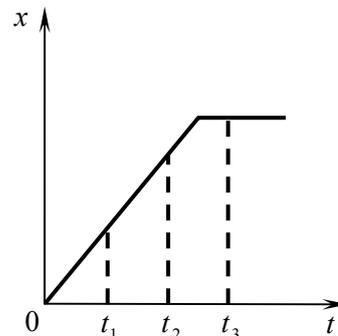


Единый государственный экзамен по физике, 2002 год демонстрационная версия

Часть А

А1. На рисунке представлен график зависимости координаты тела, движущегося вдоль оси ОХ, 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) $v_1 = v_2 > v_3$

Решение. По графику зависимости координаты тела от времени скорость можно определить как тангенс угла наклона графика. Видно, что в первой и во второй точках тангенсы углов наклона графика положительны и равны друг другу, а в третьей точке тангенс угла наклона графика равен нулю. Значит, $v_1 = v_2 > v_3$.

Правильный ответ: 4.

А2. 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?

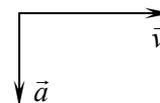


Рис. А

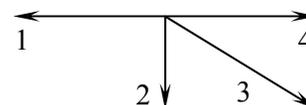


Рис. Б

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

Решение. Из второго закона Ньютона известно, что ускорение тела и результирующая всех сил, действующих на тело, сонаправлены друг с другом. Только второй вектор на рис. Б сонаправлен с ускорением \vec{a} .

Правильный ответ: 2.

А3. 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

Решение. Пусть $l_1 = 0,1$ м; $l_2 = 0,3$ м; F_1 , F_2 — силы, приложенные к плечам l_1 и l_2 , соответственно. По условию $F_1 = 3$ Н. Условием равновесия рычага является равенство $F_1 l_1 = F_2 l_2$, из которого следует, что

$$F_2 = \frac{F_1 l_1}{l_2} = \frac{3 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м}}{0,3 \text{ м}} = 1 \text{ Н}.$$

Правильный ответ: 1.

А4. 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

Решение. Рассмотренное в объяснении А взаимодействие двух тел никак не влияет на их свободное падение, поэтому равенство сил взаимодействия двух тел не может ни доказать, ни опровергнуть независимость ускорения свободного падения от массы тела. Объяснение Б верно.

Правильный ответ: 2.

Примечание. Строго говоря, к объяснению Б следует добавить, что остальные величины, от которых зависит сила тяжести, (гравитационная постоянная, масса Земли и высота над поверхностью планеты) одинаковы для двух тел. Кроме того, сила тяжести не «пропорциональна», а «прямо пропорциональна» массе. Надо думать, что в части А на такие тонкости не следует обращать внимание.

А5. 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) $2mv$

Решение. По закону сохранения импульс тележек после взаимодействия равен сумме импульсов до взаимодействия. Учитывая, что вторая тележка покоилась, получаем

$$p = mv + 0 = mv.$$

Правильный ответ: 3.

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

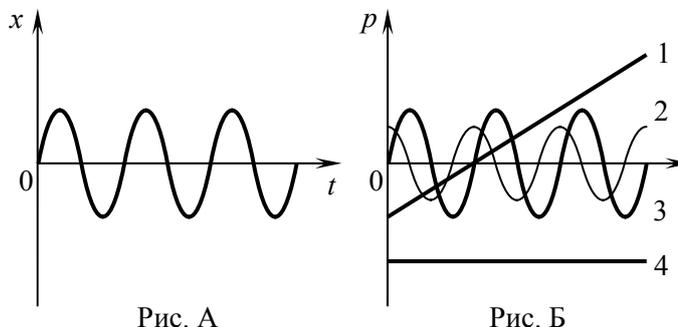
- 1) уменьшается 2) не изменяется 3) увеличивается
4) уменьшается или увеличивается в зависимости от размера теплохода

Решение. Для плавающих тел архимедова сила равна силе тяжести. Поскольку сила тяжести, действующая на теплоход, не меняется, не изменяется и архимедова сила.

Правильный ответ: 2.

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



Решение. Известно, что при гармонических колебаниях зависимость импульса от времени является синусоидальной и опережает зависимость координаты тела от времени на четверть периода. Таким графиком является второй.

Правильный ответ: 2.

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

- А. Интенсивность броуновского движения растёт с повышением температуры.
- Б. Давление газа в сосуде растёт 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

Решение. Возрастание интенсивности броуновского движения и давления газа говорит о том, что возрастает передаваемый телам (стенкам сосуда, плавающим частичкам) импульс при столкновении молекул о них, следовательно, возрастает и скорость молекул. Повышение скорости диффузии также свидетельствует о повышении скорости молекул.

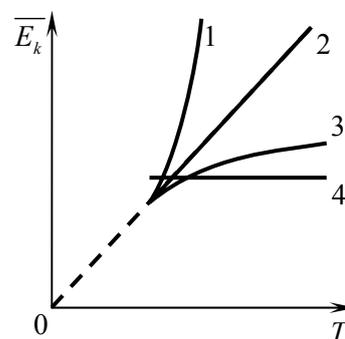
Правильный ответ: 4.

Примечание. При нагревании тел не наблюдается увеличение их массы, значит, не меняется и масса молекул, из которых они состоят. Поэтому изменение импульса молекул, является следствием изменения их скорости.

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

Решение. Средняя кинетическая энергия поступательного движения идеального газа связана с абсолютной температурой соотношением $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$, где k — постоянная Больцмана. Зависимость является прямо пропорциональной. Второй график верно отражает эту зависимость.



Правильный ответ: 2.

А10. Внутренняя энергия гири увеличивается, если

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

Решение. В пунктах 1, 3 и 4 у гири будет изменяться механическая энергия и только в пункте 2 у гири изменится внутренняя энергия.

Правильный ответ: 2.

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 %

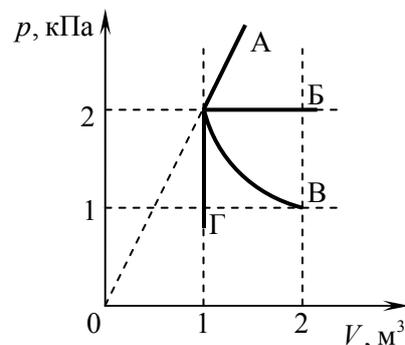
Решение. КПД двигателя может быть рассчитан по формуле:

$$\eta = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} = \frac{3 \text{ кДж} - 2,4 \text{ кДж}}{3 \text{ кДж}} = 0,2 = 20 \%$$

Правильный ответ: 1.

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

- 1) А
- 2) Б
- 3) В
- 4) Г



Решение. При постоянной температуре идеального газа зависимость давления газа от его объема является обратно пропорциональной. Таковым является график В.

Правильный ответ: 3.

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

Решение. При испарении из жидкости вылетают наиболее быстрые молекулы. В результате средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. А так как температура прямо пропорциональна средней кинетической энергии молекул, то жидкость охлаждается.

Правильный ответ: 2.

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

Решение. При разрушении кристаллической решётки увеличивается потенциальная энергия взаимодействия молекул. Суммарная кинетическая энергия молекул при постоянной температуре не изменяется. Поэтому внутренняя энергия, являющаяся суммой потенциальной и кинетической энергий, увеличивается.

Правильный ответ: 1.

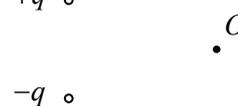
A15. При трении пластмассовой линейки о шерсть линейка заряжается отрицательно. Это объясняется тем, что

- 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

Решение. Протоны, являющиеся частью ядер атомов, образующих молекулы, составляющих, в свою очередь, твёрдое тело, в свободном виде практически не встречаются. Переходить с линейки на шерсть или обратно они могут только в составе молекул. В то время как существующие во всех телах свободные электроны могут гораздо легче перейти от одного тела к другому. Электроны заряжены отрицательно, поэтому линейка, чтобы зарядиться отрицательно, должна получить избыток электронов от шерсти.

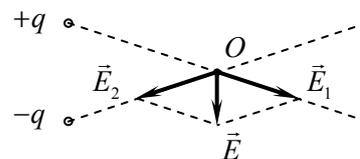
Правильный ответ: 3.

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



- 1) ← 2) → 3) ↑ 4) ↓

Решение. Напряжённости электрического поля в точке O , создаваемые зарядами равны по величине и направлены: первая — от положительного заряда, вторая — к отрицательному заряду. Вектор суммарной напряжённости электрического поля направлен вниз (см. рис.).



Правильный ответ: 4.

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

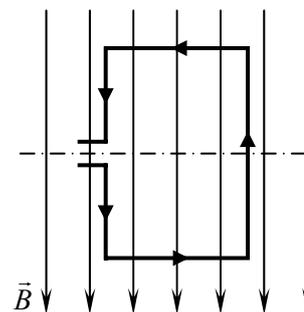
- А. Солнечная батарея.
Б. Компьютер.
В. Радиоприёмники.

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

Решение. Во всех перечисленных устройствах использованы достижения в области физики полупроводников.

Правильный ответ: 4.

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 ⊙ 4) в плоскость листа от нас ⊗

Решение. Воспользуемся правилом «левой руки»: направим четыре пальца руки в сторону направления тока в верхней части рамки (влево), а ладонь развернём так, чтобы линии магнитного поля входили в неё (вверх). Тогда оттопыренный большой палец покажет направление действующей силы (он будет направлен к нам).

Правильный ответ: 3.

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 течёт ток?

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

Решение. В катушке будет течь ток, когда в ней возникнет ЭДС. ЭДС вызывается изменением магнитного потока, пронизывающего кольцо. Магнитный поток изменяется при движении магнита, который перемещали с 0 по 2 секунду и с 4 по 6 секунду.

Правильный ответ: 2.

A20. Радиостанция работает на частоте $0,75 \cdot 10^8$ Гц. Какова длина волны, излучаемой антенной радиостанции? (Скорость распространения электромагнитных волн 300000 км/с.)

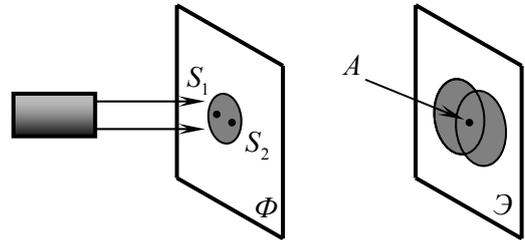
- 1) 2,25 м 2) 4 м 3) $2,25 \cdot 10^{-3}$ м 4) $4 \cdot 10^{-3}$ м

Решение. Частота (ν) и длина волны (λ) связаны соотношением $\nu \cdot \lambda = c$, где c — скорость распространения электромагнитных волн. Тогда

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{300000 \text{ км/с}}{0,75 \cdot 10^8 \text{ Гц}} = 0,004 \text{ км} = 4 \text{ м}.$$

Правильный ответ: 2.

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 \mathcal{E} они увеличиваются в размере, пятна начинают перекрываться и возникает чередование красных и тёмных полос. Что будет наблюдаться в точке A , если $S_1A = S_2A$? Фольга Φ расположена перпендикулярно лазерному пучку.



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

Решение. Поскольку фольга расположена перпендикулярно лазерному пучку, в точках S_1 и S_2 колебания электромагнитной волны происходят в одной фазе, и разность фаз будет равна нулю. Из равенства $S_1A = S_2A$ следует, что и в точке A разность фаз двух вторичных волн, пришедших от отверстий S_1 и S_2 , также будет равна нулю. Последнее является условием максимума интерференции, и, следовательно, в точке A будет наблюдаться середина красной полосы.

Правильный ответ: 1.

A22. Масса Солнца уменьшается за счёт испускания

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

Решение. Солнце теряет свою массу, непрерывно излучая электромагнитные волны (в основном, в видимом диапазоне). Исследования «солнечного ветра» показали, что с поверхности Солнца непрерывно улетучиваются электроны, протоны, ядра гелия и другие частицы.

Правильный ответ: 4.

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

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

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

Решение. Из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта следует, что кинетическая энергия электронов равна разности энергии фотона и работы выхода электрона из металла ($E_k = h\nu - A_{\text{вых}}$). Энергия фотона зависит только от его частоты. Т. о. кинетическая энергия электронов зависит от частоты падающего света и от работы выхода электрона из металла, и не зависит от интенсивности падающего света.

Правильный ответ: 3.

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

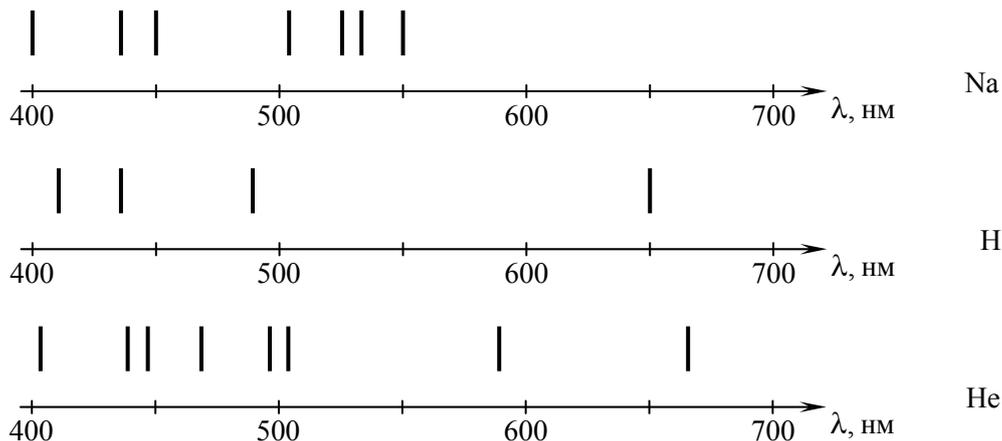


Рис. А

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

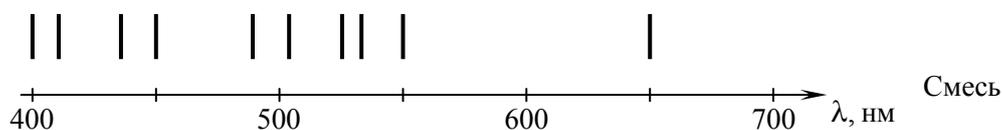


Рис. Б

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

Решение. Спектр смеси является наложением спектров натрия и водорода, следовательно, смесь состоит из натрия и водорода.

Правильный ответ: 1.

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

- А. Уран.
- Б. Каменный уголь.
- В. Кадмий.
- Г. Графит.

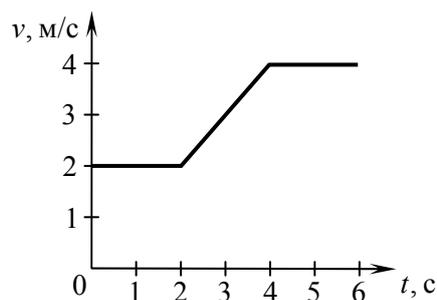
- | | | | |
|------------|---------|-------------|---------------|
| 1) А, Б, Г | 2) А, Б | 3) только А | 4) А, Б, В, Г |
|------------|---------|-------------|---------------|

Решение. Топливом атомных электростанций служат радиоактивные вещества. Из перечисленных веществ радиоактивным является только уран.

Правильный ответ: 3.

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

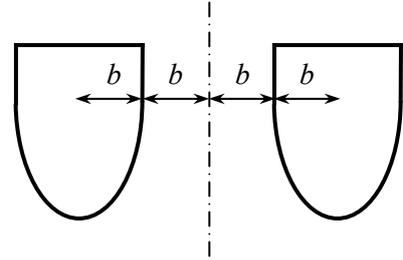


Решение. Из графика видно, что со 2-й по 4-ю секунду автомобиль равномерно менял свою скорость с 2 м/с до 4 м/с. Значит, в этот промежуток времени (в том числе и в

момент времени $t = 3$ с) автомобиль двигался равноускоренно с ускорением $a = 1 \text{ м/с}^2$. По второму закону Ньютона равнодействующая сила равна $F = ma = 500 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2 = 500 \text{ Н}$.

Правильный ответ: 2.

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

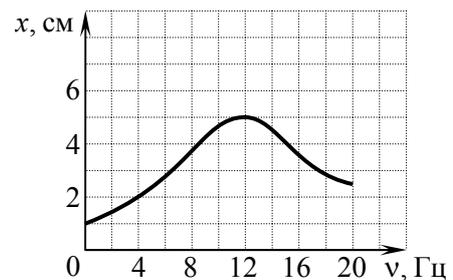


- 1) $F = Gm^2 / b^2$
- 2) $F = Gm^2 / 4b^2$
- 3) $F = Gm^2 / 9b^2$
- 4) ни по одной из указанных формул

Решение. Формулой $F = Gm_1m_2 / r^2$ из закона всемирного тяготения можно пользоваться только в том случае, если тела можно считать материальными точками. В данном случае размеры кораблей соизмеримы с расстояниями между ними, и их нельзя считать материальными точками. Поэтому ни по одной из указанных формул мы не можем рассчитать силу гравитационного притяжения между двумя кораблями.

Правильный ответ: 4.

A28. Груз, прикрепленный к пружине жёсткостью 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

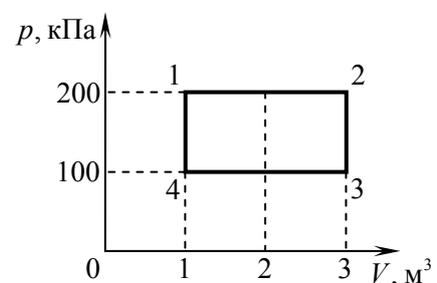
Решение. Обозначим жёсткость пружины $k = 40 \text{ Н/м}$. При резонансе амплитуда колебаний максимальна. Из графика видно, что наибольшая амплитуда $A = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$ достигается при частоте воздействия вынуждающей силы $\nu = 12 \text{ Гц}$. Тогда полная энергия колебаний равна

$$E = \frac{kA^2}{2} = \frac{40 \text{ Н/м} \cdot (0,05 \text{ м})^2}{2} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}.$$

Правильный ответ: 2.

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

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



Решение. Работа газа за цикл равна площади области, заключённой внутри цикла (в координатах pV). По рисунку определяем ширину $\Delta V = 2 \text{ м}^3$ и высоту $\Delta p = 100 \text{ кПа}$ прямоугольника. Работа газа равна $A = \Delta V \cdot \Delta p = 2 \text{ м}^3 \cdot 100 \text{ кПа} = 200 \text{ кДж}$.

Правильный ответ: 2.

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

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

Решение. Запишем уравнения Менделеева — Клапейрона состояния газа в точках 2 и 4: $p_2V_2 = \nu RT_2$, $p_4V_4 = \nu RT_4$. Количество вещества газа ν в этих точках одинаково, поэтому

$$\frac{p_2V_2}{p_4V_4} = \frac{T_2}{T_4} \Leftrightarrow T_2 = \frac{p_2V_2}{p_4V_4} \cdot T_4 = \frac{200 \text{ кПа} \cdot 3 \text{ м}^3}{100 \text{ кПа} \cdot 1 \text{ м}^3} \cdot 200 \text{ К} = 1200 \text{ К}.$$

Правильный ответ: 4.

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

Решение. Энергия электрического поля внутри конденсатора определяется по формуле:

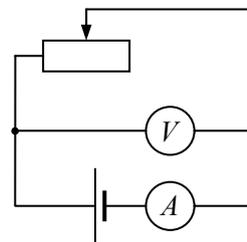
$$W = \frac{q^2}{2C},$$

где q — заряд на пластинах конденсатора, C — его ёмкость. При увеличении в 2 раза расстояния между пластинами заряд на них не изменяется, а ёмкость уменьшается в два раза. Следовательно, энергия электрического поля возрастает в 2 раза.

Правильный ответ: 1.

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



Решение. Воспользовавшись законом Ома для полной цепи, запишем показания амперметра и вольтметра в зависимости от сопротивления реостата R :

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad U = \frac{\varepsilon R}{R + r}$$

где ε — ЭДС источника тока, r — его внутреннее сопротивление. При перемещении ползунка реостата вправо сопротивление реостата увеличивается. Значит, показания амперметра уменьшаются, а вольтметра увеличиваются.

Правильный ответ: 4.

Примечание. По умолчанию, если в условии задачи не указано обратное, все элементы электрических цепей считаются идеальными. Поэтому сопротивление источника электрического тока следовало бы считать равным нулю. Тем самым, перемещение ползунка реостата вправо ведёт к уменьшению показаний амперметра и не влияют на показания вольтметра. Он всегда показывает величину ЭДС источника.

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

Решение. Рассмотрим преломление луча на входе в пластину (см. рис.). По закону преломления света:

$$\frac{n_{пл}}{n_{возд}} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

где $n_{пл}$ — показатель преломления пластины, $n_{возд} = 1$ — показатель преломления воздуха, α — угол падения, β — угол преломления. Из рисунка видно, что

$$\sin \alpha = \frac{3}{\sqrt{13}}, \quad \sin \beta = \frac{2}{\sqrt{13}}.$$

Откуда

$$n_{пл} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{\sqrt{13}} : \frac{2}{\sqrt{13}} = 1,5.$$

Правильный ответ: 3.

Примечание. В условии задачи не указано, в какой среде находится пластинка. В зависимости от этого, правильным ответом может быть любой из предложенных вариантов.

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

Решение. Запишем уравнения Эйнштейна для фотоэффекта двух проведённых опытов:

$$\begin{aligned} h\nu &= A_{\text{вых}} + W_1, \\ 2h\nu &= A_{\text{вых}} + W_2, \end{aligned}$$

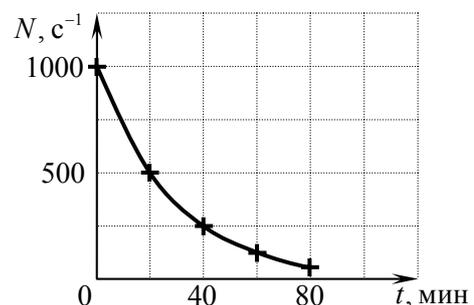
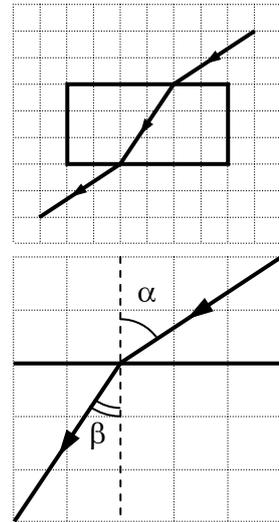
где ν — частота падающего света в первом опыте, $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электронов, $W_{1,2}$ — максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов в первом и во втором опыте, соответственно. В первом опыте наблюдается фотоэффект, значит, $h\nu > A_{\text{вых}}$. Таким образом,

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{2h\nu - A_{\text{вых}}}{h\nu - A_{\text{вых}}} = \frac{2h\nu - 2A_{\text{вых}} + A_{\text{вых}}}{h\nu - A_{\text{вых}}} = 2 + \frac{A_{\text{вых}}}{h\nu - A_{\text{вых}}} > 2.$$

Правильный ответ: 3.

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:

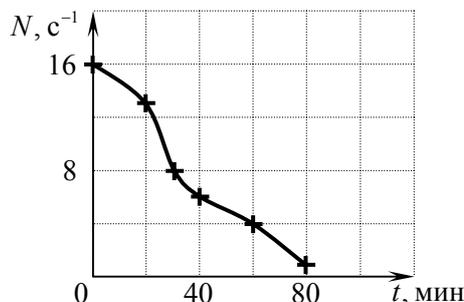
А. Грубые погрешности во втором эксперименте.



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



Решение. Предположим, что измерения проводились за короткие промежутки времени, скажем, за $\tau = 1$ с. Будем считать, что во втором опыте масса исследуемого вещества была в 62,5 раза меньше, чем в первом.

Результаты первого опыта прекрасно согласуются с законом радиоактивного распада:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

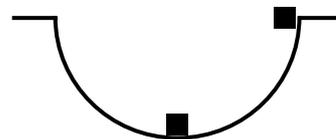
Значит, можно определить период полураспада исследуемого вещества, он равен $T = 20$ мин. Тогда для второго опыта можно рассчитать теоретические значения количества зарегистрированных частиц $\delta N = N(t) \cdot \tau$ в моменты времени $t = 20, 30, 40, 60$ и 80 мин: 8, 5,7, 4, 2 и 1, соответственно. Воспользуемся гипотезой о вероятностном характере радиоактивного распада. В этом случае погрешность δN составляет порядка $\sqrt{\delta N}$. Тем самым теоретические значения δN в моменты времени $t = 20, 30, 40, 60$ и 80 мин: 8 ± 3 , 6 ± 2 , 4 ± 2 , $2,0 \pm 1,4$ и 1 ± 1 , соответственно. В эксперименте получились значения: 11, 8, 6, 4, 1. Можно считать, что теоретические и экспериментальные значения δN совпадают.

Гипотеза о вероятностном характере радиоактивного распада объясняет полученные во втором опыте данные. Значит, грубых погрешностей допущено не было.

Правильный ответ: 2.

Часть В

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?



Решение. Обозначим массы кубиков $m = 2$ кг, радиус выемки $r = 0,5$ м. Воспользовавшись законом сохранения энергии, найдём скорость первого кубика в момент столкновения со вторым:

$$mgr = \frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow v = \sqrt{2gr}.$$

Воспользовавшись законом сохранения импульса, найдём скорость кубиков после столкновения:

$$mv = 2mu \Leftrightarrow u = \frac{v}{2}.$$

Тогда количество теплоты, выделившееся в результате столкновения равно:

$$Q = \frac{mv^2}{2} - \frac{(2m)u^2}{2} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv^2}{4} = \frac{mv^2}{4} = \frac{mgr}{2} = \frac{2 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м}}{2} = 5 \text{ Дж}.$$

Ответ: 5.

В2. Чему равно изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты 500 Дж, а газ при постоянном давлении 10^5 Па расширился на $3 \cdot 10^{-3}$ м³?

Решение. Согласно первому началу термодинамики изменение внутренней энергии равно:

$$\Delta U = Q - A,$$

где $Q = 500$ Дж — переданное газу количество теплоты, A — совершённая газом работа. Газ расширился, поэтому совершённая им работа положительна. Поскольку газ расширялся при постоянном давлении, работу можно определить по формуле:

$$A = p \cdot \Delta V = 10^5 \text{ Па} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 300 \text{ Дж}.$$

Тогда

$$\Delta U = Q - A = 500 \text{ Дж} - 300 \text{ Дж} = 200 \text{ Дж}.$$

Ответ: 200.

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?

Решение. Сопротивление проволоки можно определить по формуле:

$$R_x = \frac{U}{I},$$

где U — показания вольтметра, I — показания амперметра. Рассмотрим схему в двух случаях: при положении ползунка в крайнем левом (1) и крайнем правом положениях (2). Сопротивления проволоки в этих случаях равны:

$$R_1 = \frac{0 \text{ В}}{5 \text{ А}} = 0 \text{ Ом}, \quad R_2 = \frac{6 \text{ В}}{2 \text{ А}} = 3 \text{ Ом}.$$

Запишем закон Ома для полной цепи для двух случаев и решим получившуюся систему (ε — ЭДС источника):

$$\begin{cases} I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}, \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r} \end{cases} \Rightarrow \frac{R_2 + r}{R_1 + r} = \frac{I_1}{I_2} \stackrel{R_1 = 0 \text{ Ом}}{\Leftrightarrow} \frac{R_2}{r} + 1 = \frac{I_1}{I_2} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow r = \frac{R_2 I_2}{I_1 - I_2} = \frac{3 \text{ Ом} \cdot 2 \text{ А}}{5 \text{ А} - 2 \text{ А}} = 2 \text{ Ом}.$$

Ответ: 2.

В4. Карандаш совмещён 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.

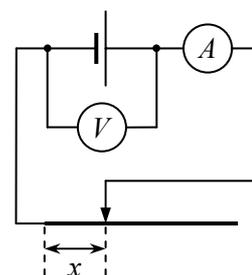


Рис. А

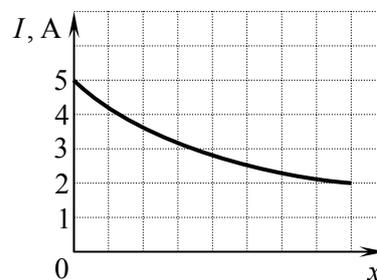


Рис. Б

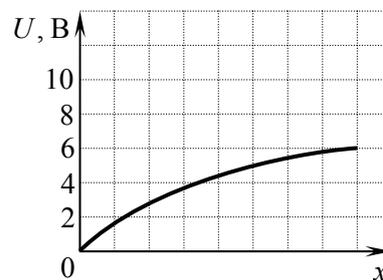


Рис. В

Решение. Длина карандаша равна f , а середина находится на расстоянии $2f$ от линзы, значит, один конец карандаша находится на расстоянии $d_1 = 1,5f$, а другой — на расстоянии $d_1 = 2,5f$. Воспользовавшись формулой линзы, определим положения изображений концов карандаша:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d'_1} = \frac{1}{f} \Leftrightarrow d'_1 = \frac{fd_1}{d_1 - f} = \frac{f \cdot 1,5f}{1,5f - f} = 3f = 3 \cdot 12 \text{ см} = 36 \text{ см},$$

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d'_2} = \frac{1}{f} \Leftrightarrow d'_2 = \frac{fd_2}{d_2 - f} = \frac{f \cdot 2,5f}{2,5f - f} = \frac{5}{3}f = \frac{5}{3} \cdot 12 \text{ см} = 20 \text{ см}.$$

Т. о. длина изображения карандаша равна $d'_1 - d'_2 = 36 \text{ см} - 20 \text{ см} = 16 \text{ см}$.

Ответ: 16.

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.

Решение. Выразим работу выхода электрона в джоулях: $A_{\text{вых}} = 3,11 \text{ эВ} = 4,976 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Воспользовавшись формулой Эйнштейна для фотоэффекта, рассчитаем максимальную скорость фотоэлектронов:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot (h\nu - A_{\text{вых}})}{m}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 10^{15} \text{ Гц} - 4,976 \cdot 10^{-19} \text{ Дж})}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 600000 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: 600000.

Часть С

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.

Решение. При движении шайбы по наклонной плоскости на неё действуют три силы: сила тяжести, сила реакции опоры и сила трения, которые схематично изображены на рис. А (движение вверх) и рис. Б (движение вниз). Из графика скорости видно, что движение в обоих случаях было равноускоренным, следовательно, сила трения не зависит от скорости шайбы, т. е. $|\vec{F}_{\text{мп1}}| = |\vec{F}_{\text{мп2}}| = F_{\text{мп}}$.

Пусть \vec{a}_1 и \vec{a}_2 — ускорения шайбы при движении вверх и вниз, соответственно. Тогда по второму закону Ньютона получаем:

$$\begin{cases} m\vec{a}_1 = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{мп1}}, \\ m\vec{a}_2 = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{мп2}}. \end{cases}$$

Спроецируем вектора на ось x , учитывая, что вектора \vec{a}_1 и \vec{a}_2 направлены вдоль наклонной плоскости вниз:

$$\begin{cases} ma_1 = mg \sin \alpha + F_{\text{мп}}, \\ ma_2 = mg \sin \alpha - F_{\text{мп}}. \end{cases}$$

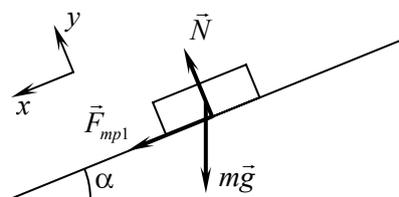
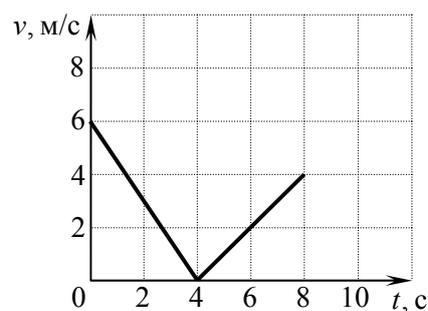


Рис. А

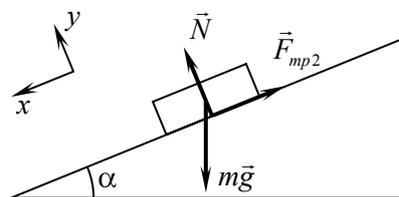


Рис. Б

Сложив получившиеся равенства, получаем:

$$ma_1 + ma_2 = 2mg \sin \alpha \Leftrightarrow \sin \alpha = \frac{a_1 + a_2}{2g} \Leftrightarrow \alpha = \arcsin \frac{a_1 + a_2}{2g}.$$

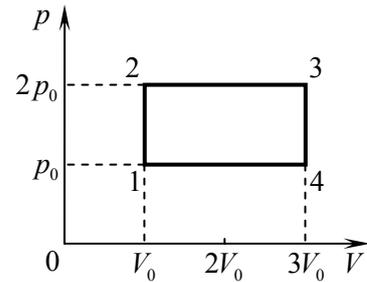
Из графика скорости видно, что $a_1 = 1,5 \text{ м/с}^2$, $a_2 = 1 \text{ м/с}^2$. Тогда

$$\alpha = \arcsin \frac{1,5 \text{ м/с}^2 + 1 \text{ м/с}^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = \arcsin \frac{1}{8} = 7,2^\circ$$

Ответ: $7,2^\circ$.

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

Решение. В точке 1 температура газа равна $T_0 = \frac{p_0 V_0}{\nu R}$. В точках 2, 3 и 4 — $2T_0$, $6T_0$ и $3T_0$, соответственно. У одноатомного идеального газа теплоёмкость при постоянном объёме равна $C_V = \frac{3}{2} \nu R$. По первому началу термодинамики получаем:



$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = C_V(2T_0 - T_0) + 0 = \frac{3}{2} \nu R T_0 = \frac{3}{2} p_0 V_0 > 0,$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = C_V(6T_0 - 2T_0) + 2p_0(3V_0 - V_0) = \frac{3}{2} \nu R \cdot 4T_0 + 4p_0 V_0 = 10 p_0 V_0 > 0,$$

$$Q_{34} = \Delta U_{34} + A_{34} = C_V(3T_0 - 6T_0) + 0 = \frac{3}{2} \nu R \cdot (-3T_0) = -\frac{9}{2} p_0 V_0 < 0,$$

$$Q_{41} = \Delta U_{41} + A_{41} = C_V(T_0 - 3T_0) + p_0(V_0 - 3V_0) = \frac{3}{2} \nu R \cdot (-2T_0) - 2p_0 V_0 = -5 p_0 V_0 < 0.$$

В процессах 1–2 и 2–3 газ получает тепло, в процессах 3–4 и 4–1 — отдаёт. При этом за весь цикл газ совершает работу $A = 2 p_0 V_0$. КПД равен отношению совершённой за цикл работы к полученному теплу:

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{A}{Q_{12} + Q_{23}} = \frac{2 p_0 V_0}{\frac{3}{2} p_0 V_0 + 10 p_0 V_0} = \frac{4}{23}.$$

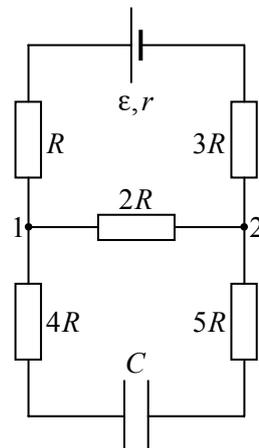
Ответ: $\frac{4}{23}$.

С3. Чему равна энергия конденсатора ёмкости C , подключённого по электрической схеме, представленной на рисунке? Величины ϵ , R и r считать известными.

Решение. Энергия конденсатора равна

$$W = \frac{CU^2}{2},$$

где U — разность потенциалов между его пластинами. Поскольку через конденсатор постоянный ток не течёт, разность потенциалов между его пластинами равна разности потенциалов между точками 1 и 2 (см. рис.), которую можно рассчитать, умножив силу тока в цепи на сопротивление



резистора $2R$: $U = 2IR$. Силу тока можно определить по закону Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + 2R + 3R + r} = \frac{\varepsilon}{6R + r}.$$

В итоге получаем:

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

Ответ: $\frac{2CR^2\varepsilon^2}{(6R + r)^2}$.

С4. На дифракционную решётку с периодом $d = 0,01$ мм нормально к поверхности решётки падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 600$ нм. За решёткой, параллельно её 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?

Решение. Проходя сквозь дифракционную решётку, пучок монохроматического света расщепляется на несколько лучей (рис. А).

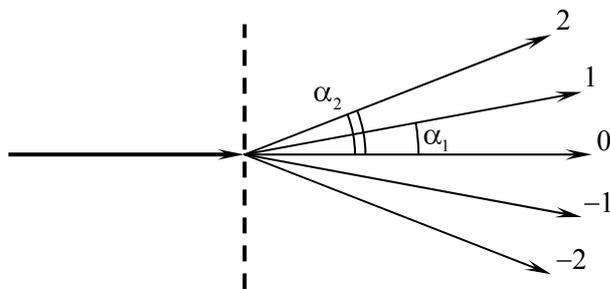


Рис. А

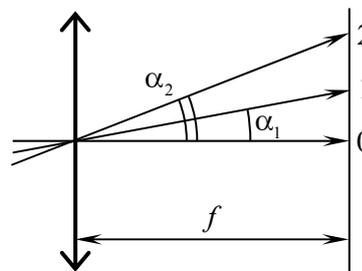


Рис. Б

Углы отклонения связаны с постоянной решётки и длиной волны света равенством $d \sin \alpha_n = n\lambda$. Тогда для первого и второго луча имеем (следует также учесть, что $\lambda \ll d$):

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{\lambda}{d} \cong \frac{\lambda}{d}, \quad \alpha_2 = \arcsin \frac{2\lambda}{d} \cong \frac{2\lambda}{d}.$$

Экран расположен в фокальной плоскости линзы, т. е. на расстоянии f (рис. Б). Значит, отклонения лучей от центрального луча составит $x_1 = f \operatorname{tg} \alpha_1 \cong f \alpha_1$ и $x_2 = f \operatorname{tg} \alpha_2 \cong f \alpha_2$. Т. о. расстояние между максимумами первого и второго порядков на экране составит

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \frac{f\lambda}{d} = \frac{50 \text{ мм} \cdot 6 \cdot 10^{-4} \text{ мм}}{10^{-2} \text{ мм}} = 3 \text{ мм}.$$

Ответ: 3 мм.

С5. С какой скоростью вылетает α -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 (α -частица — ядро атома гелия, молярная масса гелия 0,004 кг/моль).

Решение. Известно, что заряженные частицы, попадая в однородном магнитном поле перпендикулярно его силовым линиям, движутся по окружности радиусом

$$R = \frac{mv}{qB},$$

где m — масса частицы, v — её скорость, q — заряд частицы, B — индукция магнитного поля. Массу ядра гелия можно определить, поделив молярную массу гелия на число Авогадро: $m = M / N_A$. Заряд ядра гелия равен двум элементарным зарядам: $q = 2|e|$. Таким образом,

$$v = \frac{qBR}{m} = \frac{2|e|BRN_A}{M} = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ Тл} \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{0,004 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}} = 24 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $24 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.