

*Повышение качества
естественно-научного образования
по физике.*

*Высокий балл ЕГЭ- результат успешного
обучения.*

Богданова Наталья Геннадьевна

учитель физики МОУ «Лицей № 1» г. Всеволожска



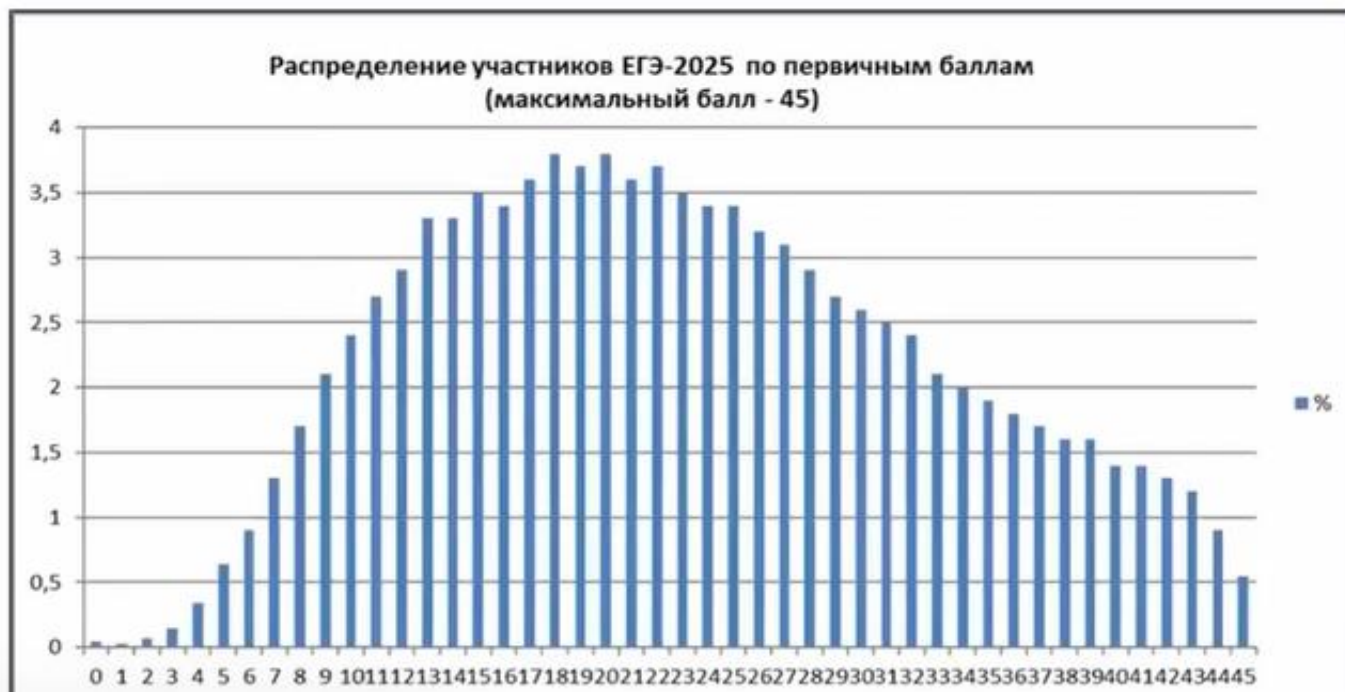


Основные результаты ЕГЭ-2025



ФИПИ

Средние результаты по РФ	
Показатели	2025 г.
Средний балл	61,7
Не достигли минимальной границы	3,6%
Получили от 81 до 100 баллов	13,4%
Процент 100-балльников	0,54





Способы действий	Средний % выполнения по группам заданий	
	2025 г.	2024 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	76,7	80,8
Анализ и объяснение явлений и процессов	61,2	64,7
Методологические умения	82,6	83,8
Решение задач	26,5	28,7

Раздел курса физики	Средний % выполнения по группам заданий	
	2025 г.	2024 г.
Механика	57,8	60,6
МКТ и термодинамика	58,2	60,1
Электродинамика	55,5	56,6
Квантовая физика	71,5	77,3

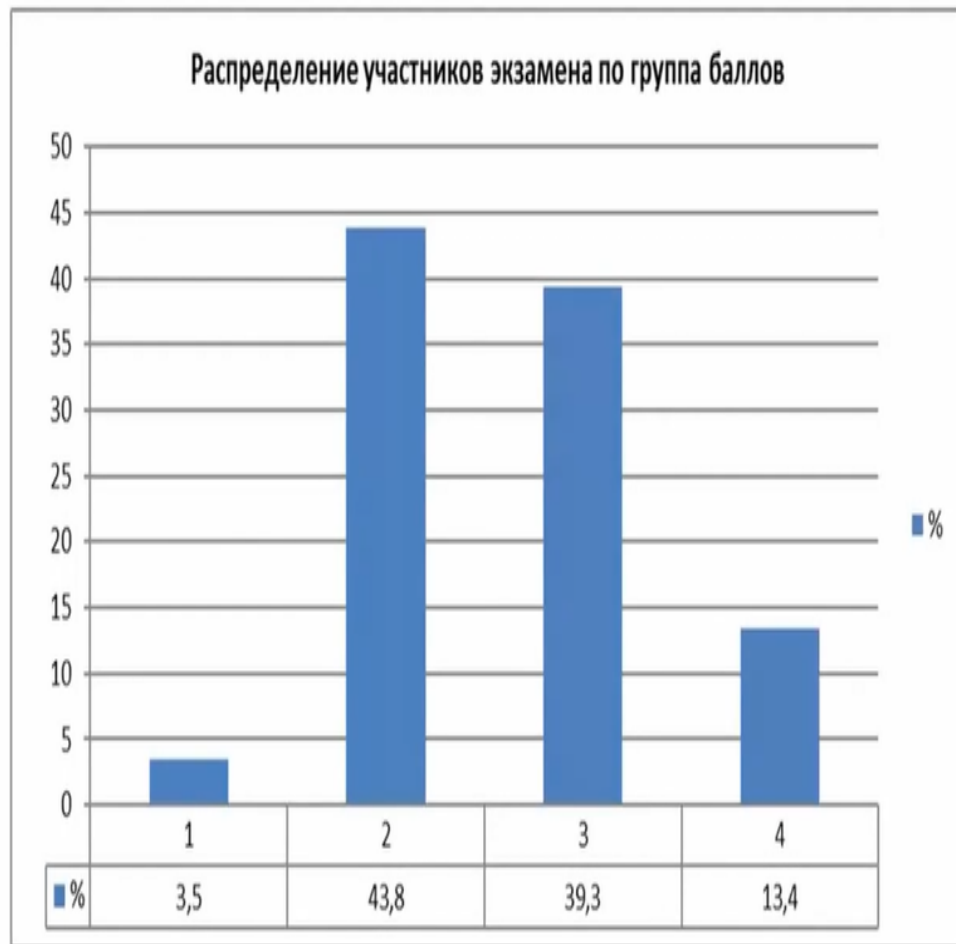


Группа 1 – 0-7 п.б.

Группа 2 – 8-21 п.б.

Группа 3 – 22-35 п.б.

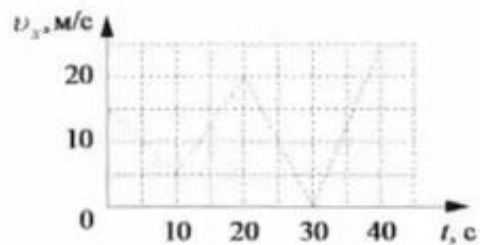
Группа 4 – 36-45 п.б.



Уровень сложности заданий	Группа 1 3,5%	Группа 2 43,8%	Группа 3 39,4%	Группа 4 13,4%
Базовый	19,1%	58,1%	81,6%	96,4%
Повышенный	10,0%	24,6%	59,6%	88,6%
Высокий	–	1,6%	20,8%	71,5%

Средний результат выполнения – 79%

1 Тело движется вдоль оси Ox . На рисунке приведён график зависимости проекции v_x скорости тела от времени t .

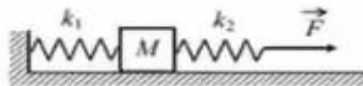


Определите путь, пройденный телом в интервале времени от 0 до 20 с.

Ответ: _____ м.

Средний результат выполнения – 59%

2 К системе из кубика массой 2 кг и двух невесомых пружин приложена постоянная горизонтальная сила \vec{F} (см. рисунок). Система покоится. Между кубиком и опорой трения нет. Левый край первой пружины прикреплен к стенке. Жёсткость первой пружины $k_1 = 400$ Н/м. Жёсткость второй пружины $k_2 = 800$ Н/м. Удлинение второй пружины равно 2 см. Определите модуль силы F .



Ответ: _____ Н.

Средний результат выполнения – 90%

3 В инерциальной системе отсчёта тело движется по прямой в одном направлении под действием постоянной силы. Определите модуль этой силы, если за 4 с модуль импульса тела изменился на 24 кг·м/с.

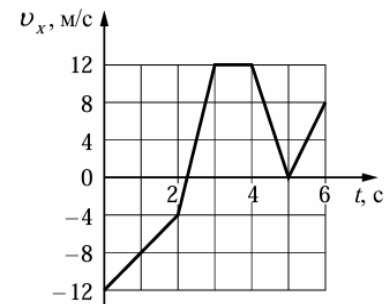
Ответ: _____ Н.

Средний результат выполнения – 79%

4 Скорость звука в воде 1500 м/с. Длина звуковой волны 75 см. Какова частота колебаний источника звука?

Ответ: _____ Гц.

На рисунке показан график зависимости проекции v_x скорости тела от времени t . Какова проекция a_x ускорения этого тела в интервале времени от 4 до 5 с? Ответ запишите с учётом знака проекции.



Ответ: _____ -12 _____ м/с².

Остальные задания формулируются таким образом, чтобы в ответе было положительное число.

Средний результат – 58%

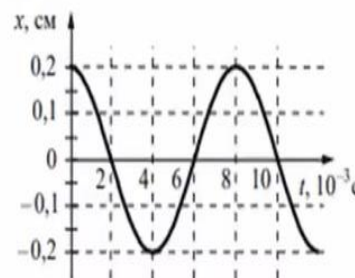


25% участников указали ответы 24 и 6

Модуль сил гравитационного притяжения между двумя однородными шарами, центры которых находятся на расстоянии 6 м друг от друга, равен 12 нН. Каков будет модуль сил притяжения между ними, если расстояние между их центрами уменьшить до 3 м?

Ответ: _____ нН.

На рисунке показан график зависимости координаты x от времени t для одной из точек колеблющейся струны. Чему равна частота этих колебаний струны согласно графику?



Ответ: _____ Гц.

Средний результат – 53%

26% участников указали ответ 0,125



Средний результат – 52%
 20% привели ответ 1800 К, считая 600 К конечной температурой
 Группа 1 – 98%. Группа 4 – 18%

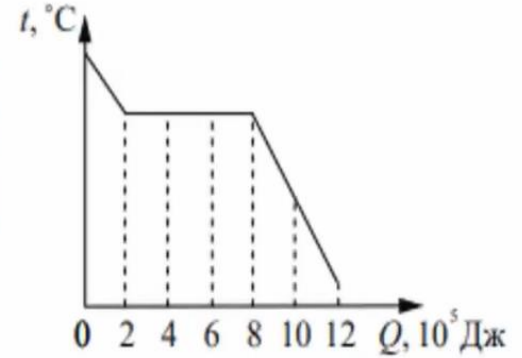
При уменьшении абсолютной температуры на 600 К средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения молекул аргона уменьшилась в 3 раза. Какова начальная температура газа?

Ответ: _____ 900 _____ К.



Средний результат 54%
 Группа 1 – 98%. Группа 4 – 18%

На рисунке показан график зависимости температуры вещества от отданного им количества теплоты в процессе теплообмена с окружающей средой. Масса вещества равна 1,5 кг. Первоначально вещество было в жидком состоянии. Какова удельная теплота плавления вещества?



Ответ: _____ кДж/кг.



Средний результат 53%
 2 балла – 20%

Ответ 1 – 70%
 Ответ 4 – 71%
 Ответ 3 – 47%
 Ответ 5 – 51%

Выберите все верные утверждения о физических явлениях, величинах и закономерностях. Запишите цифры, под которыми они указаны.

- 1) Тела действуют друг на друга силами одной и той же природы, равными по модулю и противоположными по направлению.
- 2) Конденсацией называют процесс преобразования жидкости в твёрдое вещество.
- 3) В процессе поляризации связанные положительные и отрицательные заряды диэлектрика смещаются в противоположные стороны.
- 4) Энергия магнитного поля катушки индуктивностью L прямо пропорциональна квадрату силы тока в катушке.
- 5) Свет обладает дуализмом свойств: при его распространении проявляются корпускулярные свойства света, а при взаимодействии с веществом – волновые.

Ответ: _____.

7 ПРИМЕНЕНИЕ I ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ К РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕССАМ (ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ)

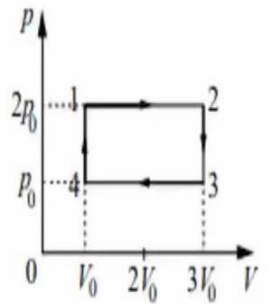
изотермическое расширение		$\Delta T = 0; \Delta U = 0$ (внутренняя энергия не изменяется) $A' > 0$ (газ совершает работу) $Q > 0$ (тепло поглощается)	$Q = A'$ Газ совершает работу за счет поглощения тепла из внешней среды (внутренняя энергия при этом не изменяется)
изотермическое сжатие		$\Delta T = 0; \Delta U = 0$ (внутренняя энергия не изменяется) $A' < 0$ ($A > 0$) (над газом совершают работу) $Q < 0$ (тепло выделяется)	$Q = -A'$ Над газом совершается работа, при этом газ выделяет тепло во внешнюю среду (внутренняя энергия не изменяется)
изобарное нагревание		$\Delta T > 0; \Delta U > 0$ (внутренняя энергия увеличивается) $A' > 0$ (газ совершает работу) $Q > 0$ (тепло поглощается)	$Q = \Delta U + A'$ Газ получает тепло из внешней среды. Полученная таким образом энергия тратится на увеличение внутренней энергии и на совершение газом работы
изобарное охлаждение		$\Delta T < 0; \Delta U < 0$ (внутренняя энергия уменьшается) $A' < 0$ ($A > 0$) (над газом совершают работу) $Q < 0$ (выделяется)	$\Delta U = -Q + A'$ Над газом совершается работа, при этом газ выделяет тепло во внешнюю среду, а его внутренняя энергия уменьшается
изохорное нагревание		$\Delta T > 0; \Delta U > 0$ (внутренняя энергия увеличивается) $\Delta V = 0; A' = 0$ ($A = 0$) (работа не совершается) $Q > 0$ (тепло поглощается)	$\Delta U = Q$ Газ увеличивает свою внутреннюю энергию за счет теплоты, полученной из внешней среды
изохорное охлаждение		$\Delta T < 0; \Delta U < 0$ (внутренняя энергия уменьшается) $\Delta V = 0; A' = 0$ ($A = 0$) (работа не совершается) $Q < 0$ (тепло выделяется)	$-\Delta U = -Q$ Газ выделяет теплоту во внешнюю среду; при этом его внутренняя энергия уменьшается
адиабатное расширение		$\Delta T < 0; \Delta U < 0$ (внутренняя энергия уменьшается) $A' > 0$ (газ совершает работу) $Q = 0$ (нет теплообмена)	$Q = -\Delta U + A'$ Газ совершает работу только за счет своей внутренней энергии (внутренняя энергия при этом уменьшается)
адиабатное сжатие		$\Delta T > 0; \Delta U > 0$ (внутренняя энергия увеличивается) $A' < 0$ ($A > 0$) (над газом совершают работу) $Q = 0$ (нет теплообмена)	$\Delta U = A'$ Над газом совершается работа, при этом внутренняя энергия газа увеличивается

Комплексный анализ



Средний результат 50%
 2 балла – 27%
 1 балл – 44%
 Наиболее популярные неверные ответы – 1 и 5

Один моль аргона является рабочим телом в тепловом двигателе, который работает по циклу, показанному на рисунке в переменных $p-V$ (p – давление аргона, V – его объём). Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, характеризующие работу двигателя.



- 1) Аргон получает положительное количество теплоты от нагревателя только в процессе 1-2.
- 2) В процессе 3-4 внутренняя энергия аргона не изменяется.
- 3) Работа аргона за цикл равна $2p_0V_0$.
- 4) Максимальная абсолютная температура аргона в цикле в 6 раз больше минимальной.
- 5) В процессе 4-1 аргон отдаёт холодильнику положительное количество теплоты.

Ответ: _____.



Средний результат 43%

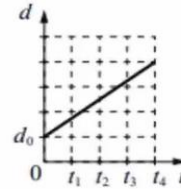
2 балла – 25%

Ответ 3 – 57%

Ответ 4 – 41%

Второй по популярности ответ – 25

Плоский воздушный конденсатор ёмкостью C_0 состоит из двух металлических пластин, находящихся на расстоянии d_0 друг от друга. Конденсатор зарядили и отключили от источника постоянного напряжения. Расстояние между пластинами меняется со временем так, как показано на графике.



Выберите все верные утверждения, соответствующие описанию опыта.

- 1) В интервале времени от 0 до t_4 ёмкость конденсатора остаётся неизменной.
- 2) В интервале времени от 0 до t_4 энергия конденсатора уменьшается.
- 3) В интервале времени от t_1 до t_4 заряд конденсатора остаётся неизменным.
- 4) В интервале времени от 0 до t_4 напряжённость электрического поля между пластинами конденсатора остаётся постоянной.
- 5) В интервале времени от 0 до t_4 напряжение между пластинами конденсатора уменьшается.

Ответ: 3 4

Лёгкий шарик из алюминиевой фольги подвешен на изолирующей нити между двумя пластинами воздушного конденсатора, при этом одна из пластин заземлена, а другая заряжена положительно от высоковольтного источника. Когда конденсатор заряжен и отсоединён от источника, шарик приходит в колебательное движение, касаясь поочерёдно обеих пластин. Выберите все верные утверждения, соответствующие колебательному движению шарика после первого касания пластины.

- 1) По мере колебаний шарика напряжение между пластинами конденсатора уменьшается.
- 2) По мере колебаний шарика электрическая ёмкость конденсатора уменьшается.
- 3) По мере колебаний шарика напряжённость электростатического поля между пластинами конденсатора увеличивается.
- 4) При движении шарика к положительно заряженной пластине его заряд равен нулю, а при движении к заземлённой пластине положителен.
- 5) При движении шарика к заземлённой пластине он заряжен положительно, а при движении к положительно заряженной пластине – отрицательно.

Ответ: 15

Здесь нужно понимать, что если одна из пластин конденсатора заряжена от высоковольтного источника положительно, то заземлённая пластина приобретёт отрицательный заряд. Отсюда легко определяется знак заряда шарика в процессе его колебаний.

Конденсатор 	система, состоящая из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников. Проводники заряжаются равными по модулю, но разными по знаку зарядами (общее электрическое поле)
Плоский конденсатор	две плоские металлические пластины, расположенные параллельно и разделенные слоем диэлектрика

Емкость $C [Кл/В = Ф]$	физическая величина, характеризующая способность проводника накапливать заряд. Определяется отношением заряда на проводнике (на одной из пластин конденсатора) к его потенциалу (разности потенциалов между его обкладками)	$C = \frac{q}{\Phi}$ $C = \frac{q}{\Phi_1 - \Phi_2}$ $C = \frac{q}{U}$
Зависит от: – размеров, формы проводника – среды (от ϵ) – соседства с другими проводниками		

Емкость плоского конденсатора	$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{E \cdot d}$ $E = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S}$	$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot S}{d}$
--------------------------------------	--	---

Энергия заряженного конденсатора $W [Дж]$	$W = q \cdot \frac{E}{2} \cdot d = \frac{q \cdot U}{2}$	$W = \frac{q \cdot U}{2}$	$W = \frac{C \cdot U^2}{2}$	$W = \frac{q^2}{2C}$
--	---	---------------------------	-----------------------------	----------------------

Соединение конденсаторов	параллельное $U_1 = U_2 = U$ $q = q_1 + q_2$ $C = C_1 + C_2$	последовательное $U = U_1 + U_2$ $q_1 = q_2 = q$ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
---------------------------------	--	--

Графики



Средний результат 50%
2 балла – 37%

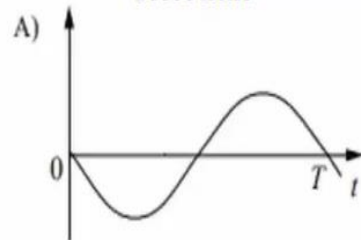
Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Напряжение между обкладками конденсатора изменяется во времени в соответствии с формулой $U(t) = U_m \cdot \cos \omega t$.

Приведённые ниже графики А и Б представляют зависимость физических величин, характеризующих электромагнитные колебания в контуре, от времени t (T – период колебаний). Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимость которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



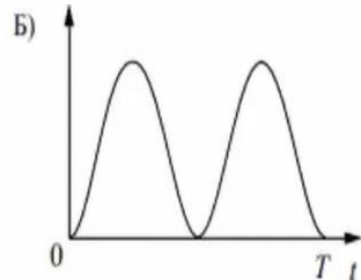
ФИПИ

ГРАФИКИ



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) сила тока в катушке
- 2) энергия магнитного поля катушки
- 3) энергия электрического поля конденсатора
- 4) заряд одной из обкладок конденсатора



Ответ:

А	Б



Средний результат 45%

2 балла – 20%
Сила Лоренца – 61%
Период – 23%

Отрицательно заряженный ион движется равномерно по окружности в однородном магнитном поле. Как изменится сила, действующая на ион со стороны магнитного поля, и период его обращения, если увеличить скорость иона?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

Сила, действующая на ион со стороны магнитного поля	Период обращения иона

Небольшой груз, покоящийся на гладком горизонтальном столе, соединён пружиной со стенкой. Груз немного смещают от положения равновесия вдоль оси пружины и отпускают из состояния покоя, после чего он начинает совершать гармонические колебания, двигаясь вдоль оси пружины, совпадающей с направлением оси Ox . В таблице приведены значения координаты груза x в различные моменты времени t .

Выберите все верные утверждения о результатах этого опыта на основании данных, содержащихся в таблице.

t, c	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
x, cm	2,0	1,4	0,0	-1,4	-2,0	-1,4	0,0	1,4	2,0

- 1) В момент времени 1,2 с модуль ускорения груза минимален.
- 2) Частота колебаний груза равна 0,25 Гц.
- 3) В момент времени 1,6 с кинетическая энергия груза минимальна.
- 4) Модуль силы, с которой пружина действует на груз, максимален в момент времени 0,6 с.
- 5) Период колебаний груза равен 1,6 с.

Ответ: _____ 135 _____.

Запись цифр в ответе может быть произвольной, это не влияет на оценивание ответа. За выполнение таких заданий можно максимально получить 2 балла. При этом если один из элементов ответа указан неверно, или указана одна лишняя цифра наряду со всеми верными элементами, или не записан один элемент ответа, то задание будет оценено 1 баллом. Например, за ответ «13» или «35» на задание из примера 18 или ответ «134» или «235» будет выставлен 1 балл.

2) Математический маятник

Материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити

$\vec{T} + m\vec{g} = m(\vec{a}_t + \vec{a}_n)$
 $x: mg \sin \alpha = ma_t$
 $y: T - mg \cos \alpha = ma_n$

ДЛЯ МАЛЫХ УГЛОВ α :
 $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{l}$
 x — смещение от положения равновесия
 l — длина нити

$\omega_0^2 = \frac{g}{l}$
 $\omega_0^2 = \frac{4\pi^2}{T^2}$

$T = 2\pi \sqrt{\frac{g}{l}}$
 период математического маятника

$\vec{R} = 0$
 положение устойчивого равновесия

$a_t = -\frac{g}{l}x \rightarrow a \sim x$
 $\rightarrow \vec{a} \uparrow \downarrow x$

$\frac{g}{l} = \omega_0^2$

3) Пружинный маятник

Материальная точка, закрепленная на абсолютно упругой пружине

$\vec{R} = 0$
 положение устойчивого равновесия

$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{ср}} = m\vec{a}$
 $x: F_{\text{ср}} = ma$
 $F_{\text{ср}} = -kx$ (закон Гука)

$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$
 $\omega_0^2 = \frac{4\pi^2}{T^2}$

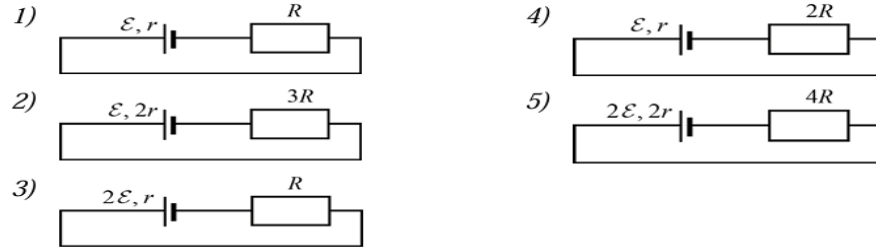
$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
 период пружинного маятника

x — смещение от положения равновесия

$a = -\frac{k}{m}x \rightarrow a \sim x$
 $\rightarrow \vec{a} \uparrow \downarrow x$

$\frac{k}{m} = \omega_0^2$

Нужно провести лабораторную работу по исследованию зависимости мощности, выделяющейся в резисторе, от силы тока, протекающего через резистор. Для этого собрали электрические цепи, состоящие из последовательно соединённых резистора и аккумулятора с отличным от нуля внутренним сопротивлением. Какие две цепи из представленных необходимо выбрать, чтобы провести такое исследование?



Ответ:

Здесь неизменным параметром является сопротивление резистора, а изменяется сила тока через него. Это возможно только при изменении ЭДС источника.

Пример 2

Для определения коэффициента трения в лабораторной работе ученик использовал деревянные линейку, брусок массой $m = (50 \pm 2)$ г и набор грузов с одинаковой массой $m = (100 \pm 2)$ г. В работе определялся модуль горизонтальной силы тяги, приложенной к бруску, при его равномерном скольжении по деревянной линейке. При этом в опытах брусок последовательно нагружался грузами из набора, а сила тяги измерялась в первых четырёх опытах динамометром с пределами измерений 0 ч 1 Н и ценой деления 0,02 Н/дел., а в двух последних опытах динамометром с пределами измерений 0 ч 5 Н и ценой деления 0,1 Н/дел. Данные измерений указаны в таблице. Погрешность измерения силы тяги равна цене деления используемого в опыте динамометра.

№ опыта	Масса бруска с грузами, г	Сила тяги, Н
1	50	0,12
2	150	0,38
3	250	0,62
4	350	0,89
5	450	1,1
6	550	1,4

Выберите два верных утверждения, соответствующих результатам данного опыта.

- 1) Абсолютная погрешность измерения массы в опыте № 2 составляет ± 4 г.
- 2) Абсолютная погрешность измерения силы тяги в опыте № 4 составляет $\pm 0,1$ Н.
- 3) Относительная погрешность измерения массы в опыте № 1 составляет более 10%.
- 4) Относительная погрешность измерения силы тяги одинакова во всех опытах.
- 5) Измерения массы в исследовании проводятся с меньшей относительной погрешностью, чем измерения силы тяги.

Демидова М. Ю.

Подходы к разработке заданий по оценке экспериментальных умений в рамках ЕГЭ по физике

Пример 1

При определении средней плотности горных пород измерение силы тяжести, действующей на образцы пород, проводили при помощи двух динамометров (рисунок справа). Абсолютная погрешность измерения при помощи динамометров равна цене деления приборов.

На рисунке представлены результаты прямых измерений.



Образец 1 (базальт)



Образец 2 (гранит)

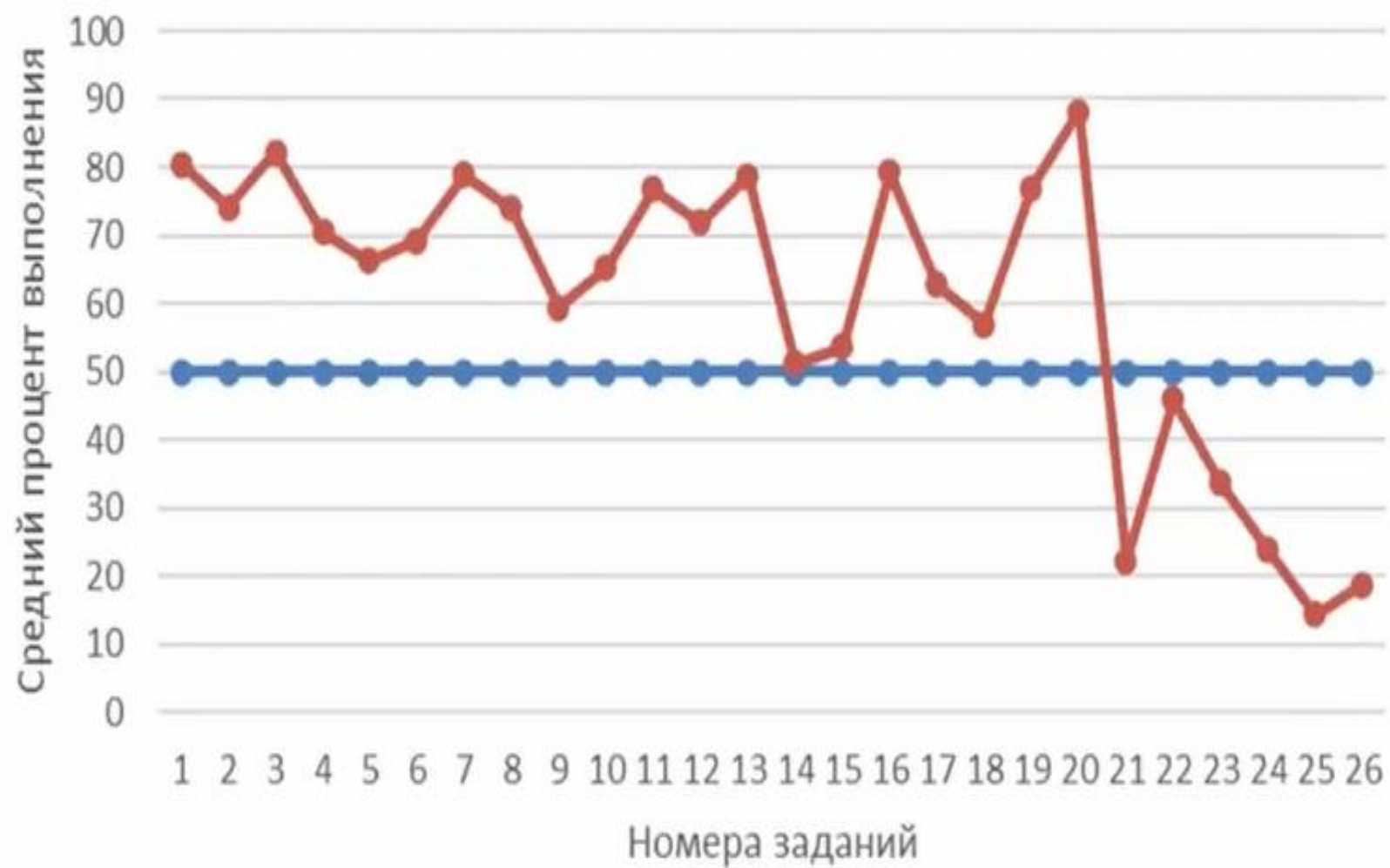


Можно ли говорить, что силы тяжести, действующие на образцы, одинаковы? Ответ поясните.

Для выполнения задания (пример 1) необходимо уметь сравнивать измерения с учётом интервала достоверных значений, понимая суть наличия абсолютной ошибки в прямых измерениях.

Следующая модель задания (пример 2) строится на базе графика или таблицы, которые отражают результаты исследования.

Средний процент выполнения заданий по линиям



Решение задач

Часть 2

Для записи ответов на задания 21–26 используйте БЛАНК ОТВЕТОВ № 2. Запишите сначала номер задания (21, 22 и т.д.), а затем решение соответствующей задачи. Ответы записывайте чётко и разборчиво.

Средний процент выполнения – 21,0

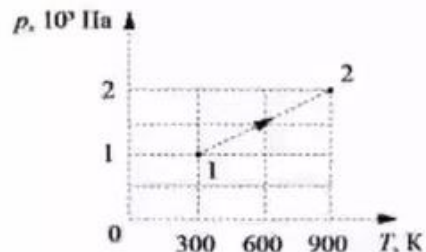
- 21 В первом опыте доску AB длиной $L = 130$ см левым концом закрепили на неподвижной горизонтальной плоскости, а правый конец доски подняли над плоскостью на высоту $h_1 = 50$ см. На доску положили брусок. Коэффициент трения между бруском и доской $\mu = 0,8$. Во втором опыте правый конец этой доски подняли над плоскостью на высоту $h_2 = 78$ см и положили на доску тот же самый брусок. Как во втором опыте по сравнению с первым изменился модуль силы трения, действующей на брусок (увеличился, уменьшился, не изменился)?

Сделайте схематичный рисунок с указанием сил, действующих на брусок. Укажите для каждого случая покоится брусок или движется. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения.

Полное правильное решение каждой из задач 22–26 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчёты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

Средний процент выполнения – 49,9

- 22 Во время опыта объём сосуда с разреженным газом увеличился в 6 раз, и газ перешёл из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок). Кран у сосуда был закрыт неплотно, и сквозь него мог просачиваться газ. Определите отношение $\frac{N_2}{N_1}$ числа молекул газа в сосуде в конце и в начале опыта. Газ считать идеальным.

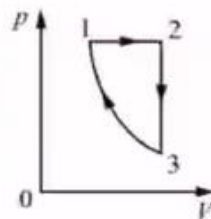


23 Средний процент выполнения – 42,2

- Тонкая линза с фокусным расстоянием $F = 20$ см даёт действительное, увеличенное в 5 раз изображение предмета, расположенного перпендикулярно главной оптической оси линзы. На каком расстоянии от линзы находится изображение? Постройте изображение предмета в линзе.

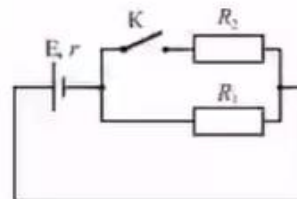
24 Средний процент выполнения – 23,2

- Один моль одноатомного идеального газа совершает цикл 1–2–3–1, состоящий из изобары (1–2), изохоры (2–3) и адиабаты (3–1) (см. рисунок). Абсолютная температура газа в состояниях 1, 2 и 3 равна 400 К, 800 К и 252 К соответственно. Определите коэффициент полезного действия теплового двигателя, работающего по этому циклу.



25 Средний процент выполнения – 19,3

- В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, $R_1 = R$, $R_2 = 2R$, $r = 0,5R$. Когда ключ K разомкнут, на резисторе R_1 выделяется мощность $P_1 = 4,9$ Вт. Какая мощность P_2 выделяется на резисторе R_1 при замкнутом ключе K ?



Средний процент выполнения: К1 – 14,6, К2 – 24,3

- 26 Снаряд в полёте разорвался на два равных осколка, один из которых продолжил движение по направлению движения снаряда, а другой – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков возросла за счёт энергии взрыва на величину 0,5 МДж. Модуль скорости осколка, движущегося по направлению движения снаряда, равен 900 м/с, а модуль скорости второго осколка равен 100 м/с. Найдите массу снаряда. Сопротивлением воздуха и массой порохового заряда можно пренебречь.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

ЗАДАНИЕ 21

На горизонтальный диск радиусом 1 м кладут небольшую шайбу на расстоянии 80 см от его центра. Затем диск плавно раскручивают относительно вертикальной оси, проходящей через его центр, до угловой скорости $\omega_1 = 2$ рад/с. Эксперимент повторяют, раскручивая диск до угловой скорости $\omega_2 = 1,5$ рад/с. Коэффициент трения между поверхностью диска и шайбой равен 0,4. Для каждого опыта определите, начнёт ли шайба скользить по диску во время его раскручивания. Ответ поясните, опираясь на законы механики.

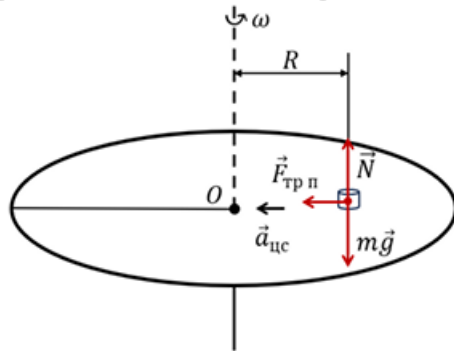
Возможное решение

1. Рассмотрим движение диска в инерциальной системе отсчёта. Первоначально во время раскручивания диска шайба остаётся неподвижной относительно его поверхности.

На неё действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции со стороны диска, которую представим в виде двух составляющих: силы нормальной реакции опоры \vec{N} и силы трения покоя $\vec{F}_{\text{тр.п.}}$. Согласно второму закону Ньютона

$$N = mg, \quad ma_{\text{цс}} = m\omega^2 R = F_{\text{тр.п.}}$$

где m – масса шайбы, R – расстояние от шайбы до центра диска.



2. По мере увеличения угловой скорости вращения диска вместе с увеличением центростремительного ускорения шайбы будет расти величина силы трения покоя. Шайба начнёт скользить по диску, когда сила трения покоя достигнет своего максимального значения, равного силе трения скольжения:

$$ma_{\text{цс}} \geq F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg,$$

где μ – коэффициент трения между диском и шайбой. Следовательно, шайба начнёт скользить по диску, если

$$a_{\text{цс}} = \omega^2 R \geq \mu g.$$

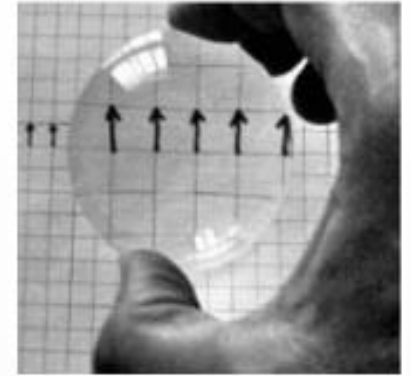
Следовательно,

$$\omega \geq \sqrt{\frac{\mu g}{R}} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 10}{0,8}} \approx 2,24 \text{ рад/с}$$

3. Величина $\sqrt{\frac{\mu g}{R}}$ превосходит $\omega_1 = 2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ и $\omega_2 = 1,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, поэтому во время раскручивания

Диска в обоих экспериментах шайба останется неподвижной относительно него и не начнёт скольжение.

Линзу удерживают на расстоянии 3 см от тетрадного листа с клетками, на котором нарисованы направленные в одну сторону одинаковые стрелки. (На фотографии показано изображение стрелок, которое видит и глаз человека.) Укажите тип линзы (собирающая или рассеивающая) и вычислите, используя фотографию, фокусное расстояние этой линзы. Ответ объясните, опираясь на явления и законы оптики. Линзу при этом считать тонкой.



Возможное решение

1. Согласно фотографии глаз видит прямое увеличенное изображение стрелок. Если предмет действительный, рассеивающая линза всегда даёт мнимое уменьшенное изображение, а собирающая линза, в зависимости от расстояния до действительного предмета, может давать как действительное перевёрнутое изображение, так и мнимое прямое увеличенное изображение.

2. Линза является собирающей, так как только такая линза способна давать прямое увеличенное мнимое изображение.

3. По фотографии видно, что увеличение линзы равно 2.

По формуле для увеличения линзы

$$\Gamma = \frac{|f|}{|d|} = 2,$$

где d – расстояние от линзы до предмета (стрелки), а f – расстояние от линзы до изображения.

4. $|f| = 2d = 6$ см, поэтому $f = -2d = -6$ см, так как изображение мнимое.

5. По формуле тонкой линзы вычислим фокусное расстояние F линзы:

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

Отсюда получим, что $F = 2d = 2 \cdot 3 = 6$ см.

6. Ответ: линза является собирающей. Фокусное расстояние линзы равно 6 см

Задание 21-качественная задача

При скольжении $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$, следовательно, брусок движется при $\mu < \operatorname{tg} \alpha$. Если брусок покоится, то $mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0$.



Средний результат 21%

1 балл – 27%

2 балла – 6%

3 балла – 8%

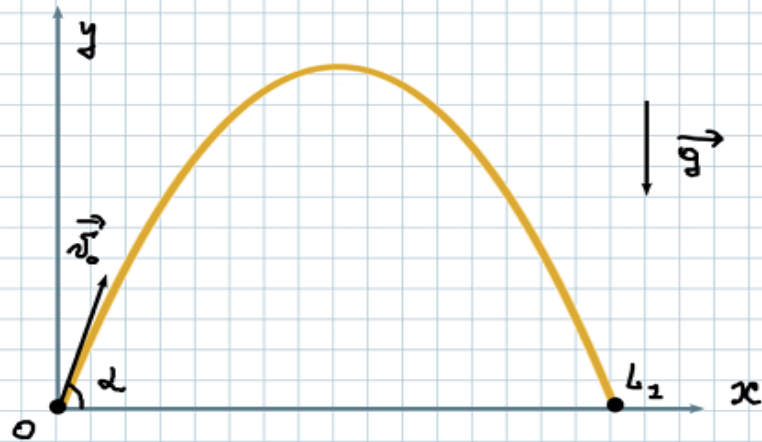
В первом опыте доску AB длиной $L = 130$ см левым концом закрепили на неподвижной горизонтальной плоскости, а правый конец доски подняли над плоскостью на высоту $h_1 = 50$ см. На доску положили брусок. Коэффициент трения между бруском и доской $\mu = 0,8$. Во втором опыте правый конец этой доски подняли над плоскостью на высоту $h_2 = 78$ см и положили на доску тот же самый брусок. Как во втором опыте по сравнению с первым изменился модуль силы трения, действующей на брусок (увеличился, уменьшился, не изменился)?

Сделайте схематичный рисунок с указанием сил, действующих на брусок. Укажите для каждого случая покоится брусок или движется. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения.

Задание 21

Два одинаковых тела, находящиеся на поверхности Земли, получают одинаковые скорости, направленные под одним и тем же углом $\alpha < 30^\circ$ к горизонту. Одно тело летит свободно, а другое движется вверх по закреплённой гладкой наклонной плоскости, образующей с горизонтом такой же угол α . Какое из тел переместится на большее расстояние по горизонтали? Ответ поясните, указав, какие законы и закономерности Вы использовали для объяснения. Трением тел о воздух и наклонную плоскость пренебречь.

1 тело



$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t + \frac{g_x t^2}{2} = v_0 \cos \alpha \cdot t \\ y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2} \end{cases}$$

в момент падения $\begin{cases} L_1 = v_0 \cos \alpha \cdot t_1 \\ v_0 \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{g t_1^2}{2} = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} \end{cases}$

$$L_1 = \frac{2 v_0^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g}$$

2 тело



ЗСЭ $E = E_0$

$$m g H = \frac{m v_0^2}{2}$$

$$H = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$L_2 = \frac{H}{\tan \alpha} = \frac{v_0^2 \cdot \cos \alpha}{2g \sin \alpha}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{2 v_0^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot 2g \sin \alpha}{g v_0^2 \cos \alpha} = 4 \sin^2 \alpha$$

$$30^\circ < \alpha < 90^\circ$$

$$0,5 < \sin \alpha < 1$$

$$\frac{1}{4} < \sin^2 \alpha < 1$$

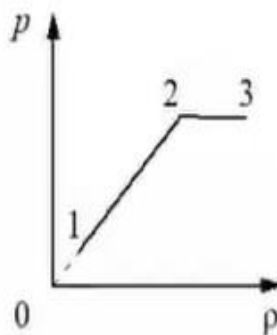
$$1 < \frac{L_1}{L_2} < 4$$

Итак, $L_1 > L_2$

Большее расстояние по горизонтали пройдёт 1 тело

МКТ и термодинамика. Качественные задачи

- 21 На графике представлена зависимость давления p неизменной массы идеального газа от его плотности. Опишите, как изменяются в зависимости от плотности температура и объём газа в процессах 1–2 и 2–3.



- 21 На рис. 1 приведена зависимость концентрации n идеального одноатомного газа от его давления p в процессе 1–2–3. Количество вещества газа постоянно. Постройте график этого процесса в координатах p – V (V – объём газа). Точка, соответствующая состоянию 1, уже отмечена на рис. 2. Построение объясните, опираясь на законы молекулярной физики.

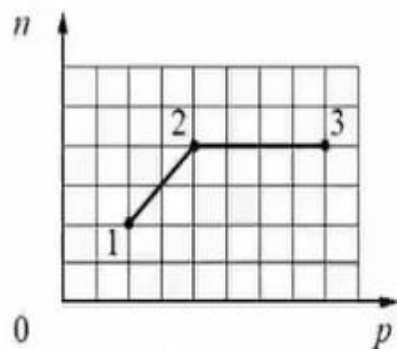


Рис. 1

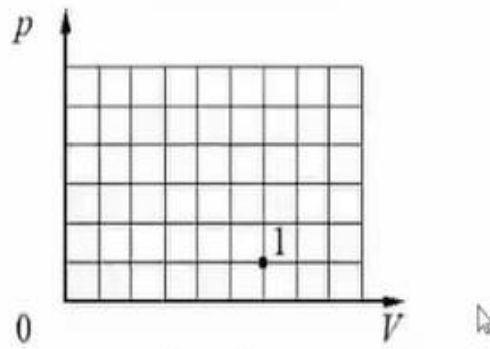
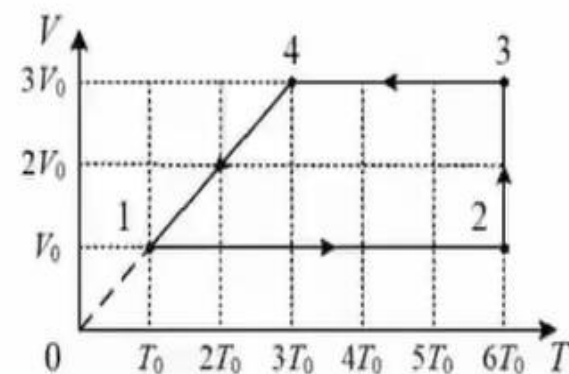
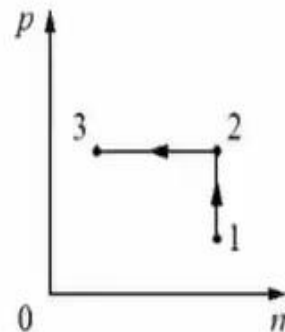


Рис. 2

- 21 Один моль гелия участвует в циклическом процессе 1–2–3–4–1, график которого изображён на рисунке в координатах V – T , где V – объём газа, T – абсолютная температура. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, сравните модуль работы газа в процессе 2–3 и модуль работы внешних сил в процессе 4–1. Постройте график цикла в координатах p – V , где p – давление газа, V – объём газа.



- 21 Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, график которого изображён на рисунке в координатах p – n , где p – давление газа, n – его концентрация. Определите, получает газ теплоту или отдаёт в процессах 1–2 и 2–3. Ответ поясните, опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики.



МКТ и термодинамика. Качественные задачи

Вид графика

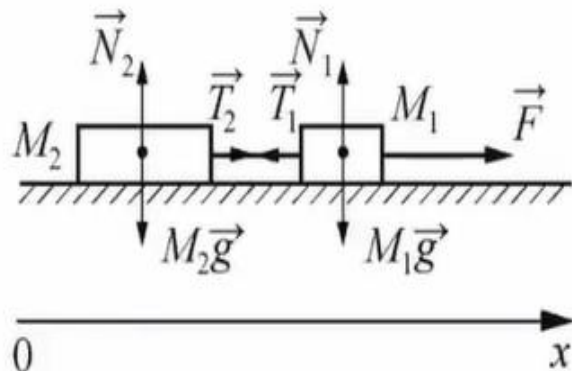
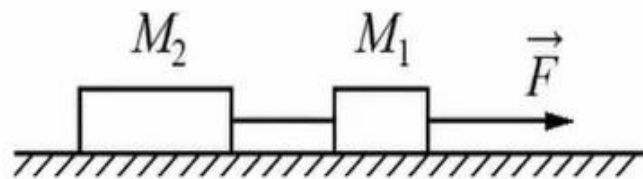
- График может быть представлен в схематичном виде. В этом случае можно говорить просто про изменение величин: уменьшается, увеличивается, не изменяется.
- График может быть представлен с учетом указания координат параметров начала и конце каждого изопроцесса или с учетом сетки на графике. В этом случае нужно говорить об изменении величин с учетом предложенных значений, т.е. изменяется во сколько-то раз.

Способ объяснения

- Для объяснения можно использовать газовые законы, в этом случае нужно записывать соответствующий закон для каждого участка графика. Можно использовать уравнение Клапейрона-Менделеева, в этом случае достаточно один раз записать соответствующую формулу и обязательно указать какие параметры не изменяются.
- Нужно дополнительное обоснование о том, что график процесса лежит на прямой, проходящей через начало координат, поэтому соответствует такому –то изопроцессу по такому-то закону.

Расчетные задачи №22

1. Рисунки, обозначения, запись второго закона Ньютона



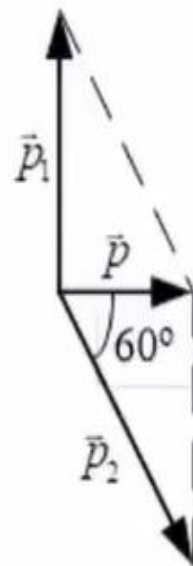
$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a, \quad |\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T.$$

2. Исходные формулы и математические выкладки

Снаряд массой 2 кг, летящий со скоростью 100 м/с, разрывается на два осколка. Один из осколков летит под углом 90° к первоначальному направлению. Под каким углом к этому направлению полетит второй осколок, если его масса 1 кг, а скорость 400 м/с?

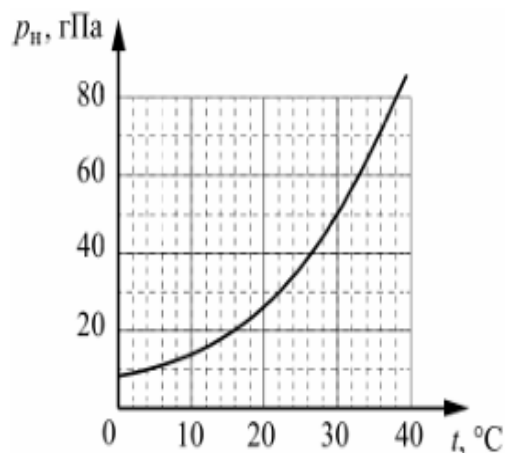
Решение должно содержать

- 1) Закон сохранения импульса $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.
- 2) Рисунок.
- 3) Указание, что из геометрических соображений следует $p = p_2 \cdot \cos \alpha$. Следовательно, $Mv = m_2 v_2 \cdot \cos \alpha$.
- 4) Подстановка значений и ответ.



ЗАДАНИЕ 22

В сосуде содержится влажный воздух при температуре 52 °С. Плотность паров воды равна $2 \cdot 10^{-2}$ кг/м³. Зависимость давления насыщенных паров от температуры представлена на графике. До какого значения следует понизить температуру влажного воздуха в сосуде, чтобы на стенках сосуда выпала роса?



Возможное решение

1. Масса паров воды в сосуде равна $m = \rho V$.

2. Состояние паров воды описывается уравнением Клапейрона-Менделеева

$$p = \frac{m}{\mu V} RT.$$

3. Из уравнений (1) и (2) получаем выражение для парциального давления водяного пара в сосуде:

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT = \frac{0,02}{0,018} \cdot 8,31 \cdot 325 \approx 3000 \text{ Па}$$

По графику это давление равно давлению насыщенного пара при $t \approx 22$ °С.

Ответ: $t \approx 22$ °С

Задание 22

В закрытом сосуде находится одноатомный идеальный газ, масса которого 12 г, а молярная масса равна 0,004 кг/моль. Начальная температура газа в сосуде равна 400 К. После охлаждения газа его давление понизилось до $2 \cdot 10^5$ Па. Каково начальное давление газа, если отданное им количество теплоты равно 7,5 кДж?

$$1) \quad V = \text{const} \Rightarrow A_2 = 0$$

$$2) \quad u = \frac{3}{2} pV$$

$$\Delta u = \frac{3}{2} V (p_2 - p_1)$$

$$3) \quad Q = \Delta u + A_2 = \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V$$

$$2) \quad p_1 V = \frac{m}{\mu} R T_1 \Rightarrow V = \frac{m R T_1}{\mu p_1}$$

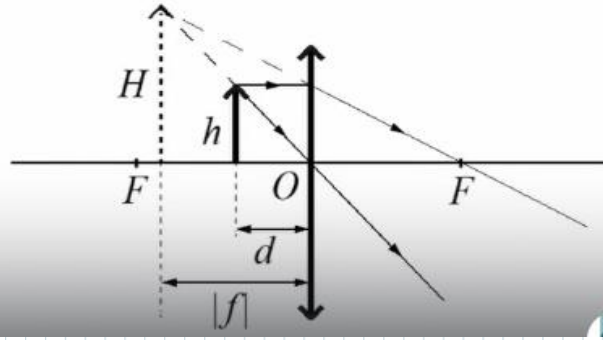
$$Q = \frac{3}{2} (p_2 - p_1) \frac{m R T_1}{\mu p_1} = \frac{3}{2} \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) \frac{m R T_1}{\mu}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2 Q \mu}{3 m R T_1} + 1$$

$$p_1 = \frac{p_2}{\frac{2 Q \mu}{3 m R T_1} + 1} = \frac{2 \cdot 10^5}{\frac{2 (-7500) \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 8,31 \cdot 400} + 1} = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Мнимое изображение предмета в тонкой собирающей линзе с фокусным расстоянием $F = 8$ см получено с увеличением $\Gamma = 4$. На каком расстоянии от линзы находится предмет? Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси линзы. Постройте изображение предмета в линзе.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|}$$



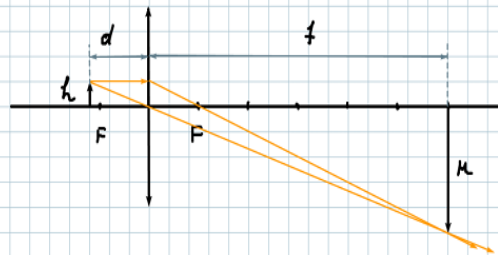
Задание 23

Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 15$ см даёт действительное, увеличенное в 5 раз изображение предмета. На каком расстоянии от линзы находится предмет? Постройте изображение предмета в линзе.

$$1) \Gamma = \frac{H}{h} = \frac{d}{f} = 5 \Rightarrow f = 5d$$

$$2) \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{5d} = \frac{6}{5d}$$

$$d = \frac{6F}{5} = \frac{6 \cdot 15}{5} = 18 \text{ см}$$



На дифракционную решётку, имеющую 500 штрихов на 1 см, падает по нормали параллельный пучок белого света. Между решёткой и экраном вплотную к решётке расположена линза, которая фокусирует свет, проходящий через решётку, на экране. Чему равно расстояние от линзы до экрана, если ширина спектра третьего порядка на экране равна 12 см? Длины красной и фиолетовой волн соответственно равны $8 \cdot 10^{-7}$ м и $4 \cdot 10^{-7}$ м. Считать угол отклонения лучей решёткой φ малым, так что $\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi \approx \varphi$.

Возможное решение

1. Период дифракционной решётки

$$d = \frac{l}{N} = \frac{10^{-2}}{500} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

2. В соответствии с формулой для дифракционной решётки $d \sin \varphi = k \lambda$ максимум данного порядка в спектре наблюдается под углом φ к направлению падающего света, который определяется по формуле

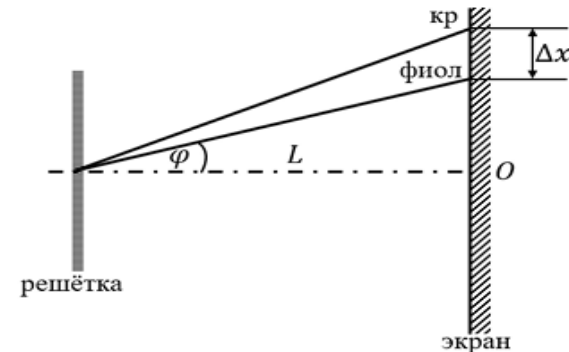
$$\sin \varphi = \frac{k \lambda}{d}$$

3. Так как по условию $\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi$, то

$$\frac{x}{L} = \frac{k \lambda}{d}$$

где x — расстояние от центра дифракционной картины до максимума данного порядка,

L — расстояние от линзы до экрана.



Следовательно, ширина спектра третьего порядка

$$\Delta x = \frac{kL}{d} (\lambda_{\text{кр}} - \lambda_{\text{ф}}).$$

4. Отсюда находим расстояние до экрана:

$$L = \frac{\Delta x \cdot d}{k(\lambda_{\text{кр}} - \lambda_{\text{ф}})} = \frac{0,12 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 4 \cdot 10^{-7}} = 2 \text{ м}$$

Ответ: $L = 2$ м

ширина спектра, т.е. разница между расстояниями до максимумов одного порядка для волн красного и фиолетового цветов.

Средний результат 16%

1 балл – 10%

2 балла – 10%

Задание 23



Средний результат 11,6%

1 балл – 8%

2 балла – 3%

3 балла – 7%

В бутылке объемом 0,5 л находится гелий при нормальном атмосферном давлении. Горлышко бутылки площадью 3 см^2 заткнуто короткой пробкой, имеющей массу 35 г. Когда бутылку поставили на стол вертикально горлышком вверх, оказалось, что если сообщить гелию в бутылке количество теплоты не менее 8 Дж, то он выталкивает пробку из горлышка. Какую минимальную постоянную силу нужно приложить к пробке, чтобы вытащить её из горлышка бутылки, не нагревая, если бутылка лежит горизонтально? Модуль силы трения, действующей на пробку, считать в обоих случаях одинаковым.

В бутылке объемом 1 л находится гелий при нормальном атмосферном давлении. Горлышко бутылки площадью 2 см^2 заткнуто короткой пробкой, имеющей массу 20 г. Когда бутылку поставили на стол вертикально горлышком вверх, оказалось, что если сообщить гелию в бутылке количество теплоты не менее 9 Дж, то он выталкивает пробку из горлышка. Какую минимальную постоянную силу нужно приложить к пробке, чтобы вытащить её из горлышка бутылки, не нагревая, если бутылка лежит горизонтально? Модуль силы трения, действующей на пробку, считать в обоих случаях одинаковым.

Возможное решение.

1. Когда бутылка расположена горизонтально (см. рис. а), давление снаружи и внутри одинаково и равно атмосферному p_0 . Поэтому при вытаскивании пробки прикладываемая извне минимальная сила согласно второму закону Ньютона уравнивает силу трения: $F = F_{\text{тр}}$.

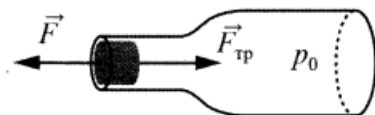


Рис. а

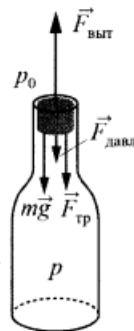


Рис. б

2. Когда бутылка расположена вертикально, а гелию в бутылке сообщено минимальное количество теплоты Q , в момент вылета сумма всех сил, действующих на пробку, согласно второму закону Ньютона, равна нулю, и поэтому имеет место равенство сил: $p_0 S + F_{\text{тр}} + mg = pS$, где p — давление гелия внутри бутылки, $p_0 S = F_{\text{давл}}$, $pS = F_{\text{выт}}$ (см. рис. б).

3. Нагревание гелия происходит изохорно. Поэтому согласно первому закону термодинамики количество теплоты Q , сообщенное гелию, идет на увеличение внутренней энергии гелия перед вылетом пробки ΔU . С учетом уравнения Клапейрона—Менделеева ($pV = \nu RT$) получаем: $Q = \Delta U = \Delta(\frac{3}{2} \nu RT) = \Delta(\frac{3}{2} pV) = \frac{3}{2} V(p - p_0)$.

4. Из п. 2 имеем $p - p_0 = \frac{F_{\text{тр}} + mg}{S}$.

5. В итоге $Q = \frac{3V(F_{\text{тр}} + mg)}{2S}$.

6. Из п. 5 получаем: $F_{\text{тр}} = \frac{2S}{3V} Q - mg$, откуда, с учетом пункта 1,

$$F = F_{\text{тр}} = \frac{2QS}{3V} - mg = \frac{2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} - 0,035 \cdot 10 = 2,85 \text{ Н.}$$

Ответ: $F = 2,85 \text{ Н.}$

ЗАДАНИЕ 24

Сосуд объёмом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г при давлении 200 кПа. Какова температура смеси, если отношение массы водорода к массе гелия в ней равно 1,5?

Возможное решение

1. Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для водорода и гелия в смеси:

$$p_{H_2} V = \frac{m_{H_2}}{\mu_{H_2}} RT;$$

$$p_{He} V = \frac{m_{He}}{\mu_{He}} RT.$$

2. Согласно закону Дальтона для давления смеси имеем:

$$p = p_{H_2} + p_{He}.$$

Кроме того, масса смеси

$$m = m_{H_2} + m_{He}.$$

3. Решив систему уравнений (1)-(4), получим:

$$T = \frac{\frac{pV}{R} \left(1 + \frac{m_{H_2}}{m_{He}}\right)}{\frac{m_{H_2}}{m_{He}} \cdot \frac{m}{\mu_{H_2}} + \frac{m}{\mu_{He}}} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{8,31} (1 + 1,5) \approx 300 \text{ K}$$

Ответ: $T \approx 300 \text{ K}$

$$\frac{p_a \mu_g}{RT} \cdot \frac{(m_r - m_x) RT}{p_a \mu_r} = m_w + m_r - m_x + m_{rp} - m_n$$

$$\frac{\mu_g}{\mu_r} m_r - \frac{\mu_g}{\mu_x} m_x = m_w + m_r - m_x + m_{rp} - m_n$$

$$\frac{\mu_g}{\mu_x} m_r - m_r - m_w - m_{rp} + m_n = \frac{\mu_g}{\mu_x} m_x - m_x$$

$$\left(\frac{\mu_g}{\mu_x} - 1\right) m_r - m_w - m_{rp} + m_n = \left(\frac{\mu_g}{\mu_x} - 1\right) m_x$$

$$m_x = \frac{\left(\frac{\mu_g}{\mu_x} - 1\right) m_r - m_w - m_{rp} + m_n}{\left(\frac{\mu_g}{\mu_x} - 1\right)}$$

$$m_x = \frac{\left(\frac{23 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} - 1\right) \cdot 100 - 400 - 225 + 25}{\left(\frac{23 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} - 1\right)} = 4 \text{ кг}$$

Общая масса газонепроницаемой оболочки воздушного шара и гондолы равна 400 кг. Шар заполнен гелием массой 100 кг. Он может поднять в воздух груз массой 225 кг. Какую массу гелия нужно выпустить из шара, чтобы он не поднимался, если из гондолы сбросят мешок с песком массой 25 кг? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению его объёма, воздушных течений в вертикальном направлении нет. Температура и давление гелия внутри шара и воздуха снаружи шара соответственно одинаковы.

Масса шара с гондолой $m_w = 400 \text{ кг}$

Масса гелия в шаре $M_r = 100 \text{ кг}$

Масса груза, который может поднять шар $m_{rp} = 225 \text{ кг}$

Масса сброшенного песка $m_n = 25 \text{ кг}$

Масса выпущенного гелия $m_x - ?$

1 СПОСОБ



1) Шар в равновесии после удаления части гелия: $F_A = F_T$

$$2) F_A = \rho_g g V$$

$$F_T = (m_w + m_r - m_x + m_{rp} - m_n) g$$

$$\rho_g g V = (m_w + m_r - m_x + m_{rp} - m_n) g$$

$$\rho_g V = m_w + m_r - m_x + m_{rp} - m_n$$

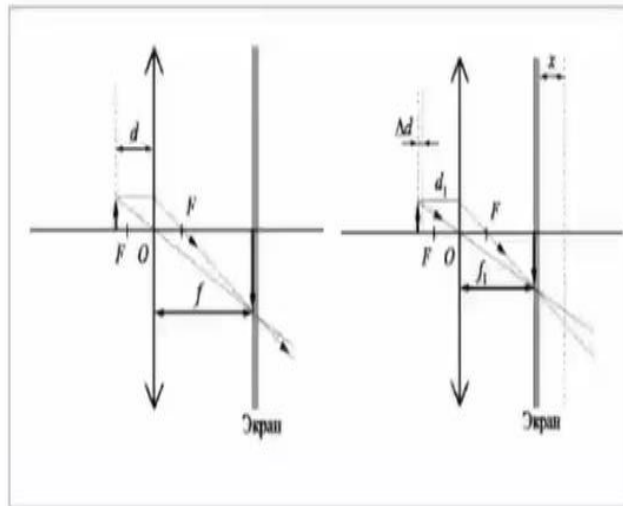
$$3) p_r = p_a$$

$$\text{Для гелия в шаре: } p_a V = \frac{(m_r - m_x) RT}{\mu_r} \Rightarrow V = \frac{(m_r - m_x) RT}{p_a \mu_r}$$

$$\text{Для атмосферного воздуха: } p_a = \frac{\rho_g RT}{\mu_g} \Rightarrow \rho_g = \frac{p_a \mu_g}{RT}$$

Расчетные задачи №25

Линза, фокусное расстояние которой 30 см, даёт на экране резкое изображение предмета с пятикратным увеличением. Экран пододвинули к линзе вдоль её главной оптической оси. Затем при неизменном положении линзы передвинули предмет на 3 см так, чтобы изображение снова стало резким. На какое расстояние сдвинули экран относительно его первоначального положения? Сделайте рисунок построения изображений в линзе с указанием хода лучей.



Согласно формуле оптической силы линзы $F = \frac{1}{D} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ м} = 40 \text{ см}$.

Расстояние от линзы до центра квадрата $d_1 = 80 \text{ см} = 2F$, значит, диагональ квадрата BD находится в двойном фокусе линзы. Таким образом, согласно формуле тонкой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$ изображение этой диагонали

также будет находиться в двойном фокусе: $f_1 = \frac{Fd_1}{d_1 - F} = \frac{40 \cdot 80}{80 - 40} = 80 \text{ см}$.

По формуле увеличения линзы $\frac{BD}{d_1} = \frac{B_1D_1}{f_1}$, значит, $B_1D_1 = \frac{f_1 \cdot BD}{d_1} = \frac{f_1 \cdot a\sqrt{2}}{d_1} = \frac{80 \cdot 20\sqrt{2}}{80} = 20\sqrt{2} \text{ см}$.

Аналогично по формуле тонкой линзы определим f_2 и f_3 : $\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$ и $\frac{1}{F} = \frac{1}{d_3} + \frac{1}{f_3}$. В итоге

$$f_2 = \frac{Fd_2}{d_2 - F} = \frac{F(2F + a/\sqrt{2})}{2F + a/\sqrt{2} - F} = \frac{F(2F + a/\sqrt{2})}{F + a/\sqrt{2}} = \frac{40 \cdot (2 \cdot 40 + 20/\sqrt{2})}{40 + 20/\sqrt{2}} \approx 69,6 \text{ см}$$

$$f_3 = \frac{Fd_3}{d_3 - F} = \frac{F(2F - a/\sqrt{2})}{2F - a/\sqrt{2} - F} = \frac{F(2F - a/\sqrt{2})}{F - a/\sqrt{2}} = \frac{40 \cdot (2 \cdot 40 - 20/\sqrt{2})}{40 - 20/\sqrt{2}} \approx 102 \text{ см}$$

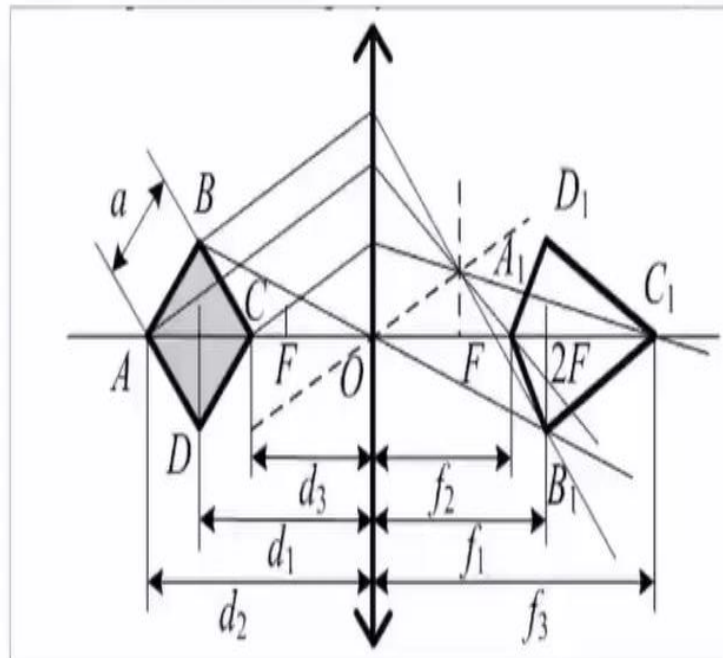
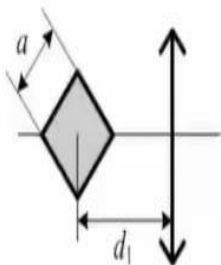
Тогда диагональ четырёхугольника $A_1C_1 = f_3 - f_2 \approx 102 - 69,6 = 32,4 \text{ см}$.

В итоге площадь изображения (четырёхугольника) равна удвоенной площади треугольника $A_1C_1D_1$:

$$S = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot A_1C_1 \cdot \frac{B_1D_1}{2} = \frac{A_1C_1 \cdot B_1D_1}{2} = \frac{32,4 \cdot 20\sqrt{2}}{2} \approx 458 \text{ см}^2$$

Ответ: $S \approx 458 \text{ см}^2$.

Квадрат со стороной $a = 20 \text{ см}$ лежит в плоскости главной оптической оси тонкой собирающей линзы с оптической силой $D = 2,5 \text{ дптр}$ так, что одна из его диагоналей перпендикулярна главной оптической оси линзы (см. рисунок). Расстояние от центра квадрата до плоскости линзы $d_1 = 80 \text{ см}$. Определите площадь изображения квадрата в линзе. Сделайте рисунок, на котором постройте изображение квадрата в линзе, указав ход всех необходимых для построения лучей.





Средний результат 10,3%

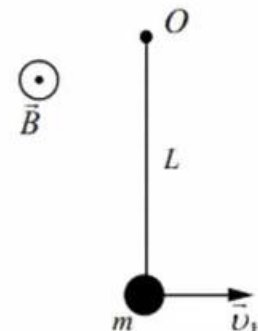
1 балл – 10%

2 балла – 3%

3 балла – 5%

Задание 24

Маленькое положительно заряженное тело массой m , прикреплённое к невесомой нерастяжимой нити длиной L , может двигаться по окружности в вертикальной плоскости. Система находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции \vec{B} которого перпендикулярен плоскости и направлен так, как показано на рисунке. Модуль наименьшей скорости тела в нижней точке, при которой тело совершает полный оборот по окружности, равен v_n . Заряд тела равен q . Найдите модуль вектора индукции магнитного поля.



Возможное решение

1. Рассмотрим движение тела в инерциальной системе отсчёта. Исходя из второго закона Ньютона в проекциях на вертикальную ось получим в верхней точке

$$ma = mg - qv_n B,$$

где $a = v_n^2/L$ – модуль центростремительного ускорения тела в верхней точке,

v_n – скорость тела в верхней точке, L – длина нити. Здесь учтено условие минимальности скорости v_n в нижней точке траектории движения, поэтому сила натяжения нити в верхней точке равна нулю.

2. Запишем закон сохранения механической энергии для тела:

$$\frac{mv_n^2}{2} = \frac{mv_n^2}{2} + 2mgL.$$

Следовательно, $v_n^2 = v_n^2 - 4gL$.

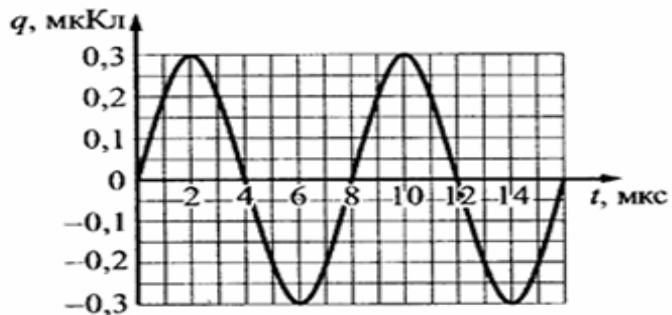
Заметим, что силы Лоренца и натяжения нити не совершают работу, так как они в каждой точке траектории направлены перпендикулярно скорости.

3. Используя (1) и (2), получим:

$$B = \frac{m(gL - v_n^2)}{qv_n L} = \frac{m(5gL - v_n^2)}{qL\sqrt{v_n^2 - 4gL}}$$

Ответ: $B = \frac{m(5gL - v_n^2)}{qL\sqrt{v_n^2 - 4gL}}$

25 Заряд на одной из обкладок конденсатора в идеальном колебательном контуре меняется со временем так, как показано на рисунке. Определите силу тока в контуре в момент времени $t = 5$ мкс.



Возможное решение

1. Согласно закону сохранения энергии

$\frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{q^2(t)}{2C} + \frac{LI^2(t)}{2}$, где $I(t)$ и $q(t)$ – соответственно сила тока в контуре и заряд конденсатора в момент времени t , q_{\max} – амплитуда колебаний заряда на конденсаторе.

Отсюда: $I^2(t) = \frac{q_{\max}^2 - q^2(t)}{LC}$.

2. Согласно формуле Томсона период свободных электромагнитных колебаний в контуре $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

3. Объединив п. 1 и 2, получим:

$$I(t) = \frac{2\pi}{T} \cdot \sqrt{q_{\max}^2 - q^2(t)}.$$

4. Из графика найдём период колебаний $T = 8$ мкс, амплитуду колебаний заряда на конденсаторе $q_{\max} = 0,3$ мкКл и заряд конденсатора в момент времени $t = 5$ мкс: $q \approx -0,2$ мкКл.

Значит, искомая сила тока $I = \frac{2 \cdot 3,14}{8 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^{-6} \sqrt{0,09 - 0,04} \approx 0,18$ А.

Ответ: $I \approx 0,18$ А.

Для экспертов: в данном случае заряд на обкладке конденсатора меняется по закону $q(t) = q_{\max} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$. Поэтому при $t = 5$ мкс $q(t) = -q_{\max} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$ и $I \approx 0,17$ А. В зависимости от хода решения оба ответа (0,17 и 0,18 А) могут быть верными

Уравнение колебаний идеального колебательного контура

Если колебательный контур является идеальным ($R = 0$), то выполняется закон сохранения энергии $W = \text{const}$. Исходя из того, что производная постоянного числа равна нулю, получаем следующее:

$$\left. \begin{aligned} W = W_{\text{с}} + W_{\text{м}} = \text{const} \\ (W_{\text{с}} + W_{\text{м}})' = (\text{const})' = 0 \\ \left(\frac{q^2}{2C}\right)' + \left(\frac{LI^2}{2}\right)' = 0 \\ \frac{1}{2C} \cdot 2q \cdot q' + \frac{L}{2} \cdot 2I \cdot I' = 0 \\ q' = I; I' = q' \end{aligned} \right\} \begin{aligned} q'' = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot q \\ q'' = -\omega^2 \cdot q \end{aligned} \Rightarrow \begin{aligned} \text{аналог} \\ \text{в механике} \\ a = x'' = -\omega^2 x \end{aligned}$$

⇓ решение уравнения

$$q = q_m \cdot \cos(\omega t)$$

q_m – амплитуда (максимальные значения заряда)

$$\begin{aligned} I = q' = -q_m \omega \sin \omega t & \quad I = I_m \cdot \sin \omega t & I_m = q_m \omega \\ U = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cdot \cos \omega t & \quad U = U_m \cdot \cos \omega t & U_m = \frac{q_m}{C} \\ \varepsilon_{\text{св}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \cdot I' = +L q_m \omega^2 \cdot \cos \omega t & \quad \varepsilon_{\text{св}} = \varepsilon_{\text{м}} \cdot \cos \omega t & \varepsilon_{\text{м}} = L \cdot q_m \omega^2 \end{aligned}$$

Колебания в идеальном колебательном контуре являются гармоническими

Формула Томсона

$$\left. \begin{aligned} \omega^2 = \frac{1}{L \cdot C} \\ \omega = \frac{2\pi}{T} \end{aligned} \right\} T = 2\pi\sqrt{LC}$$

← период электромагнитных колебаний в идеальном контуре

C – ёмкость
 L – индуктивность

Превращение энергии

В колебательном контуре происходят периодические превращения энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности и обратно.

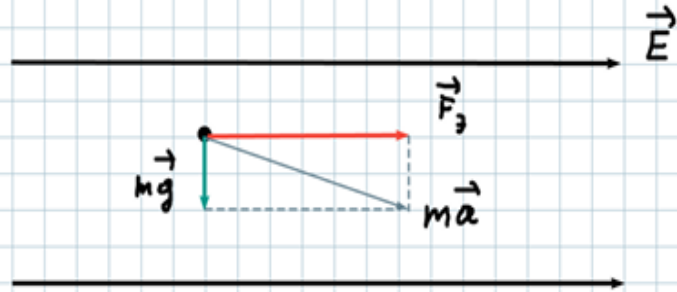
$$\left(\frac{q_m^2}{2C}\right) \rightarrow \left(\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}\right) \rightarrow \left(\frac{LI_m^2}{2}\right) \rightarrow \dots$$

Если контур идеальный, то энергия сохраняется: $\frac{CU_{\text{св}}^2}{2} = \frac{LI_{\text{м}}^2}{2}$

Задание 25

В вакууме в однородное горизонтальное электрическое поле с напряженностью $E = 1500$ кВ/м помещают неподвижную каплю массой $m = 0,4$ г и зарядом $q = 2$ нКл. Определите модуль перемещения капли через $t = 0,2$ с. Сделайте рисунок, на котором укажите силы, действующие на каплю.

1 СПОСОБ



$$1) \vec{m}\vec{g} + \vec{F}_e = m\vec{a}$$

$$(ma)^2 = F_e^2 + (mg)^2$$

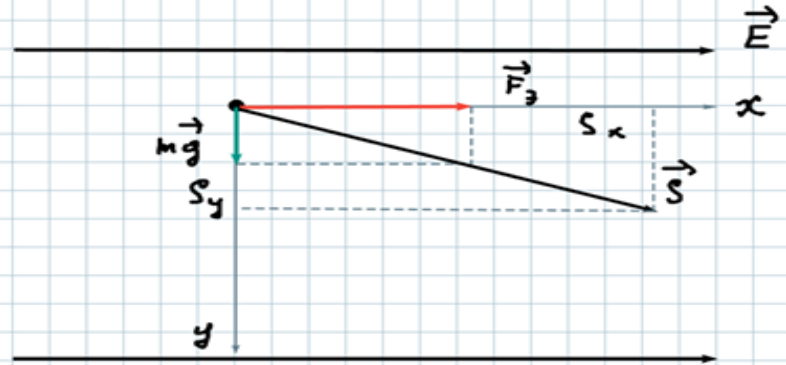
$$a^2 = \frac{F_e^2 + m^2 g^2}{m^2} = g^2 + \left(\frac{qE}{m}\right)^2$$

$$a = \sqrt{g^2 + \left(\frac{qE}{m}\right)^2}$$

$$2) S = \frac{at^2}{2}, \text{ м.к. } v_0 = 0$$

$$S = \frac{\sqrt{g^2 + \left(\frac{qE}{m}\right)^2} t^2}{2} = \frac{\sqrt{10^2 + \left(\frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 1510^6}{4 \cdot 10^{-4}}\right)^2} \cdot 0,2^2}{2} = 2,4 \text{ м}$$

2 СПОСОБ



$$1) \vec{m}\vec{g} + \vec{F}_e = m\vec{a}$$

$$x: F_e = ma_x \Rightarrow a_x = \frac{F_e}{m} = \frac{qE}{m}$$

$$y: mg = ma_y \Rightarrow a_y = g$$

$$2) v_0 = 0: S_x = \frac{a_x t^2}{2} = \frac{qEt^2}{2m}$$

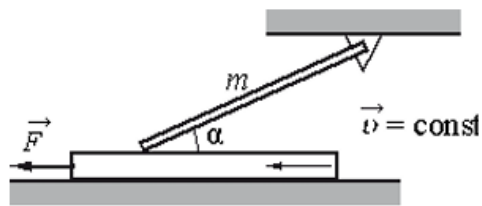
$$S_y = \frac{gt^2}{2}$$

$$3) S^2 = S_x^2 + S_y^2$$

$$S = \sqrt{\frac{q^2 E^2}{m^2} + g^2} \cdot \frac{t^2}{2}$$

ЗАДАНИЕ 26

Однородный тонкий стержень массой m одним концом шарнирно прикреплён к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол $\alpha = 30^\circ$. Под действием горизонтальной силы \vec{F} доска движется поступательно влево с постоянной скоростью. Стержень при этом неподвижен. Найдите m , если $F = 2$ Н, а коэффициент трения стержня по доске $\mu = 0,2$. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на стержень и доску. Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебrecь. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**



Возможное решение

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем стержень моделью абсолютно твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).
3. Сумма приложенных к стержню внешних сил равна нулю, так как он находится в равновесии относительно поступательного движения.
4. Сумма моментов этих сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку шарнирного крепления (точку O), равна нулю, так как стержень не вращается.
5. Доска движется поступательно. Движение доски в ИСО можно описать с помощью законов Ньютона, сформулированных для материальных точек.
6. Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми доска и стержень взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены в противоположные стороны.

Решение

1. В инерциальной системе отсчёта, связанной с Землёй, доска по условию движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому, в частности, сумма горизонтальных сил \vec{F} и $\vec{F}_{\text{тр}1}$, приложенных к доске, равна нулю (рис. а). Отсюда получаем: $F = F_{\text{тр}1}$.
2. На рисунке б показаны силы, приложенные к стержню. По третьему закону Ньютона $\vec{F}_{\text{тр}2} = -\vec{F}_{\text{тр}1}$. Поэтому:

$$F_{\text{тр}2} = F_{\text{тр}1} = F \quad (1)$$

3. По условию задачи стержень не вращается, поэтому выполнено условие равновесия стержня на оси шарнира O (правило моментов). Обозначив длину стержня через L , запишем это условие:

$$mg \frac{L}{2} \cos \alpha - F_{\text{тр}2} L \sin \alpha - NL \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

4. Доска движется относительно стержня, поэтому:

$$F_{\text{тр}2} = \mu N \quad (3)$$

5. Подставив (1) в (3), а (3) в (2), получим уравнение

$$mg \cos \alpha - 2F \sin \alpha - 2 \frac{F}{\mu} \cos \alpha = 0$$

с решением:

$$m = 2 \frac{F}{g} \left(\frac{1}{\mu} + \tan \alpha \right) = 2 \frac{2}{10} \left(\frac{1}{0,2} + \frac{\sqrt{3}}{3} \right) \approx 2,2 \text{ кг}$$

Ответ: $m \approx 2,2$ кг

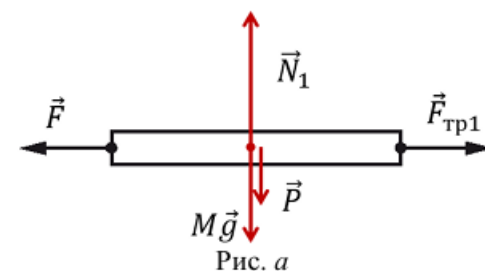


Рис. а

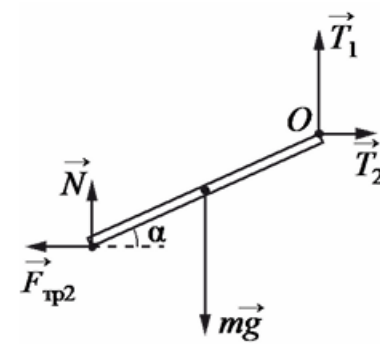


Рис. б

ОБОСНОВАНИЕ:

1) Решаем задачу в СО "Земля". Считаем её ИСО.

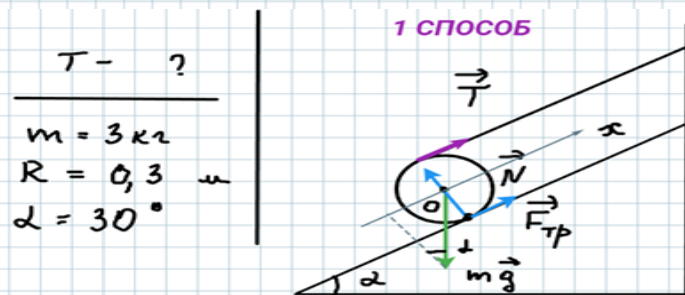
2) Для цилиндра используем модель АТТ.

3) Цилиндр в равновесии.

При отсутствии поступательного движения векторная сумма сил, действующих на него равна нулю.

4) При отсутствии вращательного движения алгебраическая сумма моментов сил равна нулю.

Моменты определяем относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку O (оси цилиндра)



$$1) \vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{тр} = \vec{0}$$

$$x: T + F_{тр} - mg \sin \alpha = 0$$

$$F_{тр} = mg \sin \alpha - T \quad (1)$$

$$2) \mathcal{M}_T + \mathcal{M}_N + \mathcal{M}_{mg} + \mathcal{M}_{F_{тр}} = 0$$

$$\downarrow \mathcal{M} > 0 \quad \uparrow \mathcal{M} < 0$$

$$\mathcal{M}_T = TR \quad \mathcal{M}_N = 0 \quad \mathcal{M}_{mg} = 0 \quad \mathcal{M}_{F_{тр}} = -F_{тр} R$$

$$TR - F_{тр} R = 0$$

$$F_{тр} = T \quad (2)$$

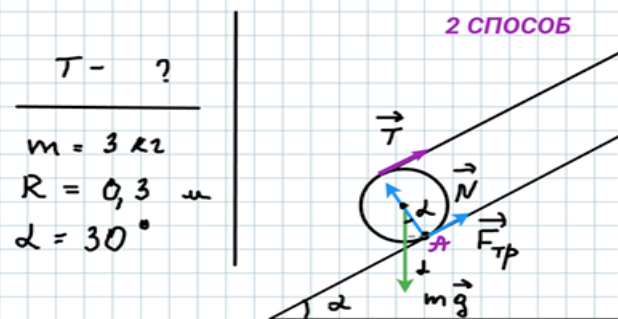
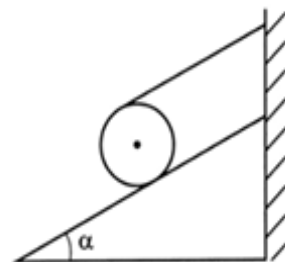
Подставим (2) в (1):

$$T = mg \sin \alpha - T$$

$$T = \frac{mg \sin \alpha}{2} = \frac{3 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2}}{2} = 7,5 \text{ Н}$$

Задание 26

Цилиндр массой $m = 3 \text{ кг}$ и радиусом $R = 30 \text{ см}$, на который намотана нерастяжимая невесомая нить, положили на наклонную плоскость, а конец нити прикрепили к вертикальной стенке. Нить не скользит по цилиндру, параллельна наклонной плоскости и перпендикулярна оси цилиндра. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30^\circ$. Определите силу натяжения нити, если цилиндр находится в равновесии. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на цилиндр. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



$$\mathcal{M}_T + \mathcal{M}_N + \mathcal{M}_{mg} + \mathcal{M}_{F_{тр}} = 0$$

$$\downarrow \mathcal{M} > 0 \quad \uparrow \mathcal{M} < 0$$

$$\mathcal{M}_T = T \cdot 2R \quad \mathcal{M}_N = 0 \quad \mathcal{M}_{F_{тр}} = 0 \quad \mathcal{M}_{mg} = -mgR \sin \alpha$$

$$2TR - mgR \sin \alpha = 0$$

$$T = \frac{mg \sin \alpha}{2}$$

ОБОСНОВАНИЕ:

1) Решаем задачу в СО "Земля". Считаем её ИСО.

2) Для цилиндра используем модель АТТ.

3) Цилиндр в равновесии.

При отсутствии вращательного движения алгебраическая сумма моментов сил равна нулю.

Моменты определяем относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку A .

Однородный рычаг AB может вращаться без трения вокруг неподвижной оси, проходящей через рычаг в точке O перпендикулярно ему. К левому концу рычага в точке A прикреплена нить, за которую с помощью динамометра D рычаг неподвижно удерживается в горизонтальном положении. Нить составляет с вертикалью угол, который можно измерить с помощью транспортира T . Показания динамометра (в ньютонах) и транспортира (в градусах) видны на фотографии. К точке C с помощью другой невесомой нерастяжимой нити подвешена стальная пластина (см. фотографию). Рычаг, пластина, нить и динамометр расположены в вертикальной плоскости. Массами транспортира и нитей пренебречь.



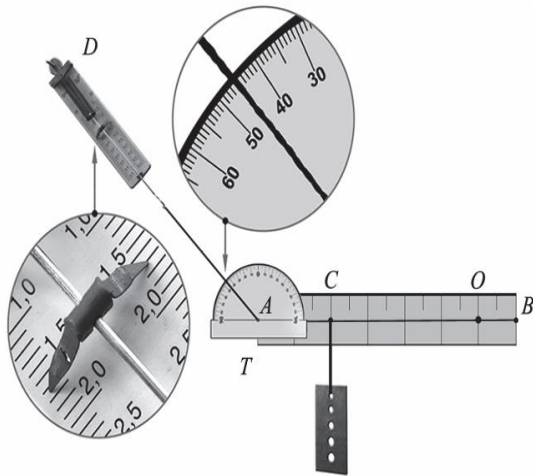
Средний результат

K1 – 10%

K2 – 9,5%

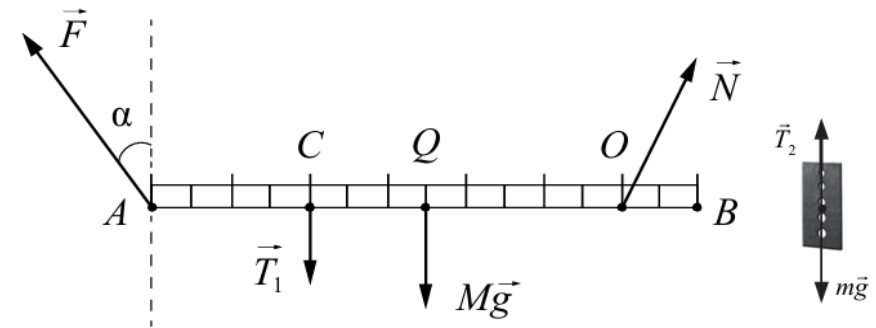
В обосновании к этой задаче, кроме стандартных пунктов выбора ИСО, модели твердого тела и условия равновесия твердого тела относительно вращательного движения, необходимо было указать, что пластину можно описать моделью материальной точки, для нее справедливо условие равновесия материальной точки и то, что нить, соединяющая рычаг и пластину, невесома, поэтому модуль силы натяжения нити в любой ее точке один и тот же. Полностью справились с обоснованием лишь 10 % участников.

Другой сложностью стал рисунок с указанием сил, который требовался для полного решения.



Определите массу стальной пластины, если рычаг имеет массу 50 г. Сделайте рисунок на котором укажите все силы, действующие на рычаг и пластину.

Обсудите применимость законов, используемых для решения задачи.



Здесь два тела, поэтому должны быть указаны силы, действующие на рычаг и пластину. Типичной ошибкой было неверное указание силы реакции опоры \vec{N} , приложенной в точке O . Для проведения расчетов нужно было снять показания динамометра и транспортира, а также использовать расстояния в условных единицах, поскольку размеры рычага в условии не приводились. Лишь 9,5 % участников смогли справиться с этим сложностями и представить физически верное решение задачи.

Из спецификации КИМ ЕГЭ по физике 2026 г., в следующем году на позиции **21** приоритет будет отдаваться качественным задачам по молекулярной физике с использованием различных графиков изопроцессов, на позиции **22** будут преимущественно задачи по механике, на позиции **23** – по электродинамике, на позиции **25** будут представлены задачи высокого уровня сложности по геометрической оптике, на позиции **26** могут приоритетными будут задачи по динамике, но могут встретиться задания по статике и законам сохранения в механике.

В 2026 г. структура КИМ ЕГЭ по физике останется без изменений, никаких дополнительных элементов содержания в задания части 1 не вводится.

Качественные задачи на изопроцессы с использованием графиков можно разделить на три группы: 1) анализ вида графика и определение изменения параметров газа (давления, объема, абсолютной температуры или внутренней энергии), не отраженных на графике; 2) анализ вида графика и применение к каждому изопроцессу первого закона термодинамики (определение того, получал или отдавал газ количество теплоты в этом процессе, совершал ли работу); 3) перестроение предложенного графика из одних координат в другие (для координат p – V еще и сравнение работ газа на разных участках).

Задачи на изображения в линзах могут решаться через формулы из кодификатора (формулу линзы и формулу для увеличения линзы), а могут – из геометрических соображений. Для последнего способа очень важно четкое указание на рисунке всех используемых расстояний, описания подобных треугольников

На рисунке для задач по Динамике, как это и требуется по стандартному алгоритму решения таких задач, необходимо указание на выбор системы отсчета. Только после этого можно записывать второй закон Ньютона в проекциях на выбранную ось.

> Спасибо за внимание!

