

## Единый государственный экзамен ПО ФИЗИКЕ Демонстрационный вариант

### Инструкция по выполнению работы

Для выполнения экзаменационной работы по физике дается 3 часа (180 минут). Работа состоит из 3 частей, включающих 45 заданий.

Часть 1 включает 35 заданий. К каждому заданию дается 4 ответа, только один из которых правильный.

Часть 2 состоит из 5 заданий (В1-В5), на которые следует дать краткий ответ в виде числа. В бланк ответов следует внести значение рассчитанной величины в тех единицах измерений, которые указаны в условии задания. Если такого указания нет, то значение величины следует обязательно записать в Международной системе единиц (СИ). При вычислении разрешается пользоваться непрограммируемым калькулятором. Не забудьте провести округление рассчитанных величин до стольких значащих цифр или до стольких знаков, сколько указано в условии.

Часть 3 содержит 5 заданий (С1-С5), на которые требуется дать развернутый ответ. Задания С1-С5 представляют собой задачи, при оформлении решения которых в специальный бланк для развернутых ответов, следует внести и названия законов или ссылки на определения физических величин, соответствующих уравнениям (формулам), которыми Вы пользуетесь. Если требуется, то следует рассчитать численное значение искомой величины, если нет, то оставить решения в буквенном виде. Рекомендуется провести предварительное решение этих заданий на черновике, чтобы при записи в бланке ответов решение уместилось примерно на половине страницы бланка.

Отметка «3» ставится за правильное выполнение не менее 15 любых заданий из всей работы.

Для получения отметки «5» необходимо выполнять задания из всех частей работы. При этом не требуется решить все задания, но среди верно выполненных должно быть не менее двух заданий из Части 3.

Ниже приведены справочные данные, которые могут понадобиться Вам при выполнении работы. В решении заданий В1-В5, если потребуются, используйте значения констант, которые приведены ниже.

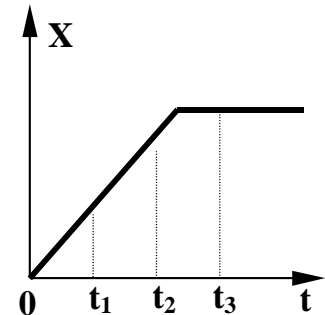
Ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Авагадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$
Заряд электрона	$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$
Электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

**Желаем успеха!**

**ЧАСТЬ 1.**

*При выполнении заданий этой части укажите в бланке ответов цифру, которая обозначает выбранный Вами ответ, поставив знак « x » в соответствующей клеточке бланка для каждого задания (A1-A35).*

A1. На рисунке представлен график зависимости координаты тела, движущегося вдоль оси OX, от времени. Сравните скорости  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$  тела в моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ .



- 1)  $v_1 > v_2 = v_3$
- 2)  $v_1 > v_2 > v_3$
- 3)  $v_1 < v_2 < v_3$
- 4)  $v_1 = v_2 > v_3$

A2. На рис.А показаны направления скорости и ускорения тела в данный момент времени. Какая из стрелок (1-4) на рис.Б соответствует направлению результирующей всех сил, действующих на тело.

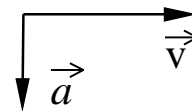


Рис.А

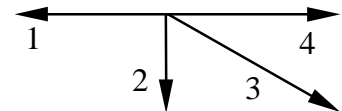


Рис.Б

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

A3. На рычаг действуют две силы, плечи которых равны 0,1 м и 0,3 м. Сила, действующая на короткое плечо, равна 3 Н. Чему должна быть равна сила, действующая на длинное плечо, чтобы рычаг был в равновесии?

- 1) 1 Н
- 2) 6 Н
- 3) 9 Н
- 4) 12 Н

A4. Предлагается два объяснения того экспериментального факта, что ускорение свободного падения не зависит от массы тел.

А. В соответствии с третьим законом Ньютона два тела притягиваются друг к другу с одинаковой силой, поэтому они и падают на Землю с одинаковым ускорением.

Б. В соответствии с законом всемирного тяготения сила тяжести пропорциональна массе, а в соответствии со вторым законом Ньютона ускорение обратно пропорционально массе. Поэтому любые тела при свободном падении движутся с одинаковым ускорением.

Какое из них является верным?

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

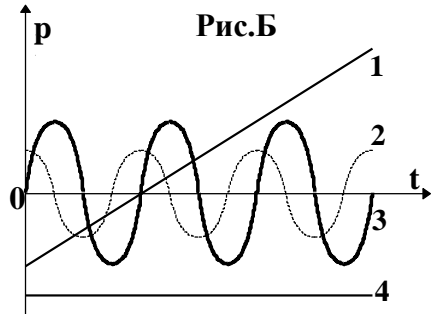
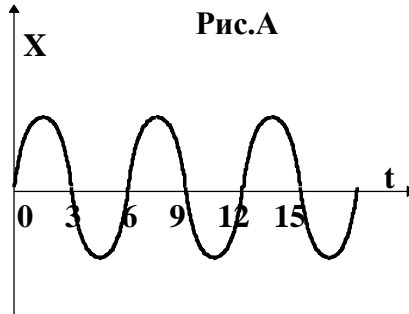
A5. Тележка массой  $m$ , движущаяся со скоростью  $v$ , сталкивается с неподвижной тележкой той же массы и сцепляется с ней. Импульс тележек после взаимодействия равен

- 1) 0
- 2)  $mv/2$
- 3)  $mv$
- 4)  $2mv$

А6. Теплоход переходит из устья Волги в соленое Каспийское море. При этом архимедова сила, действующая на теплоход,

- 1) уменьшается                      2) не изменяется                      3) увеличивается  
4) уменьшается или увеличивается в зависимости от размера теплохода

А7. На рис.А представлен график зависимости координаты тела от времени при гармонических колебаниях. Какой из графиков на рис.Б выражает зависимость импульса колеблющегося тела от времени?

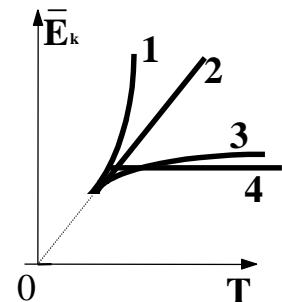


- 1) 1  
2) 2  
3) 3  
4) 4

А8. Какой из перечисленных ниже опытов (А, Б или В) подтверждает вывод молекулярно-кинетической теории о том, что скорость молекул растет при увеличении температуры?

- А. Интенсивность броуновского движения растет с повышением температуры.  
Б. Давление газа в сосуде растет с повышением температуры.  
В. Скорость диффузии красителя в воде повышается с ростом температуры.
- 1) только А                      2) только Б                      3) только В                      4) А, Б и В

А9. Какой график (см. рис.) – верно изображает зависимость средней кинетической энергии частиц идеального газа от абсолютной температуры?



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

А10. Внутренняя энергия гири увеличивается, если

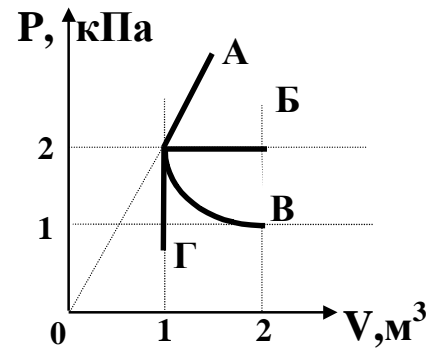
- 1) гирю поднять на 2 м  
2) гирю нагреть на 2°С  
3) увеличить скорость гири на 2 м/с  
4) подвесить гирю на пружине, которая растянется на 2 см

А11. Тепловой двигатель за цикл получает от нагревателя количество теплоты, равное 3 кДж и отдает холодильнику количество теплоты, равное 2,4 кДж. КПД двигателя равен

- 1) 20%                      2) 25%                      3) 80%                      4) 120%

A12. Какой из графиков, изображенных на рисунке соответствует процессу, проведенному при постоянной температуре газа?

- 1) А
- 2) Б
- 3) В
- 4) Г



A13. При испарении жидкость остывает. Молекулярно-кинетическая теория объясняет это тем, что чаще всего жидкость покидают молекулы, кинетическая энергия которых

- 1) равна средней кинетической энергии молекул жидкости
- 2) превышает среднюю кинетическую энергию молекул жидкости
- 3) меньше средней кинетической энергии молекул жидкости
- 4) равна суммарной кинетической энергии молекул жидкости

A14. Температура кристаллического тела при плавлении не изменяется. Внутренняя энергия вещества при плавлении

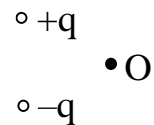
- 1) увеличивается
- 2) не изменяется
- 3) уменьшается
- 4) может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от кристаллической структуры тела

A15. При трении пластмассовой линейки о шерсть линейка заряжается отрицательно. Это объясняется тем, что

- 1) электроны переходят с линейки на шерсть
- 2) протоны переходят с линейки на шерсть
- 3) электроны переходят с шерсти на линейку
- 4) протоны переходят с шерсти на линейку

A16. Какое направление имеет вектор напряженности электрического поля, созданного двумя одинаковыми разноименными зарядами в точке О (см.рис)?

- 1) ←
- 2) →
- 3) ↑
- 4) ↓

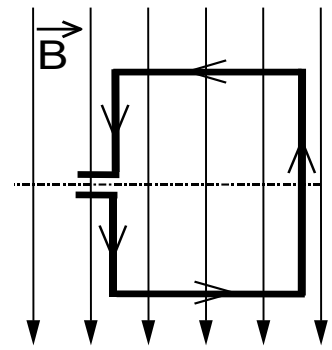


A17. В каких из перечисленных ниже технических устройствах использованы достижения в области физики полупроводников?

- А. солнечная батарея
- Б. компьютер
- В. радиоприемники

- 1) только в А
- 2) только в Б
- 3) только в В
- 4) и в А, и в Б, и в В

A18. В однородном магнитном поле находится рамка, по которой начинает течь ток (см. рис.). Сила, действующая на верхнюю сторону рамки, направлена



- 1) вниз
- 2) вверх
- 3) из плоскости листа на нас  $\odot$
- 4) в плоскость листа от нас  $\otimes$

A19. В металлическое кольцо в течение первых двух секунд вдвигают магнит, в течение следующих двух секунд магнит оставляют неподвижным внутри кольца, в течение последующих двух секунд его вынимают из кольца. В какие промежутки времени в катушке течет ток?

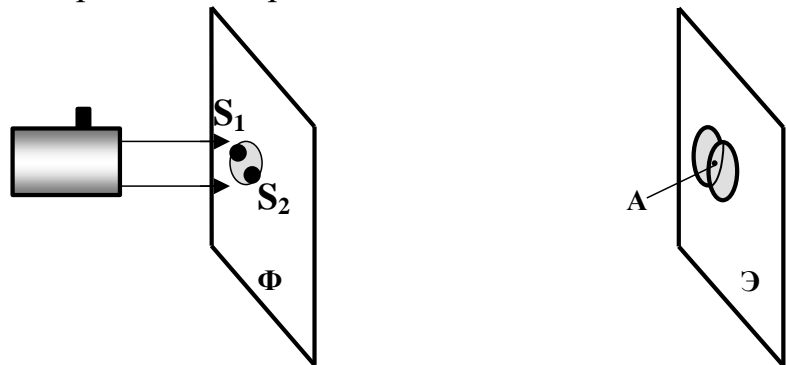
- 1) 0–6 с
- 2) 0–2 с и 4–6 с
- 3) 2–4 с
- 4) только 0–2 с

A20. Радиостанция работает на частоте  $0,75 \cdot 10^8$  Гц. Какова длина волны, излучаемой антенной радиостанции? (Скорость распространения электромагнитных волн 300 000 км/с.)

- 1) 2,25 м
- 2) 4 м
- 3)  $2,25 \cdot 10^{-3}$  м
- 4)  $4 \cdot 10^{-3}$  м

A21. Если осветить красным светом лазерной указки два близких отверстия  $S_1$  и  $S_2$ , проколотые тонкой иглой в фольге, то за ней на экране наблюдаются два пятна. По мере удаления экрана Э они увеличиваются в размере, пятна начинают перекрываться и возникает чередование красных и темных полос.

Что будет наблюдаться в точке А, если  $S_1A = S_2A$ ?  
Фольга Ф расположена перпендикулярно лазерному пучку.



- 1) середина красной полосы
- 2) середина темной полосы
- 3) переход от темной к красной полосе
- 4) нельзя дать однозначный ответ

A22. Масса Солнца уменьшается за счет испускания

- 1) только заряженных частиц
- 2) только незаряженных частиц
- 3) только электромагнитных волн различного диапазона
- 4) частиц и электромагнитных волн

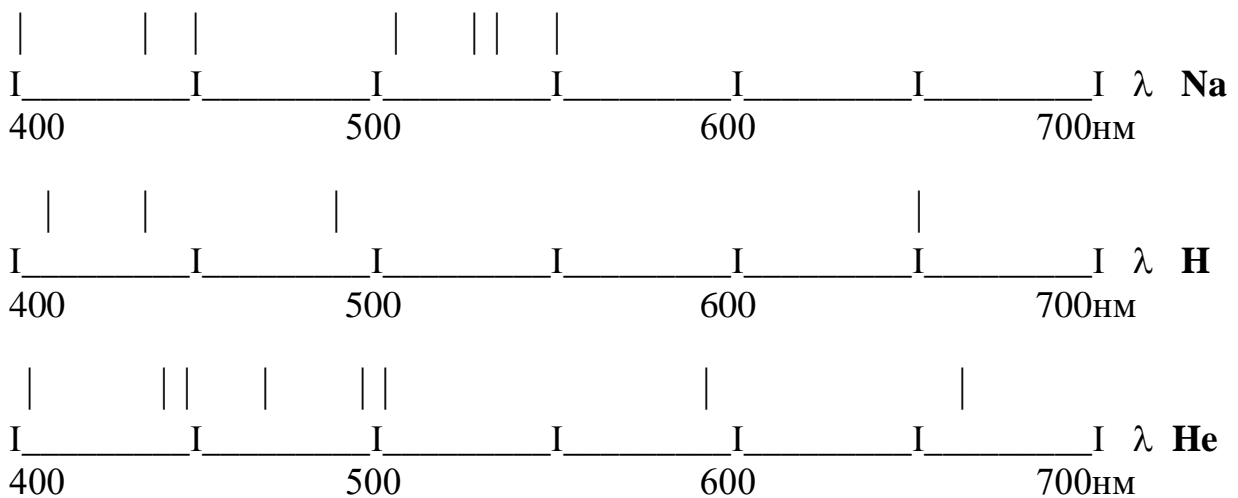
A23. Из перечисленных ниже факторов выберите те, от которых зависит кинетическая энергия электронов, вылетевших с поверхности металлической пластины при ее освещении светом лампы.

- A. Интенсивность падающего света.
- Б. Частота падающего света.
- В. Работа выхода электрона из металла.

- 1) только A            2) только Б            3) Б и В            4) A, Б, В

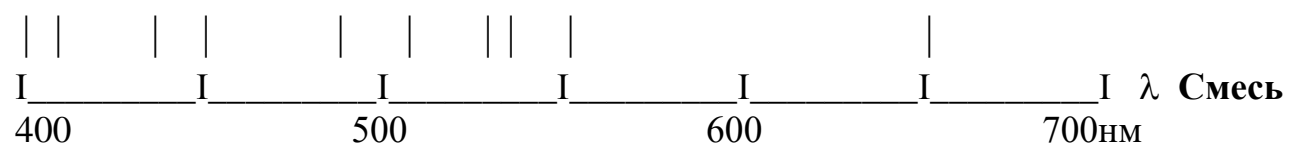
A24. На рис.А приведены спектры поглощения атомов натрия, водорода и гелия.

**Рис.А**



Определите, из каких компонентов состоит газовая смесь, спектр которой показан на рис.Б.

**Рис.Б**



- 1) натрий и водород
- 2) натрий и гелий
- 3) гелий и водород
- 4) натрий, водород и гелий

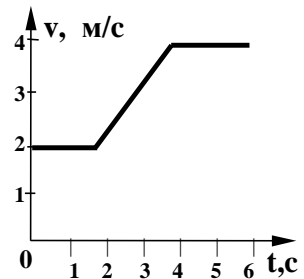
A25. Какие из перечисленных ниже веществ используются в качестве топлива атомных электростанций?

- А. уран
- Б. каменный уголь
- В. кадмий
- Г. графит

- 1) А, Б, Г                      2) А, Б                      3) только А                      4) А, Б, В, Г

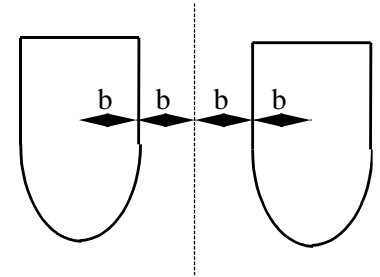
A26. Скорость автомобиля массой 500 кг изменяется в соответствии с графиком, приведенным на рисунке. Определите равнодействующую силу в момент времени  $t = 3$  с.

- 1) 0 Н
- 2) 500 Н
- 3) 1000 Н
- 4) 2000 Н



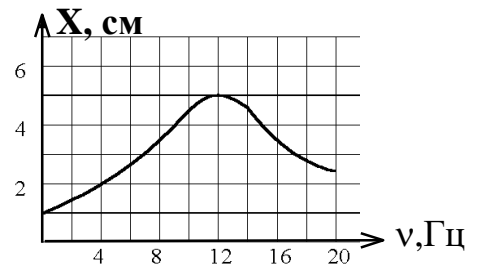
A27. По какой из приведенных формул можно рассчитать силу гравитационного притяжения между двумя кораблями одинаковой массы  $m$  (см. рис.)?

- 1)  $F = Gm^2/b^2$
- 2)  $F = Gm^2/4b^2$
- 3)  $F = Gm^2/9b^2$
- 4) ни по одной из указанных формул



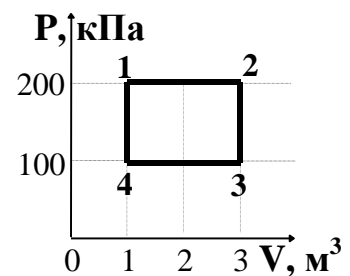
A28. Груз, прикрепленный к пружине жесткостью 40 Н/м, совершает вынужденные колебания. Зависимость амплитуды этих колебаний от частоты воздействия вынуждающей силы представлена на рисунке. Определите полную энергию колебаний груза при резонансе.

- 1)  $10^{-1}$  Дж                      2)  $5 \cdot 10^{-2}$  Дж
- 3)  $1,25 \cdot 10^{-2}$  Дж                      4)  $2 \cdot 10^{-3}$  Дж



A29. Работа газа за термодинамический цикл 1-2-3-4 равна

- 1) 100 кДж                      2) 200 кДж
- 3) 300 кДж                      4) 400 кДж



A30. Какова температура идеального газа в точке 2, если в точке 4 она равна 200К (см.рис. к заданию A29)?

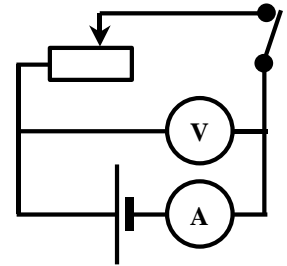
- 1) 200 К                      2) 400 К                      3) 600 К                      4) 1200 К

A31. Плоский воздушный конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Как изменится энергия электрического поля внутри конденсатора, если расстояние между пластинами конденсатора увеличить в 2 раза?

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) уменьшится в 2 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

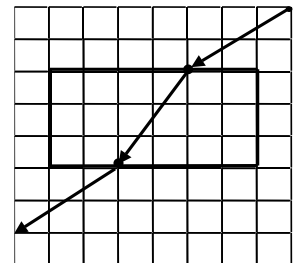
A32. В электрической цепи, изображенной на рисунке, ползунок реостата перемещают вправо. Как изменились при этом показания вольтметра и амперметра?

- 1) показания обоих приборов увеличились
- 2) показания обоих приборов уменьшились
- 3) показания амперметра увеличились, вольтметра уменьшились
- 4) показания амперметра уменьшились, вольтметра увеличились



A33. На рисунке дан ход лучей, полученный при исследовании прохождения луча через плоскопараллельную пластину. Показатель преломления материала пластины на основе этих данных равен

- 1) 0,67
- 2) 1,33
- 3) 1,5
- 4) 2,0

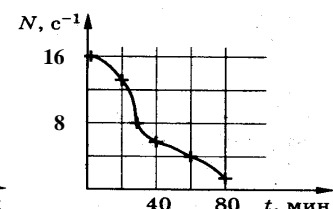
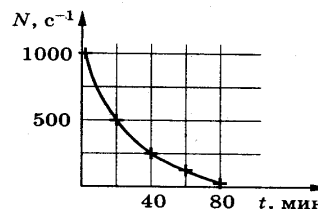


A34. При освещении катода вакуумного фотоэлемента потоком монохроматического света происходит выбивание фотоэлектронов. Как изменится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов при увеличении частоты падающего на катод света в 2 раза?

- 1) не изменится
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) увеличится более, чем в 2 раза
- 4) увеличится менее, чем в 2 раза

A35. При исследовании превращения радиоактивного вещества в двух опытах с разной массой вещества было установлено, что число  $N$  частиц, образующихся в единицу времени при радиоактивном распаде, убывает во времени в соответствии с графиками (см. рис.). Для объяснения различий экспериментальных кривых в этих опытах были сформулировано две гипотезы:

- А. грубые погрешности во втором эксперименте,
- Б. вероятностный характер закона радиоактивного распада.



Какая из гипотез верна?

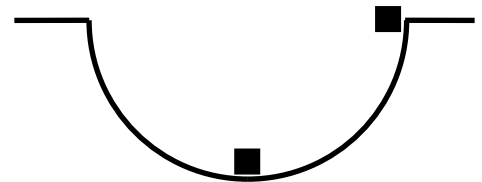
- 1) только А
- 2) только Б
- 3) и А, и Б
- 4) ни А, ни Б



**ЧАСТЬ 2.**

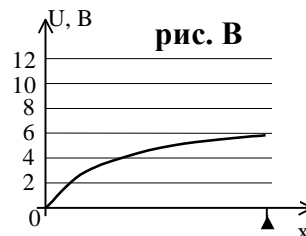
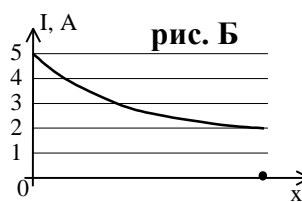
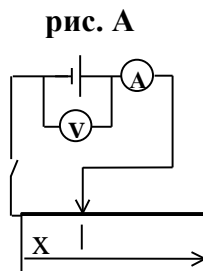
*Ответом на задания этой части будет некоторое число. Это число надо записать в бланк ответов рядом с номером задания (В1-В5), начиная с первой клеточки. Каждую букву или цифру пишете в отдельной клеточке. Единицы измерений писать не нужно. Если у Вас ответ получился в виде дроби, то ее надо округлить до ближайшего целого числа.*

В1. Маленький кубик массы 2 кг может скользить без трения по цилиндрической выемке радиуса 0,5 м. Начав движение сверху, он сталкивается с другим таким же кубиком, покоящимся внизу. Чему равно количество теплоты, выделившееся в результате абсолютно неупругого столкновения?



В2. Чему равно изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты 500 Дж, а газ при постоянном давлении  $10^5$  Па расширился на  $3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>?

В3. Ученик исследовал зависимость показаний амперметра и вольтметра от длины проволоки  $x$  при движении скользящего контакта вправо (рис. А). Зависимости показаний амперметра и вольтметра от длины  $x$  показана на рисунках Б и В. Чему равно внутреннее сопротивление  $r$  источника?



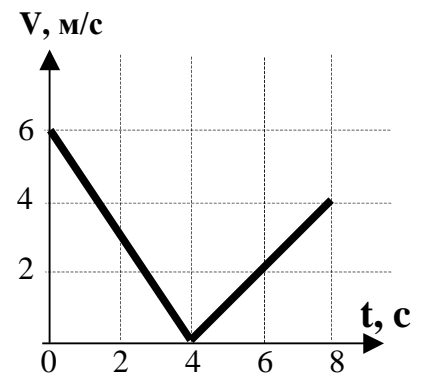
В4. Карандаш совмещен с главной оптической осью тонкой собирающей линзы, его длина равна фокусному расстоянию линзы  $f = 12$  см. Середина карандаша находится на расстоянии  $2f$  от линзы. Рассчитайте длину изображения карандаша. Ответ выразите в см.

В5. При освещении ультрафиолетовым светом с частотой  $10^{15}$  Гц металлического проводника с работой выхода 3,11 эВ выбиваются электроны. Чему равна максимальная скорость фотоэлектронов? Ответ округлить до одной значащей цифры.

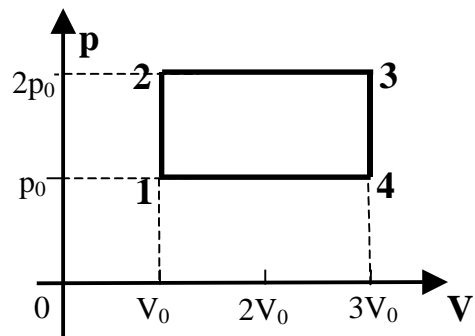
## ЧАСТЬ 3.

Для ответов на задания этой части используйте специальный бланк. Запишите сначала номер задания (С1 и т.д.), а затем запишите полное решение.

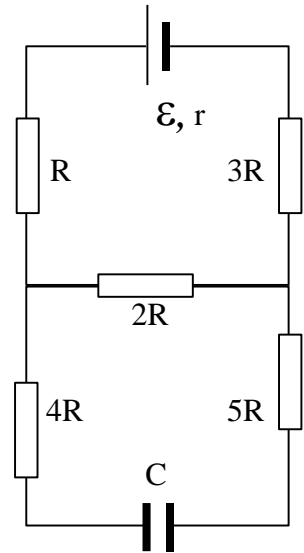
С1. Шайба, брошенная вдоль наклонной плоскости, скользит по ней, двигаясь вверх, а затем движется вниз. График зависимости модуля скорости шайбы от времени дан на рисунке. Найти угол наклона плоскости к горизонту.



С2. Рассчитайте КПД тепловой машины, использующей в качестве рабочего тела одноатомный идеальный газ и работающей по циклу, изображенному на рисунке.



С3. Чему равна энергия конденсатора емкости  $C$ , подключенного по электрической схеме, представленной на рисунке? Величины  $\varepsilon$ ,  $R$  и  $r$  считать известными.





С4. На дифракционную решетку с периодом  $d = 0,01$  мм нормально к поверхности решетки падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 600$  нм. За решеткой, параллельно ее плоскости, расположена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием  $f = 5$  см. Чему равно расстояние между максимумами первого и второго порядков на экране, расположенном в фокальной плоскости линзы?

C5. С какой скоростью вылетает  $\alpha$ -частица из радиоактивного ядра, если она, попадая в однородное магнитное поле с индукцией 1 Тл перпендикулярно его силовым линиям, движется по дуге окружности радиуса 0,5 м ( $\alpha$ -частица – ядро атома гелия, молярная масса гелия 0,004 кг/моль).

**Инструкция по проверке и оценке работ учащихся по физике****ЧАСТЬ 1**

№ задания	ответ	№ задания	ответ	№ задания	ответ
A1	4	A13	2	A25	3
A2	2	A14	1	A26	2
A3	1	A15	3	A27	4
A4	2	A16	4	A28	2
A5	3	A17	4	A29	2
A6	2	A18	3	A30	4
A7	2	A19	2	A31	1
A8	4	A20	2	A32	4
A9	2	A21	1	A33	3
A10	2	A22	4	A34	3
A11	1	A23	3	A35	2
A12	3	A24	1		

**Часть 2**

задание	верный ответ					
B1	5					
B2	2	0	0			
B3	2					
B4	1	6				
B5	6	0	0	0	0	0

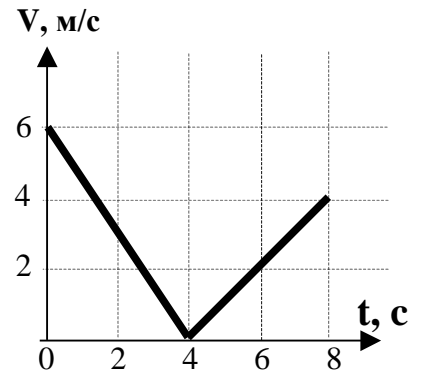
### Часть 3

В зависимости от содержания задачи учитывается наличие схематического рисунка с указанием действующих сил, ссылка на физический закон, запись его в формульном виде, получение ответа в общем виде, численного результата, анализ полученного результата и т.п. При решении задачи способом, отличным от авторского (например, при совмещении этапов решения), эксперт оценивает, на какой этап предложенного авторами решения выходит экзаменуемый в своем решении. Затем эксперт при наличии обязательных элементов в решении (схематический рисунок, ссылка на законы) ставит сумму баллов за все пройденные этапы авторского решения. Приведение только верного ответа оценивается в *1 балл*.

Если ученик не приступал к выполнению задания, то оно оценивается в *0 баллов*.

**С1.** (максимум 4 балла). Задача считается решенной, если набрано не менее 3 баллов.

(1 балл). На основании графика зависимости модуля скорости от времени можно рассчитать модули ускорений шайбы при движении ее вверх  $a_1 = 1,5 \text{ м/с}^2$  и при движении вниз  $a_2 = 1 \text{ м/с}^2$ , а также сделать вывод о том, что при движении тела и вверх, и вниз действует сила трения, поскольку модули ускорений разные.



(1 балл). Наличие рисунка с указанием сил, действующих на тело, и ссылка на второй закон Ньютона или запись его в векторном

$$\vec{N} + \vec{F}_{\text{тяж.}} + \vec{F}_{\text{тр.}} = m \vec{a}.$$

(1 балл). Наличие записи второго закона Ньютона в проекциях на ось, перпендикулярную плоскости, и ось, направленную вдоль плоскости вниз, для движения шайбы вверх (рис.):

$$N - mg \cos \alpha = 0, \quad ma_1 = mg \sin \alpha + \mu N,$$

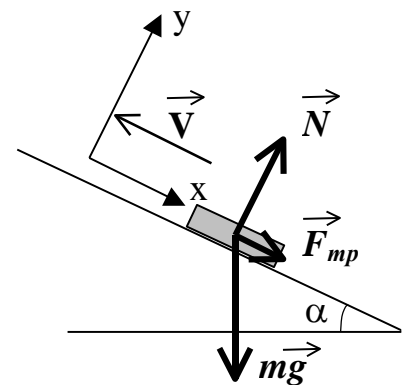
для движения вниз:

$$ma_2 = mg \sin \alpha - \mu N.$$

(1 балл) Решение системы уравнений с получением буквенного и численного ответа:

$$m(a_1 + a_2) = 2mg \sin \alpha, \quad \sin \alpha = (a_1 + a_2)/2g,$$

$$\sin \alpha = 0,125 \text{ или } \alpha = \arcsin 0,125.$$



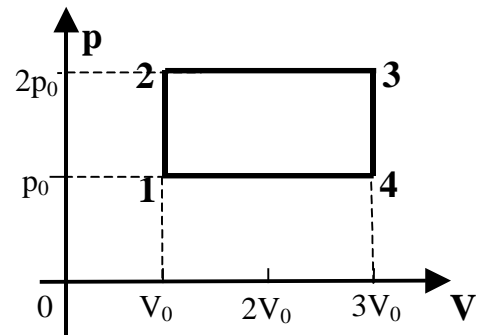
**С2.** (максимум 7 баллов) Задача считается решенной, если за нее набрано не менее 5 баллов.

(1 балл). Знание определения КПД тепловой машины, работающей по циклу 1-2-3-4:

$$\eta = \frac{A_{1234}}{Q_{13}}, \text{ где } A_{1234} \text{ – работа газа в цикле,}$$

$Q_{13}$  – суммарное количество теплоты, полученное на участках цикла 1-2 и 2-3.

(1 балл). Знание геометрического смысла работы газа в цикле.  $A_{1234}$  равна площади прямоугольника 1-2-3-4, изображающего график цикла в координатах  $p$ - $V$ :



$$A_{1234} = 2p_0 V_0.$$

(1 балл). Понимание того, что тепло подводится к газу на участках 1-2 и 2-3, и того что на участке 2-3 по первому закону термодинамики оно затрачивается только на увеличение внутренней энергии, а на участке 2-3 на увеличение внутренней энергии и совершение работы в изобарном процессе:

$$Q_{13} = \Delta U_{13} + A_{13} = \Delta U_{13} + A_{12} + A_{23} = \Delta U_{13} + A_{23}.$$

(1 балл) Умение рассчитывать работу в изобарном процессе 2-3:

$$A_{23} = 2p_0 \cdot 2V_0 = 4p_0 V_0.$$

(1 балл) Знание связи между внутренней энергией одноатомного идеального газа и абсолютной температурой:  $\Delta U_{13} = \frac{3}{2} \nu RT_3 - \frac{3}{2} \nu RT_1$ .

(1 балл). Использование уравнения Клапейрона-Менделеева для перехода от значений  $T$  к значениям  $p$  и  $V$ :  $\Delta U_{13} = \frac{3}{2} 2p_0 3V_0 - \frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{15}{2} p_0 V_0$ .

(1 балл) Совмещение всех уравнений для получения значения КПД и правильные алгебраические преобразования с получением численного ответа. Ответ

$$\eta = \frac{2p_0 V_0}{4p_0 V_0 + \frac{15}{2} p_0 V_0} = \frac{4}{23} \text{ может быть приведен и в виде округленной десятичной дроби.}$$

ной дроби.

**С3.** (максимум 5 баллов) Задача считается решенной, если за нее набрано не менее 3 баллов.

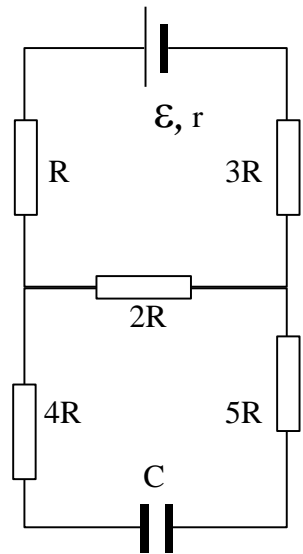
(1 балл) Использование связи между энергией, запасенной в конденсаторе, его емкостью и напряжением на нем

для расчета энергии конденсатора:  $W = \frac{CU^2}{2}$ .

(1 балл) Указание на то, что напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе 2R, поскольку ток по резисторам 4R и 5R в установившемся режиме в цепи не течет, и разность потенциалов на них равна нулю.

(1 балл). Применение закона Ома для участка цепи для вычисления напряжения на резисторе 2R:  $U = I \cdot 2R$ .

(1 балл) Применение закона Ома. Ток через резистор рассчитывается по закону Ома для замкнутой цепи, со-



держащей источник и резисторы сопротивлением R, 2R, 3R:  $I = \frac{\varepsilon}{r + 6R}$ .

(1 балл) Объединение трех уравнений для расчета энергии, запасенной в конденсаторе и правильные алгебраические преобразования с получением ответа, использующего известные из условия задачи величины:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C}{2} (I \cdot 2R)^2 = \frac{C}{2} \left( \frac{\varepsilon}{r + 6R} \right)^2 (2R)^2 = \frac{2C\varepsilon^2 R^2}{(6R + r)^2}.$$

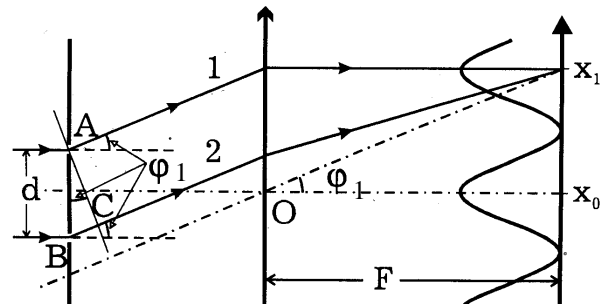
**С4.** (максимум 9 баллов). Задача считается решенной, если за нее набрано не менее 6 баллов.

(1 балл). Понимание принципа действия дифракционной решетки и структуры картины, наблюдаемой на экране.

На экране наблюдаются светлые и темные полосы в результате интерференции световых пучков, образующихся в результате дифракции света на решетке. Прозрачную щель решетки можно представить согласно принципу Гюйгенса-Френеля совокупностью тонких светящихся нитей, параллельных краям щели, которые излучают когерентные цилиндрические волны. Поскольку в условии ничего не говорится о ширине щелей, будем считать их достаточно узкими. Светлые полосы на экране свидетельствуют о том, что волны от разных щелей приходят в эти точки в одинаковой фазе и интерferируют, давая максимум интенсивности световой волны.

(1 балл) Наличие рисунка с ходом лучей от двух щелей через линзу с соблюдением законов геометрической оптики, демонстрирующих путь волн интерферирующих в заданной точке экрана.

На рис. показан ход лучей 1 и 2 (луч – направление распространения световой волны), образующих интерференционный максимум первого порядка на расстоянии  $X_1$  от центрального (нулевого) максимума. Ход лучей, образующих второй максимум, строится аналогично, только лучи 3 и 4 пойдут под бóльшим по сравнению с  $\varphi_1$  углом  $\varphi_2$  по отношению к главной оптической оси линзы.



(1 балл). Вычисление разности хода лучей  $s_1$  и  $s_2$ , образующих первый и второй максимумы, на основе знания геометрии и тригонометрии:

$$s_1 = BC = d \sin\varphi_1, s_2 = d \sin\varphi_2.$$

(1 балл) Указание на то, что прохождение лучей через линзу не приводит к изменению их разности фаз.

(1 балл). Использование условия интерференционных максимумов первого и второго порядков:  $d \sin\varphi_1 = \lambda$ ,  $d \sin\varphi_2 = 2\lambda$ .

(1 балл). Использование геометрических соотношений для вычисления расстояния между первым и вторым максимумами с использованием фокусного расстояния линзы.

Из рис. видно, что:  $X_1 = f \operatorname{tg}\varphi_1$ ,  $X_2 = f \operatorname{tg}\varphi_2$ .

Откуда следует, что искомое расстояние между максимумами равно:

$$X_2 - X_1 = f(\operatorname{tg}\varphi_2 - \operatorname{tg}\varphi_1).$$

(1 балл). Доказательство малости углов  $\varphi$  и  $\varphi_2$  и использование их малости для замены тангенсов углов их синусами.



Учтя, что при малых углах  $\varphi$  (малость углов  $\sin\varphi = 0,06 \Rightarrow \varphi \approx 3^\circ$  можно проверить, используя данные задачи)  $\sin\varphi = \operatorname{tg}\varphi = \varphi$ , получим:

$$X_2 - X_1 = f(\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1) = f(2\lambda/d - \lambda/d) = f\lambda/d.$$

(1 балл). Получение численного ответа в результате правильных арифметических расчетов с использованием числовых значений условия.

Подставив численные значения физических величин, выраженных в СИ, получаем ответ:  $X_2 - X_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3 \text{ мм}$ .

**С5.** (максимум 5 баллов) Задача считается решенной, если за нее набрано не менее 3 баллов.

(1 балл). Использование взаимосвязи модуля силы Лоренца с зарядом частицы, ее скоростью, модулем вектора индукции магнитного поля и углом между направлением вектора магнитной индукции и вектором скорости для вычисления силы Лоренца в заданных условиях:  $F_{\text{Л}} = BVq \sin\alpha$ .

В однородном магнитном поле заряженная частица будет двигаться по окружности, если угол между вектором индукции магнитного поля и вектором скорости равен  $90^\circ$ :  $\alpha = 90^\circ \Rightarrow \sin\alpha = 1$ ,  $F_{\text{Л}} = BVq$ .

(1 балл). Использование второго закона Ньютона для описания движения частицы по окружности с центростремительным ускорением  $a$  под действием силы Лоренца, взаимосвязи центростремительного ускорения при равномерном движении по окружности с модулем вектора скорости и радиусом окружности:

$$F_{\text{Л}} = ma, \quad a = \frac{v^2}{r}.$$

(1 балл) Заряд  $q$  альфа-частицы равен по модулю удвоенному заряду электрона:  $q = 2e$ , а масса примерно равна массе атома гелия:  $m = M/N_A$ .

(1 балл) Совместное решение системы уравнений с получением ответа в общем виде:  $v = \frac{2Be r N_A}{M}$ .

(1 балл) Подстановка численных данных и правильные арифметические расчеты:  $v = 1,9 \cdot 10^7$  м/с.