $5 \text{ В}$ , внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало.



Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

16

Электрический ток протекает через катушку индуктивностью  $6 \text{ мГн}$ . На графике приведена зависимость силы  $I$  этого тока от времени  $t$ . Чему равна энергия магнитного поля, запасённая в катушке в момент времени  $t = 5 \text{ мс}$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

17

С помощью тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $20 \text{ см}$  получают изображение предмета, находящегося на расстоянии  $30 \text{ см}$  от линзы и расположенного перпендикулярно главной оптической оси. Как изменятся расстояние от линзы до изображения и размер изображения, если, не изменяя расположение предмета, заменить линзу на другую тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием  $10 \text{ см}$ ?

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) расстояние от линзы до изображения
- Б) размер изображения

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

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

Ответ:

А	Б

18

На дифракционную решётку с периодом  $d$  перпендикулярно к ней падает широкий пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

А) частота падающего света

Б) угол, под которым наблюдается главный дифракционный максимум  $m$ -го порядка

1)  $\pm \arccos \frac{m\lambda}{d}$

2)  $c\lambda$

3)  $\pm \arcsin \frac{m\lambda}{d}$

4)  $\frac{c}{\lambda}$

Ответ:

А	Б

19

Какие из следующих четырёх ядер:  ${}_{5}^{11}\text{B}$ ,  ${}_{6}^{12}\text{C}$ ,  ${}_{3}^{8}\text{Li}$ ,  ${}_{2}^{6}\text{He}$  – имеют в своём составе одинаковое число нейтронов?

1)  ${}_{5}^{11}\text{B}$  и  ${}_{2}^{6}\text{He}$

2)  ${}_{5}^{11}\text{B}$  и  ${}_{6}^{12}\text{C}$

3)  ${}_{3}^{8}\text{Li}$  и  ${}_{2}^{6}\text{He}$

4)  ${}_{3}^{8}\text{Li}$  и  ${}_{6}^{12}\text{C}$

Ответ:

20

В результате термоядерной реакции синтеза  ${}_{2}^{3}\text{He} + {}_{1}^{3}\text{T} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + ???$  образуется ядро гелия  ${}_{2}^{4}\text{He}$ , а также

1) протон

3) протон и нейтрон

2) нейтрон

4) два протона

Ответ:

21

Электрон в атоме водорода переходит на вторую стационарную орбиту, испуская волны, длина которых равна 656 нм. С какой стационарной орбиты переходит этот электрон?

Ответ: \_\_\_\_\_.

22

Положительно заряженная частица движется в вакууме с постоянной скоростью. Затем эта частица попадает в однородное электрическое поле и в течение некоторого времени движется в направлении его силовых линий. Как меняются в процессе движения частицы в электрическом поле следующие физические величины: кинетическая энергия, длина волны де Бройля?

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) кинетическая энергия частицы  
 Б) длина волны де Бройля частицы

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

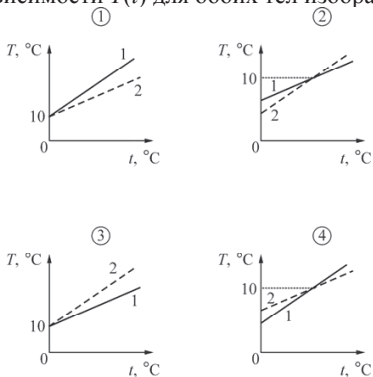
Ответ:

А	Б

23

В калориметре находится 0,5 литра воды при температуре 10 °С. Необходимо экспериментально изучить зависимость конечной температуры воды от начальной температуры погружаемого в неё тела при достижении теплового равновесия. Данный эксперимент последовательно проводят с двумя телами одинаковых масс (100 г) – алюминиевым и оловянным. Удельная теплоёмкость олова 230 Дж/(кг·°С). Буквой  $t$  на графиках обозначена начальная температура погружаемого тела, а буквой  $T$  – конечная температура воды. Цифрой 1 отмечена зависимость  $T(t)$  для алюминия, а цифрой 2 – для олова.

На каком рисунке зависимости  $T(t)$  для обоих тел изображены правильно?



1) 1

2) 2

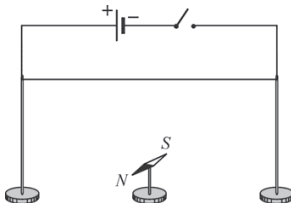
3) 3

4) 4

Ответ:

24

Для повторения опыта Эрстеда учитель взял горизонтально расположенную магнитную стрелку, которая могла свободно вращаться на вертикальной игольчатой подставке, и поместил над стрелкой прямой провод. Учитель первый раз подключил концы провода к полюсам батареи, как показано на рисунке, и замкнул ключ, а второй раз изменил полярность подключения батареи (поменял местами концы провода, подключённые к «плюсу» и к «минусу»).



Выберите **два** верных утверждения, соответствующие результатам этих экспериментов.

- 1) После подключения концов провода к полюсам батареи магнитная стрелка каждый раз устанавливалась параллельно проводу.
- 2) После подключения концов провода к полюсам батареи магнитная стрелка каждый раз устанавливалась перпендикулярно проводу.
- 3) При обоих вариантах подключения концов провода к полюсам батареи магнитная стрелка оставалась в покое.
- 4) После изменения полярности подключения концов провода к полюсам батареи магнитная стрелка повернулась на  $90^\circ$ .
- 5) После изменения полярности подключения концов провода к полюсам батареи магнитная стрелка повернулась на  $180^\circ$ .

Ответ:

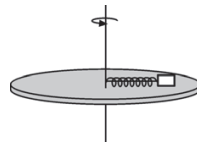
--	--

## Часть 2

**Ответом к заданиям 25–27 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.**

25

Невесомая пружина жёсткостью  $100 \text{ Н/м}$  прикреплена одним концом к оси вращения гладкого горизонтального диска радиусом  $30 \text{ см}$ . К другому концу этой пружины прикреплено небольшое тело массой  $0,1 \text{ кг}$ , лежащее на диске. Длина пружины в недеформированном состоянии равна  $16 \text{ см}$ . На каком расстоянии от оси вращения будет находиться тело, если медленно раскрутить диск до частоты обращения  $\nu = 3 \text{ Гц}$ ? Ответ округлите до целого числа сантиметров.



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

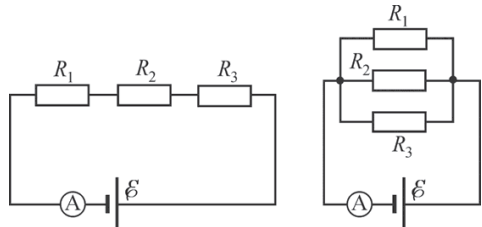
26

В плоский конденсатор, расстояние между обкладками которого равно 2 см, вставили плоскопараллельную металлическую пластину толщиной 1,6 см. Плоскости пластины параллельны обкладкам конденсатора, расстояние между обкладками намного меньше их поперечных размеров, пластина не касается обкладок. Во сколько раз в результате этого увеличилась ёмкость конденсатора?

Ответ: \_\_\_\_\_.

27

Три одинаковых резистора сопротивлением 30 Ом каждый подключают к источнику постоянного напряжения: первый раз последовательно, второй – параллельно. При этом показания идеального амперметра (см. рисунок) отличаются в 3 раза.



Чему равно внутреннее сопротивление источника напряжения?

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

*Для записи ответов на задания 28–32 используйте чистый лист. Запишите сначала номер задания (28, 29 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

28

В сосуде, закрытом поршнем, находится при комнатной температуре воздух, относительная влажность которого равна 50 %, а масса пара равна  $m$ . Поршень медленно вдвигают в сосуд, уменьшая его объём в 8 раз, при постоянной температуре. Нарисуйте график зависимости массы воды, сконденсировавшейся в этом процессе, от объёма сосуда.

*Полное правильное решение каждой из задач 29–32 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.*

29

Маятник состоит из маленького груза массой  $M = 200$  г, висящего на лёгкой нерастяжимой нити длиной  $L = 100$  см. Он висит в состоянии покоя в вертикальном положении. В груз ударяется и прилипает к нему небольшое тело массой  $m = 100$  г, летевшее в горизонтальном направлении. В результате возникает вращение маятника в вертикальной плоскости вокруг

его точки подвеса, причём груз маятника всё время движется по окружности, делая полный оборот. Какова могла быть скорость тела до удара?

**30** В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна  $u = 440$  м/с. В результате некоторого процесса объём газа уменьшился на  $\alpha = 20\%$ , а давление выросло на  $\beta = 80\%$ . Каким стало новое значение  $v$  среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

**31** Известно, что «лошадиная сила» (л. с.) равна мощности  $75$  кгс·м/с  $\approx 735$  Вт, а средний человек при длительной работе развивает мощность около  $0,16$  л. с. и кратковременно может превышать это ограничение. Человек, стараясь после отключения электричества в сети осветить своё жилище, использует электрогенератор с механическим приводом с КПД  $\eta = 60\%$ . Он вращает ротор генератора через редуктор за ручку, находящуюся на расстоянии  $R = 0,5$  м от оси, со скоростью  $n = 20$  об./мин, прикладывая к ручке силу  $F = 100$  Н. Сможет ли он долго поддерживать горение лампочки мощностью  $P = 60$  Вт и не перегорит ли она от перенапряжения (лампочка рассчитана на номинальное напряжение  $220$  В, но не более  $235$  В, а напряжение генератора прямо пропорционально скорости вращения ротора)?

**32** Для исследования рентгеновских лучей с длинами волн меньше  $10$  нм изготовить обычную дифракционную решётку с подходящим периодом не представляется возможным, однако есть способ обойти эту трудность. Возьмём обычную решётку с периодом  $d = 20$  мкм и осветим её параллельным пучком рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 3$  нм с углом падения на решётку  $\alpha = 89,5^\circ$  (скользящее падение лучей). Под каким углом  $\gamma$  к первоначальному пучку будет фиксироваться дифракционный максимум первого порядка? Считайте этот угол малым:  $\gamma \ll 1$ . Ответ выразите в градусах и округлите до целого числа.

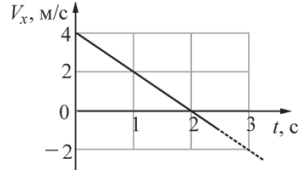
## Вариант 6

### Часть 1

*Ответами к заданиям 1–24 являются цифра, число или последовательность цифр. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

1

Точечное тело движется вдоль оси  $OX$ . В начальный момент времени тело находилось в точке с координатой  $x = 5$  м. На рисунке изображена зависимость проекции скорости  $V_x$  этого тела от времени  $t$ . В момент времени  $t = 4$  с координата этого тела равна

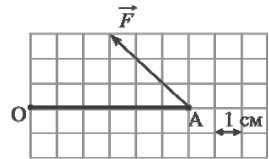


- 1) 0 м                      2) 5 м                      3) -11 м                      4) 37 м.

Ответ:

2

Стержень  $OA$ , расположенный в плоскости рисунка, может вращаться вокруг неподвижной оси  $O$ , которая расположена перпендикулярно плоскости рисунка. К концу стержня  $A$  приложена постоянная сила  $F = 2$  Н, перпендикулярная оси  $O$ . Используя рисунок, на котором указан масштаб, определите, чему равен по модулю момент силы  $F$  относительно оси  $O$ .



- 1)  $6\sqrt{2}$  Н·см              2)  $\frac{6}{\sqrt{2}}$  Н·см              3) 6 Н·см                      4) 0 Н·см

Ответ:

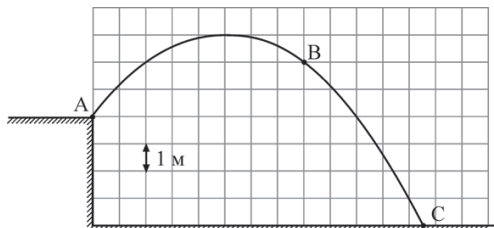
3

Чему равен модуль силы тяжести, действующей на тело массой 50 кг, на высоте, в полтора раза большей радиуса Земли?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

4

Мальчик бросил камень массой 100 г под углом к горизонту из точки  $A$ . На рисунке в некотором масштабе изображена траектория  $ABC$  полёта камня. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.



В точке  $B$  траектории модуль скорости камня был равен 8 м/с. Какую кинетическую энергию имел камень в точке  $C$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.



5 Пустой цилиндрический стеклянный стакан плавает в воде, погрузившись на  $\frac{3}{4}$  своей высоты. Дно стакана при плавании горизонтально, плотность стекла  $2500 \text{ кг/м}^3$ . Чему равно отношение внутреннего объема стакана к его наружному объёму? Ответ представьте в виде десятичной дроби, округлив до десятых долей.

Ответ: \_\_\_\_\_.

6 Бруску, лежащему на горизонтальной шероховатой поверхности, сообщили некоторую начальную скорость, после чего он прошёл до полной остановки некоторое расстояние. Затем тот же самый брусок положили на другую горизонтальную поверхность и сообщили ему ту самую начальную скорость. Коэффициент трения бруска о поверхность в первом случае больше, чем во втором. Как изменятся во втором случае по сравнению с первым следующие физические величины: модуль работы силы сухого трения; расстояние, пройденное бруском до остановки?

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) модуль работы силы сухого трения  
 Б) расстояние, пройденное бруском до остановки

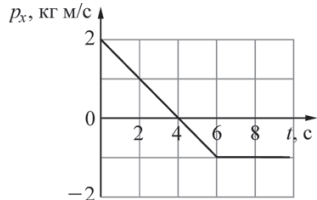
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Ответ:

А	Б

7 Точечное тело массой  $2 \text{ кг}$  движется вдоль оси  $Ox$ . Зависимость проекции импульса  $p_x$  этого тела от времени  $t$  изображена на рисунке.

Установите соответствие между физическими величинами и их значениями в СИ. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ (в СИ)

- А) проекция на ось  $Ox$  силы, действующей на тело в момент времени  $t = 4 \text{ с}$   
 Б) проекция скорости тела на ось  $Ox$  в момент времени  $t = 4 \text{ с}$

- 1) 0
- 2)  $-0,5$
- 3) 2
- 4) 4

Ответ:

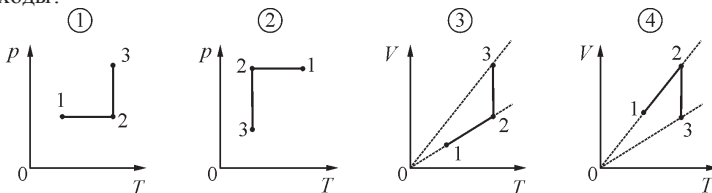
А	Б

**8** В стакане находится вода в кристаллическом состоянии при температуре  $0^\circ\text{C}$ . Из-за контакта с тёплым стаканом и с комнатным воздухом вся вода переходит в жидкое состояние. В процессе перехода воды из кристаллического состояния в жидкое

- 1) её объём уменьшается
- 2) её плотность уменьшается
- 3) её внутренняя энергия уменьшается
- 4) её температура уменьшается

Ответ:

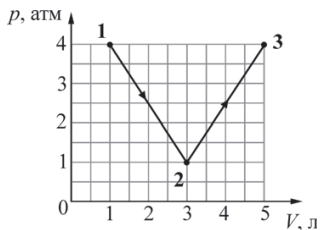
**9** Идеальный газ в результате изобарного сжатия перешёл из состояния 1 в состояние 2, а затем, в результате изотермического расширения – в состояние 3. На каком из следующих рисунков правильно изображены эти переходы?



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

Ответ:

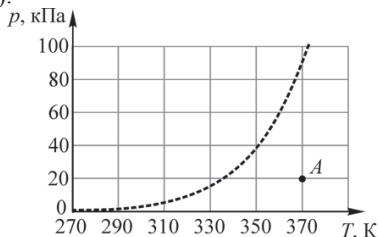
**10** Идеальный газ медленно переводят из состояния 1 в состояние 3. Процесс 1–2–3 представлен на графике зависимости давления газа  $p$  от его объёма  $V$  (см. рисунок). Считая, что  $1 \text{ атм.} = 10^5 \text{ Па}$ , найдите, какую работу совершает газ в процессе 1–2–3.



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

11

Водяной пар находится в сосуде объёмом 10 литров при давлении 20 кПа (точка  $A$  на графике).



Используя график зависимости давления  $p$  насыщенных паров воды от температуры  $T$ , показанный на рисунке, определите, как будут изменяться масса пара и его внутренняя энергия при изобарном уменьшении объёма, занимаемого паром, на 5%.

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) масса пара
- Б) внутренняя энергия пара

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

Ответ:

А	Б

12

Установите соответствие между уравнениями процессов, в которых участвует постоянное количество идеального газа, и графиками процессов, изображёнными на диаграммах ( $p$  – давление,  $V$  – объём,  $T$  – абсолютная температура,  $\rho$  – плотность).

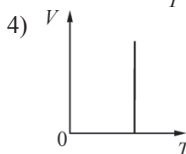
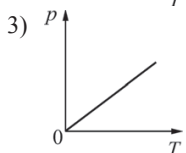
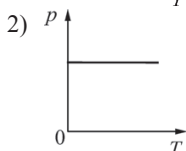
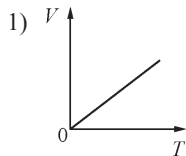
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

УРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССА

А)  $\frac{T}{p} = \text{const}$

Б)  $\frac{p}{\rho} = \text{const}$

ГРАФИК ПРОЦЕССА



Ответ:

А	Б

13

Четыре металлические рамки находятся в однородном магнитном поле. Направление вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  и начальное расположение рамок показано на рис. 1: плоскости рамок 1 и 4 перпендикулярны оси  $Oz$ , плоскость рамки 2 перпендикулярна оси  $Oy$ , а плоскость рамки 3 перпендикулярна оси  $Ox$ .

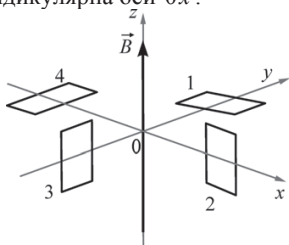


рис. 1

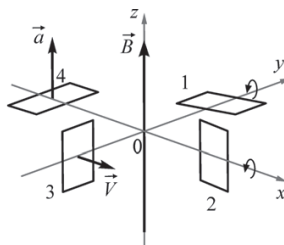


рис. 2

В некоторый момент времени (см. рис. 2) рамку № 1 начинают вращать вокруг оси  $Oy$ ;

рамку № 2 начинают вращать вокруг оси  $Ox$ ;

рамку № 3 начинают перемещать с постоянной скоростью  $\vec{V}$  параллельно оси  $Ox$ ;

рамку № 4 начинают перемещать с постоянным ускорением  $\vec{a}$  параллельно оси  $Oz$ .

Для какой из этих рамок на рис. 3 правильно изображена зависимость ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени  $t$ ?

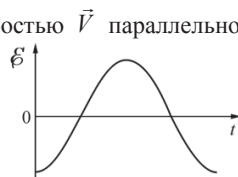


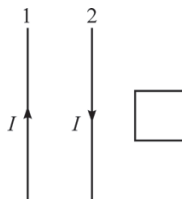
рис. 3

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

Ответ:

14

Два длинных прямых провода расположены параллельно друг другу. В одной плоскости с ними лежит квадратный проволочный контур, две стороны которого параллельны проводам. По проводам текут одинаковые электрические токи силой  $I$ , направленные в противоположные стороны. Электрический ток в проводе 1 начинает уменьшаться. Индукционный ток, который при этом будет протекать по квадратному контуру,



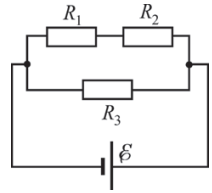
- 1) направлен против часовой стрелки
- 2) направлен по часовой стрелке
- 3) равен нулю
- 4) может быть направлен как против часовой стрелки, так и по часовой стрелке

Ответ:

Вариант 6

15

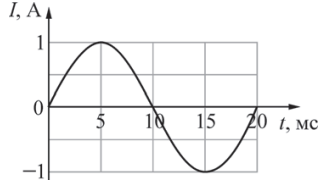
Какая мощность выделяется в резисторе  $R_2$ , включённом в электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке?  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ Ом}$ , ЭДС источника  $5 \text{ В}$ , внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало.



Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

16

Электрический ток протекает через катушку индуктивностью  $6 \text{ мГн}$ . На графике приведена зависимость силы  $I$  этого тока от времени  $t$ . Чему равна энергия магнитного поля, запасённая в катушке в момент времени  $t = 15 \text{ мс}$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

17

С помощью тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $20 \text{ см}$  получают изображение предмета, находящегося на расстоянии  $30 \text{ см}$  от линзы и расположенного перпендикулярно главной оптической оси. Как изменятся расстояние от линзы до изображения и размер изображения, если, не изменяя расположение предмета, заменить линзу на другую тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием  $25 \text{ см}$ ?

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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) расстояние от линзы до изображения  
 Б) размер изображения

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

Ответ:

А	Б

18

На дифракционную решётку с периодом  $d$  перпендикулярно к ней падает широкий пучок монохроматического света с частотой  $\nu$ . 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

А) длина волны падающего света

1)  $\pm \arccos \frac{m\lambda}{d}$

Б) угол, под которым наблюдается главный дифракционный максимум  $m$ -го порядка

2)  $\frac{c}{\nu}$

3)  $\pm \arcsin \frac{m\lambda}{d}$

4)  $c\nu$

Ответ:

А	Б

19

У каких из следующих четырёх ядер:  ${}_{5}^{11}\text{B}$ ,  ${}_{6}^{12}\text{C}$ ,  ${}_{3}^{8}\text{Li}$ ,  ${}_{2}^{6}\text{He}$  – разность числа нейтронов и протонов одинакова?

1)  ${}_{5}^{11}\text{B}$  и  ${}_{2}^{6}\text{He}$

2)  ${}_{5}^{11}\text{B}$  и  ${}_{6}^{12}\text{C}$

3)  ${}_{3}^{8}\text{Li}$  и  ${}_{2}^{6}\text{He}$

4)  ${}_{3}^{8}\text{Li}$  и  ${}_{6}^{12}\text{C}$

Ответ:

20

В результате термоядерной реакции синтеза  ${}_{1}^{3}\text{T} + {}_{1}^{3}\text{T} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + ???$  образуется ядро гелия  ${}_{2}^{4}\text{He}$ , а также

1) протон

3) протон и нейтрон

2) нейтрон

4) два нейтрона

Ответ:

21

Электрон в атоме водорода переходит на вторую стационарную орбиту, испуская волны, длина которых равна 486 нм. С какой стационарной орбиты переходит этот электрон?

Ответ: \_\_\_\_\_.

22

Отрицательно заряженная частица движется в вакууме с постоянной скоростью. Затем эта частица попадает в однородное электрическое поле и в течение некоторого времени движется в направлении его силовых линий. Как меняются в процессе движения частицы в электрическом поле следующие физические величины: кинетическая энергия, длина волны де Бройля? 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.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ

- А) кинетическая энергия частицы  
 Б) длина волны де Бройля частицы

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

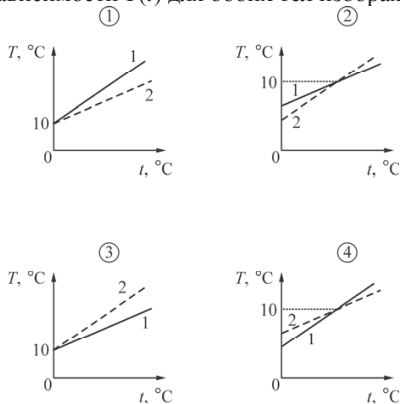
Ответ:

А	Б

23

В калориметре находится 0,5 литра воды при температуре 10 °С. Необходимо экспериментально изучить зависимость конечной температуры воды от начальной температуры погружаемого в неё тела при достижении теплового равновесия. Данный эксперимент последовательно проводят с двумя телами одинаковых масс (100 г) – свинцовым и оловянным. Удельная теплоёмкость олова 230 Дж/(кг·°С). Буквой  $t$  на графиках обозначена начальная температура погружаемого тела, а буквой  $T$  – конечная температура воды. Цифрой 1 отмечена зависимость  $T(t)$  для свинца, а цифрой 2 – для олова.

На каком рисунке зависимости  $T(t)$  для обоих тел изображены правильно?



1) 1

2) 2

3) 3

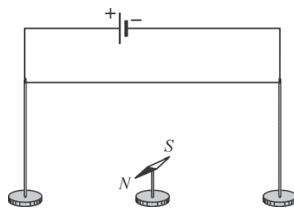
4) 4

Ответ:



24

Для повторения опыта Эрстеда учитель взял горизонтально расположенную магнитную стрелку, которая могла свободно вращаться на вертикальной игольчатой подставке, и прямой провод, подключённый к полюсам батареи. Учитель сначала расположил провод над магнитной стрелкой, как показано на рисунке, а через некоторое время переместил провод и расположил его под магнитной стрелкой.



Выберите **два** верных утверждения, соответствующие результатам этих экспериментов.

- 1) При расположении провода над магнитной стрелкой стрелка установилась параллельно проводу.
- 2) При расположении провода над магнитной стрелкой стрелка установилась перпендикулярно проводу.
- 3) При обоих вариантах расположения провода магнитная стрелка не меняла своего первоначального расположения.
- 4) При изменении расположения провода стрелка повернулась на  $90^\circ$ .
- 5) При изменении расположения провода стрелка повернулась на  $180^\circ$ .

Ответ:

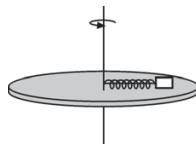
--	--

## Часть 2

*Ответом к заданиям 25–27 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы. Единицы измерения физических величин писать не нужно.*

25

Невесомая пружина жёсткостью  $100 \text{ Н/м}$  прикреплена одним концом к оси вращения гладкого горизонтального диска радиусом  $20 \text{ см}$ . К другому концу этой пружины прикреплено небольшое тело массой  $0,1 \text{ кг}$ , лежащее на диске. При медленном раскручивании диска до частоты обращения  $\nu = 3 \text{ Гц}$  тело оказалось на расстоянии  $14 \text{ см}$  от оси вращения. Чему равна длина пружины в недеформированном состоянии? Ответ округлите до целого числа сантиметров.

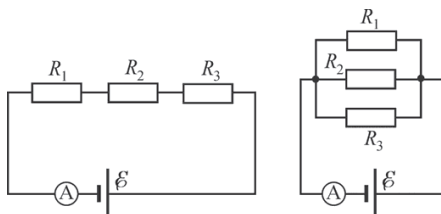


Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 26 В плоский конденсатор, расстояние между обкладками которого равно 3 см, вставили плоскопараллельную металлическую пластину толщиной 2,5 см. Плоскости пластины параллельны обкладкам конденсатора, расстояние между обкладками намного меньше их поперечных размеров, пластина не касается обкладок. Во сколько раз в результате этого увеличилась ёмкость конденсатора?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 27 Три одинаковых резистора сопротивлением 30 Ом каждый подключают к источнику постоянного напряжения: первый раз последовательно, второй – параллельно. При этом показания идеального амперметра (см. рисунок) отличаются в 6 раз.



Определите внутреннее сопротивление источника напряжения.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

*Для записи ответов на задания 28–32 используйте чистый лист. Запишите сначала номер задания (28, 29 и т. д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

- 28 В сосуде, закрытом поршнем, находится при комнатной температуре воздух, относительная влажность которого равна 50 %, а масса пара равна  $m$ . Поршень медленно вдвигают в сосуд, уменьшая его объём в 8 раз, при постоянной температуре. Нарисуйте график зависимости массы пара в сосуде в этом процессе от объёма сосуда.

*Полное правильное решение каждой из задач 29–32 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.*

- 29 Маятник состоит из маленького груза массой  $M = 100$  г, висящего на лёгкой нерастяжимой нити длиной  $L = 50$  см. Он висит в состоянии покоя в вертикальном положении. В груз ударяется и прилипает к нему небольшое тело массой  $m = 20$  г, летевшее в горизонтальном направлении. В результате возникает вращение маятника в вертикальной плоскости вокруг его точки подвеса, причём груз маятника всё время движется по окружности, делая полный оборот. Какова при этом могла быть скорость тела до удара?

**30** В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна  $u = 400$  м/с. В результате некоторого процесса объём газа увеличился на  $\alpha = 80$  %, а давление уменьшилось на  $\beta = 20$  %. Каким стало новое значение  $v$  среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

**31** Известно, что «лошадиная сила» (л. с.) равна мощности  $75$  кгс·м/с  $\approx 735$  Вт, а средний человек при длительной работе развивает мощность около  $0,16$  л. с. и кратковременно может превышать это ограничение. Человек, стараясь после отключения электричества в сети осветить своё жилище, использует электрогенератор с механическим приводом с КПД  $\eta = 65$  %. Он вращает ротор генератора через редуктор за ручку, находящуюся на расстоянии  $R = 0,35$  м от оси, со скоростью  $n = 30$  об./мин, прикладывая к ручке силу  $F = 90$  Н. Сможет ли он долго поддерживать горение лампочки накаливания мощностью  $P = 60$  Вт и не перегорит ли она от перенапряжения (лампочка рассчитана на номинальное напряжение  $220$  В, но не более  $235$  В, а напряжение генератора прямо пропорционально скорости вращения ротора)?

**32** Для исследования рентгеновских лучей с длинами волн меньше  $10$  нм изготовить обычную дифракционную решётку с подходящим периодом не представляется возможным, однако есть способ обойти эту трудность. Возьмём обычную решётку с периодом  $d = 30$  мкм и осветим её параллельным пучком рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 4,5$  нм с углом падения на решётку  $\alpha = 89,5^\circ$  (скользящее падение лучей). Под каким углом  $\gamma$  к первоначальному пучку будет фиксироваться дифракционный максимум первого порядка? Считайте этот угол малым:  $\gamma \ll 1$ . Ответ выразите в градусах и округлите до целого числа.

## **Система оценивания экзаменационной работы по физике**

За правильный ответ на каждое из заданий 1–5, 8–10, 13–16, 19–21, 23 части 1 и 25–27 части 2 ставится по 1 баллу. Эти задания считаются выполненными верно, если правильно указаны требуемая цифра или число.

Каждое из заданий 6, 7, 11, 12, 17, 18, 22 и 24 оценивается в 2 балла, если верно указаны оба элемента ответа; в 1 балл, если допущена одна ошибка; в 0 баллов, если оба элемента указаны неверно. Если указано более двух элементов (в том числе, возможно, и правильные) или ответ отсутствует – 0 баллов.

Решения заданий 28–32 части 2 (с развёрнутым ответом) оцениваются экспертной комиссией. На основе критериев, представленных в приведённых ниже таблицах, за выполнение каждого задания в зависимости от полноты и правильности данного учащимся ответа выставляется от 0 до 3 баллов.

### Ответы к заданиям с кратким ответом

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
№ задания	Ответ	№ задания	Ответ	№ задания	Ответ
1	4	1	3	1	2
2	3	2	1	2	4
3	2,5	3	10	3	6
4	1	4	6	4	8
5	3	5	4	5	10
6	21	6	22	6	13
7	13	7	32	7	13
8	2	8	2	8	4
9	1	9	2	9	3
10	35	10	45	10	0,17
11	23	11	33	11	12
12	41	12	21	12	14
13	3	13	2	13	1
14	4	14	3	14	2
15	1	15	4	15	6
16	12	16	16	16	0,3
17	23	17	13	17	13
18	34	18	13	18	21
19	4	19	3	19	1
20	3	20	4	20	4
21	2	21	2	21	1
22	21	22	12	22	31
23	3	23	4	23	4
24	24	24	12	24	45
25	5625	25	6750	25	1,5
26	500	26	200	26	3
27	9	27	1	27	10

Ответы к заданиям с кратким ответом

Вариант 4		Вариант 5		Вариант 6	
№ задания	Ответ	№ задания	Ответ	№ задания	Ответ
1	4	1	3	1	2
2	3	2	2	2	1
3	6	3	40	3	80
4	0	4	5,2	4	9,2
5	40	5	0,8	5	0,7
6	22	6	32	6	31
7	24	7	13	7	21
8	3	8	2	8	1
9	1	9	4	9	2
10	0,35	10	1	10	1
11	21	11	33	11	32
12	21	12	34	12	34
13	3	13	1	13	2
14	1	14	1	14	2
15	12	15	3	15	2
16	0,5	16	3	16	3
17	23	17	22	17	11
18	43	18	43	18	23
19	3	19	2	19	3
20	2	20	3	20	4
21	1	21	3	21	4
22	32	22	12	22	21
23	3	23	4	23	2
24	13	24	25	24	25
25	1 с	25	25	25	9,0
26	0,5	26	5	26	6
27	100	27	30	27	6

## Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

### Вариант 1

28

Вакуумные лампочки накаливания имеют весьма ограниченный срок службы. Если они уже долго светили, то их стеклянные баллоны постепенно покрываются изнутри чёрным налётом, а перегорают они чаще всего в момент включения в сеть. Объясните факты, указав, какие физические явления и законы Вы использовали.

#### Возможное решение

1. Появление чёрного налёта внутри стеклянного баллона лампочки объясняется явлением испарения металлической (обычно вольфрамовой) нити накала, работающей при высокой температуре, необходимой для излучения видимого света, и последующей конденсацией паров металла на поверхности более холодного, чем нить накала, баллона.
2. Сопротивление металлов растёт с ростом температуры, поэтому ток через холодную нить накала в момент включения лампочки в сеть значительно превышает рабочий ток лампочки, когда её нить накала прогрелась до рабочей температуры.
3. Испарение с разных участков нити происходит неравномерно. По мере испарения металла с нити на ней возникают неоднородности – участки меньшего диаметра с повышенным сопротивлением, где нагревание током по закону Джоуля–Ленца происходит сильнее, чем на последовательно с ними включённых в цепь участках с меньшим сопротивлением.
4. В момент включения в сеть долго проработавшей лампочки один из тонких участков её нити накала с большим сопротивлением нагревается выше температуры плавления, и нить перегорает.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>упоминание явлений испарения металлов при высоких температурах и конденсации их паров на холодных поверхностях, зависимости сопротивления металлов от температуры и от диаметра проводника, а также различного нагревания последовательно включённых участков электрической цепи с различным сопротивлением на основе закона Джоуля–Ленца</i> ).	3

Вариант 1

<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.          В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.)          И (ИЛИ)          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.          И (ИЛИ)          В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).          И (ИЛИ)          В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	<p>2</p>
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.          Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимые для полного верного объяснения.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.          ИЛИ          Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	<p>1</p>
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	<p>0</p>
<p style="text-align: right;"><i>Максимальный балл</i></p>	<p>3</p>



29

Струя воды круглого сечения радиусом  $r_0 = 1$  см начинает бить из шланга вверх со скоростью  $v_0 = 20$  м/с. Найдите радиус струи  $r$  на высоте  $h = 16$  м по вертикали от конца шланга. Трением и силами поверхностного натяжения можно пренебречь. Считайте скорость движения частиц воды по вертикали в любом поперечном сечении струи одинаковой для данного сечения, а сами частицы – находящимися в состоянии свободного падения в поле силы тяжести.

**Возможное решение**

Максимальная высота подъёма частиц жидкости при начальной скорости

$V_0$  равна  $\frac{V_0^2}{2g} = 20$  м. Поэтому на высоте  $h = 16$  м частицы жидкости ещё

не начнут падать обратно вниз и струя не разобьётся на капли.

Поскольку воду можно считать несжимаемой жидкостью, её объём, протекающий через любое поперечное сечение струи в единицу времени, постоянен и равен  $\pi r_0^2 \cdot V_0 = \pi r^2 \cdot V$ , где  $V$  – скорость воды на высоте  $h$ .

Отсюда  $r = r_0 \sqrt{\frac{V_0}{V}}$ .

По закону сохранения механической энергии при условиях задачи можно считать, что для частицы воды массой  $m$  справедливо соотношение

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + mgh, \text{ откуда } V = \sqrt{V_0^2 - 2gh}.$$

Подставляя выражение для скорости струи в формулу для её радиуса, получаем

$$r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{V_0^2}}}.$$

После подстановки численных значений имеем

$$r[\text{см}] = \frac{1}{\sqrt[4]{1 - \frac{2 \cdot 10 \cdot 16}{20^2}}} = \frac{1}{\sqrt[4]{0,2}} \approx 1,50 \text{ см}.$$

Ответ:  $r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{V_0^2}}} \approx 1,50$  см.

<b>Содержание критерия</b>	<b>Баллы</b>
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – выражение для потока несжимаемой жидкости в струе через её сечение и скорость частиц жидкости, а также закон сохранения механической энергии частиц жидкости при их свободном падении);                      II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);                      III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	<p>3</p>
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      И (ИЛИ)                      В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      И (ИЛИ)                      В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.                      И (ИЛИ)                      Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	<p>2</p>

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

30

Гелий в количестве  $\nu = 0,1$  моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой  $F_1 = 200$  Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет  $V_1 = 1100$  м/с. Затем гелий стали нагревать, а поршень удерживать в равновесии, медленно сдвигая его и постепенно увеличивая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась  $F_2 = 300$  Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной  $V_2 = 1500$  м/с. На какое расстояние  $\Delta l$  от исходного положения при этом сдвинулся поршень?

#### Возможное решение

Обозначим начальный объём гелия в цилиндре через  $V_1 = S \cdot l_1$ , а давление – через  $p_1 = \frac{F_1}{S}$ , где площадь поршня равна  $S$ , а длина столба газа равна  $l_1$ .

Тогда согласно уравнению Клапейрона–Менделеева  $p_1 V_1 = F_1 l_1 = \nu R T_1$ .

Среднеквадратичная скорость атомов гелия при начальной температуре  $T_1$

равна  $V_1 = \sqrt{\frac{3RT_1}{\mu}}$ , где  $\mu$  – молярная масса гелия. Отсюда  $T_1 = \frac{\mu V_1^2}{3R}$ .

Из написанных соотношений получаем  $l_1 = \frac{\nu \mu V_1^2}{3F_1}$ .

Аналогичным образом получаем, что в конце процесса  $l_2 = \frac{\nu\mu V_2^2}{3F_2}$ .

Таким образом, искомый сдвиг поршня равен

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \frac{\nu\mu}{3} \left( \frac{V_2^2}{F_2} - \frac{V_1^2}{F_1} \right) = \frac{0,1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3} \left( \frac{1500^2}{300} - \frac{1100^2}{200} \right) \approx 0,193 \text{ м} \approx 19 \text{ см.}$$

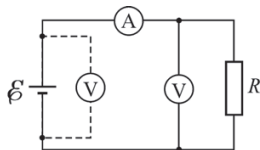
Ответ:  $\Delta l = \frac{\nu\mu}{3} \left( \frac{V_2^2}{F_2} - \frac{V_1^2}{F_1} \right) \approx 0,193 \text{ м} \approx 19 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – уравнение Клапейрона–Менделеева и выражение для среднеквадратичной скорости движения молекул газа);                      II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);                      III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      И (ИЛИ)                      В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      И (ИЛИ)                      В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.                      И (ИЛИ)                      Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

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

31

У школьника в наличии был источник постоянного напряжения с малым внутренним сопротивлением, два точных, но неидеальных измерительных прибора – амперметр и вольтметр, а также резистор с сопротивлением  $R = 4$  Ом. Школьник вначале подключил к источнику только вольтметр, и он показал напряжение  $U_0 = 5$  В. Потом школьник собрал цепь, схема которой изображена на рисунке, и обнаружил, что амперметр показывает ток  $I_1 = 1$  А, а вольтметр – напряжение  $U_1 = 3$  В. Затем школьник поменял в цепи местами измерительные приборы. Чему при этом стали равны их показания  $I_2$  и  $U_2$ ?



### Возможное решение

Поскольку источник имеет малое внутреннее сопротивление, наличие тока через него не изменяет его выходное напряжение, и показания вольтметра в первом случае дают ЭДС источника:  $E = U_0$ .

Обозначим сопротивления неидеальных амперметра и вольтметра через  $R_A$  и  $R_V$ .

Тогда согласно закону Ома для полной цепи  $U_0 = I_1 R_A + U_1$ , откуда

$$R_A = \frac{U_0 - U_1}{I_1} = \frac{5 - 3}{1} = 2 \text{ Ом.}$$

Резистор и вольтметр включены параллельно, и по формуле для параллельного соединения резисторов их общее сопротивление равно  $\frac{RR_V}{R + R_V}$ , а падение напряжения на них по закону Ома для участка цепи

$$\text{равно } U_1 = I_1 \frac{RR_V}{R + R_V}. \text{ Отсюда } R_V = \frac{U_1 R}{I_1 R - U_1} = \frac{3 \cdot 4}{1 \cdot 4 - 3} = 12 \text{ Ом.}$$

После перестановки измерительных приборов ток в цепи (и через вольтметр) по закону Ома для полной цепи будет равен

$$I_V = \frac{U_0}{R_V + \frac{RR_A}{R + R_A}} = \frac{5}{12 + \frac{4 \cdot 2}{4 + 2}} = \frac{3}{8} \text{ А, а показания вольтметра}$$

$$U_2 = I_V R_V = \frac{U_0 R_V}{R_V + \frac{RR_A}{R + R_A}} = \frac{5 \cdot 12}{12 + \frac{4 \cdot 2}{4 + 2}} = 4,5 \text{ В.}$$

По закону Ома для участка цепи падение напряжения на участке цепи с параллельно соединёнными резистором и амперметром будет равно

$$U_A = I_V \cdot \frac{RR_A}{R + R_A}, \text{ а ток через амперметр}$$

$$I_2 = \frac{U_A}{R_A} = I_V \cdot \frac{R}{R + R_A} = \frac{3}{8} \cdot \frac{4}{4 + 2} = 0,25 \text{ А.}$$

Ответ:  $I_2 = 0,25 \text{ А}$ ,  $U_2 = 4,5 \text{ В}$ .

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – законы Ома для участка цепи и для полной цепи, формулы для сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

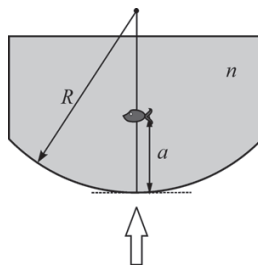
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В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

32

Аквариум имеет прозрачные вертикальные стенки: три плоские (боковые и заднюю) и одну цилиндрическую (переднюю), с радиусом  $R = 0,8$  м. В него налита вода с показателем преломления

$n = \frac{4}{3}$ . Мальчик, глядя в аквариум сверху

(см. рисунок), видит маленькую рыбку в аквариуме на расстоянии  $a = 20$  см от его передней стенки. На каком расстоянии  $b$  от этой стенки будет видна рыбка, если мальчик будет смотреть на неё по горизонтали, перпендикулярно стенке?



**Возможное решение**

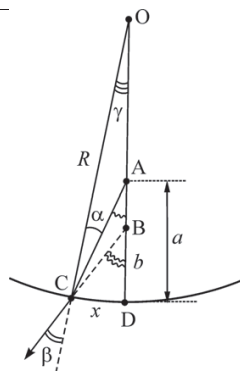
Построим ход лучей от рыбки вблизи радиуса  $OD$ , направленного перпендикулярно цилиндрической поверхности к наблюдателю вне аквариума (см. рисунок). Из закона преломления света следует, что луч  $AD$ , идущий от рыбки перпендикулярно поверхности, не преломляется, а луч  $AC$ , идущий от рыбки вблизи этого перпендикуляра, на расстоянии  $x$  от него и составляющий с радиусом  $OC$  поверхности малый угол  $\alpha$ , отклоняется после преломления от данного радиуса на малый угол  $\beta$ , причём  $\frac{\beta}{\alpha} = n$ . Точка  $B$

пересечения продолжения этого луча и первого луча  $AD$ , перпендикулярного поверхности аквариума, даёт положение изображения рыбки, которое мальчик видит через цилиндрическую стенку аквариума, глядя снаружи, причём искомое расстояние  $b = BD$ .

Пусть радиус  $OC$  поверхности, проведённый в точку  $C$  на расстоянии  $x$  от первого перпендикуляра, составляет с ним малый угол  $\gamma$  (см. рис.). Тогда луч, идущий от рыбки в эту точку, составляет с этим перпендикуляром, как внешний угол треугольника  $OAC$ , малый угол  $\alpha + \gamma$ , а угол между продолжением преломленного луча и перпендикуляром, то есть внешний угол треугольника  $OBC$ , – малый угол  $\beta + \gamma$ .

В силу малости всех углов можно написать соотношение  $x = a(\alpha + \gamma) = b(\beta + \gamma)$ , откуда  $b = a \frac{\alpha + \gamma}{\beta + \gamma} = a \frac{1 + \gamma/\alpha}{\beta/\alpha + \gamma/\alpha} = a \frac{1 + \gamma/\alpha}{n + \gamma/\alpha}$ .

Отношение  $\frac{\gamma}{\alpha}$  находим по теореме синусов для треугольника  $OAC$  в пределе для малых углов  $\alpha$  и  $\gamma$ :  $OA = R - a$ ,  $AC \approx AD = a$ , так что  $\frac{\gamma}{\alpha} \approx \frac{a}{R - a}$ . Таким образом, рыбка будет видна на расстоянии от передней цилиндрической стенки аквариума, равном





$$b = a \frac{1 + \gamma / \alpha}{n + \gamma / \alpha} \approx a \frac{1 + \frac{a}{R - a}}{n + \frac{a}{R - a}} = \frac{aR}{n(R - a) + a} =$$

$$= \frac{a}{n - (n - 1) \frac{a}{R}} = \frac{20}{4/3 - 1/3 \cdot (20/80)} = 16 \text{ см.}$$

Ответ:  $b = \frac{a}{n - (n - 1) \frac{a}{R}} = 16 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон преломления света и геометрические соотношения);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Вариант 1

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

## Вариант 2

28

Вакуумные лампочки накаливания имеют весьма ограниченный срок службы – в конце своей «жизни» они перегорают, причём случается это, как правило, в момент включения в сеть. Объясните эти факты, указав, какие физические явления и законы Вы использовали.

### Возможное решение

1. Нить накала лампочки (обычно вольфрамовая) работает при высокой температуре, необходимой для излучения видимого света, и постепенно испаряется.
2. Сопротивление металлов растёт с ростом температуры, поэтому ток через холодную нить накала в момент включения лампочки в сеть значительно превышает рабочий ток лампочки, когда её нить накала прогрелась до рабочей температуры.
3. Испарение с разных участков нити происходит неравномерно. По мере испарения металла с нити на ней возникают неоднородности – участки меньшего диаметра с повышенным сопротивлением, где нагревание током по закону Джоуля–Ленца происходит сильнее, чем на последовательно с ними включённых в цепь участках с меньшим сопротивлением.
4. В момент включения в сеть долго проработавшей лампочки один из тонких участков её нити накала с большим сопротивлением нагревается выше температуры плавления, и нить перегорает.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>упоминание явлений испарения металлов при высоких температурах, зависимости сопротивления металлов от температуры и от диаметра проводника, а также различного нагревания последовательно включённых участков электрической цепи с различным сопротивлением на основе закона Джоуля–Ленца</i> ).	3

Вариант 2

<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.          В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.)          И (ИЛИ)          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.          И (ИЛИ)          В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).          И (ИЛИ)          В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	<p>2</p>
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.          Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимые для полного верного объяснения.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.          ИЛИ          Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	<p>1</p>
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	<p>0</p>
<p style="text-align: right;"><i>Максимальный балл</i></p>	<p>3</p>

29

Струя воды круглого сечения радиусом  $r_0 = 1,1$  см начинает бить из шланга вверх со скоростью  $V_0 = 15$  м/с. Найдите радиус струи  $r$  на высоте  $h = 10$  м по вертикали от конца шланга. Трением и силами поверхностного натяжения можно пренебречь. Считайте скорость движения частиц воды по вертикали в любом поперечном сечении струи одинаковой для данного сечения, а сами частицы – находящимися в состоянии свободного падения в поле силы тяжести.

### Возможное решение

Максимальная высота подъёма частиц жидкости при начальной скорости

$V_0$  равна  $\frac{V_0^2}{2g} = 11,25$  м. Поэтому на высоте  $h = 10$  м частицы жидкости ещё

не начнут падать обратно вниз и струя не разобьётся на капли.

Поскольку воду можно считать несжимаемой жидкостью, её объём, протекающий через любое поперечное сечение струи в единицу времени, постоянен и равен  $\pi r_0^2 \cdot V_0 = \pi r^2 \cdot V$ , где  $V$  – скорость воды на высоте  $h$ .

Отсюда  $r = r_0 \sqrt{\frac{V_0}{V}}$ .

По закону сохранения механической энергии при условиях задачи можно считать, что для частицы воды массой  $m$  справедливо соотношение

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + mgh, \text{ откуда } V = \sqrt{V_0^2 - 2gh}.$$

Подставляя выражение для скорости струи в формулу для её радиуса, получаем

$$r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{V_0^2}}}.$$

После подстановки численных значений имеем

$$r[\text{см}] = \frac{1,1}{\sqrt[4]{1 - \frac{2 \cdot 10 \cdot 10}{15^2}}} = \frac{1,1}{\sqrt[4]{1/9}} \approx 1,90 \text{ см}.$$

Ответ:  $r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{V_0^2}}} \approx 1,90$  см.

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>выражение для потока несжимаемой жидкости в струе через её сечение и скорость частиц жидкости, а также закон сохранения механической энергии частиц жидкости при их свободном падении</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	<p>3</p>
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	<p>2</p>

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

30

Гелий в количестве  $\nu = \frac{1}{20}$  моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой  $F_1 = 280$  Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет  $V_1 = 1400$  м/с. Затем гелий стали охлаждать, а поршень медленно сдвигать, постепенно уменьшая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась  $F_2 = 150$  Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной  $V_2 = 1200$  м/с. На какое расстояние  $\Delta l$  при этом сдвинулся поршень?

**Возможное решение**

Обозначим начальный объём гелия в цилиндре через  $V_1 = S \cdot l_1$ , а давление – через  $p_1 = \frac{F_1}{S}$ , где площадь поршня равна  $S$ , а длина столба газа равна  $l_1$ .

Тогда согласно уравнению Клапейрона–Менделеева  $p_1 V_1 = \nu R T_1 = F_1 l_1 = \nu R T_1$ .

Среднеквадратичная скорость атомов гелия при начальной температуре  $T_1$  равна  $V_1 = \sqrt{\frac{3RT_1}{\mu}}$ , где  $\mu$  – молярная масса гелия. Отсюда  $T_1 = \frac{\mu V_1^2}{3R}$ .

Из написанных соотношений получаем  $l_1 = \frac{\nu \mu V_1^2}{3F_1}$ .

Аналогичным образом получаем, что в конце процесса  $l_2 = \frac{\nu \mu V_2^2}{3F_2}$ .

Таким образом, искомый сдвиг поршня равен

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \frac{\nu \mu}{3} \left( \frac{V_2^2}{F_2} - \frac{V_1^2}{F_1} \right) = \frac{0,05 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3} \left( \frac{1200^2}{150} - \frac{1400^2}{280} \right) \approx 0,173 \text{ м} \approx 17 \text{ см.}$$

Ответ:  $\Delta l = \frac{\nu \mu}{3} \left( \frac{V_2^2}{F_2} - \frac{V_1^2}{F_1} \right) \approx 0,173 \text{ м} \approx 17 \text{ см.}$

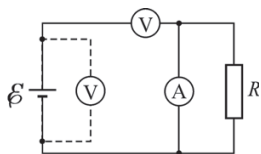
Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – уравнение Клапейрона–Менделеева и выражение для среднеквадратичной скорости движения молекул газа);                      II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);                      III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      И (ИЛИ)                      В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      И (ИЛИ)                      В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.                      И (ИЛИ)                      Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2



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

31

У школьника в наличии был источник постоянного напряжения с малым внутренним сопротивлением, два точных, но неидеальных измерительных прибора – амперметр и вольтметр, а также резистор с сопротивлением  $R = 4$  Ом. Школьник вначале подключил к источнику только вольтметр, и он показал напряжение  $U_0 = 5$  В. Потом школьник собрал цепь, схема которой изображена на рисунке, и обнаружил, что амперметр показывает ток  $I_1 = 0,25$  А, а вольтметр – напряжение  $U_1 = 4,5$  В. Затем школьник понял, что перепутал положения приборов, и поменял их в цепи местами. Чему при этом стали равны показания амперметра и вольтметра  $I_2$  и  $U_2$ ?



### Возможное решение

Поскольку источник имеет малое внутреннее сопротивление, наличие тока через него не изменяет его выходное напряжение, и показания вольтметра в первом случае дают ЭДС источника:  $E = U_0$ .

Обозначим сопротивления неидеальных амперметра и вольтметра через  $R_A$  и  $R_V$ , ток через вольтметр через  $I_V$ , а падение напряжения на амперметре – через  $U_A$ .

Тогда согласно законам Ома для полной цепи, изображённой на рисунке, и для её участка, содержащего амперметр,  $U_0 = U_1 + U_A = U_1 + I_1 R_A$ , откуда

$$R_A = \frac{U_0 - U_1}{I_1} = \frac{5 - 4,5}{0,25} = 2 \text{ Ом.}$$

Резистор и амперметр включены параллельно, и по формуле для параллельного соединения резисторов их общее сопротивление равно

$$\frac{RR_A}{R + R_A} = \frac{4 \cdot 2}{4 + 2} = \frac{4}{3} \text{ Ом, а ток через вольтметр по закону Ома для участка цепи равен } I_V = \frac{U_1}{R_V} = U_A \frac{R + R_A}{RR_A} = I_1 R_A \frac{R + R_A}{RR_A} = \frac{0,25 \cdot 2}{4/3} = \frac{3}{8} \text{ А. Отсюда}$$

$$R_V = \frac{U_1}{I_V} = \frac{4,5}{3/8} = 12 \text{ Ом.}$$

После перестановки измерительных приборов ток в цепи (и через амперметр) согласно закону Ома для полной цепи и формуле для параллельного соединения резисторов будет равен

$$I_2 = \frac{U_0}{R_A + \frac{RR_V}{R + R_V}} = \frac{5}{2 + \frac{4 \cdot 12}{4 + 12}} = 1 \text{ А,}$$

а показания вольтметра

$$U_2 = I_2 \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 12}{4 + 12} = 3 \text{ В.}$$

Ответ:  $I_2 = 1 \text{ А, } U_2 = 3 \text{ В.}$

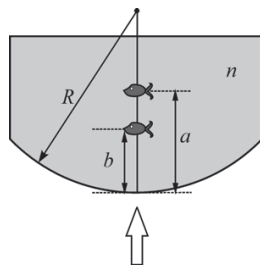
Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>законы Ома для участка цепи и для полной цепи, формулы для сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3

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

32

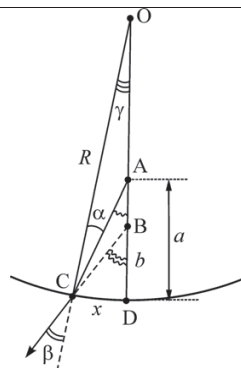
Аквариум имеет прозрачные вертикальные стенки: три плоские (боковые и заднюю) и одну цилиндрическую (переднюю), с радиусом  $R = 0,8$  м. В него налита вода с показателем преломления  $n = \frac{4}{3}$ . Мальчик, глядя на маленькую рыбку

в аквариуме по горизонтали, перпендикулярно цилиндрической стенке, видит рыбку (точнее, её изображение) на расстоянии  $b = 16$  см от этой стенки (см. рисунок). На каком расстоянии  $a$  от этой стенки будет видна рыбка, если мальчик будет смотреть на неё сквозь поверхность воды по вертикали, сверху вниз?



**Возможное решение**

Построим ход лучей от рыбы вблизи радиуса  $OD$ , направленного перпендикулярно цилиндрической поверхности к наблюдателю вне аквариума (см. рисунок). Из закона преломления света следует, что луч  $AD$ , идущий от рыбы перпендикулярно поверхности, не преломляется, а луч  $AC$ , идущий от рыбы вблизи этого перпендикуляра на расстоянии  $x$  от него и составляющий с радиусом  $OC$  поверхности малый угол  $\alpha$ , отклоняется после преломления от данного радиуса на малый угол  $\beta$ , причём  $\frac{\beta}{\alpha} = n$ . Точка  $B$



пересечения продолжения этого луча и первого луча  $AD$ , перпендикулярного поверхности аквариума, даёт положение изображения рыбы, которое мальчик видит через цилиндрическую стенку аквариума, глядя снаружи, причём расстояние  $b = BD$ .

Пусть радиус  $OC$  поверхности, проведённый в точку  $C$  на расстоянии  $x$  от первого перпендикуляра, составляет с ним малый угол  $\gamma$  (см. рисунок). Тогда луч, идущий от рыбы в эту точку, составляет с этим перпендикуляром, как внешний угол треугольника  $OAC$ , малый угол  $\alpha + \gamma$ , а угол между продолжением преломленного луча и перпендикуляром, то есть внешний угол треугольника  $OBC$ , – малый угол  $\beta + \gamma$ .

В силу малости всех углов можно написать соотношение  $x = a(\alpha + \gamma) = b(\beta + \gamma)$ , откуда  $a = b \frac{\beta + \gamma}{\alpha + \gamma} = b \frac{1 + \gamma/\beta}{\alpha/\beta + \gamma/\beta} = nb \frac{1 + \gamma/\beta}{1 + n\gamma/\beta}$ .

Отношение  $\frac{\gamma}{\beta}$  находим по теореме синусов для треугольника  $OBC$

в пределе для малых углов  $\beta$  и  $\gamma$ :  $OB = R - b$ ,  $BC \approx BD = b$ , так что  $\frac{\gamma}{\beta} \approx \frac{b}{R - b}$ .

Таким образом, рыба будет видна сверху на расстоянии от передней цилиндрической стенки аквариума, равном

$$a = nb \frac{1 + \gamma/\beta}{1 + n\gamma/\beta} = nb \frac{1 + \frac{b}{R-b}}{1 + \frac{nb}{R-b}} = nb \frac{R}{R - b + nb} = \frac{nb}{1 + (n-1)\frac{b}{R}} = \frac{(4/3) \cdot 16}{1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{16}{80}} = 20 \text{ см.}$$

Ответ:  $a = \frac{nb}{1 + (n-1)\frac{b}{R}} = 20 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>закон преломления света и геометрические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Вариант 2

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

### Вариант 3

28

Во время грозы было видно, как между облаками проскакивает длинная молния, а затем, через некоторое время, был слышен удар грома и его раскаты, как бы «разбегающиеся» в разные стороны от середины молнии. Объясните описанные выше явления, наблюдаемые во время грозы.

#### Возможное решение

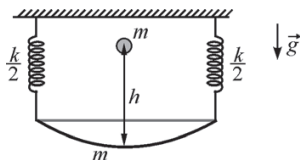
1. Во время грозы из-за электризации трением ледяных кристаллов в восходящих потоках воздуха в грозовых облаках возникают большие заряды и огромные разности потенциалов, вызывающие искровые пробои воздушных промежутков, то есть молнии.
2. В молнии происходит нагрев и быстрое расширение воздуха, что приводит к образованию звуковых волн, распространяющихся во все стороны от искровых каналов.
3. Свет от молнии распространяется в сотни тысяч раз быстрее звука, поэтому вначале мы видим вспышку света, а спустя некоторое время слышим звук – громовые раскаты.
4. Гром вначале доходит до нас от ближайшей части молнии, а затем – от более удалённых, поэтому гром как бы «разбегается» по небу в разные стороны от молнии.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – упоминание следующих явлений: электризации трением, приводящей к возникновению больших зарядов и разностей потенциалов в облаках и к искровому пробое воздуха, то есть к образованию молний; разогрева воздуха в молниях и возникновения звуковых волн в воздухе, то есть грома, который запаздывает по сравнению со светом от молнии из-за гораздо меньшей скорости звука по сравнению со скоростью света; неодновременности прихода звука от разных частей молнии, находящихся от нас на разных расстояниях).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.). И (ИЛИ)	2

<p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.). И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимые для полного верного объяснения. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки. ИЛИ Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

29

К потолку на двух одинаковых лёгких пружинах общей жёсткостью  $k = 400$  Н/м подвешена чашка массой  $m = 500$  г. С высоты  $h = 10$  см в чашку падает и прилипает к ней груз такой же массой  $m$  (см. рисунок). На какое максимальное расстояние  $H$  после этого опустится чашка относительно своего исходного положения? Потерями механической энергии можно пренебречь.





**Возможное решение**

Груз, падая с высоты  $h$  на чашку, в свободном падении приобретает скорость  $V_1 = \sqrt{2gh}$ . После абсолютно неупругого столкновения с чашкой той же массы, по закону сохранения импульса  $mV_1 = 2mV_2$  находим начальную скорость чашки с прилипшим к ней грузом:  $V_2 = \frac{V_1}{2} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$ .

При дальнейшем движении чашки полная механическая энергия системы сохраняется. В неё в начальном состоянии входят кинетическая энергия чашки, потенциальная энергия чашки (относительно её низшего положения), а также энергия упругой деформации пружин, а в конечном состоянии – только упругая энергия пружин:

$$\frac{2m \cdot V_2^2}{2} + 2m \cdot gH + \frac{kh_0^2}{2} = \frac{k(h_0 + H)^2}{2}.$$

Начальное растяжение  $h_0$  пружин находим из условия равновесия чашки до падения в неё груза:  $mg = kh_0$ , откуда  $h_0 = \frac{mg}{k}$ .

Подставляя в записанное выше соотношение выражения для скорости  $V_2$  и величины  $h_0$ , получаем квадратное уравнение для определения искомой величины  $H$ :

$$kH^2 - 2mgH - mgh = 0,$$

откуда, с учётом положительности корня, для  $H$  имеем

$$H = \frac{mg}{k} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{kh}{mg}} \right) = 5 \text{ см.}$$

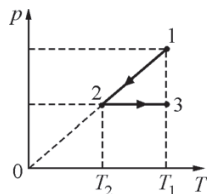
Ответ: 5 см.

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>выражение для скорости груза при свободном падении с определённой высоты, закон сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе груза о чашку, условие равновесия чашки до удара, а также закон сохранения механической энергии системы после удара</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными</p>	3

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

30

Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 3$  моль сначала охладили, уменьшив его температуру от  $T_1 = 300$  К до  $T_2 = \frac{T_1}{n}$ , где  $n = 2$ , а затем нагрели до начальной температуры. При этом давление  $p$  газа изменялось так, как показано на графике. Какое суммарное количество теплоты газ отдал и получил в процессе 1–2–3?



### Возможное решение

Из графика следует, что 1–2 – изохорный, а 2–3 – изобарный процесс, причём температура газа в начальном и конечном состояниях одинакова.

Согласно первому закону термодинамики суммарная теплота  $\Delta Q_{123}$ , отданная и полученная газом в процессе 1–2–3, равна сумме изменения  $\Delta U_{123}$  внутренней энергии газа и его работы  $\Delta A_{123}$  в процессе:  $\Delta Q_{123} = \Delta U_{123} + \Delta A_{123}$ .

Поскольку внутренняя энергия  $\nu$  молей одноатомного идеального газа равна  $U = \frac{2}{3}\nu RT$  и пропорциональна температуре, в процессе 1–2–3 с одинаковой начальной и конечной температурой её суммарное изменение  $\Delta U_{123} = 0$ .

В изохорном процессе 1–2 имеем  $V = \text{const}$  и  $\Delta A_{12} = 0$ , а в изобарном процессе 2–3 имеем  $p = \text{const}$ , и с учётом уравнения Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$  получаем

$$\Delta A_{23} = p\Delta V_{23} = \nu R\Delta T_{23} = \nu R(T(3) - T(2)) = \nu R\left(T_1 - \frac{T_1}{n}\right) = \nu RT_1 \frac{n-1}{n}.$$

Таким образом,

$$\Delta Q_{123} = \Delta A_{23} = \nu RT_1 \frac{n-1}{n} = 3 \cdot 8,31 \cdot 300 \cdot \frac{2-1}{2} \approx 3740 \text{ Дж}.$$

Ответ: 3740 Дж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>проанализированы графики изопроцессов на <math>p</math>-<math>T</math> диаграмме; применён первый закон термодинамики; записаны выражения для внутренней энергии идеального одноатомного газа и его работы в изопроцессах; использовано уравнение Клапейрона–Менделеева</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе</p>	1

решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задач.	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
<i>Максимальный балл</i>	3

31

Плоский конденсатор имеет между своими обкладками пластину из твёрдого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 7$ , полностью заполняющую зазор между ними. Ёмкость конденсатора при этом равна  $C = 100$  пФ. Конденсатор подсоединён к источнику с напряжением  $U = 50$  В. Какую работу  $A$  надо совершить для того, чтобы медленно вытянуть диэлектрическую пластину из конденсатора? Трения нет.

#### Возможное решение

При вытягивании диэлектрической пластины из конденсатора, подсоединённого к источнику, его ёмкость, заряд  $q$  и энергия  $W$  уменьшаются:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{C}{\varepsilon} - C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot C < 0, \quad \Delta q = \Delta(CU) = U\Delta C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU < 0,$$

$$\Delta W = \Delta\left(\frac{CU^2}{2}\right) = \frac{U^2\Delta C}{2} = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} < 0.$$

Поскольку заряды стекают из конденсатора в источник, его работа  $U\Delta q = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 < 0$ .

По условию трения нет и процесс медленный, поэтому выделением теплоты в цепи можно пренебречь, и закон сохранения энергии имеет следующий вид:  $A = \Delta W - U\Delta q$ , то есть совершаемая внешними силами работа  $A$  по вытягиванию пластины равна разности изменения энергии конденсатора и работы источника. Отсюда

$$A = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 = \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} = \frac{6}{7} \cdot \frac{10^{-10} \cdot 50^2}{2} \approx 107 \text{ нДж.}$$

Ответ: 107 нДж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>связь заряда и напряжения на конденсаторе, формула для ёмкости конденсатора с диэлектриком, выражение для энергии конденсатора, формула для работы источника напряжения, закон сохранения энергии для электрической цепи, содержащей источник напряжения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p>	1

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задач.	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
<i>Максимальный балл</i>	3

32

Небольшой уединённый металлический шарик долго облучали в вакууме светом с длиной волны  $\lambda = 412$  нм, в результате чего он зарядился и приобрёл потенциал  $\varphi = 1$  В. Чему равна работа выхода электрона из этого металла? Ответ выразите в эВ.

**Возможное решение**

При облучении светом металлического шарика из него за счёт фотоэффекта выбиваются электроны, а сам шарик заряжается, приобретая положительный заряд и потенциал. Потенциал шарика возрастает до тех пор, пока кинетической энергии вылетающих электронов достаточно для их удаления на бесконечное расстояние от шарика:  $\frac{mV^2}{2} = e\varphi$ . В дальнейшем заряд и потенциал шарика перестают расти и стабилизируются.

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия кванта света с частотой  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  расходуется на преодоление работы выхода электрона из металла и на придание ему кинетической энергии, которая в дальнейшем при его удалении от шарика превращается в потенциальную энергию:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mV^2}{2} = A_{\text{вых}} + e\varphi.$$

Отсюда

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda} - e\varphi = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{412 \cdot 10^{-9}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \approx 3,206 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 2,0 \text{ эВ.}$$

Ответ: 2,0 эВ.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон сохранения энергии, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и связь частоты и длины волны света); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения	3

Вариант 3

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



## Вариант 4

28

Во время грозы было видно, как между облаками и землёй проскочила длинная молния, а затем, через некоторое время, был слышен удар грома и его раскаты, продолжающиеся в течение довольно длительного времени после молнии. Объясните описанные выше явления, наблюдаемые во время грозы.

### Возможное решение

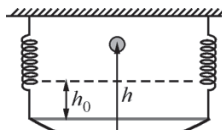
1. Во время грозы из-за электризации трением ледяных кристаллов в восходящих потоках воздуха в грозовых облаках возникают большие заряды и огромные разности потенциалов между облаками и землёй, вызывающие искровые пробои воздушных промежутков, то есть молнии.
2. В молнии происходит нагрев и быстрое расширение воздуха, что приводит к образованию звуковых волн, распространяющихся во все стороны от искровых каналов.
3. Свет от молнии распространяется в сотни тысяч раз быстрее звука, поэтому вначале мы видим вспышку света, а спустя некоторое время слышим звук – громовые раскаты.
4. Гром вначале доходит до нас от ближайшей части молнии, а затем – от более удалённых, поэтому после молнии и первого слышимого удара грома довольно долго слышны раскаты.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>упоминание возможных явлений: электризации трением, приводящей к возникновению больших зарядов и разностей потенциалов между облаками и землёй и к искровому пробоем воздуха, то есть к образованию молний; разогрева воздуха в молниях и возникновения ударных волн в воздухе, то есть грома, который запаздывает по сравнению со светом от молнии из-за гораздо меньшей скорости звука по сравнению со скоростью света; неодновременности прихода звука от разных частей молнии, находящихся от нас на разных расстояниях</i> ).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.).	2

<p>И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p>И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.</p> <p>Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимые для полного верного объяснения.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

29

К потолку на двух одинаковых лёгких пружинах подвешена чашка, растягивающая пружины на расстояние  $h_0 = 5$  см. С высоты  $h = 15$  см в чашку падает и прилипает к ней груз с массой, равной массе чашки (см. рисунок). На какое максимальное расстояние  $H$  относительно своего исходного положения после этого опустится чашка? Потерями механической энергии можно пренебречь.



**Возможное решение**

Груз, падая с высоты  $h$  на чашку, в свободном падении приобретает скорость  $V_1 = \sqrt{2gh}$ . После абсолютно неупругого столкновения с чашкой той же массы  $m$  по закону сохранения импульса  $mV_1 = 2mV_2$  находим начальную скорость чашки с прилипшим к ней грузом:  $V_2 = \frac{V_1}{2} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$ .

При дальнейшем движении чашки полная механическая энергия системы сохраняется. В неё в начальном состоянии входят кинетическая энергия чашки, потенциальная энергия чашки (относительно её наинизшего положения), а также энергия упругой деформации пружин, а в конечном состоянии – только упругая энергия пружин:

$$\frac{2m \cdot V_2^2}{2} + 2m \cdot gH + \frac{kh_0^2}{2} = \frac{k(h_0 + H)^2}{2}.$$

Из условия равновесия чашки до падения в неё груза  $mg = kh_0$  находим общий коэффициент жёсткости пружин  $k = \frac{mg}{h_0}$ .

Подставляя в записанное выше соотношение выражения для скорости  $V_2$  и коэффициента жёсткости пружин  $k$ , получаем квадратное уравнение для определения искомой величины  $H$ :

$$H^2 - 2h_0H - hh_0 = 0,$$

откуда с учётом положительности корня

$$H = h_0 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \right) = 15 \text{ см.}$$

Ответ: 15 см.

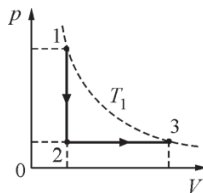
<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>выражение для скорости груза при свободном падении с определённой высоты, закон сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе груза о чашку, условие равновесия чашки до удара, а также закон сохранения механической энергии системы после удара</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу</p>	3

Вариант 4

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

30

Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 5$  моль сначала охладили, уменьшив его температуру от  $T_1 = 400$  К до  $T_2 = \frac{T_1}{n}$ , где  $n = 4$ , а затем нагрели до начальной температуры. При этом давление  $p$  газа изменялось так, как показано на графике. Какое суммарное количество теплоты газ отдал и получил в процессе 1–2–3?

**Возможное решение**

Из графика следует, что 1–2 – изохорный, а 2–3 – изобарный процесс, причём температура газа в начальном и конечном состояниях одинакова.

Согласно первому закону термодинамики суммарная теплота  $\Delta Q_{123}$ , отданная и полученная газом в процессе 1–2–3, равна сумме изменения  $\Delta U_{123}$  внутренней энергии газа и его работы  $\Delta A_{123}$  в процессе:  $\Delta Q_{123} = \Delta U_{123} + \Delta A_{123}$ .

Поскольку внутренняя энергия  $\nu$  молей одноатомного идеального газа равна  $U = \frac{3}{2}\nu RT$  и пропорциональна температуре, в процессе 1–2–3 с одинаковой начальной и конечной температурой её суммарное изменение  $\Delta U_{123} = 0$ .

В изохорном процессе 1–2 имеем  $V = \text{const}$  и  $\Delta A_{12} = 0$ , а в изобарном процессе 2–3 имеем  $p = \text{const}$ , и с учётом уравнения Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$  получаем

$$\Delta A_{23} = p\Delta V_{23} = \nu R\Delta T_{23} = \nu R(T_3 - T_2) = \nu R\left(T_1 - \frac{T_1}{n}\right) = \nu RT_1 \frac{n-1}{n}.$$

Таким образом,

$$\Delta Q_{123} = \Delta A_{23} = \nu RT_1 \frac{n-1}{n} = 5 \cdot 8,31 \cdot 400 \cdot \frac{4-1}{4} \approx 12\,465 \text{ Дж}.$$

**Ответ:** 12 465 Дж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – проанализированы графики изопроцессов на <math>p</math>-<math>T</math> диаграмме; применен первый закон термодинамики; записаны выражения для внутренней энергии идеального одноатомного газа и его работы в изопроцессах; уравнение Клапейрона–Менделеева);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при</p>	3

Вариант 4

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

31

Плоский конденсатор имеет между своими обкладками пластину из твёрдого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 4$ , полностью заполняющую зазор между ними. Ёмкость конденсатора при этом равна  $C = 50$  пФ. Конденсатор подсоединён к источнику с напряжением  $U = 240$  В. Какую работу  $A$  надо совершить для того, чтобы медленно вытянуть диэлектрическую пластину из конденсатора? Трения нет.

### Возможное решение

При вытягивании диэлектрической пластины из конденсатора, подсоединённого к источнику, его ёмкость, заряд  $q$  и энергия  $W$  уменьшаются:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{C}{\varepsilon} - C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot C < 0, \quad \Delta q = \Delta(CU) = U\Delta C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU < 0,$$

$$\Delta W = \Delta\left(\frac{CU^2}{2}\right) = \frac{U^2\Delta C}{2} = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} < 0.$$

Поскольку заряды стекают против ЭДС источника, его работа  $U\Delta q = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 < 0$ .

По условию трения нет и процесс медленный, поэтому выделением теплоты в цепи можно пренебречь, и закон сохранения энергии имеет следующий вид:  $A = \Delta W - U\Delta q$ , то есть совершаемая внешними силами работа  $A$  по вытягиванию пластины равна разности изменения энергии конденсатора и работы источника. Отсюда

$$A = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 = \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-12} \cdot 240^2}{2} = 1,08 \text{ мкДж.}$$

**Ответ:** 1,08 мкДж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>связь заряда и напряжения на конденсаторе, формула для ёмкости конденсатора с диэлектриком, выражение для энергии конденсатора, формула для работы источника напряжения, закон сохранения энергии для электрической цепи, содержащей источник напряжения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования</p>	3

Вариант 4

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



- 32 Небольшой уединённый металлический шарик долго облучали в вакууме светом с длиной волны  $\lambda = 300$  нм, в результате чего он зарядился и приобрёл потенциал  $\varphi = 2,23$  В. Чему равна работа выхода электрона из этого металла? Ответ выразите в эВ.

### Возможное решение

При облучении светом металлического шарика из него за счёт фотоэффекта выбиваются электроны, а сам шарик заряжается, приобретая положительный заряд и потенциал. Потенциал возрастает до тех пор, пока кинетической энергии вылетающих электронов достаточно для их удаления на бесконечное расстояние от шарика:  $\frac{mV^2}{2} = e\varphi$ . В дальнейшем заряд и потенциал шарика перестают расти и стабилизируются.

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия кванта света с частотой  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  расходуется на преодоление работы выхода электрона из металла и на придание ему кинетической энергии, которая в дальнейшем при его удалении от шарика превращается в потенциальную энергию:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mV^2}{2} = A_{\text{вых}} + e\varphi.$$

Отсюда

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda} - e\varphi = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,23 = 3,032 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 1,9 \text{ эВ}.$$

**Ответ:** 1,9 эВ.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон сохранения энергии, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и связь частоты и длины волны света);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3

Вариант 4

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

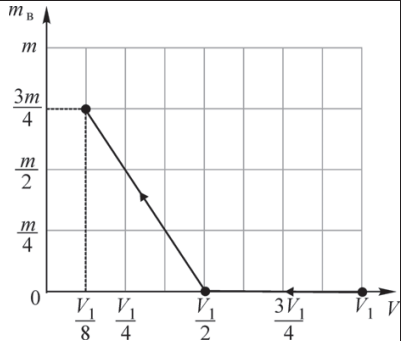
### Вариант 5

28

В сосуде, закрытом поршнем, находится при комнатной температуре воздух, относительная влажность которого равна 50 %, а масса пара равна  $m$ . Поршень медленно вдвигают в сосуд, уменьшая его объём в 8 раз, при постоянной температуре. Нарисуйте график зависимости массы воды, сконденсировавшейся в этом процессе, от объёма сосуда.

#### Возможное решение

1. Обозначим исходные объём и давление пара через  $V_1$  и  $p_1$ . Конденсация пара, а следовательно, и изменение массы пара начнётся тогда, когда давление пара в сосуде станет равным давлению насыщенного водяного пара, то есть при давлении  $p_2 = 2p_1$ . При достижении газом этого давления начнётся процесс конденсации насыщенного пара, происходящий при постоянном давлении и температуре, при этом вблизи комнатной температуры объёмом сконденсировавшейся воды по сравнению с объёмом пара можно пренебречь.



2. Так как температура неизменна, согласно закону Бойля–Мариотта, в момент начала конденсации объём пара будет равен  $\frac{V_1}{2}$ . Для того чтобы в итоге объём пара уменьшился в 8 раз, нужно, считая от момента начала конденсации, уменьшить объём сосуда ещё в 4 раза. При этом в сосуде сконденсируется  $\frac{3}{4}$  от находившейся под поршнем массы  $m$  пара, то есть

масса  $m_v$  получившейся воды будет равна  $\frac{3}{4}m$ .

3. Зависимость  $m_v(V)$  в области конденсации линейная.

4. График изображён на рисунке.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>определение относительной влажности воздуха, использование закона Бойля–Мариотта и упоминание явления конденсации насыщенного пара после достижения 100 % влажности и дальнейшего сжатия газа при постоянной температуре</i> ).	3

Вариант 5

<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.          В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.)          И (ИЛИ)          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.          И (ИЛИ)          В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).          И (ИЛИ)          В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	<p>2</p>
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.          Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимые для полного верного объяснения.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.          ИЛИ          Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	<p>1</p>
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	<p>0</p>
<p><i>Максимальный балл</i></p>	<p>3</p>

29

Маятник состоит из маленького груза массой  $M = 200$  г, висящего на лёгкой нерастяжимой нити длиной  $L = 100$  см. Он висит в состоянии покоя в вертикальном положении. В груз ударяется и прилипает к нему небольшое тело массой  $m = 100$  г, летевшее в горизонтальном направлении. В результате возникает вращение маятника в вертикальной плоскости вокруг его точки подвеса, причём груз маятника всё время движется по окружности, делая полный оборот. Какова могла быть скорость тела до удара?

### Возможное решение

В соответствии с законом сохранения горизонтальной проекции импульса на направление движения тела в момент удара имеем  $mv = (M + m)V$ , где  $v$  – скорость тела до удара, а  $V$  – скорость груза маятника с прилипшим к нему телом сразу после удара. Отсюда с учётом данных в условии  $V = \frac{mv}{M + m} = \frac{v}{3}$ .

При дальнейшем движении от положения равновесия до такого отклонения, когда нить примет вертикальное положение с грузом наверху, но будет хотя бы чуть-чуть натянута, сохраняется механическая энергия груза маятника:

$$\frac{(M + m)V^2}{2} = (M + m)gH + \frac{(M + m)V_1^2}{2}, \text{ где } H = 2L \text{ – высота подъёма над}$$

положением равновесия груза, подвешенного на нерастяжимой лёгкой нити длиной  $L$ . В предельном случае минимальной скорости  $V_1$  движение груза маятника по окружности радиусом  $L$  в верхней точке траектории обеспечивается только силой тяжести, а сила натяжения нити равна нулю.

Уравнение вращательного движения груза при этом имеет вид  $\frac{(m + M)V_1^2}{L} = (m + M)g$ , откуда  $V_1^2 = gL$ . Подставляя полученное значение

в закон сохранения энергии и учитывая выражение для начальной скорости  $V$ , получаем  $V^2 = 4gL + gL = 5gL = \left(\frac{mv}{M + m}\right)^2$ , откуда минимальное значение скорости тела равно

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} = 3\sqrt{5gL} = 3\sqrt{5 \cdot 10 \cdot 1} \approx 21 \text{ м/с.}$$

Ответ: Скорость тела была не менее  $v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} \approx 21$  м/с.

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>закон сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе, закон сохранения механической энергии системы после удара и уравнение вращательного движения груза в вертикальной плоскости</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

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

30

В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна  $u = 440$  м/с. В результате некоторого процесса объём газа уменьшился на  $\alpha = 20$  %, а давление выросло на  $\beta = 80$  %. Каким стало новое значение  $v$  среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

#### Возможное решение

Среднеквадратичная скорость молекул идеального газа при температуре  $T$  равна  $u = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $m_0$  – масса одной молекулы этого газа. Учитывая соотношение  $\frac{M}{m_0} = \frac{R}{k} = N_A$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $M$  – молярная масса газа,  $N_A$  – постоянная Авогадро, выразим среднеквадратичную скорость молекул в виде  $u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ . Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,  $pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$ , где  $p$  – давление газа,  $V$  – объём сосуда,  $m$  – масса газа. Из этих выражений следует, что  $\frac{RT}{M} = \frac{u^2}{3} = \frac{pV}{m}$ . Тогда начальная и конечная среднеквадратичные скорости

равны  $u = \sqrt{\frac{3p_1V_1}{m}}$  и

$$v = \sqrt{\frac{3p_2V_2}{m}} = \sqrt{\frac{3p_1(1+\beta)V_1(1-\alpha)}{m}} = u\sqrt{(1-\alpha)(1+\beta)} = u\sqrt{0,8 \cdot 1,8} = 1,2u = 528 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $v = u\sqrt{(1-\alpha)(1+\beta)} = 1,2u = 528 \text{ м/с.}$

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>выражение для среднеквадратичной скорости молекул идеального газа и уравнение Клапейрона–Менделеева</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2



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

31

Известно, что «лошадиная сила» (л. с.) равна мощности  $75 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с} \approx 735 \text{ Вт}$ , а средний человек при длительной работе развивает мощность около  $0,16 \text{ л. с.}$  и кратковременно может превышать это ограничение. Человек, стараясь после отключения электричества в сети осветить своё жилище, использует электрогенератор с механическим приводом с КПД  $\eta = 60 \%$ . Он вращает ротор генератора через редуктор за ручку, находящуюся на расстоянии  $R = 0,5 \text{ м}$  от оси, со скоростью  $n = 20 \text{ об./мин}$ , прикладывая к ручке силу  $F = 100 \text{ Н}$ . Сможет ли он долго поддерживать горение лампочки мощностью  $P = 60 \text{ Вт}$  и не перегорит ли она от перенапряжения (лампочка рассчитана на номинальное напряжение  $220 \text{ В}$ , но не более  $235 \text{ В}$ , а напряжение генератора прямо пропорционально скорости вращения ротора)?

### Возможное решение

КПД генератора с механическим приводом равен отношению его электрической мощности к механической мощности, развиваемой человеком:

$$\eta = \frac{P_{\text{эл}}}{P_{\text{мех}}}$$

Механическая мощность, развиваемая человеком, в условиях задачи равна

$$P_{\text{мех}} = F \cdot 2\pi n \cdot R \approx 100 \cdot 6,28 \cdot \frac{20}{60} \cdot 0,5 \approx 104,7 \text{ Вт},$$

а электрическая мощность генератора  $P_{\text{эл}} = \eta P_{\text{мех}} \approx 62,8 \text{ Вт}$ , что достаточно для питания лампочки мощностью  $60 \text{ Вт}$ . Напряжение питания, очевидно,

будет при этом повышено до  $220 \cdot \frac{62,8}{60} \approx 230$  В, так что лампочка ещё не перегорит.

Средняя механическая мощность человека при длительной работе равна по условию  $0,16$  л. с.  $\approx 117,6$  Вт, так что человек сможет долго освещать своё жилище, не перенапрягаясь.

Ответ: Сможет, и лампочка не перегорит.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>выражения для КПД генератора и механической мощности, развиваемой человеком, электрической мощности, а также оценки предельных значений параметров задачи</i>);                      II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);                      III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      И (ИЛИ)                      В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      И (ИЛИ)                      В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.                      И (ИЛИ)                      Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

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

32

Для исследования рентгеновских лучей с длинами волн меньше 10 нм изготовить обычную дифракционную решётку с подходящим периодом не представляется возможным, однако, есть способ обойти эту трудность. Возьмём обычную решётку с периодом  $d = 20$  мкм и осветим её параллельным пучком рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 3$  нм с углом падения на решётку  $\alpha = 89,5^\circ$  (скользящее падение лучей). Под каким углом  $\gamma$  к первоначальному пучку будет фиксироваться дифракционный максимум первого порядка? Считайте этот угол малым:  $\gamma \ll 1$ . Ответ выразите в градусах и округлите до целого числа.

#### Возможное решение

При скользящем падении лучей на дифракционную решётку с периодом  $d$  разность хода соседних лучей возникает как до их падения ( $-d \cdot \sin \alpha$ ), так и после их выхода из решётки ( $d \cdot \sin \varphi$ , где  $\varphi$  – угол дифракции, то есть угол между перпендикуляром к плоскости решётки и лучом). Таким образом, условие первого главного максимума для дифракции на решётке в данном случае имеет вид  $d(\sin \varphi - \sin \alpha) = \lambda$ , или, согласно тригонометрической формуле,

$$d \cdot 2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \cos \frac{\varphi + \alpha}{2} = \lambda.$$

По условию угол отклонения луча решёткой  $\gamma = \varphi - \alpha \ll 1$ , поэтому  $\varphi \approx \alpha$  и  $\cos \frac{\varphi + \alpha}{2} \approx \cos \alpha$ . Значит,  $2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \approx 2 \sin \frac{\gamma}{2} \approx \gamma$ , и условие главного дифракционного максимума первого порядка приобретает вид

$$d \cos \alpha \cdot \gamma \approx \lambda,$$

то есть эффективный период решётки уменьшается до  $d \cos \alpha$  и при угле  $\alpha$ , близком к  $90^\circ$ , может быть намного меньше  $d$ . Теперь можно найти угол  $\gamma$ :

$$\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx \frac{3 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00873} \approx 1,718 \cdot 10^{-2} \text{ рад} \approx 0,984^\circ \approx 1^\circ.$$

Ответ:  $\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx 1^\circ$ .

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>условие главного максимума первого порядка для дифракционной решётки при наклонном падении волны и тригонометрические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

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

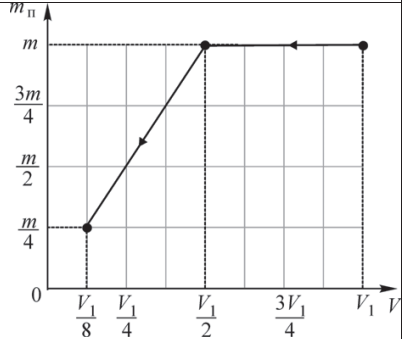
### Вариант 6

28

В сосуде, закрытом поршнем, находится при комнатной температуре воздух, относительная влажность которого равна 50 %, а масса пара равна  $m$ . Поршень медленно вдвигают в сосуд, уменьшая его объём в 8 раз, при постоянной температуре. Нарисуйте график зависимости массы пара в сосуде в этом процессе от объёма сосуда.

#### Возможное решение

1. Обозначим исходные объём и давление пара через  $V_1$  и  $p_1$ . Конденсация пара, следовательно, и изменение массы пара начнётся тогда, когда давление пара в сосуде станет равным давлению насыщенного водяных паров, то есть при давлении  $p_2 = 2p_1$ . При достижении газом этого давления начнётся процесс конденсации насыщенного пара, происходящий при постоянном давлении и температуре, при этом вблизи комнатной температуры объёмом сконденсировавшейся воды по сравнению с объёмом пара можно пренебречь.



2. Так как температура неизменна, согласно закону Бойля–Мариотта в момент начала конденсации объём пара будет равен  $\frac{V_1}{2}$ , а масса пара –  $m$ . Для того чтобы в итоге объём пара уменьшился в 8 раз, нужно, считая от момента начала конденсации, уменьшить объём сосуда ещё в 4 раза. При этом в сосуде сконденсируется  $\frac{3}{4}$  от находившейся под поршнем массы  $m$  пара, то есть масса  $m_n$  оставшегося пара будет равна  $\frac{m}{4}$ .

3. Зависимость  $m_n(V)$  в области конденсации линейная.

4. График изображён на рисунке.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>определение относительной влажности воздуха, использование закона Бойля–Мариотта и упоминание явления конденсации насыщенного пара после достижения 100 % влажности и дальнейшего сжатия газа при постоянной температуре</i> ).	3

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.          В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.)          И (ИЛИ)          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.          И (ИЛИ)          В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).          И (ИЛИ)          В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	<p>2</p>
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.          Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимые для полного верного объяснения.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.          ИЛИ          Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.          ИЛИ          Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	<p>1</p>
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	<p>0</p>
<p><i>Максимальный балл</i></p>	<p>3</p>

29

Маятник состоит из маленького груза массой  $M = 100$  г, висящего на лёгкой нерастяжимой нити длиной  $L = 50$  см. Он висит в состоянии покоя в вертикальном положении. В груз ударяется и прилипает к нему небольшое тело массой  $m = 20$  г, летевшее в горизонтальном направлении. В результате возникает вращение маятника в вертикальной плоскости вокруг его точки подвеса, причём груз маятника всё время движется по окружности, делая полный оборот. Какова при этом могла быть скорость тела до удара?

**Возможное решение**

В соответствии с законом сохранения горизонтальной проекции импульса на направление движения тела в момент удара имеем  $mv = (M + m)V$ , где  $v$  – скорость тела до удара, а  $V$  – скорость груза маятника с прилипшим к нему телом сразу после удара. Отсюда с учётом данных в условии  $V = \frac{mv}{M + m} = \frac{v}{6}$ .

При дальнейшем движении от положения равновесия до такого отклонения, когда нить примет вертикальное положение с грузом наверху, но будет хотя бы чуть-чуть натянута, сохраняется механическая энергия груза маятника:

$$\frac{(M + m)V^2}{2} = (M + m)gH + \frac{(M + m)V_1^2}{2}, \text{ где } H = 2L - \text{высота подъёма над}$$

положением равновесия груза, подвешенного на нерастяжимой лёгкой нити длиной  $L$ . В предельном случае минимальной скорости  $V_1$  движение груза маятника по окружности радиусом  $L$  в верхней точке траектории обеспечивается только силой тяжести, а сила натяжения нити равна нулю. Уравнение вращательного движения груза при этом имеет вид

$$\frac{(m + M)V_1^2}{L} = (m + M)g, \text{ откуда } V_1^2 = gL. \text{ Подставляя полученное значение}$$

в закон сохранения энергии и учитывая выражение для начальной скорости  $V$ , получаем  $V^2 = 4gL + gL = 5gL = \left(\frac{mv}{M + m}\right)^2$ , откуда минимальное значение скорости тела равно

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} = 6\sqrt{5gL} = 6\sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = 30 \text{ м/с.}$$

Ответ: Скорость тела была не менее  $v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} = 30$  м/с.



<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>закон сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе, закон сохранения механической энергии системы после удара и уравнение вращательного движения груза в вертикальной плоскости</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

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

30

В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна  $u = 400$  м/с. В результате некоторого процесса объём газа увеличился на  $\alpha = 80$  %, а давление уменьшилось на  $\beta = 20$  %. Каким стало новое значение  $v$  среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

**Возможное решение**

Среднеквадратичная скорость молекул идеального газа при температуре  $T$  равна  $u = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $m_0$  – масса одной молекулы этого газа. Учитывая соотношение  $\frac{M}{m_0} = \frac{R}{k} = N_A$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $M$  – молярная масса газа,  $N_A$  – постоянная Авогадро, выразим среднеквадратичную скорость молекул в виде  $u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ . Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$ , где  $p$  – давление газа,  $V$  – объём сосуда,  $m$  – масса газа. Из этих выражений следует, что  $\frac{RT}{M} = \frac{u^2}{3} = \frac{pV}{m}$ . Тогда начальная и конечная среднеквадратичные скорости

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

равны  $u = \sqrt{\frac{3p_1V_1}{m}}$  и

$$v = \sqrt{\frac{3p_2V_2}{m}} = \sqrt{\frac{3p_1(1-\beta)V_1(1+\alpha)}{m}} = u\sqrt{(1+\alpha)(1-\beta)} = u\sqrt{1,8 \cdot 0,8} = 1,2u = 480 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $v = u\sqrt{(1+\alpha)(1-\beta)} = 1,2u = 480 \text{ м/с.}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>выражение для среднеквадратичной скорости молекул идеального газа и уравнение Клапейрона–Менделеева</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

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

31

Известно, что «лошадиная сила» (л. с.) равна мощности  $75 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с} \approx 735 \text{ Вт}$ , а средний человек при длительной работе развивает мощность около  $0,16 \text{ л. с.}$  и кратковременно может превышать это ограничение. Человек, стараясь после отключения электричества в сети осветить своё жилище, использует электрогенератор с механическим приводом с КПД  $\eta = 65 \%$ . Он вращает ротор генератора через редуктор за ручку, находящуюся на расстоянии  $R = 0,35 \text{ м}$  от оси, со скоростью  $n = 30 \text{ об./мин}$ , прикладывая к ручке силу  $F = 90 \text{ Н}$ . Сможет ли он долго поддерживать горение лампочки накаливания мощностью  $P = 60 \text{ Вт}$  и не перегорит ли она от перенапряжения (лампочка рассчитана на номинальное напряжение  $220 \text{ В}$ , но не более  $235 \text{ В}$ , а напряжение генератора прямо пропорционально скорости вращения ротора)?

### Возможное решение

КПД генератора с механическим приводом равен отношению его электрической мощности к механической мощности, развиваемой человеком:

$$\eta = \frac{P_{\text{эл}}}{P_{\text{мех}}}.$$

Механическая мощность, развиваемая человеком, в условиях задачи равна

$$P_{\text{мех}} = F \cdot 2\pi n \cdot R \approx 90 \cdot 6,28 \cdot \frac{30}{60} \cdot 0,35 \approx 98,9 \text{ Вт},$$

а электрическая мощность генератора  $P_{\text{эл}} = \eta P_{\text{мех}} \approx 64,3 \text{ Вт}$ , что достаточно

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

для питания лампочки мощностью 60 Вт. Напряжение питания, очевидно, будет при этом повышено до  $220 \cdot \frac{64,3}{60} \approx 235,8$  В, так что лампочка вскоре может и перегореть.  
 Средняя механическая мощность человека при длительной работе равна по условию 0,16 л. с.  $\approx 117,6$  Вт, так что человек сможет долго освещать своё жилище, не перенапрягаясь, пока не перегорит лампочка.  
 Ответ: сможет, но лампочка может и перегореть.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>выражения для КПД генератора и механической мощности, развиваемой человеком, электрической мощности, а также оценки предельных значений параметров задачи</i>);                      II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);                      III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      И (ИЛИ)                      В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      И (ИЛИ)                      В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.                      И (ИЛИ)                      Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

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

32

Для исследования рентгеновских лучей с длинами волн меньше 10 нм изготовить обычную дифракционную решётку с подходящим периодом не представляется возможным, однако есть способ обойти эту трудность. Возьмём обычную решётку с периодом  $d = 30$  мкм и осветим её параллельным пучком рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 4,5$  нм с углом падения на решётку  $\alpha = 89,5^\circ$  (скользящее падение лучей). Под каким углом  $\gamma$  к первоначальному пучку будет фиксироваться дифракционный максимум первого порядка? Считайте этот угол малым:  $\gamma \ll 1$ . Ответ выразите в градусах и округлите до целого числа.

### Возможное решение

При скользящем падении лучей на дифракционную решётку с периодом  $d$  разность хода соседних лучей возникает как до их падения ( $-d \cdot \sin \alpha$ ), так и после их выхода из решётки ( $d \cdot \sin \varphi$ , где  $\varphi$  – угол дифракции, то есть угол между перпендикуляром к плоскости решётки и лучом). Таким образом, условие первого главного максимума для дифракции на решётке в данном случае имеет вид  $d(\sin \varphi - \sin \alpha) = \lambda$ , или, согласно тригонометрической формуле,

$$d \cdot 2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \cos \frac{\varphi + \alpha}{2} = \lambda.$$

По условию угол отклонения луча решёткой  $\gamma = \varphi - \alpha \ll 1$ , поэтому  $\varphi \approx \alpha$  и  $\cos \frac{\varphi + \alpha}{2} \approx \cos \alpha$ . Значит,  $2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \approx 2 \sin \frac{\gamma}{2} \approx \gamma$ , и условие главного

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

дифракционного максимума первого порядка приобретает вид

$$d \cos \alpha \cdot \gamma \approx \lambda,$$

то есть эффективный период решётки уменьшается до  $d \cos \alpha$  и при угле  $\alpha$ , близком к  $90^\circ$ , может быть намного меньше  $d$ . Теперь можно найти угол  $\gamma$ :

$$\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx \frac{4,5 \cdot 10^{-9}}{30 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00873} \approx 1,718 \cdot 10^{-2} \approx 0,984^\circ \approx 1^\circ.$$

Ответ:  $\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx 1^\circ$ .

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – <i>условие главного максимума первого порядка для дифракционной решётки при наклонном падении волны и тригонометрические соотношения</i>);                      II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);                      III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      И (ИЛИ)                      В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      И (ИЛИ)                      В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.                      И (ИЛИ)                      Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Вариант 6

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



## Содержание

Предисловие.....	3
Инструкция по выполнению работы.....	4
Справочные данные.....	5
Вариант 1.....	7
Часть 1.....	7
Часть 2.....	15
Вариант 2.....	18
Часть 1.....	18
Часть 2.....	27
Вариант 3.....	29
Часть 1.....	29
Часть 2.....	38
Вариант 4.....	40
Часть 1.....	40
Часть 2.....	49
Вариант 5.....	51
Часть 1.....	51
Часть 2.....	60
Вариант 6.....	63
Часть 1.....	63
Часть 2.....	72
Система оценивания экзаменационной работы по физике.....	75
Ответы к заданиям с кратким ответом.....	76
Вариант 1.....	76
Вариант 2.....	76
Вариант 3.....	76
Вариант 4.....	77
Вариант 5.....	77
Вариант 6.....	77
Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом.....	78
Вариант 1.....	78
Вариант 2.....	90
Вариант 3.....	102
Вариант 4.....	112
Вариант 5.....	122
Вариант 6.....	133