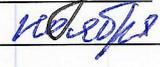


Утверждаю:

Председатель методической
комиссии по профилю
«Техника и технологии»

 С.В. Мухин
«21»  2023 г.

**ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)
МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ОТРАСЛЕВАЯ ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ «ПАРУСА НАДЕЖДЫ»
ПО ПРОФИЛЮ «ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»
2023-2024 УЧ. ГОД
Заключительный этап
11 класс**

Вариант 1

Задание №1

Человек разглядывает отражение своего глаза в зеркале через лупу. При этом изображение увеличено в 6 раз и не перевернуто. Чему равно фокусное расстояние линзы, если расстояние от глаза до зеркала 45 см, а линза находится на расстоянии 12 см от зеркала. Ответ выразить в мм, округлить до целого числа.

Задание №2

С помощью лазерного дальномера можно определять расстояние до объекта. В момент времени $t = 0$ расстояние от точки А до объекта было равно 603,15 м, а от точки В до объекта было равно 792,74 м. Через секунду эти расстояния были уже равны 612,44 м и 790,03 м соответственно. Считая, что максимальная погрешность измерения расстояний равна 0,005 м, и, приняв гипотезу о равномерности движения объекта, найти минимальную возможную скорость объекта. Расстояние между А и В равно 1000 м. Скорость выразить в мм/с, округлить до целого числа.

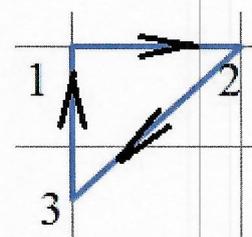
Задание №3

Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы вытащить из конденсатора диэлектрическую пластиковую прослойку. Конденсатор представляет собой две пластины площади 300 см^2 , расстояние между которыми 1 мм . Пластиковая прослойка имеет такую же площадь и входит между пластинами целиком. Толщина прослойки $0,8 \text{ мм}$, диэлектрическая проницаемость её равна $2,5$. Конденсатор подключён к ЭДС $= 4000 \text{ В}$.

Работу выразить в миллиджоулях, округлить до сотых.

Задание №4

Определить к.п.д. цикла 1-2-3 над одним молем элегаза (гексафторид серы SF_6), у которого эффективное число степеней свободы $i = 36$. Точка 1 соответствует $V_1 = 30 \text{ л}$, $p_1 = 10^5 \text{ Па}$. Из точки 1 газ переводится изобарически в точку 2 ($V_2 = 40 \text{ л}$). Далее по закону $p/V = \text{const}$ газ переводится в точку 3, откуда изохорически переводится снова в точку 1 и т.д.



Ответ дать в процентах, округлить до десятых.

Задание №5

По внутренней цепи электромотора постоянного тока идёт ток 10 А , и при этом с его помощью поднимается груз весом 2 кН со скоростью 1 м/с . Найти, какой ток будет идти во внутренней цепи при спуске того же груза с той же скоростью. Мотор работает от ЭДС $7,6 \text{ кВ}$.

Ответ дать в амперах, округлить до десятых.

Задание №6

В результате упругого соударения двух тел первое тело поменяло направление (на 30 градусов), но сохранило величину скорости, а второе поменяло величину скорости, но сохранило направление. Найти, во сколько

раз уменьшилась скорость второго тела, если начальные скорости тел по модулю одинаковы. Известно также, что масса второго тела в 1,5 раза меньше массы первого.

Ответ дать числом, округлить до десятых.

Задание №7

Деревянная планка длины 2 м имеет площадь поперечного сечения 8 см^2 . Снизу к ней прикреплен медный стержень такого же сечения длины 8 см. Плотность дерева $0,7 \text{ г/см}^3$. Плотность меди $8,9 \text{ г/см}^3$. Определить период малых вертикальных колебаний планки со свинцовым стержнем, если её погрузить в воду. Ответ дать в секундах, округлить до десятых. Принять плотность воды равной 1 г/см^3 , ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Задание №8

Полусфера с шероховатой внутренней поверхностью вращается вокруг своей оси симметрии со все возрастающей угловой скоростью. Угловая скорость растёт очень медленно (равномерно, по закону $\omega = \beta t$, где $\beta = 0,001 \text{ рад/сек}^2$). Внутри сферы положили плоский маленький предмет. По мере раскручивания полусферы предмет поднимается до 70 градусов от вертикали, и выше не поднимается. За какое время предмет поднимется до 45 градусов? Радиус полусферы 1 м. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

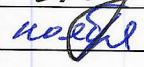
Ответ дать в минутах, округлить до целого числа

Утверждаю:

Председатель методической
комиссии по профилю

«Техника и технологии»

 С.В. Мухин

«18»  2023 г.

**ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)
МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ОТРАСЛЕВАЯ ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ «ПАРУСА НАДЕЖДЫ»
ПО ПРОФИЛЮ «ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»
2023-2024 УЧ. ГОД
Заключительный этап
11 класс**

Вариант 2

Задание №1

Человек разглядывает отражение своего глаза в зеркале через лупу. При этом изображение увеличено в 5 раз и не перевернуто. Чему равно фокусное расстояние линзы, если расстояние от глаза до зеркала 40 см, а линза находится на расстоянии 10 см от зеркала.

Ответ выразить в мм, округлить до целого числа.

Задание №2

С помощью лазерного дальномера можно определять расстояние до объекта. В момент времени $t = 0$ расстояние от точки А до объекта было равно 613,15 м, а от точки В до объекта было равно 792,74 м. Через секунду эти расстояния были уже равны 612,44 м и 790,03 м соответственно. Считая, что максимальная погрешность измерения расстояний равна 0,005 м, и, приняв гипотезу о равномерности движения объекта, найти минимальную возможную скорость объекта. Расстояние между А и В равно 1100 м.

Скорость выразить в мм/с, округлить до целого числа.

Задание №3

Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы вытащить из конденсатора диэлектрическую пластиковую прослойку. Конденсатор представляет собой две пластины площади 300 см^2 , расстояние между которыми 1 мм . Пластиковая прослойка имеет такую же площадь и входит между пластинами целиком. Толщина прослойки $0,9 \text{ мм}$, диэлектрическая проницаемость её равна $3,5$. Конденсатор подключён к ЭДС $= 3000 \text{ В}$.

Работу выразить в миллиджоулях, округлить до сотых.

Задание №4

Определить к.п.д. цикла 1-2-3 над одним молем элегаза (гексафторид серы SF_6), у которого эффективное число степеней свободы $i = 36$. Точка 1 соответствует $V_1 = 25 \text{ л}$, $p_1 = 1,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Из точки 1 газ переводится изобарически в точку 2 ($V_2 = 40 \text{ л}$). Далее по закону $p/V = \text{const}$ газ переводится в точку 3, откуда изохорически переводится снова в точку 1 и т.д.

Ответ дать в процентах, округлить до десятых.

Задание №5

По внутренней цепи электромотора постоянного тока идёт ток 12 А , и при этом с его помощью поднимается груз весом 3 кН со скоростью 1 м/с . Найти, какой ток будет идти во внутренней цепи при спуске того же груза с той же скоростью. Мотор работает от ЭДС $7,6 \text{ кВ}$.

Ответ дать в амперах, округлить до целых.

Задание №6

В результате упругого соударения двух тел первое тело поменяло направление (на 45 градусов), но сохранило величину скорости, а второе поменяло величину скорости, но сохранило направление. Найти, во сколько раз уменьшилась скорость второго тела, если начальные скорости тел по модулю одинаковы. Известно также, что масса второго тела на 20% меньше массы первого.

Ответ дать числом, округлить до целых.

Задание №7

Деревянная планка длины 2 м имеет площадь поперечного сечения 8 см^2 . Снизу к ней прикреплен свинцовый стержень такого же сечения длины 5 см. Плотность дерева $0,7 \text{ г/см}^3$. Плотность свинца $11,3 \text{ г/см}^3$. Определить период малых вертикальных колебаний планки со свинцовым стержнем, если её погрузить в воду. Ответ дать в секундах, округлить до десятых. Принять плотность воды равной 1 г/см^3 , ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Задание №8

Полусфера с шероховатой внутренней поверхностью вращается вокруг своей оси симметрии со все возрастающей угловой скоростью. Угловая скорость растёт очень медленно (равномерно, по закону $\omega = \beta t$, где $\beta = 0,001 \text{ рад/сек}^2$). Внутри сферы положили плоский маленький предмет. По мере раскручивания полусферы предмет поднимается до 60 градусов от вертикали, и выше не поднимается. За какое время предмет поднимется до 30 градусов? Радиус полусферы 1 м. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

Ответ дать в минутах, округлить до целого числа.

Утверждаю:
Председатель методической
комиссии по профилю
«Техника и технологии»
С.В. Мухин
«28» ноября 2023 г.

ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)
МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ОТРАСЛЕВАЯ ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ «ПАРУСА НАДЕЖДЫ»
ПО ПРОФИЛЮ «ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»
2023-2024 УЧ. ГОД
Краткие решения к заданиям очного тура
11 класс

Вариант 1

Задание №1

Обозначим фокусное расстояние F , расстояние от глаза до линзы x . Расстояние от линзы до 1-го изображения равно $f = -x F / (F - x)$. Увеличение при этом равно $\gamma = F / (F - x)$. Пусть начало координат находится на пересечении главной оптической оси и отражающей поверхности зеркала. Координата глаза (всё в см) будет $X = -45$, координата линзы $L = -12$. $x = 33$. Изображение будет иметь координату: $X_1 = 33F / (33 - F) - 12 = -9(44 - 5F) / (33 - F)$.

Увеличение равно $\gamma_1 = F / (F - 33)$. После отражения в зеркале новое изображение будет иметь координату $X_2 = -X_1 = 9(44 - 5F) / (33 - F)$.

Расстояние отражения до линзы равно $x_2 = 9(44 - 5F) / (33 - F) + 12 = 3(264 - 19F) / (33 - F)$. Полное увеличение равно

$\gamma = \gamma_1 \gamma_2 = F / (F - 33) F / (F - x_2)$ = после приведения всех подобных членов
 $= F^2 / (F^2 - 90F + 792)$. Приравниваем это значение 6 (по условию)

и получаем:

$5F^2 - 540F + 4752 = 0$. Это уравнение имеет 2 корня $F_1 = 98,335$ и $F_2 = 9,665$

($= 54 \pm 327,6^{1/2}$). Второй корень не годится, т.к. в этом случае изображение будет находиться сзади от глаза и глаз его видеть не будет.

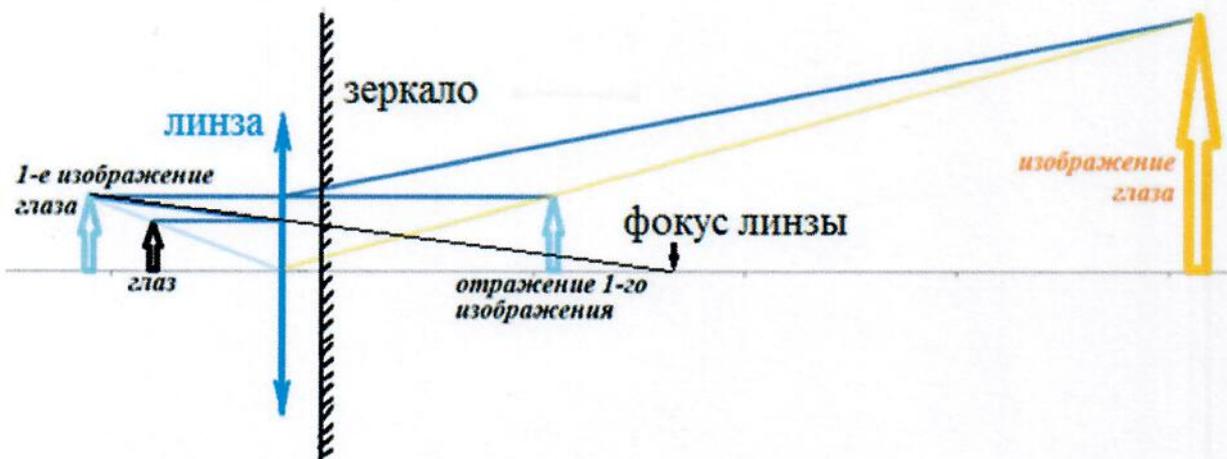


Рис. 1а. Ход лучей для линзы с большим фокусным расстоянием

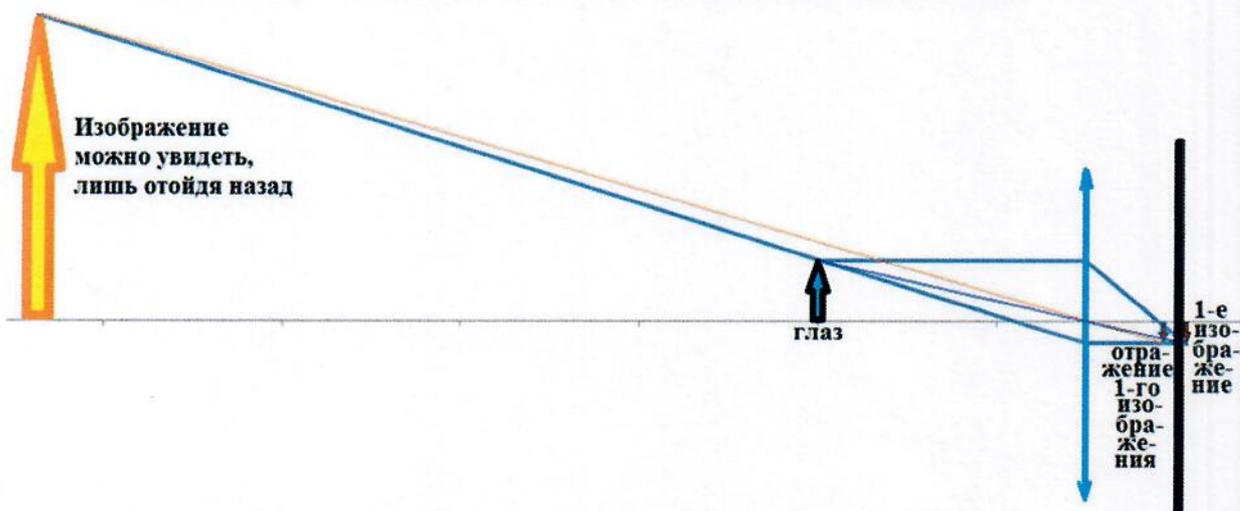
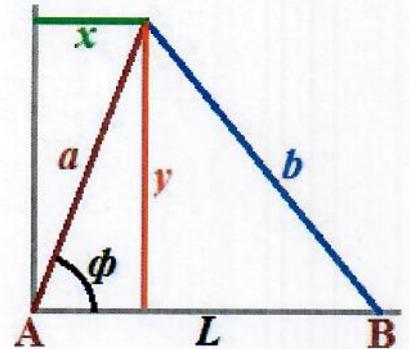
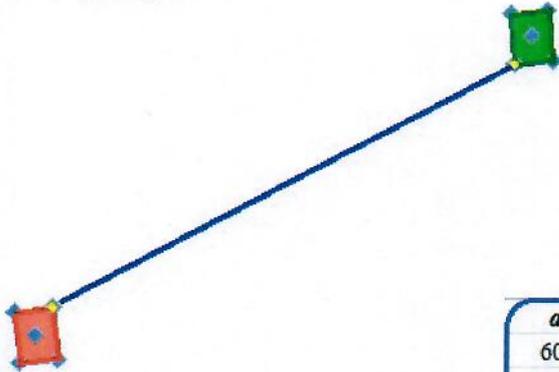


Рис. 1 б. Ход лучей для линзы с меньшим фокусным расстоянием

Ответ: 983

Задание №2

Чтобы найти координаты вершины треугольника на рисунке, сначала по теореме косинусов находим угол ϕ . Тогда $x = (a^2 + L^2 - b^2)/2L$. Вторую координату найдём по теореме Пифагора.



Ответ сильно зависит от точности расчёта

Расчёт приведён в таблице, причём x и y рассчитываются по формулам:

a	b	x	y	$L=1000$
603,15	792,74	367,6766075	478,1253338	
603,15	792,745	367,6726437	478,1283819	9,662231682
603,15	792,735	367,6805711	478,1222857	9,659448296
603,155	792,74	367,6796232	478,1293221	9,656047761
603,145	792,74	367,6735917	478,1213455	9,665629992
612,44	790,03	375,4676764	483,8458201	
612,44	790,035	375,4637262	483,8488854	9,664277581
612,44	790,025	375,4716265	483,8427547	9,667017312
612,445	790,03	375,4707386	483,8497727	9,670453969
612,435	790,03	375,4646142	483,8418675	9,660838775

$$x = (a^2 + L^2 - b^2)/2L;$$

$$y = (a^2 - x^2)^{1/2}.$$

Затем выбирается наименьшее расстояние среди всех пар точек, из которых одна относится к начальному положению, а вторая – к конечному. В реальности мы считаем сначала расстояния от центральной точки начального положения до 4-х крайних точек конечного положения. Выбираем кратчайшую точку конечного положения. Затем смотрим расстояния от 4-х крайних точек начального положения до выбранной точки конечного. Наконец, выбираем пару точек, как на рисунке.

Рекомендация при отклонении от ответа на величину, меньшую 7 единиц младшего разряда, результат засчитывать как правильный.

Ответ: 9656

Задание №3

Дано:

ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$	ϵ	2,5
S	0,03	d	0,0008
d_0	0,001	U	4000

Решение:

$C_0 = \epsilon_0 S / d_0 = 2,655 \cdot 10^{-10}$ – ёмкость пустого конденсатора. Ёмкость наполненного конденсатора можно вычислить, используя формулу для последовательно соединённых конденсаторов

$$1/C = (d_0 - d) / (\epsilon_0 S) + d / (\epsilon_0 \epsilon S) \Rightarrow C = 5,105769 \dots \cdot 10^{-10}$$

С учётом работы ЭДС по переносу заряда, энергия конденсатора равна — $CU^2/2$. С учётом этого минуса работа по вытаскиванию прослойки будет положительной и равной

$$\Delta C \cdot U^2 / 2 = 1,960615 \cdot 10^{-3}.$$

Ответ: 1,96

Задание №4

Давление в точке «3» $p_3 = 10^{5 \cdot 30/40} = 75000$ Па

Полезная работа за цикл

$$A_{\text{п}} = \frac{1}{2} (40 - 30) \cdot 0,001 \cdot (100000 - 75000) = 125 \text{ Дж}$$

Тепло на $3 \Rightarrow 1 \Rightarrow 2$ состоит из работы

$$A = 10^5 \cdot (40 - 30) \cdot 0,001 = 1000 \text{ Дж}$$

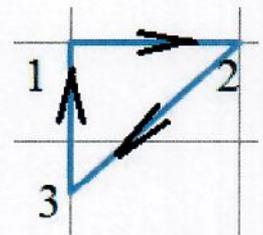
и изменения внутренней энергии

$$\Delta U = i/2 (40 \cdot 100000 - 30 \cdot 75000) \cdot 0,001 = 18 \cdot (4000 - 2250) = 31500 \text{ Дж}$$

$$\text{Всего } Q = 31500 + 1000 = 32500 \text{ Дж}$$

$$\text{КПД} = 125 / 32500 \cdot 100\% = 0,3846 \dots \% \approx 0,4 \%$$

Ответ: 0,4



Задание №5

Решение: $\mathcal{E} \cdot I = N + R \cdot I^2$. (N – механическая мощность)

При подъёме $N = F \cdot v = 2000$. $\Rightarrow R = (76000 - 2000)/100 = 740$

При движении груза вниз подставляем в уравнение значение $R = 740$ и меняем знак N . Тогда получаем квадратное уравнение относительно

$$I: 740 I^2 - 7600 I - 2000 = 0 . I_1 = 10,527...$$

второй корень отрицательный.

Ответ: 10,5

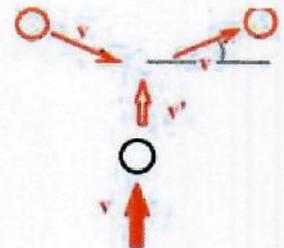
Задание №6

Решение: угол между скоростью первого тела и горизонтальной прямой на рисунке равен $\pi/12$.

Поэтому закон сохранения импульса выглядит следующим образом:

$2mv \sin(\pi/12) = \frac{2}{3} m(v-v')$. Делим на mv и преобразуя,

получаем: $v'/v = 1 - 3 \sin(\pi/12)$. Отсюда $v/v' = 4,4734... \approx 4,5$.



Ответ: 4,5

Задание №7

Решение: Найти период малых гармонических колебаний можно, исходя из того, что амплитуда скорости $v_{\max} = \omega A$, где $\omega = 2\pi/T$, а

A – амплитуда колебаний. Максимальное значение кинетической энергии равно: $E_{\text{кин}} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 = \frac{1}{2}S(\rho_d L + \rho_{\text{Cu}} \ell)v_{\max}^2$. Потенциальная энергия определяется силами, действующими на планку. В положении равновесия сила Архимеда равна по модулю силе тяжести. Сила тяжести не изменяется. Сила Архимеда при погружении на x относительно равновесия изменяется на $S\rho_w xg$, причём изменение противоположно направлению сдвига. Такое поведение аналогично закону Гука

с коэффициентом жёсткости $k = S\rho_w g$. Поэтому потенциальная энергия равна $U = \frac{1}{2}S\rho_w x^2 g$. Максимум потенциальной энергии $U = \frac{1}{2}S\rho_w A^2 g$. Приравниваем максимальные значения потенциальной и кинетической энергии, получаем.

$$T = 2\pi[(\rho_d L + \rho_{Cu} \ell)/\rho_w g]^{1/2} = 2,887532129$$

Ответ: 2,9

Задание №8

$$N = m(g \cdot \cos \phi + \omega^2 R \cdot \sin \phi)$$

$$\mu N = m(\omega^2 R \cdot \cos \phi - g \cdot \sin \phi)$$

Делим 2-е уравнение на 1-е,

сокращаем на $mg \cos \phi$, и

вводим параметр $\xi = \omega^2 R/g$

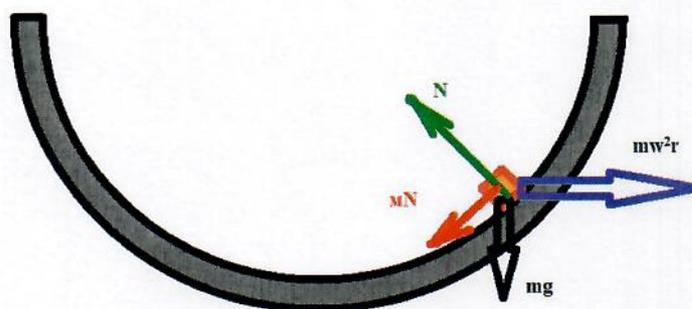
$$\text{Тогда } \mu (\xi \operatorname{tg} \phi + 1) = \xi - \operatorname{tg} \phi \quad (1)$$

В пределе больших угловых

скоростей ($\xi \rightarrow \infty$) получим $\mu = \operatorname{ctg} \phi_0$. – котангенс угла, выше которого не поднимается предмет. Подставляя это выражение в (1), получим

$$\xi = \operatorname{ctg}(\phi_0 - \phi). \text{ Отсюда } t = \beta^{-1} \cdot [\xi g/R]^{1/2}$$

Чтобы получить значение в минутах, надо ещё поделить на 60. Получаем $77,18 \approx 77$ [мин].



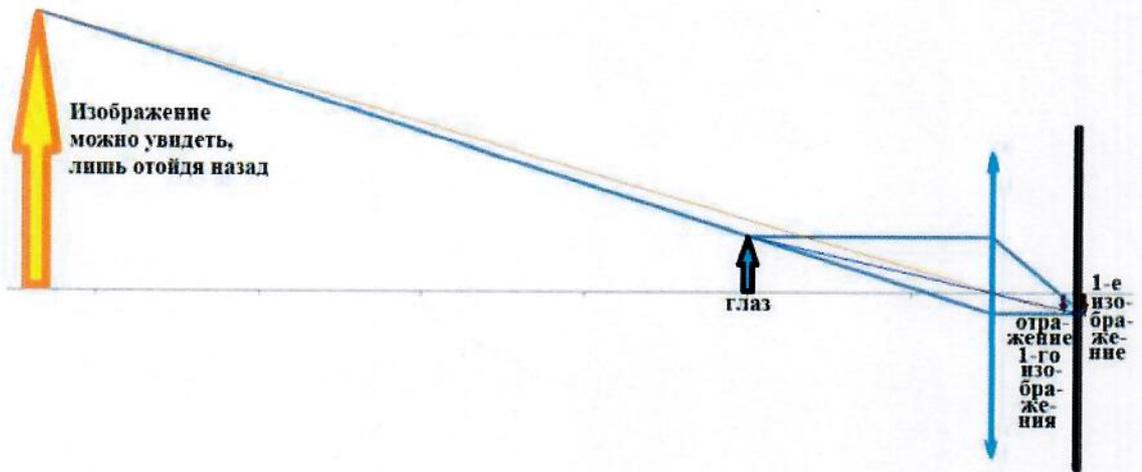


Рис. 1 б. Ход лучей для линзы с меньшим фокусным расстоянием

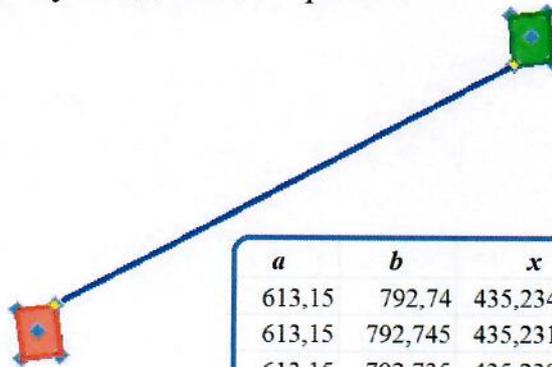
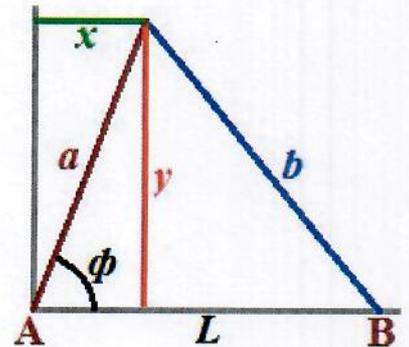
Ответ: 918

Задание №2

Чтобы найти координаты вершины треугольника на рисунке, сначала по теореме косинусов находим угол ϕ . Тогда

$$x = (a^2 + L^2 - b^2) / 2L.$$

Вторую координату найдём по теореме Пифагора.



Ответ сильно зависит от точности расчёта

Расчёт приведён в таблице, причём x и y рассчитываются по формулам

$$x = (a^2 + L^2 - b^2) / 2L;$$

$$y = (a^2 - x^2)^{1/2}.$$

a	b	x	y	$L=$	1100
613,15	792,74	435,2346431	431,8839288		
613,15	792,745	435,2310398	431,8875601	3,015483905	
613,15	792,735	435,2382465	431,8802974	3,005546839	наименьшее расстояние
613,155	792,74	435,2374302	431,8882186	3,012760283	
613,145	792,74	435,2318561	431,8796389	3,008276979	
612,44	790,03	436,7887967	429,2997795		
612,44	790,035	436,7852056	429,3034332	3,010515136	
612,44	790,025	436,7923877	429,2961258	3,020478812	
612,445	790,03	436,7915805	429,3040801	3,013249555	
612,435	790,03	436,7860129	429,2954789	3,017750956	

Затем выбирается наименьшее расстояние среди всех пар точек, из которых одна относится к начальному положению, а вторая – к конечному. В реальности мы считаем сначала расстояния от центральной точки начального положения до 4-х крайних точек конечного положения. Выбираем кратчайшую точку конечного положения. Затем смотрим расстояния от 4-х крайних точек начального положения до выбранной точки конечного. Наконец, выбираем пару точек, как на рисунке.

Рекомендация при отклонении от ответа на величину, меньшую 7 единиц младшего разряда, результат засчитывать как правильный.

Ответ: 3006

Задание №3

Дано:

ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$	ϵ	3,5
S	0,03	d	0,0009
d_0	0,001	U	3000

Решение:

Пусть $C_0 = \epsilon_0 S / d_0 = 2,655 \cdot 10^{-10}$ – ёмкость пустого конденсатора. Ёмкость наполненного конденсатора можно вычислить, используя формулу для последовательно соединённых конденсаторов

$$1/C = (d_0 - d)/(\epsilon_0 S) + d/(\epsilon_0 \epsilon S) \Rightarrow C = 7,434 \cdot 10^{-10}$$

С учётом работы ЭДС по переносу заряда, энергия конденсатора равна — $C U^2 / 2$. С учётом этого минуса работа по вытаскиванию прослойки будет положительной и равной $\Delta C \cdot U^2 / 2 = 2,15055 \cdot 10^{-3}$.

Ответ: 2,15

Задание №4

Давление в точке «3» $p_3 = 1,25 \cdot 10^5 \cdot \frac{25}{40} = 78125$ Па

Полезная работа за цикл

$$A_{\text{п}} = \frac{1}{2} (40-25) \cdot 0,001 \cdot (125000 - 78125) = 351,5625 \text{ Дж}$$

Тепло на $3 \Rightarrow 1 \Rightarrow 2$ состоит из работы

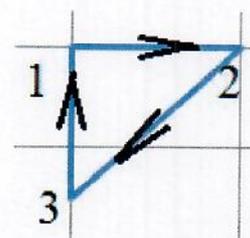
$$A = 125000 \cdot (40-25) \cdot 0,001 = 1875 \text{ Дж}$$

и изменения внутренней энергии

$$\Delta U = \frac{i}{2} (40 \cdot 125000 - 25 \cdot 78125) \cdot 0,001 = 18 \cdot (5000 - 1953,3125) = 54843,75 \text{ Дж}$$

$$\text{Всего } Q = 54843,75 + 1875 = 56718,75 \text{ Дж}$$

$$\text{КПД} = 351,5625 / 56718,75 \cdot 100\% = 0,6198\% \approx 0,6\%$$



Ответ: 0,6

Задание №5

$$\mathcal{E} \cdot I = N + R \cdot I^2. \quad (N - \text{механическая мощность})$$

$$\text{При подъёме } N = F \cdot v = 3000. \Rightarrow R = (7600 \cdot 12 - 3000) / 12^2 = 612,5$$

При движении груза вниз подставляем в уравнение значение $R = 612,5$ и меняем знак N . Тогда получаем квадратное уравнение относительно

$$I: 612,5 I^2 - 7600 I - 3000 = 0. \quad I_1 = 12,791 \dots \text{ второй корень отрицательный.}$$

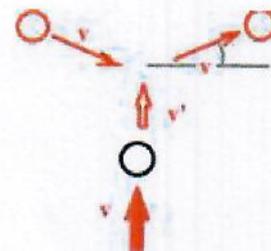
Ответ: 13

Задание №6

Угол между скоростью первого тела и горизонтальной прямой на рисунке равен $\pi/8$. Поэтому закон сохранения импульса выглядит следующим образом:

$$2mv \sin(\pi/8) = 0,8 m(v-v')$$

Делим на mv и преобразуя, получаем: $v/v' = 23,1 \dots \approx 23$.



Ответ: 23

Задание №7

Найти период малых гармонических колебаний можно, исходя из того, что амплитуда скорости $v_{\max} = \omega A$, где $\omega = 2\pi/T$, а

A – амплитуда колебаний. Максимальное значение кинетической энергии равно: $E_{\text{кин}} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 = \frac{1}{2}S(\rho_d L + \rho_{Cu} \ell)v_{\max}^2$. Потенциальная энергия определяется силами, действующими на планку. В положении равновесия сила Архимеда равна по модулю силе тяжести. Сила тяжести не изменяется. Сила Архимеда при погружении на x относительно равновесия изменяется на $S\rho_w x g$, причём изменение противоположно направлению сдвига. Такое поведение аналогично закону Гука с коэффициентом жёсткости $k = S\rho_w g$. Поэтому потенциальная энергия равна $U = \frac{1}{2}S\rho_w x^2 g$. Максимум потенциальной энергии $U = \frac{1}{2}S\rho_w A^2 g$. Приравниваем максимальные значения потенциальной и кинетической энергии, получаем.

$$T = 2\pi[(\rho_d L + \rho_{Cu} \ell)/\rho_w g]^{1/2} = 2,78523 \approx 2,8$$

Ответ: 2,8

Задание №8

$$N = m(g \cdot \cos \phi + \omega^2 R \cdot \sin \phi)$$

$$\mu N = m(\omega^2 R \cdot \cos \phi - g \cdot \sin \phi)$$

Делим 2-е уравнение на 1-е,

сокращаем на $mg \cos \phi$, и

вводим параметр $\xi = \omega^2 R/g$

$$\text{Тогда } \mu (\xi \operatorname{tg} \phi + 1) = \xi - \operatorname{tg} \phi \quad (1)$$

В пределе больших угловых скоростей ($\xi \rightarrow \infty$) получим $\mu = \operatorname{ctg} \phi_0$. – котангенс угла, выше которого не поднимается предмет. Подставляя это выражение в (1),

$$\text{получим } \xi = \operatorname{ctg}(\phi_0 - \phi). \text{ Отсюда } t = \beta^{-1} \cdot [\xi g/R]^{1/2}$$

Чтобы получить значение в минутах, надо ещё поделить на 60. Получаем

$$69,36 \approx 69 \text{ [мин].}$$

Ответ: 69

