



ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Основан в 1878 г.

ФИЗИКА

Методическое пособие для абитуриентов и учителей

Томск
2010

Методическое пособие по физике включает в себя некоторые варианты билетов, предлагавшихся Открытой региональной межвузовской олимпиаде по физике, а также других олимпиадах различного уровня. Каждый билет содержит по 8 задач из разных тем курса школьной физики. Оценивание заданий производилось по 100-бальной шкале.

Ко всем задачам приведены ответы в конце пособия. К некоторым задачам предлагается решение.

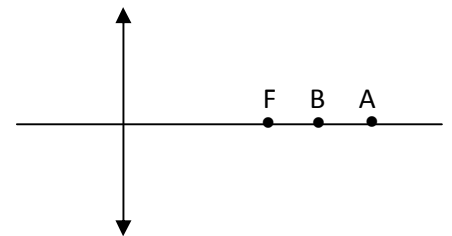
Пособие составил старший преподаватель кафедры общей и экспериментальной физики ТГУ П.А. Назаров.

Рецензент – доцент кафедры общей и экспериментальной физики ТГУ, к.ф.-м.н. В.Ф. Нявро.

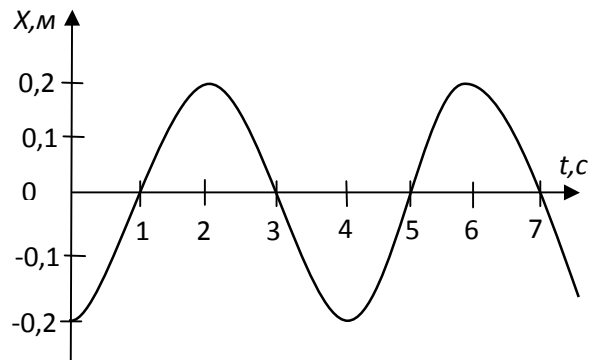
Олимпиада 2009

Вариант № 130

1. Человек оказывает на пол давление $1,5 \cdot 10^4$ Па. Площадь подошв $0,04$ м². Определите его вес.
2. Реостат изготовлен из никелиновой проволоки длиной 100 м и площадью поперечного сечения 1 мм². Сила тока в нем 2 А. Определите напряжение на реостате. Удельное сопротивление никелина $0,40$ Ом · мм²/м.
3. Размер комнаты $6 \times 5 \times 4$ м. Какое количество теплоты потребуется для нагревания воздуха в комнате от 5 до 25°C ? Плотность воздуха $1,3$ кг/м³, его удельная теплоемкость 1000 Дж/(кг · °C).
4. Каков импульс фотона, энергия которого $3 \cdot 10^{-19}$ Дж? Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с.
5. Сколько пробок из пенопласта надо взять, чтобы удержать рыболовную сеть массой $m = 30$ кг? Диаметр пробки $d = 8$ см, а длина $l = 6$ см. Считать, что пробка должна быть погружена в воду наполовину, массой пробок пренебречь. Плотность воды 1000 кг/м³.
6. Определить плотность смеси 32 г кислорода и 8 г азота при давлении $p = 10^5$ Па и температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$, считая азот и кислород идеальными газами. Молярная масса атомов кислорода и азота равны 16 и 14 г/моль соответственно. Универсальная газовая постоянная $8,31$ Дж/(моль · К).
7. Когда предмет находился в точке А, линза давала увеличение $\Gamma_1 = 2$, а когда предмет поместили в точку В, увеличение стало равным $\Gamma_2 = 3$ (см. рис.). Каким будет увеличение, если предмет будет находиться в середине отрезка АВ?
8. На длинном шоссе на расстоянии 1 км друг от друга установлены светофоры. Красный сигнал каждого светофора горит в течение 30 секунд, зелёный — в течение следующих 30 секунд. При этом все автомобили, движущиеся со скоростью 40 км/ч, проехав один из светофоров на зелёный свет, проезжают без остановки, то есть тоже на зелёный свет, и все следующие светофоры. С какими другими скоростями могут двигаться автомобили, чтобы, проехав один светофор на зелёный свет, далее нигде не останавливаться? Задачу решить графически.



Вариант № 131

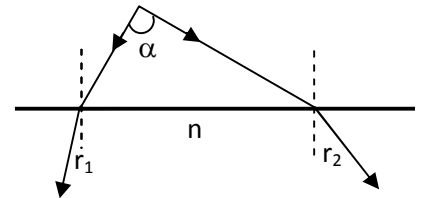


1. На рисунке представлен график зависимости координаты x тела, совершающего гармонические колебания вдоль оси Ox , от времени. Чему равен период колебаний тела?
2. Масса стального шарика 70 г , его объем 10 см^3 . Сплошной ли это шарик или внутри него имеются воздушные полости? Плотность стали 7800 кг/м^3 .
3. Количество теплоты, отданное тепловым двигателем за цикл $Q_1 = 1,5 \text{ кДж}$, КПД двигателя $\eta = 20\%$. Определить полученное от нагревателя за цикл количество теплоты.
4. При температуре $T = 309 \text{ К}$ и давлении $p = 0,7 \text{ МПа}$ плотность газа $\rho = 12 \text{ кг/м}^3$. Определить молярную массу газа.
5. Какой емкости конденсатор нужно включить в колебательный контур с катушкой индуктивности $L = 0,76 \text{ Гн}$, чтобы получить в нем электрические колебания звуковой частоты $\nu = 400 \text{ Гц}$?
6. На неподвижное тело массой $m = 0,5 \text{ кг}$ начинает действовать постоянная сила $F = 2 \text{ Н}$. Найти кинетическую энергию, которой будет обладать тело через время $t = 3 \text{ с}$ после начала действия силы.
7. Воздух, находящийся в закрытом сосуде вместимостью 1 л при нормальных условиях, нагревается электрическим нагревателем, рассчитанным на ток $0,2 \text{ А}$ и напряжение 10 В . Через сколько времени давление в сосуде повысится до 1 МПа ? КПД нагревателя 50% . Удельная теплоемкость воздуха $1,005 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, его плотность при н.у. $1,29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. Нормальное атмосферное давление $1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$, температура при н.у. 0°C .
8. Мэр одного городка начал получать жалобы на большую автомобильную пробку перед светофором на главной улице. Скорость машин при движении составляла 6 м/с , а средняя скорость продвижения по пробке — всего $1,5 \text{ м/с}$. При этом время свечения светофора зелёным светом было равно времени свечения красным (время свечения жёлтым светом мало). Мэр распорядился увеличить время свечения светофора зелёным светом в два раза, а время свечения красным светом оставить прежним. Чему станет равна средняя скорость продвижения машин по пробке? Считайте, что скорость машин при движении не изменилась. Учтите, что при включении зелёного света автомобили начинают двигаться не одновременно.

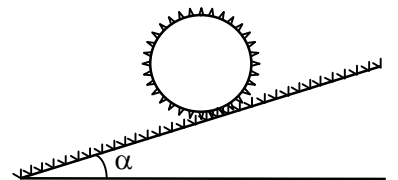
Вариант № 132

1. При равномерном подъеме железобетонной плиты массой 500 кг совершена работа $50\,000 \text{ Дж}$. На какую высоту поднята плита?
2. Какое количество энергии нужно затратить, чтобы воду массой 2 кг , взятую при температуре 20°C , превратить в пар? Удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$.
3. Площадь пластины плоского воздушного конденсатора 60 см^2 , заряд конденсатора 1 нКл , разность потенциалов между его пластинами 90 В . Определить расстояние между пластинами конденсатора.
4. Найти предельный угол падения луча на границу раздела стекла и воды (Показатели преломления стекла $1,5$, воды – $1,33$).
5. Частица с зарядом q движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиусом r . Чему равен импульс частицы?

6. Два взаимно перпендикулярных луча падают на поверхность жидкости. Угол преломления одного луча $r_1 = 30^\circ$, другого $r_2 = 45^\circ$. Найти показатель преломления жидкости.



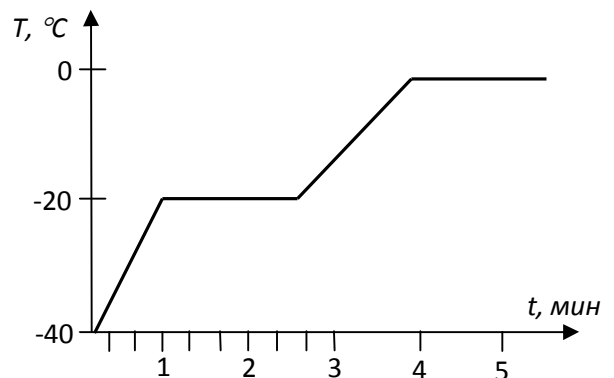
7. Шарик массой 500 г , подвешенный на нерастяжимой нити длиной 1 м , совершает колебания в вертикальной плоскости. Найти силу натяжения нити в момент, когда она образует с вертикалью угол 60° . Скорость шарика в этот момент $1,5 \text{ м/с}$.
8. На боковой поверхности длинного цилиндра массой M и радиусом R равномерно распределены N маленьких крючков (как на застежке-«липучке»). Цилиндр кладут на наклонную плоскость так, что его ось горизонтальна. Поверхность наклонной плоскости покрыта, как и на «липучке», петлями. Каждый крючок, коснувшийся поверхности, цепляется за петлю, причем работа по его отрыву от петли равна A . При каком угле α цилиндр будет скатываться с плоскости?



Вариант № 133

1. Сколько нуклонов, протонов, нейтронов и электронов содержит нейтральный атом ${}_{12}^{25}\text{Mg}$?
2. Равномерно движущаяся по окружности точка делает полный оборот за $T = 5 \text{ с}$. Чему равна угловая скорость точки ω ?

3. При подключении лампочки к источнику тока с $E = 4,5 \text{ В}$ напряжение на лампочке $U = 4 \text{ В}$, а ток в ней $I = 0,25 \text{ А}$. Каково внутреннее сопротивление источника?
4. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 0,4 \text{ мкФ}$ и катушки индуктивностью $L = 1 \text{ мГн}$. Определить длину волны в вакууме, излучаемую этим контуром. Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.
5. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если работа выхода электрона из металла $A = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, а свет имеет длину волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$? Постоянная Планка $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.
6. Луч света падает на тело с показателем преломления n . Найти угол падения, если отраженный луч перпендикулярен преломленному.
7. Идеальный одноатомный газ в количестве 1 моль нагрели сначала изобарно, а затем изохорно. В результате как давление, так и объем газа увеличились в два раза. Какое количество тепла получил газ в этих двух процессах, если его начальная температура была 100 К ? Универсальная газовая постоянная равна $8300 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$.
8. 1 кг льда и 1 кг легкоплавкого вещества, не смешивающегося с водой, при $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ помещены в теплоизолированный сосуд с нагревателем внутри. На нагреватель подали постоянную мощность. Зависимость температуры в сосуде от времени показана на графике. Удельная теплоёмкость льда $C_l = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$, а легкоплавкого вещества в твёрдом состоянии $C = 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$. Найдите удельную теплоту плавления вещества λ и его удельную теплоёмкость в расплавленном состоянии C_1 .



Вариант № 135

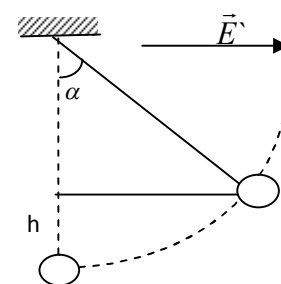
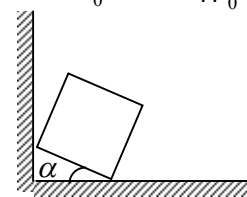
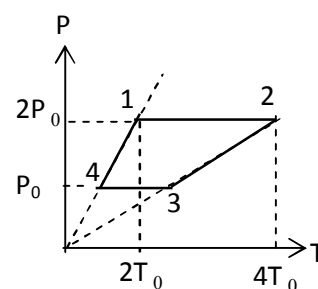
1. Совершая замкнутый цикл, газ получил от нагревателя 420 Дж теплоты. Какую работу совершил газ, если КПД цикла 10% ?
2. На тело массой $m = 2 \text{ кг}$, находящееся на гладком горизонтальном столе, действует сила $F = 30 \text{ Н}$, направленная вверх под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. С какой силой тело давит на стол?

3. Сила тока, протекающего по обмотке катушки, равномерно изменяется на $\Delta I = 5 \text{ А}$ за $\Delta t = 0,25 \text{ с}$. При этом возбуждается ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{si} = 200 \text{ В}$. Определить индуктивность катушки.
4. Давление азота в сосуде объема $V = 3 \text{ л}$ после нагревания возросло на $\Delta P = 2,2 \text{ МПа}$. Найти количество теплоты, сообщенное газу. Удельная теплоемкость азота для данного процесса $c = 745 \text{ Дж/кг К}$, его молярная масса $\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Универсальная газовая постоянная $8,31 \text{ Дж/кг} \cdot \text{моль}$.
5. Длина волны ультрафиолетового света, падающего на металлическую пластинку, уменьшилась с $\lambda_1 = 250 \text{ нм}$ до $\lambda_2 = 125 \text{ нм}$. Определить в электронвольтах работу выхода электрона, если максимальная кинетическая энергия электрона при этом увеличилась в 4 раза. Постоянная Планка $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.
6. Расстояние между предметом и его действительным изображением $a = 6,25 F$, где F – фокусное расстояние собирающей линзы. Найти расстояния d и f от предмета до линзы и от линзы до изображения.
7. Тележка стоит на гладких рельсах. Человек переходит с одного её конца на другой. На какое расстояние l переместится при этом тележка? Масса человека $m_1 = 60 \text{ кг}$, масса тележки $m_2 = 120 \text{ кг}$, её длина $L = 3 \text{ м}$.
8. Два одинаковых шарика, имеющих заряды по 400 нКл , соединены пружиной и находятся на гладком горизонтальном столе. Шарики колеблются так, что расстояние между ними меняется от L до $4L$. Найдите жесткость пружины, если известно, что её длина в свободном состоянии равна $2L$, где $L = 2 \text{ см}$. Электрический коэффициент $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$.

Вариант № 136

1. Два шара массой $m_1 = 1 \text{ кг}$ и $m_2 = 2 \text{ кг}$ скользят по гладкой горизонтальной поверхности на запад и север со скоростью $v_1 = 10 \text{ м/с}$ и $v_2 = 5 \text{ м/с}$ соответственно. Определите направление и модуль импульса системы двух шаров.
2. Уравнение гармонического колебания частицы массой 5 г имеет вид:
$$x = 0,04 \sin\left(\frac{\pi}{4}t + 2\right),$$
 где x – в метрах; t – время в секундах. Определить модуль максимальной силы, действующей на частицу.

3. В двух противоположных вершинах квадрата со стороной 30 см находятся заряды 200 нКл каждый. Найдите потенциал в двух других вершинах квадрата. Электрическая постоянная $k = 9 \cdot 10^9\text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$.
4. Под поршнем цилиндра объемом $V = 10\text{ дм}^3$ находится газообразный аммиак массой $m = 1,9\text{ г}$. Цилиндр помещен в термостат при температуре $t = -57^\circ\text{ С}$. Определите массу аммиака, который сконденсируется при сжатии газа поршнем до объема $V_1 = V/2$. При температуре $t = -57^\circ\text{ С}$ давление насыщенного пара аммиака $P = 26,7\text{ кПа}$. Молярная масса газообразного аммиака $\mu = 17\text{ г/моль}$. Универсальная газовая постоянная $8,31\text{ Дж/кг} \cdot \text{моль}$.
5. Один моль идеального газа участвует в некотором процессе, изображенном в P, T -координатах, проходя последовательно состояния 1,2,3,4,1 (см. рис.). Найдите работу, совершенную газом за этот цикл.
6. Лифт массой 1000 кг поднимается равноускоренно на высоту 50 м за время 25 с . Напряжение на зажимах электродвигателя 200 В , а КПД 80% . Определите среднюю силу тока в электродвигателе.
7. Кубик стоит у стены так, что одна из его граней образует угол α с полом. При каком значении коэффициента трения кубика о пол это возможно, если трение о стенку пренебрежимо мало?
8. Шарик массой 5 г с зарядом 2 мКл подвешен на нити длиной 1 м в горизонтальном электрическом поле с напряженностью 20 В/м . Шарик сначала удерживают в нижнем положении, а затем отпускают. Найдите силу натяжения нити в тот момент, когда шарик поднимется на 20 см выше начального положения.



Решения некоторых олимпиадных задач

Билет №130 задача 5 (2009г.)

Сколько пробок из пенопласта надо взять, чтобы удержать рыболовную сеть массой $m = 30$ кг? Диаметр пробки $d = 8$ см, а длина $l = 6$ см. Считать, что пробка должна быть погружена в воду наполовину, массой пробок пренебречь. Плотность воды 1000 кг/м³.

Дано

$$m = 30 \text{ кг}, d = 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}, l = 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

N —?

Решение

Так как система тел «рыболовная сеть – пробки» находится в равновесии, значит, сумма всех сил, приложенных к ней, равна нулю. На систему тел со стороны земли действует сила тяжести, направленная вертикально вниз, а со стороны жидкости – сила Архимеда, направленная вертикально вверх. Таким образом, можно приравнять силу тяжести, действующую на всю сеть, и силу Архимеда, действующую на все N пробок.

$$mg = N \cdot F_A$$

Распишем силу Архимеда.

$$mg = N \cdot \rho g V_{\text{погр}}$$

Учтем условие задачи, что $V_{\text{погр}} = \frac{1}{2}V$, тогда

$$mg = N \cdot \rho g \frac{1}{2}V$$

Форма пенопластовой пробки цилиндрическая, значит, ее объем можно вычислить как

$$V = \frac{\pi d^2}{4} l$$

Подставляя значение V в предыдущее выражение, и, выражая количество пробок N , окончательно получаем

$$N = \frac{8m}{\pi \rho l d^2}.$$

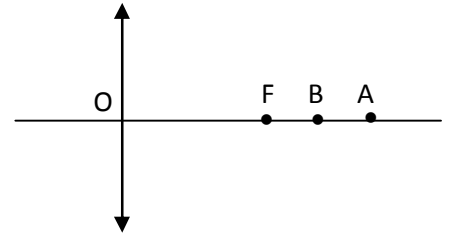
Численное значение N равно

$$N = \frac{8 \cdot 30}{3,14 \cdot 1000 \cdot 6 \cdot 10^{-2} \cdot (8 \cdot 10^{-2})^2} = 199$$

Ответ: $N = 199$

Билет №130 задача 7 (2009г.)

Когда предмет находился в точке A , линза давала увеличение $\Gamma_1 = 2$, а когда предмет поместили в точку B , увеличение стало равным $\Gamma_2 = 3$ (рис.). Каким будет увеличение, если предмет будет находиться в середине отрезка AB ?



Дано

$$\Gamma_1 = 2, \Gamma_2 = 3$$

$\Gamma = ?$

Решение

Зная формулу тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

запишем для двух случаев, согласно условию, это соотношение:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f_1} \quad \text{и} \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{OB} + \frac{1}{f_2}. \quad (1)$$

Здесь F - фокусное расстояние.

Учтем, что

$$\Gamma = \frac{f}{d}. \quad (2)$$

Тогда

$$\Gamma_1 = \frac{f_1}{OA} \quad \text{и} \quad \Gamma_2 = \frac{f_2}{OB}. \quad (3)$$

Искомое увеличение линзы можно определить, принимая во внимание условие

$$d = \frac{OA + OB}{2}.$$

Подставляя это выражение в (2), получим

$$\Gamma = \frac{2f}{OA+OB}. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) и (3) получаем

$$\begin{cases} OA = \frac{F}{\Gamma_1}(1 + \Gamma_1), \\ OB = \frac{F}{\Gamma_2}(1 + \Gamma_2) \end{cases} \quad (5)$$

Подставляя в (2) выражение $d = \frac{OA+OB}{2}$, находим

$$f = \frac{\Gamma}{2}(OA + OB)$$

Если это значение f подставить в (4) и решить совместно с (5), то можно получить окончательный ответ для искомого линейного увеличения

$$\Gamma = \frac{2\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2}.$$

Численное значение

$$\Gamma = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3}{2+3} = 2,4.$$

Ответ: $\Gamma = 2,4$

Билет №131 задача 7 (2009г.)

Воздух, находящийся в закрытом сосуде вместимостью 1 л при нормальных условиях, нагревается электрическим нагревателем, рассчитанным на ток 0,2 А и напряжение 10 В. Через сколько времени давление в сосуде повысится до 1 МПа? КПД нагревателя 50%. Удельная теплоемкость воздуха $1,005 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), его плотность при н.у. $1,29 \cdot 10^{-3}$ кг/м³. Нормальное атмосферное давление $1,01 \cdot 10^5$ Па, температура при н.у. 0°C.

Дано

$$V = 1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3, \quad I = 0,2 \text{ А}, \quad U = 10 \text{ В}, \quad p_2 = 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}, \quad \eta = 0,5, \\ c = 1,005 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}), \quad \rho = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3, \quad p_1 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}, \\ T_1 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ К}$$

t —?

Решение

Коэффициентом полезного действия нагревателя, по определению, является отношение количества теплоты, полученное воздухом, к количеству теплоты, выделившемуся при протекании тока по электрическому нагревателю

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (1)$$

Количество теплоты, выделяемое при протекании тока по проводнику, определяется законом Джоуля-Ленца

$$Q_1 = IUt. \quad (2)$$

Количество теплоты, полученное воздухом при нагревании

$$Q_2 = cm(T_2 - T_1). \quad (3)$$

Подставляя уравнения (2) и (3) в (1), выражаем время t

$$t = \frac{cm(T_2 - T_1)}{\eta I U}. \quad (4)$$

Так как сосуд закрыт, то его объем не изменяется. Значит, можно считать процесс нагревания воздуха в баллоне изохорным $V = const$. В соответствии с этим отношение $\frac{p}{T} = const$. Тогда

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Выражая отсюда T_2 и подставляя в (4), получим

$$t = \frac{c\rho V \left(T_1 \frac{p_2}{p_1} - T_1 \right)}{\eta I U}.$$

Здесь учтено, что $m = \rho V$. Преобразовывая это выражение, окончательно получаем

$$t = \frac{c\rho VT_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right)}{\eta I U}.$$

Подстановка численных значений в это уравнение дает ответ.

$$t = \frac{1,005 \cdot 10^3 \cdot 1,29 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \cdot 273 \left(\frac{10^6}{1,01 \cdot 10^5} - 1 \right)}{0,5 \cdot 0,2 \cdot 10} = 3150 \text{ (с)} = 3,15 \cdot 10^3 \text{ (с)}$$

Ответ: $t = 3,15 \cdot 10^3 \text{ с}$

Билет №132 задача 7 (2009г.)

Шарик массой 500 г, подвешенный на нерастяжимой нити длиной 1 м, совершает колебания в вертикальной плоскости. Найти силу натяжения нити в момент, когда она образует с вертикалью угол 60° . Скорость шарика в этот момент 1,5 м/с.

Дано

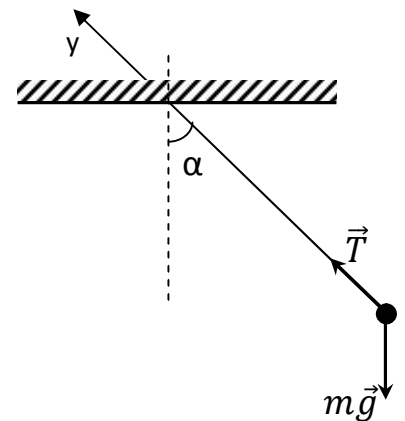
$$m = 500 \text{ г} = 0,5 \text{ кг}, l = 1 \text{ м}, \alpha = 60^\circ, v = 1,5 \text{ м/с}$$

Т—?

Решение

Рассмотрим положение шарика в момент, когда, согласно условию задачи, он образует угол 60° с вертикалью.

Расставим силы, действующие на шарик. Это сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити \vec{T} , действующая вдоль нити к точке подвеса. Выберем ось y , вдоль нити, как указано на рисунке. Согласно второму закону Ньютона, векторная сумма всех сил, приложенных к телу, равна произведению массы этого тела на его ускорение



$$m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}.$$

В проекции на ось y это уравнение имеет вид

$$T - mg \cos \alpha = ma$$

Здесь a – центростремительное ускорение, равное $a = \frac{v^2}{l}$. Подставляя его в предыдущее уравнение, выражаем силу натяжения

$$T = m \left(\frac{v^2}{l} + g \cos \alpha \right).$$

Численное значение силы натяжения получается

$$T = 0,5 \left(\frac{1,5^2}{1} + 9,8 \cdot 0,5 \right) = 3,6 \text{ (Н)}$$

Ответ: $T = 3,6 \text{ Н}$

Билет №133 задача 7 (2009г.)

Идеальный одноатомный газ в количестве 1 моль нагрели сначала изобарно, а затем изохорно. В результате как давление, так и объем газа увеличились в два раза. Какое количество тепла получил газ в этих двух процессах, если его начальная температура была 100 К? Универсальная газовая постоянная равна 8300 Дж/(кмоль·К).

Дано

$$\nu = 1 \text{ моль}, \quad p_1 = \text{const}, \quad V_2 = \text{const}, \quad p_2 = 2p_1, \quad V_2 = 2V_1, \quad T_1 = 100 \text{ К}, \quad R = 8300 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$$

$Q - ?$

Решение

Общее количество теплоты Q , полученное газом в результате двух процессов, можно рассчитать как

$$Q = Q_p + Q_V. \quad (1)$$

Здесь

$$Q_p = \Delta U_1 + A \quad (2)$$

- количество теплоты, полученное при изобарном процессе, а

$$Q_V = \Delta U_2 \quad (3)$$

- количество теплоты при изохорном процессе. Так как газ одноатомный, то число степеней свободы равно трём $i = 3$. Согласно тому, что

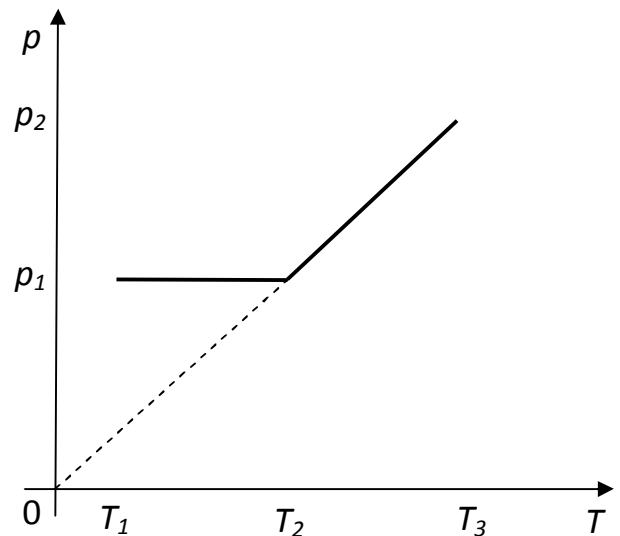
$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T,$$

изменение внутренней энергии в первом процессе

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1), \quad (4)$$

а во втором процессе

$$\Delta U_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = Q_V. \quad (5)$$



Так как при изохорном процессе изменение объема равно нулю, то работа газом не совершается. Поэтому рассчитаем работу в изобарном процессе как $A = p\Delta V$.

$$A = p_1(V_2 - V_1). \quad (6)$$

Теперь необходимо рассчитать объемы V_2 и V_1 и температуры T_2 и T_3 . Это можно сделать исходя из уравнения состояния идеального газа $pV = \nu RT$. В первоначальном состоянии

$$p_1V_1 = \nu RT_1 \quad (7)$$

После изобарного нагревания

$$p_1V_2 = \nu RT_2, \quad (8)$$

а после изохорного

$$p_2V_2 = \nu RT_3. \quad (9)$$

Поделив (8) на (7), получим соотношение

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (10)$$

Если воспользоваться условием задачи $V_2 = 2V_1$ и подставить в выражение (10), то получим соотношение для температур

$$T_2 = 2T_1. \quad (10')$$

Согласно этому (4) соотношение примет вид

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu RT_1, \quad (11)$$

а соотношение (6)

$$A = p_1V_1.$$

Заменим произведение p_1V_1 из (7) и выразим работу

$$A = \nu RT_1. \quad (12)$$

Подставляя (11) и (12) в выражение (2) для количества теплоты при изобарном процессе, получим

$$Q_p = \frac{3}{2} \nu RT_1 + \nu RT_1 = \frac{5}{2} \nu RT_1. \quad (13)$$

Теперь поделим (9) на (8), чтобы получить соотношение между давлениями и температурами

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_3}{T_2}.$$

Если воспользоваться условием задачи $p_2 = 2p_1$, $V_2 = 2V_1$ и подставить в предыдущее соотношение, то получим, что

$$T_3 = 4T_1. \quad (14)$$

Теперь, подставляя в выражение (5) для количества теплоты, полученной газом при изохорном процессе, значения температур из (10') и (14), имеем

$$Q_V = \frac{3}{2} \nu R(4T_1 - 2T_1) = 3 \nu RT_1. \quad (15)$$

Для того чтобы получить окончательно полное количество теплоты, необходимо в (1) подставить значения Q_p и Q_V из соотношений (13) и (15)

$$Q = \frac{5}{2} \nu RT_1 + 3 \nu RT_1 = \frac{11}{2} \nu RT_1.$$

Получим численное значение для Q .

$$Q = \frac{11}{2} \cdot 1,8,3 \cdot 100 = 4565 \text{ (Дж)}.$$

Ответ: $Q = 4565$ Дж

Билет №135 задача 5 (2009г.)

Длина волны ультрафиолетового света, падающего на металлическую пластинку, уменьшилась с $\lambda_1 = 250$ нм до $\lambda_2 = 125$ нм. Определить в электронвольтах работу выхода электрона, если максимальная кинетическая энергия электрона при этом увеличилась в 4 раза. Постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано

$$\lambda_1 = 250 \text{ нм} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \quad \lambda_2 = 125 \text{ нм} = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \quad W_2 = 4W_1, \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}, \quad h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с}$$

A_B —?

Решение

Воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта, учитывая падение на пластинку волн различной длины

$$h \nu_1 = A_B + W_1 \quad (1)$$

$$h \nu_2 = A_B + W_2. \quad (2)$$

Заменим частоту через скорость света и длину волны, тогда (1) и (2) примут вид

$$h \frac{c}{\lambda_1} = A_B + W_1 \quad (3)$$

$$h \frac{c}{\lambda_2} = A_B + W_2. \quad (4)$$

Теперь из уравнения (4) вычтем (3) и выразим кинетическую энергию W_1

$$W_1 = \frac{hc(\lambda_1 - \lambda_2)}{3 \cdot \lambda_1 \lambda_2}.$$

Подставим это значение кинетической энергии в уравнение (3) и выразим отсюда работу выхода

$$A_B = h \frac{c}{\lambda_1} - \frac{hc(\lambda_1 - \lambda_2)}{3 \cdot \lambda_1 \lambda_2}.$$

Приведя к общему знаменателю последнее уравнение, окончательно получаем выражение для работы выхода

$$A_B = \frac{hc(4\lambda_2 - \lambda_1)}{3 \cdot \lambda_1 \lambda_2}.$$

Численное значение работы выхода

$$A_B = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 (4 \cdot 1,25 \cdot 10^{-7} - 2,5 \cdot 10^{-7})}{3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1,25 \cdot 10^{-9}} = 5,304 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 3,3 \text{ эВ}$$

Ответ: $A_B \approx 3,3 \text{ эВ}$

Билет №135 задача 8 (2009г.)

Два одинаковых шарика, имеющих заряды по 400 нКл , соединены пружиной и находятся на гладком горизонтальном столе. Шарики колеблются так, что расстояние между ними меняется от L до $4L$. Найдите жесткость пружины, если известно, что её длина в свободном состоянии равна $2L$, где $L = 2 \text{ см}$. Электрический коэффициент $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$.

Дано

$$q_1 = q_2 = 400 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}, \quad L = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad k = 9 \cdot 10^9 \text{ Ф/м},$$

$K = ?$

Решение

Так как по условию сказано, что стол гладкий, значит, нет диссипативных сил (сил трения, сопротивления) и можно воспользоваться законом сохранения энергии. При максимальном сжатии и максимальном растяжении пружины кинетическая энергия системы равна нулю. При записи закона сохранения энергии воспользуемся этим ус-

ловием, учитывая, что полная энергия системы в крайних положениях складывается только из потенциальной энергии сжатия (растяжения) пружины и потенциальной энергии взаимодействия заряженных шариков. То есть W_1 – полная энергия при максимальном сжатии пружины (первое положение), должна соответствовать W_2 – полной энергии при максимальном растяжении (второе положение).

$$W_1 = W_2$$

W_1 – полная энергия системы в первом положении, которая складывается из энергии сжатой пружины и энергии взаимодействующих заряженных шариков

$$W_1 = \frac{Kx_1^2}{2} + \frac{kq^2}{L}.$$

Здесь x_1 – максимальное смещение из положения равновесия при сжатии

$$x_1 = 2L - L = L.$$

Подставим это значение в предыдущую формулу, тогда

$$W_1 = \frac{KL^2}{2} + \frac{kq^2}{L}. \quad (1)$$

W_2 – полная энергия системы во втором положении, которая складывается из энергии растянутой пружины и энергии взаимодействующих заряженных шариков на расстоянии $4L$

$$W_2 = \frac{Kx_2^2}{2} + \frac{kq^2}{4L}.$$

Здесь x_2 – максимальное смещение из положения равновесия при растяжении

$$x_2 = 4L - 2L = 2L.$$

Подставим это значение в предыдущую формулу, тогда

$$W_2 = \frac{K4L^2}{2} + \frac{kq^2}{4L}. \quad (2)$$

Теперь согласно закону сохранения энергии приравняем (1) к (2)

$$\frac{KL^2}{2} + \frac{kq^2}{L} = \frac{K4L^2}{2} + \frac{kq^2}{4L}$$

и выражаем отсюда коэффициент жесткости K пружины

$$K = \frac{kq^2}{2L^3}.$$

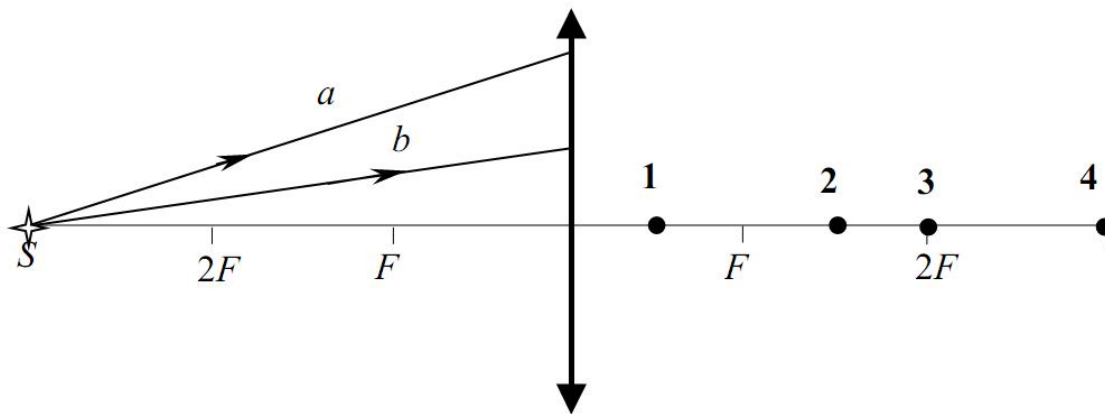
Численное значение жесткости пружины получаем

$$K = \frac{9 \cdot 10^3 \cdot 16 \cdot 10^{-14}}{2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 90 \text{ (Н/м)}.$$

Ответ: $K = 90 \text{ Н/м}$

Задача, подобная части «А» ЕГЭ

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

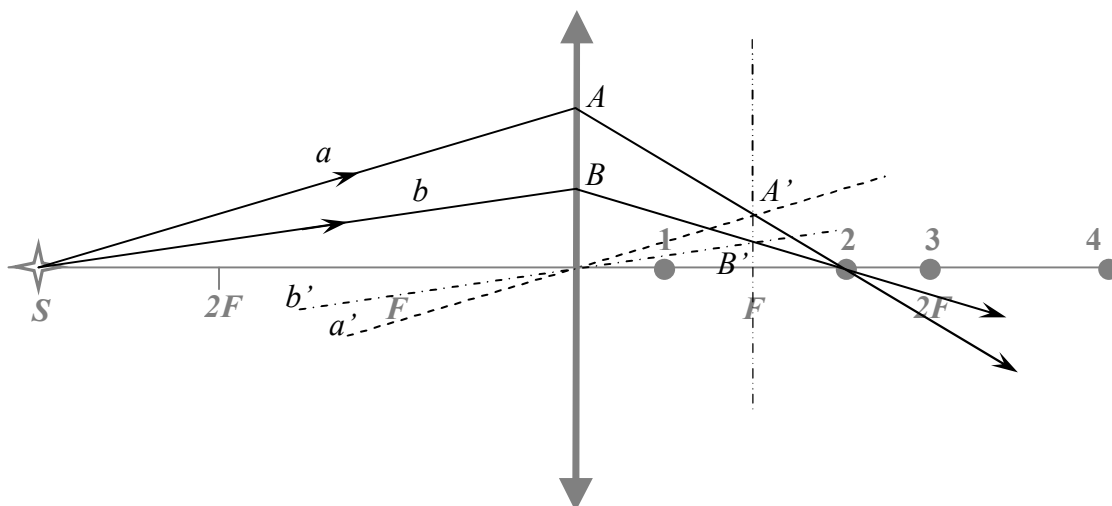


После преломления линзой эти лучи пересекутся в точке

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

Решение

Вспользуемся дополнительными построениями согласно следующим правилам. Луч, проходящий под произвольным углом к главной оптической оси через центр тонкой линзы, преломляясь в ней, является продолжением самого себя и называется побочной оптической осью. Воспользовавшись этим, построим вспомогательный луч a' параллельный лучу a и b' параллельный лучу b . Далее построим фокальную плоскость, проходящую перпендикулярно главной оптической оси через точку главного фокуса F .



Продолжение луча a за линзой будет проходить из точки A через точку пересечения побочной оптической оси a' с фокальной плоскостью. Эта точка на рисунке обозначена A' , она является побочным фокусом. Аналогично и для луча b . Его продолжение за линзой проходит из точки B через точку пересечения побочной оптической оси b' с фокальной плоскостью в точке B' . Точка B' также является побочным фокусом.

Подтверждение построений. Согласно тому, что параллельный пучок лучей, идущий вдоль побочной оптической оси сходится в точке побочного фокуса, мы получили, что параллельные лучи a и a' пересеклись в побочном фокусе A' . Аналогично, параллельные лучи b и b' пересеклись в B' .

Окончательно получаем, что продолжения лучей a и b за линзой пересекутся в точке 2.

Ответ: 2

Задача, подобная части «В» ЕГЭ

Дифракционная решетка, имеющая 100 штрихов на 1 мм, расположена параллельно экрану на расстоянии 2,5 м от него и освещается нормально падающим пучком света длиной волны 600 нм. Определите расстояние между вторыми дифракционными максимумами справа и слева от центрального (нулевого). Ответ выразите в сантиметрах (см). Считать $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$.

Дано

$$N = 100, \quad \ell = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}, \quad S = 2,5 \text{ м}, \quad \lambda = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ k = 2$$

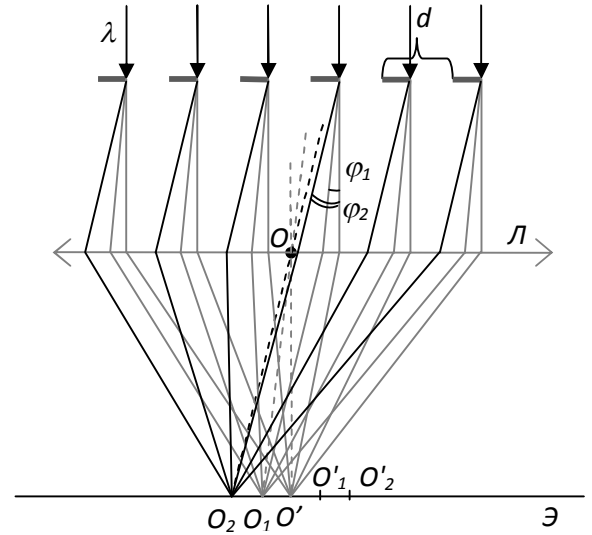
$O_2O'_2$ —?

Решение

Условие для максимумов дифракции дифракционной решетки в случае нормального падения лучей света $d \sin \varphi = k\lambda$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок дифракционной картины. В случае нормального падения света на решетку, максимумы соответствующих положительных и отрицательных порядков расположены симметрично от

центрального (нулевого) порядка (точка O' на экране \mathcal{E}). Таким образом, необходимо определить расстояние $O_2O'_2$, которое и соответствует расстоянию между положительным порядком $+2$ (в точке O_2) и -2 (в точке O'_2). Данное расстояние легко определить из прямоугольного треугольника $OO_2O'_2$.

Лучи, проходя сквозь дифракционную решетку, за счет явления дифракции отклоняются от прямолинейного распространения, заходя в область геометрической тени. Для максимумов первого порядка они отклоняются от первоначального направления на угол φ_1 . А для второго – на угол φ_2 в обе стороны. В целях упрощения рисунка эти направления выделены только влево. Так как для каждого из порядков имеем дело с параллельным пучком света, то лучше всего эти лучи сфокусировать на экране с помощью линзы L .



Для правильного геометрического построения воспользуемся вспомогательным лучом (побочной оптической осью) OO_2 , проходящим через центр линзы параллельно лучам, идущим под углом φ_2 . Точка пересечения этого луча с фокальной плоскостью линзы, где установлен экран, есть точка O_2 – точка, в которой сойдутся все лучи, распространяющиеся до линзы под углом φ_2 . Таким образом, из построения делаем вывод, что угол φ_2 равен углу O_2OO' прямоугольного треугольника с соответствующими обозначениями.

Необходимо найти катет O_2O' , так как искомое расстояние между вторыми дифракционными максимумами равно этому удвоенному расстоянию $O_2O'_2 = 2 O_2O'$. Из условия задачи расстояние от решетки до экрана равно S . Если решетка расположена практически вплотную к линзе, то это расстояние можно принять за OO' . Из определения тангенса угла

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{O_2O'}{OO'} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{O_2O'}{S}.$$

Примем во внимание, что $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ для малых углов. Значит,

$$\sin \varphi_2 = \frac{O_2O'}{S}.$$

Значение этого синуса можно подставить в основную формулу для дифракционной решетки $d \sin \varphi = k\lambda$,

$$d \sin \varphi_2 = k\lambda, \text{ или } d \frac{O_2O'}{S} = k\lambda.$$

Остается определить период d решетки

$$d = \frac{\ell}{N}.$$

Теперь можно выразить из последних двух формул расстояние O_2O'

$$O_2O' = \frac{k\lambda SN}{\ell}.$$

Окончательно получаем $O_2O'_2 = 2 O_2O'$ или

$$O_2O'_2 = 2 \frac{k\lambda SN}{\ell}.$$

Подставим численные значения $O_2O'_2 = 2 \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 100}{10^{-3}} = 0,6 \text{ м.}$ $O_2O'_2 = 60 \text{ см.}$

Ответ: $O_2O'_2 = 60 \text{ см}$

Задача, подобная части «С» ЕГЭ

На гладкой горизонтальной плоскости находится длинная доска массой $M = 2$ кг. По доске скользит шайба массой $m = 0,5$ кг. Коэффициент трения между шайбой и доской $\mu = 0,2$. В начальный момент времени скорость шайбы равна v_0 а доска покоится. В момент $\tau = 0,8$ с шайба перестает скользить по доске. Чему равна начальная скорость шайбы v_0 ?

Дано

$$M = 2 \text{ кг, } m = 0,5 \text{ кг, } \mu = 0,2, \quad \tau = 0,8 \text{ с,}$$

v_0 —?

Решение

Рассмотрим систему тел «доска – шайба». Внешние силы, действующие на эту систему тел, направлены по вертикали и в сумме равны нулю. Импульс системы тел «доска – шайба» в проекции на горизонтальную ось относительно Земли сохраняется:

$$m\nu_0 = (M + m)\nu,$$

где ν – скорость шайбы и доски после того, как шайба перестала скользить по доске.

Сила трения, действующая на доску со стороны шайбы, постоянна и равна

$$F_{тр} = \mu mg.$$

Под действием этой силы доска движется с ускорением

$$a = \mu \frac{m}{M} g,$$

которое определяется из второго закона Ньютона в проекции на горизонтальную ось

$$Ma = \mu N,$$

а сила реакции опоры N из проекции на вертикальную ось

$$N = mg.$$

Доска достигает скорости ν за время

$$\tau = \frac{\nu}{a} = \frac{M\nu}{\mu mg} = \frac{M\nu_0}{\mu g(M + m)}.$$

Отсюда

$$\nu_0 = \frac{\mu(M + m)g\tau}{M} = 2 \text{ (м/с)}.$$

Ответ: $\nu_0 = 2 \text{ м/с}$

ОТВЕТЫ

Билет №130

1. $mg = P \cdot S = 600 \text{ Н}$
2. $U = I\rho \frac{l}{S} = 80 \text{ В}$
3. $Q = c\rho V(t_1 - t_0)$
4. $p = \frac{E}{c} = 10^{-27} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$
5. $N = \frac{8m}{\pi\rho l d^2} = 199$
6. $\rho = \frac{p(m_1+m_2)}{\left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right)RT} = 0,19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
7. $\Gamma = \frac{2\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1+\Gamma_2} = 2,4$
8. $V_n = \frac{120}{2n+1} \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 120 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, 40 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, 24 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, \dots$ где $n = 0,1,2, \dots$

Билет № 131

1. $T = 4 \text{ с}$
2. $\rho_{\text{ш}} = \frac{m}{V} = 7000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Т.к. $\rho_{\text{ш}} < \rho_{\text{ст}}$, то внутри есть полости.
3. $Q_1 = \frac{Q_2}{1-\eta} = 1875 \text{ Дж}$
4. $\mu = \frac{\rho}{p}RT = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$
5. $C = \frac{1}{4\pi^2 L v^2} = 0,2 \text{ мкФ}$
6. $W = \frac{F^2 t^2}{2m} = 36 \text{ Дж}$
7. $t = \frac{c\rho T_1 V(p_2/p_1 - 1)}{\eta l U} = 3,15 \cdot 10^3 \text{ с}$
8. $v'_{\text{ср}} = \frac{4}{3} v_{\text{ср}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Билет № 132

1. $h = \frac{A}{F} = 10 \text{ м}$
2. $Q = cm\Delta t + \lambda m = 5,272 \text{ МДж}$

- $d = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU}{q} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
- $\alpha_{\text{пр}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 62,45^\circ$
- $p = qBr$
- $n = 1,16$
- $T = m \left(\frac{v^2}{l} + g \cos \alpha \right) = 3,6 \text{ Н}$
- $\sin \alpha \geq \frac{AN}{2\pi gMR}$

Билет № 133

- $A = 25, Z = 12, N = 13, Z_e = 12$
- $\omega = \frac{2\pi}{T} = 1,26 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
- $r = \frac{\varepsilon - U}{I} = 2 \text{ Ом}$
- $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC} = 37,7 \text{ км}$
- $A'_B = \frac{ch}{\lambda_0} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$
 $A'_B > A_B$, значит, фотоэффект будет наблюдаться.
- $\alpha = \arctg n$
- $Q = \frac{11}{2} RT_1 = 4565 \text{ Дж}$
- $c_1 = (c_{\text{л}} + c) \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_2} \cdot \frac{\Delta t_3}{\Delta t_1} - c_{\text{л}} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}},$
 $\lambda = (c_{\text{л}} + c)(T_2 - T_1) \cdot \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Билет № 135

- $A = \eta Q_3 = 42 \text{ Дж}$
- $N = mg - F \sin \alpha = 5 \text{ Н}$
- $L = \frac{\varepsilon si \Delta t}{\Delta I}$
- $Q = \frac{cV \Delta p \mu}{R} = 16,5 \text{ кДж}$
- $A_B = \frac{hc(4\lambda_2 - \lambda_1)}{3\lambda_1 \lambda_2} = 3,3 \text{ эВ}$
- $f_1 = 1,25 \cdot F, f_2 = 5 \cdot F$ или $f_1 = 5 \cdot F, f_2 = 1,25 \cdot F$

$$7. l = \frac{m_1 L}{m_1 + m_2} = 1 \text{ м}$$

$$8. K = \frac{kq^2}{2L^3} = 90 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Билет № 136

$$1. p = \sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2} = 14,14 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$2. |\vec{F}_{\text{max}}| = m |a_{\text{max}}| = 125 \text{ мкН}$$

$$3. \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{2kq}{a} = 12 \text{ кВ}$$

$$4. \Delta m = m - \frac{pV\mu}{2RT} = 0,64 \text{ г}$$

$$5. A = \nu RT_0$$

$$6. I = \frac{mh(g+2h/t^2)}{Ut\eta} = 127 \text{ А}$$

$$7. \mu \geq \frac{\text{ctg} \alpha - 1}{2}$$

$$8. F_{\text{H}} = 92 \text{ мН}$$

Литература

1. Мясников С.П., Осанова Т.Н. Пособие по физике: Учебн. Пособие для подгот. отделений вузов.— 5-е изд., испр. и перераб. – М.: Высш. Шк. 1988. – 399 с.: ил.
2. Парфентьева Н.А., Фомина М.В. Решение задач по физике. В помощь поступающим в вузы. Часть 1, 2. – М.: Мир, 1993. 206 с.: ил.
3. Пособие по физике для поступающих в вузы. Изд. 2-е, стереотипное. Под общ. Ред. М.С. Цедрика. Минск, «Высшая школа», 1966. – 279 с.: ил.
4. Сборник задач по элементарной физике: Пособие для самообразования / Буховцев Б.Б., Кривченков В.Д., Мякишев Г.Я., Сараева И.М. – 5-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 416 с., ил.
5. В.К. Кобушкин. Методика решения задач по физике. Изд. ЛГУ, 1972, 247 с.
6. Меледин Г.В. Физика в задачах: Экзаменационные задачи с решениями: Учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 272 с.
7. Сборник задач по курсу физики с решениями: Учебн. Пособие для вузов/Т.И. Трофимова, З.Г. Павлова. —4-е изд., стер. —М.: Высш. Шк., 2003.—591 с.: ил.
8. В.А. Балаш. Задачи по физике и методы их решения. Изд. «Просвещение». – М.: 1964.
9. Физика: 3800 задач для школьников и поступающих в вузы / Авт.-сост. Н.В. Турчина, Л.И. Рудакова, О.И. Суров и др. – М.: Дрофа, 2000. – 672 с.: ил. – (Большая библиотека «Дрофы»).
10. Парфентьева Н.А. Задачи по физике. Для поступающих в вузы. – М.: Классикс Стилль, 2005. – 480 с.
11. Задачи Московских городских олимпиад по физике. 1986-2005: Под ред. М. В. Семёнова, А. А. Якуты - М.: МЦНМО, 2006. - 616 с: ил.