



Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки
ФГБНУ «Федеральный институт педагогических измерений»

М.Ю. Демидова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для учителей, подготовленные
на основе анализа типичных ошибок
участников ЕГЭ 2021 года**

по ФИЗИКЕ

Москва, 2021

КИМ ЕГЭ по физике 2021 г. состояли из двух частей и включали в себя 32 задания, различающихся формой и уровнем сложности. Часть 1 содержала 24 задания с кратким ответом: с записью ответа в виде числа, слова или двух чисел; на установление соответствия и множественный выбор, в которых ответы необходимо записать в виде последовательности цифр. Часть 2 содержала 8 заданий (2 задания с кратким ответом и 6 заданий с развернутым ответом), объединенных общим видом деятельности – решение задач.

В экзаменационной работе по физике контролировались элементы содержания из всех разделов (тем) школьного курса физики: «Механика» (кинематика, динамика, статика, законы сохранения в механике, механические колебания и волны); «Молекулярная физика» (молекулярно-кинетическая теория, термодинамика); «Электродинамика и основы СТО» (электрическое поле, постоянный ток, магнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитные колебания и волны, оптика, основы СТО); «Квантовая физика и элементы астрофизики» (корпускулярно-волновой дуализм, физика атома, физика атомного ядра, элементы астрофизики). Наиболее важные содержательные элементы могли проверяться заданиями разных уровней сложности. В целом все серии вариантов обеспечивают диагностику освоения всех включенных в кодификатор содержательных элементов.

Экзаменационная работа включала в себя задания трех уровней сложности: базового, повышенного и высокого. Задания базового уровня были представлены только в части 1 работы: 21 задание с кратким ответом, из которых 13 заданий с записью ответа в виде числа или слова, и 8 заданий на соответствие или изменение физических величин. Задания повышенного уровня – это 3 задания с кратким ответом в части 1, 2 задания с кратким ответом и 2 задания с развернутым ответом в части 2. Эти задания направлены на проверку умения использовать понятия и законы физики для анализа различных процессов и явлений, а также умения решать расчетные и качественные задачи. В части 2 было представлено 4 задания с развернутым ответом высокого уровня сложности, представляющих собой расчетные задачи. Минимальное количество баллов ЕГЭ по физике, подтверждающее освоение выпускником программы среднего общего образования по физике, соответствует требованиям стандарта для изучения физики на базовом уровне. Использование в экзаменационной работе заданий повышенного и высокого уровней сложности позволяло оценить степень подготовленности учащегося к продолжению образования в вузе.

Часть 2 экзаменационной работы полностью посвящена решению задач. Каждый вариант включал в себя задачи различного уровня сложности по всем разделам, что позволяло проверить умение применять физические законы и формулы как в типовых учебных ситуациях, так и в нетрадиционных ситуациях, требующих проявления достаточно высокой степени самостоятельности при комбинировании известных алгоритмов действий или создании собственного плана выполнения задания.

Содержание КИМ ЕГЭ по физике в 2021 г. оставлено без изменений по сравнению с экзаменационной работой 2020 г. Минимальная граница составляла 11 первичных баллов. Максимальный балл за выполнение всех заданий экзаменационной работы составлял 53 балла. На выполнение всей экзаменационной работы отводилось 235 минут.

Число участников основного периода ЕГЭ по физике в 2021 г. составило 129 907 человек, среди которых 95% – это выпускники текущего года. В течение последних лет наблюдается постепенное снижение численности участников экзамена: 140 711 человек в 2020 г., 152 493 человек в 2019 г., 153 928 человек в 2018 г.

Наибольшее число участников ЕГЭ по физике отмечается в г. Москве (10 557), Московской области (6589), г. Санкт-Петербурге (5497), Краснодарском крае (4739), Самарской области (4402) и Республике Башкортостан (3908).

Средний балл ЕГЭ по физике 2021 г. немного повысился по сравнению с прошлым годом. Распределение участников экзамена по тестовым баллам и, соответственно, по уровням подготовки продемонстрировало усиление дифференциации результатов: возросла доля участников, не достигших минимальной границы, и увеличились доли выпускников с повышенным (61–80 баллов) и высоким (81–100 баллов) уровнями подготовки.

На рис. 1 представлено распределение результатов участников ЕГЭ по физике по первичным баллам.

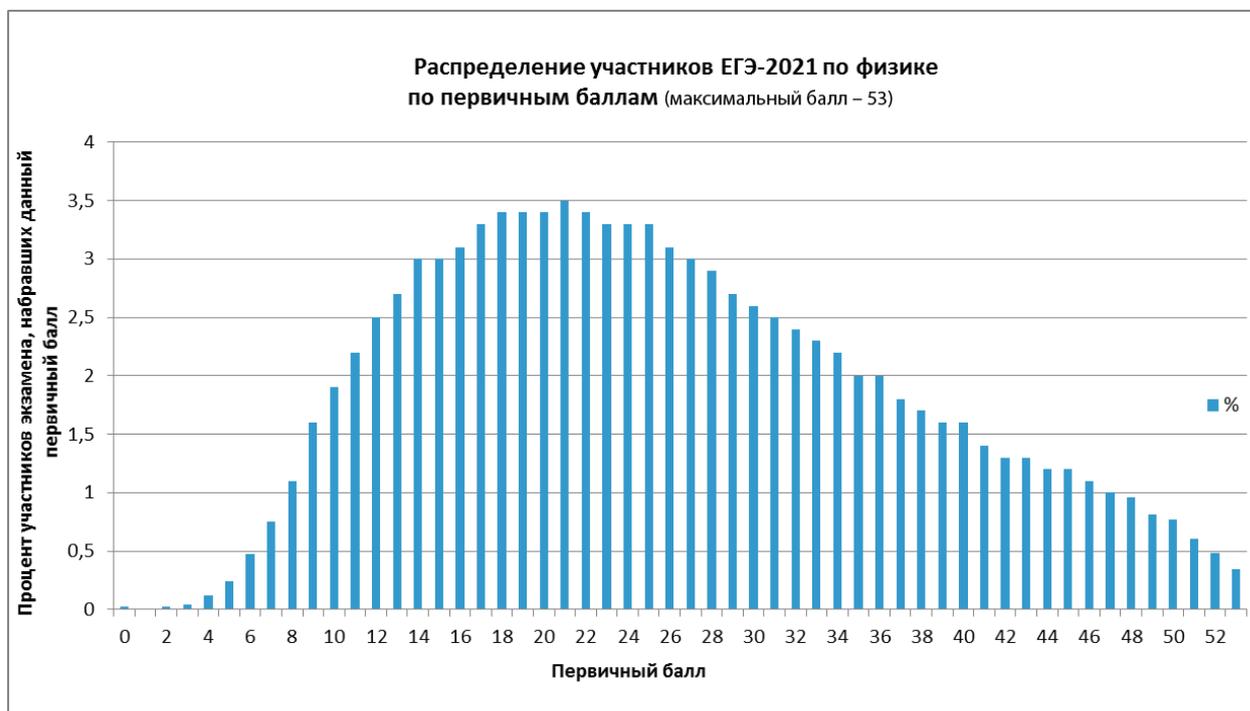


Рис. 1

Минимальный балл ЕГЭ по физике в 2021 г., как и в 2020 г., составил 36 т.б., что соответствует 11 первичным баллам. Доля участников экзамена, не преодолевших минимального балла в 2021 г., составила 6,44%, что сопоставимо с аналогичными показателями 2020 и 2019 гг. (в 2020 г. – 5,79%; в 2019 г. – 7,11%).

100-балльники есть в 61 регионе, в 2020 г. таких регионов было 64, а в 2019 г. – 61.

В 2021 г. доля участников экзамена, набравших 81–100 баллов, составила 9,7%, что немного выше показателя прошлого года.

Приведем общие результаты выполнения экзаменационной работы по трем направлениям: для групп заданий по разным тематическим разделам; для групп заданий, проверяющих сформированность различных способов действий, и для групп заданий различного уровня сложности.

В таблице 1 приведены результаты выполнения заданий экзаменационной работы по содержательным разделам школьного курса физики в течение двух лет.

Таблица 1

Раздел курса физики	Средний % выполнения по группам заданий	
	2020 г.	2021 г.
Механика	58,8	59,1
Молекулярная физика	54,4	57,4
Электродинамика и основы СТО	48,1	49,5
Квантовая физика и элементы астрофизики	55,4	52,5

С учетом изменения тематики задач с развернутым ответом можно говорить о стабильном результате. К сожалению, результаты выполнения заданий по электродинамике остаются существенно ниже, чем по остальным разделам. Традиционно наиболее высокие результаты демонстрируются для заданий по механике.

В таблице 2 приведены результаты выполнения групп заданий, направленных на оценку различных способов действий, формируемых в процессе обучения физике.

Таблица 2

Способы действий	Средний % выполнения по группам заданий	
	2020 г.	2021 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	67,7	66,0
Анализ и объяснение явлений и процессов	62,1	62,8
Методологические умения	70,9	75,5
Решение задач	20,7	24,5

Данные таблицы 2 демонстрируют стабильность показателей для применения законов и формул в типовых учебных ситуациях и для анализа и объяснения явлений и процессов. Результаты по группе заданий на проверку методологических умений улучшились. Отрадно отметить, что выросли средние результаты решения задач части 2 работы. Это произошло преимущественно за счет роста результатов высокобалльников.

В таблице 3 представлены результаты выполнения работы по группам заданий различного уровня сложности, включая результаты для групп с различным уровнем подготовки.

Таблица 3

Группы заданий различного уровня сложности	Средний % выполнения по группам заданий	
	2020 г.	2021 г.
Базового уровня	65,6	65,9
Повышенного уровня	44,3	45,0
Высокого уровня	13,2	16,0

По сравнению с прошлым годом задания базового и повышенного уровней выполняются на том же уровне. Однако отмечен рост результатов для заданий высокого уровня. Таким образом, высокобалльники, прежде всего, улучшили результаты по решению расчетных задач высокого уровня сложности. Как и в 2020 г., можно говорить о продолжающемся росте дифференциации между слабо подготовленной группой участников экзамена и группой высокобалльников.

На рис. 2 приведена диаграмма средних процентов выполнения по каждой линии заданий для экзаменационной работы 2021 г.



Рис. 2

Исходя из общепринятых норм, содержательный элемент или умение считается усвоенным, если средний процент выполнения соответствующей им группы заданий с кратким и развернутым ответами превышает 50%.

По результатам выполнения групп заданий, проверяющих одинаковые элементы содержания и требующих для их выполнения одинаковых умений, можно говорить об усвоении элементов содержания и умений:

- вычислять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: второй закон Ньютона, сила упругости, сила трения, закон всемирного тяготения, закон сохранения механической энергии, кинетическая энергия, импульс тела, закон сохранения импульса, гидростатическое давление столба жидкости, условие равновесия рычага, скорость звука, зависимость средней кинетической энергии теплового движения молекул от температуры, основное уравнение МКТ, уравнение состояния идеального газа, работа газа, первый закон термодинамики, количество теплоты, КПД тепловой машины, относительная влажность воздуха, количество теплоты, формула для силы тока, закон Ома для участка цепи, период полураспада;
- устанавливать соответствие физических величин, характеризующих процессы, и формул, по которым их можно рассчитать: движение тела под углом к горизонту; параметры газа в изопроцессах; формулы, характеризующие изменение агрегатных состояний вещества; ток в цепях постоянного тока с последовательным и параллельным соединением проводников; преломление света;
- интерпретировать графики, отражающие зависимость физических величин, характеризующих равномерное и равноускоренное движение тела, свободное падение тела, изменение агрегатных состояний вещества, электромагнитные колебания в колебательном контуре;
- определять путь, пройденный телом, по графику зависимости скорости от времени; скорость по графику зависимости координаты от времени, ускорение по графику зависимости проекции скорости от времени, строить изображение в собирающей линзе;

- определять направление силы Ампера, силы Лоренца, состав атома и атомного ядра, массовое и зарядовое числа ядер в ядерных реакциях;
- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: вращательное движение диска, движение спутников, изменение параметров газов в изопроцессе, изменение параметров конденсатора, плавание тел, изменение параметров цепи постоянного тока, явление фотоэффекта, изменение числа частиц при радиоактивных превращениях;
- проводить комплексный анализ физических процессов: равноускоренное движение; движение под действием силы трения по наклонной плоскости; движение тела, брошенного под углом к горизонту; равномерное и равноускоренное движение, представленное в виде графика зависимости координаты от времени; колебания математического маятника (данные таблицы); изопроцессы в идеальном газе, представленные при помощи графика; проводники и диэлектрики в электростатическом поле; взаимодействие заряженных тел; насыщенные и ненасыщенные пары, влажность воздуха; возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике; преломление света;
- записывать показания измерительных приборов (динамометр, термометр, амперметр, вольтметр) с учетом погрешности измерений;
- выбирать недостающее оборудование для проведения косвенных измерений и экспериментальную установку для проведения исследования;
- характеризовать свойства космических объектов (планеты Солнечной системы, спутники планет, звезды) с использованием табличных данных и диаграммы Герцшпрунга–Рессела.

К дефицитам можно отнести умения, которые контролировали группы заданий:

- определять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: сила Архимеда при плавании тела; независимость периода колебаний математического маятника от массы груза; сравнение работы газа с использованием графика зависимости давления от объема; закон Кулона; совместное использование закона Кулона и закона сохранения заряда; закон Ома для участка цепи (расчет цепей постоянного тока); формула Томсона, ЭДС самоиндукции, частота электромагнитных колебаний в колебательном контуре, импульс фотона; закон радиоактивного распада;
- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: плавание тел; движение заряженной частицы в магнитном поле (период обращения); явление фотоэффекта (максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона); излучение света атомом;
- интерпретировать графики, отражающие зависимость физических величин, характеризующих электромагнитные колебания в колебательном контуре (графики для энергии электрического и магнитного полей);
- определять направление силы Ампера, действующей на проводник с током со стороны другого проводника, и силы Лоренца, действующей на заряженную частицу, движущуюся вдоль проводника с током;
- снимать показания приборов: манометр (по фотографии экспериментальной установки);
- решать расчетные задачи повышенного уровня сложности;
- решать качественные задачи;
- решать расчетные задачи высокого уровня сложности.

Рассмотрим более подробно основные результаты выполнения групп заданий, проверяющих различные способы действий.

Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях

В экзаменационную работу было включено 10 заданий базового уровня с кратким ответом в виде числа, которые в совокупности по всем вариантам проверяли понимание всех основных законов и формул курса физики средней школы. Как видно из приведенного выше перечня проверяемых элементов содержания, большинство из них можно отнести к освоенным. Остановимся на трудностях, которые испытывали участники экзамена, выполняя задания базового уровня сложности на применение законов и формул в типовых учебных ситуациях.

Традиционно вызывают сложности задания на квадратичные зависимости, связанные с законом всемирного тяготения и законом Кулона (см. примеры 1 и 2).

Пример 1 (средний процент выполнения – 46)

Два маленьких шарика массой m каждый находятся на расстоянии 40 см друг от друга. Каково расстояние между шариками вдвое большей массы, если модуль сил гравитационного взаимодействия между ними такой же, как и между первыми двумя шариками?

Ответ: _____ 80 _____ см.

Пример 2 (средний процент выполнения – 36)

Одинаковые положительные точечные заряды $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл расположены в вакууме на расстоянии 0,3 м друг от друга. Определите модуль сил, с которыми заряды действуют друг на друга.

Ответ: _____ 0,04 _____ мН.

Как видно из приведенных выше примеров, задания на расчет величины оказываются более сложными, чем задания на сравнение величин при изменении других величин, входящих в формулу. Анализ веера ответов показывает, что ошибки связаны прежде всего с действиями со степенями и, соответственно, с неверным переводом в должные единицы. У этих заданий очень высокий коэффициент дискриминации, т.е. слабо подготовленные участники ЕГЭ с ними практически не справляются, а сильные выполняют хорошо. Например, для задания из примера 2 процент выполнения для группы слабых участников экзамена составляет 1,5, а для группы сильных – 81. Это говорит о необходимости налаживания более плотных межпредметных связей с математикой. Возможным вариантом является использование специальных тренажеров по выполнению заданий базового уровня с использованием разнообразных расчетов в рамках домашних заданий именно для слабых (с точки зрения математической подготовки) обучающихся.

К сожалению, существенные затруднения вызывают задания с использованием лишних данных. Пример такого задания на расчет силы Архимеда приведен ниже.

Пример 3 (средний процент выполнения – 46)

Польый стальной шар массой 10 кг плавает на поверхности озера. Объем шара равен 15 дм³. Чему равна сила Архимеда, действующая на шар?

Ответ: _____ 100 _____ Н.

Здесь часть участников ЕГЭ считают силу Архимеда по привычной формуле через плотность воды и объем шара, не обращая внимания на то, что шар плавает, а значит, выталкивающая сила равна по модулю силе тяжести, действующей на шар.

Среди заданий на колебания сложной оказалась группа заданий на изменение периода или частоты колебаний математического маятника, в которых, кроме длины нити, изменяли еще и массу груза (см. пример 4).

Пример 4 (средний процент выполнения – 44)

Во сколько раз уменьшится частота малых свободных колебаний математического маятника, если длину нити увеличить в 9 раз, а массу груза уменьшится в 4 раза?

Ответ: в _____ 3 _____ раз(а).

Две трети экзаменуемых не знали о независимости частоты колебаний от массы груза и пытались получить ответ, комбинируя формулу для математического и пружинного маятников. Это результат своеобразного проявления «меловой физики». Необходимо при изучении колебаний математического и пружинного маятников обязательно проводить исследование зависимости или независимости периода колебаний маятников от различных величин. В этом случае формулы осваиваются и запоминаются гораздо быстрее и качественнее.

Как и в прошлом году, ниже ожидаемого выполнены задания на совместное использование закона Кулона и закона сохранения заряда (см. пример 5). Проблема здесь – в определении зарядов шариков после взаимодействия.

Пример 5 (средний процент выполнения – 40)

Во сколько раз уменьшится модуль сил взаимодействия двух небольших металлических шариков одинакового диаметра, имеющих заряды $q_1 = +4$ нКл и $q_2 = -8$ нКл, если шарики привести в соприкосновение и раздвинуть на прежнее расстояние?

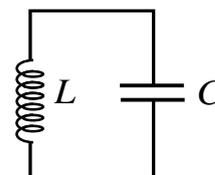
Ответ: в _____ 8 _____ раз(а).

По сравнению с прошлыми годами снизились результаты выполнения заданий на понимание формул, описывающих изменение силы тока и напряжения при свободных электромагнитных колебаниях в контуре. Ниже приведен пример задания текущего года на определение периода колебаний колебательного контура с использованием формулы для изменения напряжения на обкладках конденсатора. Средние проценты выполнения этого задания в предыдущих годах: 37 в 2018 г., 31 в 2019 г.

Пример 6 (средний процент выполнения – 29)

В колебательном контуре (см. рисунок) напряжение между обкладками конденсатора меняется по закону $U_C = U_0 \cos \omega t$, где $U_0 = 5$ В, $\omega = \pi \cdot 10^6$ с⁻¹. Определите частоту колебаний силы тока в контуре.

Ответ: _____ 500 _____ кГц.



Аналогичные задания для механических колебаний выполняются более успешно, что говорит о проблеме с переносом знаний о механических колебательных процессах на электромагнитные колебания.

В разделе «Квантовая физика и элементы астрофизики» только одна группа заданий была выполнена ниже уровня освоения материала (см. пример 7).

Пример 7 (средний процент выполнения – 40)

Закон радиоактивного распада ядер некоторого изотопа имеет вид: $N = N_0 \cdot 2^{-\lambda t}$, где $\lambda = 0,05$ с⁻¹. Определите период полураспада этих ядер.

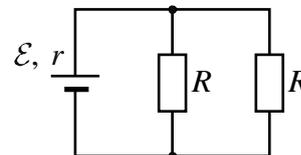
Ответ: _____ 20 _____ с.

В данном случае больше половины экзаменуемых не владеют математической записью закона радиоактивного распада, хотя, судя по результатам выполнения других заданий, хорошо представляют себе физический смысл периода полураспада.

Применение законов и формул проверялось в КИМ по физике и заданиями на соответствие, в частности физических величин и формул, по которым их можно рассчитать. Средние проценты выполнения таких заданий по механике – 63, по молекулярной физике – 64, по электродинамике – 51. Приведем пример задания, вызвавшего наибольшие затруднения (см. пример 8).

Пример 8 (средний процент выполнения – 19)

Электрическая цепь на рисунке состоит из источника постоянного напряжения с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r и внешней цепи из двух одинаковых резисторов сопротивлением R , включённых параллельно. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФОРМУЛЫ

- А) мощность тока, выделяющаяся на одном из резисторов R
- Б) мощность сторонних сил в источнике тока

- 1) $\frac{\mathcal{E}^2 R}{2\left(r + \frac{R}{2}\right)^2}$
- 2) $\frac{\mathcal{E}^2}{r + \frac{R}{2}}$
- 3) $\frac{\mathcal{E}^2 R}{4\left(r + \frac{R}{2}\right)^2}$
- 4) $\frac{\mathcal{E}^2 r}{\left(r + \frac{R}{2}\right)^2}$

Ответ:

А	Б
3	2

В этом задании с нахождением мощности тока, выделяющегося на одном из резисторов, справились 32% обучающихся. И основной ошибкой здесь был выбор ответа 1, т.е. ошибка в определении силы тока через один из резисторов. Основное же затруднение было связано с непониманием физического смысла мощности сторонних сил (мощности, выделяемой на внешнем и внутреннем участках цепи).

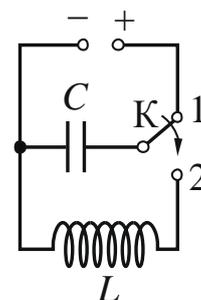
Рассмотрим задания, в которых необходимо было проявить умение понимать и интерпретировать графики различных зависимостей. В целом участники экзамена показали высокие результаты при выполнении заданий линии 1 на определение ускорения и пути по графику зависимости проекции скорости от времени и на определение скорости по графику зависимости координаты от времени. Результат выполнения этой группы заданий составил 71%. Выше границы освоения оказались и результаты заданий на соответствие, в которых необходимо было установить соответствие между видом зависимости и физической величиной для случаев движения тела по наклонной плоскости, движения тела, брошенного под углом к горизонту, и равноускоренного

движения, представленного в виде графика зависимости координаты от времени (средний процент выполнения – 58).

Несколько хуже выполнены аналогичные задания в разделе «Электродинамика». Так, с определением заряда, прошедшего по проводнику с течением времени, по графику зависимости силы тока от времени справляется 51% выпускников. С определением модуля ЭДС самоиндукции по графику зависимости силы тока от времени – 52% участников экзамена. Традиционные проблемы возникают с распознаванием графиков электромагнитных колебаний в контуре (см. пример 9).

Пример 9

Конденсатор колебательного контура длительное время подключён к источнику постоянного напряжения (см. рисунок). В момент $t = 0$ переключатель K переводят из положения 1 в положение 2. Графики A и B отображают изменения физических величин, характеризующих свободные электромагнитные колебания в контуре после этого (T – период колебаний).

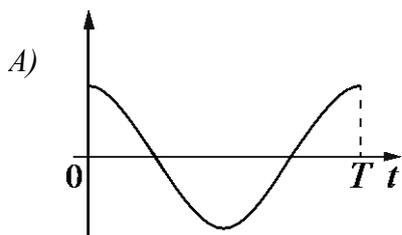


Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут отображать.

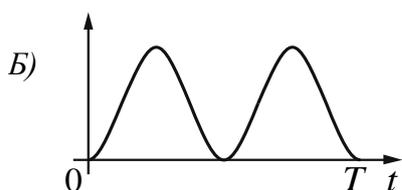
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ



- 1) энергия магнитного поля катушки
- 2) заряд левой обкладки конденсатора
- 3) модуль напряжения на конденсаторе
- 4) заряд правой обкладки конденсатора



Ответ:

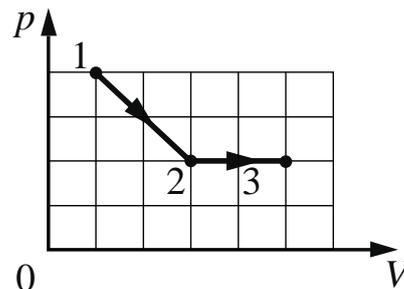
A	B
4	1

В этом задании полностью верный ответ смогли привести всего 24% участников экзамена. Как показывает анализ веера ответов, основная ошибка состояла именно в узнавании графика для энергии магнитного поля катушки. Судя по вееру ответов, часть участников, верно интерпретировавших это график как график для энергии, не смогла оценить начальные условия (минимальное значение в начальный момент времени) и соотнести это с отсутствием тока в катушке в начальный момент времени и, следовательно, с энергией магнитного поля катушки.

Наибольшие затруднения отмечены для заданий на сравнение работы газа с использованием графика зависимости давления от объема. Пример такого задания приведен ниже.

Пример 10 (средний процент выполнения – 37)

На pV -диаграмме (см. рисунок) показано, как изменялось давление газа при его переходе из состояния 1 в состояние 3. Каково отношение $\frac{A_{12}}{A_{23}}$ работ газа в процессах 1–2 и 2–3?



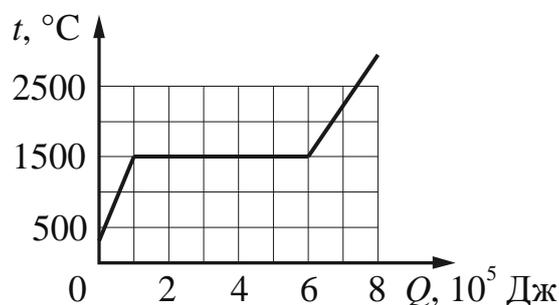
Ответ: _____ 1,5 _____.

Можно предположить, что основным затруднением здесь оказалось отсутствие цифр на осях графика, вызвавшее необходимость определять работу по площади по клеточкам.

Другим заданием, традиционно вызывающим затруднения, является определение удельной теплоты плавления или парообразования по графикам зависимости температуры вещества от полученного количества теплоты.

Пример 11 (средний процент выполнения – 39)

Брусек из неизвестного металла массой 2 кг поместили в печь и стали его нагревать. На рисунке приведён график зависимости температуры металла t от переданного ему количества теплоты Q . Чему равна удельная теплота плавления металла?



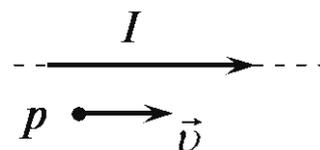
Ответ: _____ 250 _____ кДж/кг.

Наиболее распространенные неверные ответы здесь – 300 и 50, т.е. экзаменуемые либо не учитывали время нагревания бруска до температуры плавления, либо вообще не помнили формулу для удельной теплоты плавления, оперируя с температурой плавления.

Задания линии 13 оценивали умение определять направление векторных величин: вектора магнитной индукции тока, силы Ампера и силы Лоренца. В среднем результат выполнения заданий этой линии в 2021 г. составил 56%, что ниже показателя прошлого года – 61%. Это связано с тем, что наиболее простые задания на определение направления силы Кулона в этом году не использовались. Затруднения вызвали две серии заданий (см. примеры ниже).

Пример 12 (средний процент выполнения – 45)

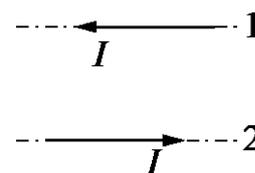
Протон p имеет скорость \vec{v} , направленную вдоль прямого длинного проводника с током I (см. рисунок). Куда направлена относительно рисунка (вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя) действующая на протон сила Лоренца \vec{F} ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: _____ вверх _____.

Пример 13 (средний процент выполнения – 44)

Как направлена относительно рисунка (*вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя*) сила Ампера, действующая на проводник 1 со стороны проводника 2 (см. рисунок), если проводники тонкие, длинные, прямые, параллельные друг другу? (I – сила тока.) Ответ запишите словом (словами).



Ответ: _____ вверх _____.

В обеих сериях заданий необходимо было знать, как взаимодействуют сонаправленные и противоположно направленные проводники с током. Порядка 20% участников экзамена указали ответ «вниз», т.е. ошиблись с направлением силы, верно определив прямую, вдоль которой она действует. В примере с движением протона ошибка состояла в определении направления тока. Конечно, в процессе обучения необходимо полностью разбирать механизм возникновения силы Ампера (или силы Лоренца) в подобных случаях, т.е. направление магнитного поля вокруг проводника с током и применение правила левой руки для определения направления действия силы, но в случае таких простых заданий не стоит забывать об использовании простейшего правила взаимодействия токов.

Анализ и объяснение явлений и процессов

Умения анализировать и объяснять протекание различных физических явлений и процессов проверялись в экзаменационной работе заданиями на соответствие (изменение величин) и на множественный выбор (двух верных утверждений из пяти предложенных). В каждом экзаменационном варианте встречалось по 3 задания на определение характера изменения физических величин в различных процессах: по механике, по электродинамике и квантовой физике. Средний процент выполнения этих линий заданий по механике составил 70, по электродинамике – 59, по квантовой физике – 63.

К проблемным можно отнести две группы заданий на анализ изменения физических величин (см. примеры ниже).

Пример 14 (средний процент выполнения – 34)

В первом опыте частица массой m , несущая заряд q , движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиусом R со скоростью v . Во втором опыте та же частица движется в том же магнитном поле по окружности большего радиуса. Как при переходе от первого опыта ко второму изменились кинетическая энергия частицы и период её обращения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

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

Кинетическая энергия частицы	Период её обращения
1	3

В этом задании 35% экзаменуемых смогли верно указать увеличение кинетической энергии частицы, поняв, что увеличение радиуса движения частицы в магнитном поле связано с ростом ее скорости, а значит, и кинетической энергии. А вот тот факт, что период обращения частицы в магнитном поле не зависит от скорости ее движения, знают

(или могут получить соответствующую формулу) лишь 24% от общего числа участников, выполнивших данный вариант.

Пример 15 (средний процент выполнения – 41)

На металлическую пластинку направили пучок света от лазера, вызвав фотоэффект. Интенсивность лазерного излучения плавно уменьшают, не меняя его длины волны. Как изменятся в результате этого модуль запирающего напряжения и максимальная скорость фотоэлектронов?

Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

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

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.

<i>Модуль запирающего напряжения</i>	<i>Максимальная скорость фотоэлектронов</i>
3	3

Почти 44% участников экзамена указали в этом задании ответы 23 и 32, продемонстрировав тот факт, что они не понимают связи между модулем запирающего напряжения и максимальной кинетической энергией фотоэлектронов (а значит, и максимальной скоростью). Но при этом понимают, что изменение интенсивности падающего излучения не должно влиять на характеристики фотоэлектронов. Остальные же указали на изменение обеих величин, т.е. продемонстрировали непонимание законов фотоэффекта.

Задания на множественный выбор по механике, молекулярной физике и электродинамике относились к повышенному уровню сложности. Результаты выполнения показывают, что эти группы заданий можно отнести к освоенным. При этом средние результаты по темам: по механике – 60%; по молекулярной физике – 69%; по электродинамике – 58%. При общих хороших результатах можно отметить группы заданий, для которых процент для 2 баллов оказался существенно ниже, чем для других групп (зависимость силы трения, действующей на тело на наклонной плоскости, от угла наклона плоскости к горизонту, и задание из примера 16).

Пример 16

Мальчик поднимает вверх гирю массой 10 кг, действуя на неё постоянной силой 120 Н, направленной вертикально вверх. Из приведённого ниже списка выберите два правильных утверждения.

- 1) *Если мальчик приложит к гире направленную вертикально вверх силу 90 Н, он не сможет её поднять.*
- 2) *Гиря действует на руку мальчика с силой 100 Н, направленной вниз.*
- 3) *Вес гири равен 120 Н и направлен вверх.*
- 4) *Равнодействующая сил, действующих на гирю, равна 240 Н и направлена вверх.*
- 5) *Ускорение гири равно 2 м/с².*

Ответ:

1	5
---	---

В этом задании утверждение 1 выбрали 85% выпускников, верно соотнеся силу тяжести, действующую на гирию, и величину предложенной силы. А утверждение 5 указали лишь 14% участников экзамена. Основной ошибкой был выбор утверждения 2 (49% экзаменуемых), т.е. непонимание или неверное применение третьего закона Ньютона.

Элементы астрофизики в КИМ проверялись линией 24 заданий на множественный выбор двух утверждений из пяти предложенных. Здесь предлагались задания на базе таблиц с характеристиками планет или звезд и на базе диаграммы Герцшпрунга–Рессела. Затруднения возникли лишь при работе с таблицей с характеристиками планет, в которой необходимо было сравнивать объемы планет (по заданному диаметру) и длительность суток на разных планетах (средний процент выполнения составил 46). В среднем по этой линии заданий результаты оказались сравнимы с прошлым годом – 59% (в 2020 г. – 58%).

Методологические умения

Каждый вариант содержал два задания базового уровня сложности, которые были направлены на оценку методологических умений.

Задание 22 проверяло умение записывать показания измерительных приборов с учетом заданной погрешности измерений. В тексте задания либо указывалось, что погрешность равна цене деления прибора, либо предлагалось конкретное значение абсолютной погрешности. Средний процент выполнения этой линии заданий в этом году составил 72. Если сравнивать результаты выполнения отдельных групп заданий, то несколько хуже участники экзамена справляются с заданиями, в которых представлены не рисунки или фото отдельных шкал приборов, а фотографии установки, содержащие два различных прибора (например, вольтметр и амперметр, термометр и манометр). В этом случае часть обучающихся затрудняется верно выбрать указанный прибор.

Второе задание из этого блока проверяло умение выбирать оборудование для проведения опыта по указанной цели опыта (измерение какой-либо величины) или гипотезе исследования (зависимости одной физической величины от другой). Предлагались модели заданий с выбором двух строк таблицы, в которых предлагались характеристики экспериментальной установки, или двух предметов из перечня оборудования. Во втором случае (для косвенных измерений) процент выполнения оказался немного выше. В целом же средний процент выполнения заданий этой линии составил 79.

Решение задач

В каждом экзаменационном варианте предлагалось по 8 задач по разным темам школьного курса физики. Две расчетные задачи повышенного уровня сложности предлагались в виде заданий с кратким ответом, а одна – с развернутым ответом. На позиции 25 преимущественно стояла задача по молекулярной физике; на позиции 26 – в основном задачи по оптике, а на позиции 28 – задача по механике. Средний процент выполнения заданий с кратким ответом составил 37,5, а решения задачи по механике с развернутым ответом – 36.

Среди заданий с кратким ответом на молекулярную физику наиболее успешно были решены задачи на уравнение теплового баланса. Наиболее сложной оказалась задача, приведенная в примере 17.

Пример 17

Идеальный одноатомный газ находится в сосуде с жесткими стенками объемом $0,6 \text{ м}^3$. При охлаждении его давление снизилось на $3 \cdot 10^3 \text{ Па}$. На сколько уменьшилась внутренняя энергия газа?

Ответ: на _____ $2,7$ _____ кДж.

Лишь 27% участников экзамена смогли верно указать ответ в этом задании (с учетом ответа, представленного не только в килоджоулях, но и в джоулях). Примерно 13% допустили ошибку в формуле для внутренней энергии, опустив коэффициент $3/2$. А остальные, очевидно, не справились с ситуацией, когда вместо привычного изменения объема при постоянном давлении предлагалась обратная ситуация.

Среди заданий по оптике предлагались сюжеты на расчет изображений в линзах и на дифракционную решетку. Из задач с использованием линз самыми сложными оказались те, в условии которых приводилось значение увеличения предмета (см. пример ниже).

Пример 18 (средний процент выполнения –20)

Линза с фокусным расстоянием $F = 0,5$ м даёт на экране изображение предмета, увеличенное в 5 раз. Каково расстояние от предмета до линзы?

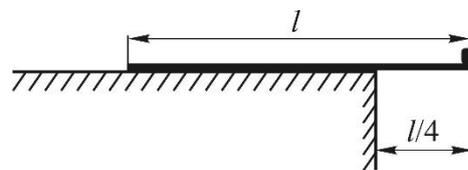
Ответ: _____ 0,6 _____ м.

В заданиях на применение формулы для дифракционной решетки предлагалось определить количество дифракционных максимумов, которые можно наблюдать при помощи данной решетки. К сожалению, большинство выпускников указывало в ответе максимальный порядок спектра, часть удваивала это число, забывая про нулевой максимум. В среднем лишь 37% смогли дать верные ответы для этих несложных задач.

Среди задач по механике с развернутым ответом самой сложной оказалась задача по статике (см. пример 19).

Пример 19

Деревянная линейка длиной $l = 60$ см выдвинута за край стола на $1/4$ часть своей длины. При этом она не опрокидывается, если на её правом конце лежит груз массой не более 250 г (см. рисунок). На какое расстояние можно выдвинуть вправо за край стола эту линейку, если на её правом конце лежит груз массой 125 г?



Основные затруднения здесь – в непонимании сил, действующих на линейку в этих случаях, и математических ошибках в определении плеч сил (прежде всего плеча силы тяжести линейки). При максимальной массе груза, который неподвижен относительно линейки, сила реакции стола действует на линейку только по краю стола. Уравнение моментов для первого случая относительно оси вращения, проходящей через край стола перпендикулярно плоскости рисунка: $Mg(l/4) = m_1g(l/4)$. Для второго случая относительно оси вращения, проходящей через край стола перпендикулярно плоскости рисунка: $Mg((l/2) - x) = m_2gx$, где x – расстояние, на которое выдвинута линейка за край стола. Соответственно, получаем ответ, равный 20 см.

Средний результат решения качественных задач составил 18%. При этом самые высокие результаты достигнуты для задач на движение заряженной частицы в скрещенных магнитном и электрическом полях (21%), на нагревание воды электрическими нагревателями с различным подключением спиралей нагревателей (25%) и на сравнение работы электрических цепей постоянного тока, включающих в себя диоды (25%). Наиболее сложной оказалась задача, приведенная ниже.

Пример 20

Три параллельных длинных прямых проводника 1, 2 и 3 расположены на одинаковом расстоянии a друг от друга (см. рисунки 1 и 2). В каждом проводнике протекает электрический ток силой I . Токи во всех проводниках текут в одном направлении. Определите направление результирующей силы, действующей на проводник 1 со стороны проводников 2 и 3. Сделайте рисунок, указав в области проводника 1 вектора магнитной индукции полей, созданных проводниками 2 и 3, вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля и вектор результирующей силы. Ответ поясните, опираясь на законы электродинамики.

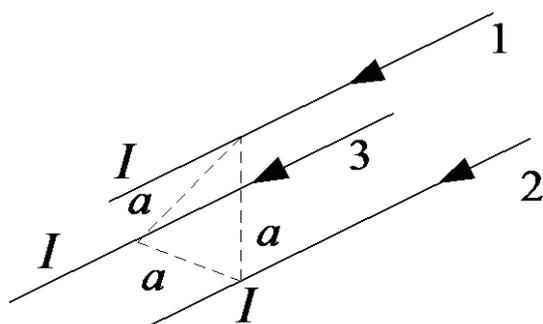


Рис. 1

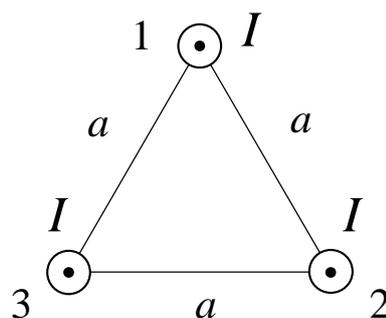


Рис. 2

Здесь полное правильное решение включает в себя указание направления результирующей силы (в данном случае вертикально вниз) и верные рассуждения с прямым указанием картины линий индукции магнитного поля длинного проводника с током, принципа суперпозиции магнитных полей, правила буравчика, правила левой руки. Типичной ошибкой было неверное указание направления вектора магнитной индукции (по касательной к окружности), т.е. ошибка, скорее, относилась к области геометрии, дальше все рассуждения оказывались неверными. Кроме того, в большинстве работ отсутствовало указание на принцип суперпозиции полей.

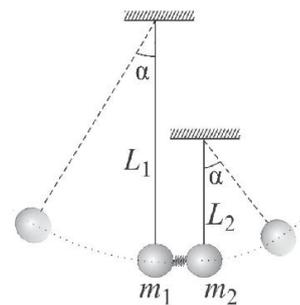
Следует обратить внимание на задачи такого типа. В дальнейшем планируется перевести задания линии 13 на определение направлений вектора напряженности электрического поля, силы Ампера и силы Лоренца в задания с развернутым ответом (качественные задачи). Результаты выполнения этих заданий говорят о том, что в практике преподавания необходимо не ограничиваться устным выполнением заданий, аналогичных тем, что предлагаются в линии 13, а разбирать эти задания пошагово, определяя направление всех необходимых величин и указывая на законы и правила, на основании которых делается выбор.

Средний процент решения расчетных задач высокого уровня сложности – 16. При этом лучший результат достигнут для задач по электродинамике (23%), по остальным же разделам средние проценты выполнения примерно одинаковы (13–14).

В линии 29 одной из наиболее сложных оказалась задача, приведенная в примере 21.

Пример 21

Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз. В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Во сколько раз одна нить



длиннее другой, если отношение масс $\frac{m_2}{m_1} = 1,5$? Считать

величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.

Здесь 5% экзаменуемых справились с решением задачи, либо получив полностью верный ответ, либо допустив незначительные огрехи в математической части задачи. Как правило, все приступившие к решению задачи верно записывали закон сохранения импульса после пережигания нити и распрямления пружины. А вот на следующем этапе вместо использования закона сохранения энергии участники экзамена пытались применить методы динамики, зачастую заменяя колебательное движение равномерным движением по окружности. Очевидно, целесообразно при изучении механических колебаний более подробно рассматривать изменения кинематических характеристик тела по мере его движения.

Среди заданий по молекулярной физике традиционно наиболее успешно решались задачи на тепловой баланс и КПД теплового двигателя. Существенные затруднения традиционно вызвали задачи на влажность воздуха. Пример такой задачи приведен ниже.

Пример 22

В закрытом сосуде при температуре $100\text{ }^\circ\text{C}$ находится влажный воздух с относительной влажностью 60% под давлением 100 кПа. Объем сосуда изотермически уменьшили в 2,5 раза. Во сколько раз надо вместо этого увеличить абсолютную температуру без изменения объема сосуда, чтобы получить такое же конечное давление? Объемом сконденсировавшейся воды пренебречь.

В этой задаче первоначально необходимо было разобраться со степенью изотермического сжатия, при которой пар станет насыщенным, и учесть при этом, что при $100\text{ }^\circ\text{C}$ давление насыщенного водяного пара равно нормальному атмосферному давлению. А затем определить начальные и конечные парциальные давления сухого воздуха, воспользовавшись законами Дальтона и Бойля – Мариотта. Во втором случае при нагревании влажного воздуха без изменения объема водяной пар будет оставаться ненасыщенным, а значит, влажный воздух можно считать идеальным газом с постоянным количеством вещества, и для изохорного нагревания можно применить закон Шарля.

Среди задач по электродинамике успешно решались задачи на движение заряженной частицы в магнитном поле при предварительном разгоне в электрическом поле (22%), на определение мощности, выделяющейся в резисторе, с использованием данных графика (30%), на движение проводника с током по горизонтальной поверхности в магнитном поле (49%). Более сложными оказались задачи на равновесие капельки ртути в электрическом поле плоского конденсатора, на движение проводника с током по наклонной плоскости в магнитном поле и на сравнение мощности, выделяемой в реостате при разных положениях ползунка (в среднем 10%).

На последней позиции во всех вариантах предлагалась задача по квантовой физике. Наиболее сложными здесь ожидаемо оказались задачи на отражение фотонов (см. пример ниже).

Пример 23

Монохроматическое рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 1,1 \cdot 10^{-10}$ м падает по нормали на пластинку и создаёт давление $P = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Па. При этом 70% фотонов отражаются, а остальные проходят сквозь пластинку. Определите концентрацию фотонов в пучке падающего излучения. Рассеянием и поглощением излучения пренебречь. Считать, что фотоны в пучке распределены равномерно.

При взаимодействии излучения с пластинкой фотоны, проходящие через нее, не оказывают давления на пластинку. Отраженные фотоны передают пластинке импульс, равный по модулю суммарному изменению импульсов всех отраженных фотонов. Лишь 2% от общего числа приступивших к решению этой задачи смогли верно записать все исходные уравнения и определить число фотонов, падающих на пластинку за некоторое время. Очевидно, тема «Давление света» в профильных классах изучается недостаточно качественно. Следует более детально останавливаться на случаях взаимодействия фотонов с поверхностью в случаях полного поглощения, отражения и прохождения фотонов через среду и, соответственно, возникающем давлении в каждом из этих случаев.

Для характеристики результатов выполнения работы группами экзаменуемых с различным уровнем подготовки выделяется четыре группы. В качестве границы между группами 1 и 2 выбирается минимальная граница положительной оценки (36 тестовых баллов). Все экзаменуемые, не достигшие минимальной границы, попали в группу с самым низким уровнем подготовки. Группа 2 соответствует диапазону от минимальной границы до 60 баллов, в первичных баллах это соответствует выполнению заданий базового уровня сложности. Далее следует группа с результатами от 61 до 80 баллов. В этом диапазоне баллов необходимо показать устойчивое выполнение заданий повышенного уровня сложности. Для группы высокобалльников (результаты от 81 до 100 баллов) характерно наличие системных знаний и овладение комплексными умениями.

На рисунке 3 представлена диаграмма, демонстрирующая распределение по группам подготовки в 2021 г. в сравнении с предыдущим годом.



Рис. 3

На рисунке 4 показаны результаты выполнения заданий с кратким и развернутым ответами участниками экзамена с разными уровнями подготовки.

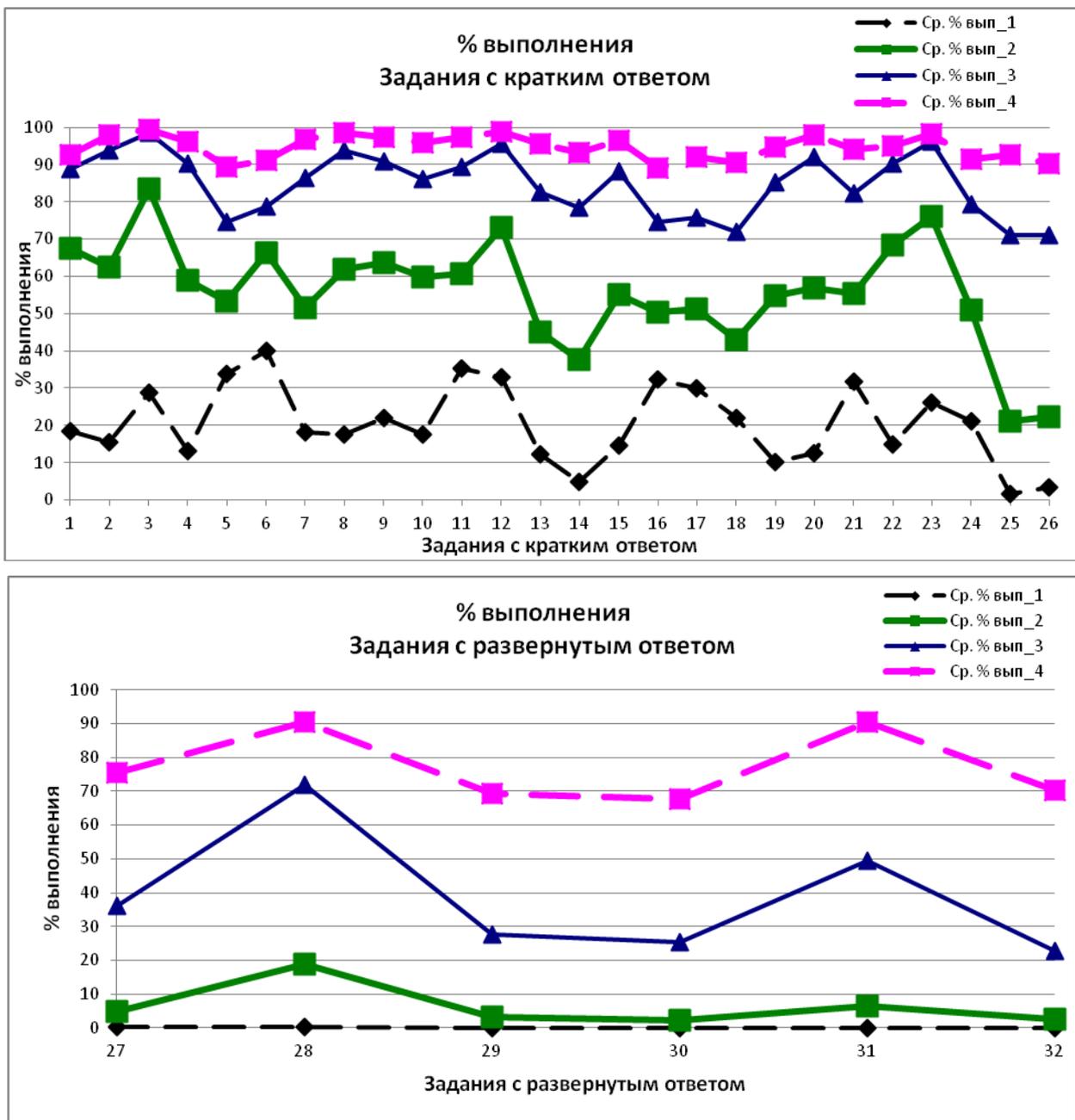


Рис. 4

Участники из **группы 1** (не преодолевшие минимального балла) по уровню подготовки получили по итогам выполнения экзаменационной работы от 0 до 10 первичных баллов. Данная группа не продемонстрировала освоения каких-либо элементов содержания и овладения какими-либо проверяемыми умениями. Средний процент выполнения заданий базового уровня составил для этой группы 22, повышенного уровня – 15. Более успешно выполняются задания базового уровня на применение наиболее значимых законов и формул: на применение второго закона Ньютона, закона сохранения энергии к свободному падению тел; на расчет силы упругости, кинетической энергии тела; на сравнение импульсов тел, импульсов фотонов. Ниже приведен пример задания, с которым справляется около 50% выпускников из данной группы.

Пример 24

Отношение модуля скорости автокрана к модулю скорости легкового автомобиля

$$\frac{v_1}{v_2} = 0,3, \text{ а отношение их масс } \frac{m_1}{m_2} = 6. \text{ Каково отношение модуля импульса автокрана}$$

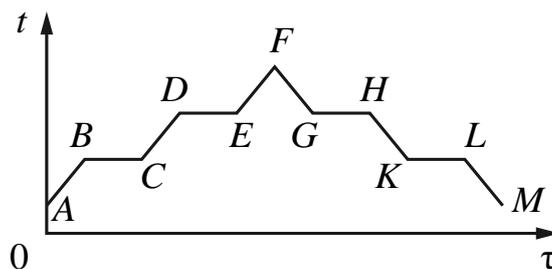
к модулю импульса легкового автомобиля?

Ответ: _____1,8_____.

Группа 2 (с результатами в диапазоне 36–60 баллов) самая многочисленная, к ней относятся обучающиеся, получившие от 11 до 31 первичного балла. Результаты выполнения заданий базового уровня составили в среднем 59%; для заданий повышенного уровня этот показатель – 33%, для заданий высокого уровня сложности – 3,5%. Таким образом, данная группа в целом демонстрирует освоение содержания курса физики средней школы на базовом уровне сложности. Среди заданий базового уровня результаты ниже уровня освоения зафиксированы для линии заданий на определение направлений векторов (сила Ампера и сила Лоренца), применение закона Ома для участка цепи со смешанным соединением проводников, совместное применение закона Кулона и закона сохранения энергии, а также заданий на определение соответствий величин и формул, по которым их можно рассчитать. Ниже приведен пример задания, с которым справляется немногим более половины данной группы экзаменуемых.

Пример 25

В цилиндре под поршнем находилось твёрдое вещество. Цилиндр поместили в печь. Сначала цилиндр нагревали, а в некоторый момент начали охлаждать. На рисунке схематично показан график изменения температуры t вещества с течением времени τ .



Установите соответствие между участками графика и процессами, отображаемыми этими участками.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

УЧАСТКИ ГРАФИКА

ПРОЦЕССЫ

- А) KL
- Б) GH

- 1) конденсация
- 2) кристаллизация
- 3) нагревание пара
- 4) кипение

Ответ:

А	Б
2	1

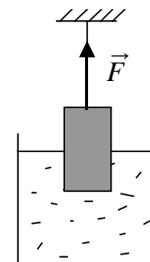
Основным дефицитом для данной группы является решение задач: средний процент выполнения задач повышенного уровня сложности составляет всего 15.

Группу 3 составляют выпускники, набравшие по результатам экзамена от 32 до 42 первичных баллов (61–80 тестовых баллов). Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 87, повышенного уровня – 70, высокого уровня – 31. От предыдущей группы эту группу отличает успешное выполнение всех линий заданий базового уровня, а также освоение курса физики на уровне выполнения всех линий заданий повышенного уровня. Стабильные результаты (71%) демонстрируются для расчетных задач повышенного уровня как с кратким, так и развернутым ответом. Ниже

приведен пример расчетной задачи повышенного уровня, средний процент выполнения которой для данной группы составляет около 70.

Пример 26

Однородный цилиндр объёмом $4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ подвешен на нити и наполовину погружён в воду. Какова плотность материала цилиндра, если сила натяжения нити $F = 3 \text{ Н}$?

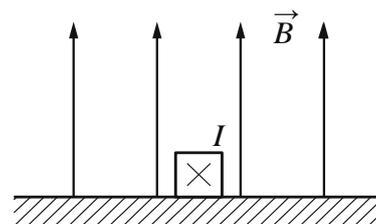


Данная группа не освоила решение расчетных задач высокого уровня сложности, демонстрируя частичное решение с ошибками в основных уравнениях либо с неверной трактовкой физической модели, необходимой для решения задачи.

Группа 4, высокобалльники, набрала по результатам выполнения экзаменационной работы от 43 до 53 первичных баллов (81–100 тестовых баллов). Для данной группы характерно освоение всех элементов содержания и всех проверяемых способов действий. Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 95, повышенного уровня – 89, высокого уровня – 74. Ниже приведен пример задачи высокого уровня сложности, с которой справляется примерно 90% данной группы выпускников.

Пример 27

На горизонтальном столе лежит прямой проводник длиной 60 см и массой 40 г. В области стола создано однородное вертикальное магнитное поле. На рисунке показаны сечение проводника, направление тока и вектор магнитной индукции. Если через проводник пропускать достаточно большой ток, то проводник скользит по столу, двигаясь поступательно. Какова индукция магнитного поля, если при силе тока 10 А проводник движется равномерно? Коэффициент трения между проводником и поверхностью стола равен 0,3. Сделайте схематичный рисунок с указанием сил, действующих на проводник.



Дополнительно к предыдущей группе освоены умения решать различные качественные задачи, выстраивая рассуждения с опорой на изученные законы и свойства физических явлений, и решать расчетные задачи высокого уровня сложности по всем разделам школьного курса физики.

КИМ ЕГЭ по физике в 2022 г. будут существенно изменены в связи с необходимостью перехода на экзаменационную модель, отвечающую требованиям федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования (далее – ФГОС). Изменение содержания оценки в условиях введения ФГОС связано с переходом на деятельностный подход, который характеризуется переориентацией КИМ ЕГЭ на проверку предметных результатов, выраженных в деятельностной форме. Следовательно, экзаменационная модель ЕГЭ по физике призвана обеспечивать валидность по отношению к оценке предметных результатов обучения в новых условиях.

Экзаменационная модель КИМ ЕГЭ по физике разрабатывалась, исходя из необходимости оценки того, насколько обучающиеся овладели всеми основными группами предметных результатов обучения по курсу физики средней школы. В КИМ включены задания, проверяющие следующие группы предметных результатов:

- применение изученных понятий, моделей, величин и законов для описания физических процессов;
- анализ физических процессов и явлений с использованием необходимых физических величин в рамках изученных теоретических положений, законов;
- методологические умения (проводить измерения и исследования зависимостей физических величин, ставить опыты по проверке предложенных гипотез, анализировать результаты исследований);
- умение решать качественные и расчетные задачи различных типов.

Большая группа заданий базового и повышенного уровней направлена на проверку освоения понятийного аппарата курса физики. При этом задания строятся преимущественно на применении понятий, моделей, величин или законов в различных ситуациях. Среди заданий базового уровня появились задания интегрированного характера, для выполнения которых необходимо привлечь знания из разных разделов курса физики.

Поскольку на ЕГЭ по физике в силу технологических сложностей невозможно использовать лабораторное оборудование, то овладение методологическими умениями проверяется при помощи модельных заданий теоретического характера. Эти задания оценивают отдельные приемы проведения измерений и исследования зависимостей физических величин.

Расширен блок заданий, посвященных оценке умения решать качественные и расчетные задачи по физике. При этом изменились и формы заданий (во всех заданиях теперь требуется дать развернутый ответ), и требования к решению задач. В этом блоке предлагаются задания как с явно заданной физической моделью, так и более сложные с неявно заданной моделью. Сформированность предметного результата проверяется в процессе выполнения целого комплекса действий: выбор на основании анализа условия физической модели, отвечающей требованиям задачи; применение формул, законов, закономерностей и постулатов физических теорий при использовании математических методов решения задач; проведение расчетов на основании имеющихся данных; анализ результатов и корректировка методов решения с учетом полученных результатов.

Работа с информацией физического содержания проверяется опосредованно через использование в текстах заданий различных способов представления информации: текст, графики, схемы, рисунки, таблицы.

Содержание заданий охватывает все разделы курса физики средней школы, количество заданий по каждому из разделов примерно пропорционально учебному времени, отводимому на его изучение.

Экзаменационная модель ЕГЭ, отвечающая требованиям ФГОС, преемственна по отношению к экзаменационным моделям прошлых лет. Эта преемственность состоит в сохранении следующих групп заданий: на применение физических законов и закономерностей, на проведение измерений и опытов и решение задач. Таким образом, сохранены задания базового уровня с кратким ответом в виде числа, задания на соответствие (анализ процессов и установление соответствия физических величин и формул, по которым им можно определить), задания на изменение физических величин в различных процессах, а также качественная задача с развернутым ответом и расчетные задачи высокого уровня сложности с развернутым ответом.

КИМ ЕГЭ по физике в 2022 г. состоят из двух частей и содержат 30 заданий, различающихся формой и уровнем сложности. Часть 1 работы проверяет умения анализировать физические процессы и явления и применять при их описании законы и формулы, а также оценивает элементарные методологические умения. Часть 2 полностью посвящена решению задач.

В экзаменационной работе контролируются элементы содержания из всех разделов (тем) курса физики: *механика* (кинематика, динамика, статика, законы сохранения в механике, механические колебания и волны); *молекулярная физика* (молекулярно-кинетическая теория, термодинамика); *электродинамика и основы СТО* (электростатика, постоянный ток, магнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитные колебания и волны, оптика, основы СТО); *квантовая физика* (корпускулярно-волновой дуализм, физика атома, физика атомного ядра). Количество заданий по каждому из разделов может меняться от варианта к варианту в зависимости от тематики заданий по проверке методологических умений и тематики задач из части 2 варианта.

В КИМ представлены задания разных уровней сложности: 19 заданий базового, 7 заданий повышенного и 4 задания высокого уровня. Задания базового уровня проверяют овладение предметными результатами на наиболее значимых элементах содержания курса физики, входящих в содержание как базового, так и углубленного курса физики. Все задания базового уровня сосредоточены в части 1 работы. Задания повышенного уровня сложности проверяют способность обучающихся действовать в ситуациях, в которых нет явного указания на способ выполнения, и необходимо выбрать этот способ из набора известных учащемуся или сочетать два-три известных способа действий. Задания повышенного уровня распределены между частями 1 и 2 работы. Задания высокого уровня сложности проверяют способность обучающихся решать задачи, в которых нет явного указания на способ выполнения и необходимо сконструировать способ решения, комбинируя известные обучающемуся способы. Максимальный балл за выполнение всех заданий базового уровня составляет 48% от максимального балла за всю работу, а заданий повышенного и высокого уровней – 52%.

Максимальный первичный балл за выполнение всех заданий работы составляет 54. Общее время выполнения работы не изменилось и равно 235 мин.

Часть 1 экзаменационной работы включает в себя 23 задания с кратким ответом. Среди них:

- 11 заданий с кратким ответом, в которых необходимо записать ответ в виде числа;
- 4 задания на множественный выбор, в которых нужно выбрать все верные утверждения из пяти предложенных;
- 8 заданий на соответствие, в которых необходимо установить соответствие между двумя группами объектов или процессов на основании выявленных причинно-следственных связей.

Задания с кратким ответом в виде числа оценивают умение применять изученные законы и физические величины при описании различных физических процессов. Задания с кратким ответом в виде набора цифр проверяют умение анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики.

В начале варианта предлагаются две новые модели задания базового уровня сложности: линия 1 и линия 2. В линии 1 используются задания на множественный выбор интегрированного характера, проверяющие понимание основных теоретических положений из всех разделов курса физики. Утверждения в задании относятся к разным разделам курса физики: № 1 – к механике, № 2 – к молекулярной физике, № 3 и № 4 – к электродинамике и № 5 – к квантовой физике. Как правило, два утверждения описывают формулы, а три утверждения посвящены основным постулатам, принципам и свойствам процессов и явлений. Ниже приведен пример такого задания.

Пример 28

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

- 1) Кинетическая энергия тела увеличивается прямо пропорционально скорости движения тела.*
- 2) В процессе плавления постоянной массы вещества его внутренняя энергия увеличивается.*
- 3) При протекании постоянного электрического тока по проводнику количество теплоты, выделяющееся в нём за одно и то же время, возрастает пропорционально квадрату силы тока.*
- 4) При изменении магнитного потока через площадку, охваченную замкнутым проводящим контуром, магнитное поле индукционного тока в контуре всегда увеличивает магнитный поток через эту площадку.*
- 5) При альфа-распаде заряд ядра уменьшается на 4 элементарных положительных заряда.*

Ответ: _____23_____.

Для выполнения задания необходимо хорошо ориентироваться в формулировке всех законов и закономерностей, указанных в кодификаторе ЕГЭ по физике, и знать основные свойства явлений и процессов, изученных в курсе физики.

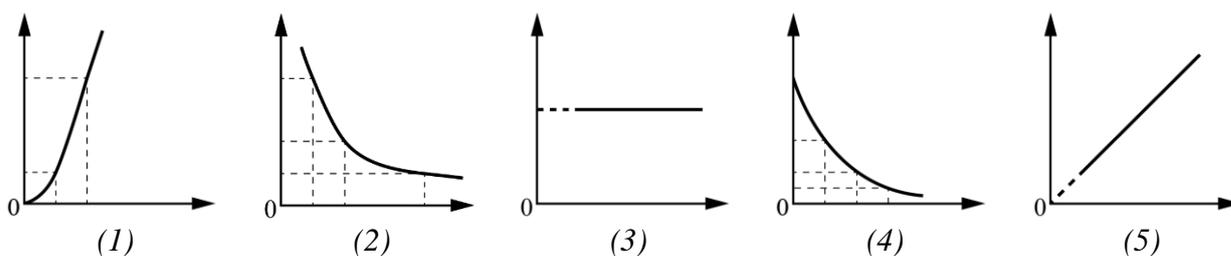
В линии 2 используются задания на соответствие интегрированного характера, проверяющие понимание графических закономерностей. Здесь для трех зависимостей из разных разделов курса физики необходимо из пяти схематичных графиков выбрать те, которые отвечают указанным зависимостям физических величин. Пример задания этой линии приведен ниже.

Пример 29

Даны следующие зависимости величин:

- А) зависимость средней кинетической энергии поступательного теплового движения частиц газа от его абсолютной температуры
- Б) зависимость энергии электрического поля конденсатора в идеальном колебательном контуре от напряжения между обкладками конденсатора
- В) зависимость модуля импульса фотона от длины волны

Установите соответствие между этими зависимостями и видом графиков, обозначенных цифрами 1–5. Для каждой зависимости А–В подберите соответствующий вид графика и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



Ответ:

А	Б	В
5	1	2

Залогом успешного выполнения задания является знание всех законов и формул из кодификатора и умение представлять их в графическом виде.

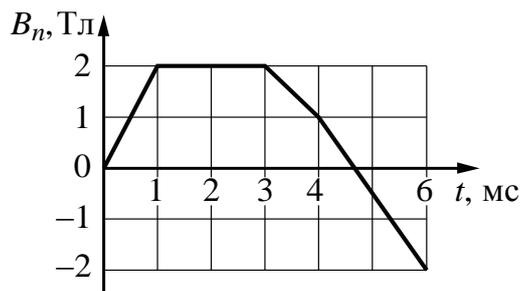
Далее в части 1 представлены блоки заданий по четырем разделам курса физики: 6 заданий по механике, 5 заданий по молекулярной физике, 6 заданий по электродинамике и 2 задания по квантовой физике. В начале каждого блока идут задания с кратким ответом в виде числа, построенные на содержании одной или нескольких тем раздела. Например, в блоке по электродинамике задания линии 14 включают в себя материал тем «Электростатика» и «Постоянный ток», линии 15 – тем «Магнитное поле» и «Электромагнитная индукция», линии 16 – тем «Электромагнитные колебания и волны» и «Оптика».

Далее в блоке идут задания с кратким ответом в виде набора цифр, которые могут конструироваться на материале любых тем данного раздела, но при этом в одном варианте тематически эти задания, как правило, относятся к разным темам. В блоки по механике и электродинамике включено по 3 таких задания: на множественный выбор, на анализ изменения величин в физических процессах и на соответствие (между величинами и графиками или формулами). В блоке по молекулярной физике предлагается два задания: на множественный выбор и на изменение величин (или соответствие). В блоке по квантовой физике только одно задание: либо на изменение величин, либо на соответствие.

По сравнению с 2021 г. изменена форма заданий на множественный выбор: вместо выбора двух из пяти указанных утверждений предлагается выбрать все верные утверждения. При этом верных утверждений может быть либо два, либо три. Такие задания располагаются в КИМ 2022 г. на линиях 6, 12 и 17. Для их выполнения необходимо провести всесторонний анализ какого-либо процесса. Пример такого задания приведен ниже.

Пример 30

Проволочная рамка площадью 30 см^2 помещена в однородное магнитное поле. Проекция B_n индукции магнитного поля на нормаль к плоскости рамки изменяется во времени t согласно графику на рисунке. Из приведённого ниже списка выберите **все** верные утверждения о процессах, происходящих в рамке.



- 1) Скорость изменения магнитного потока через рамку максимальна в интервале времени от 0 до 1 мс.
- 2) Магнитный поток через рамку в интервале времени от 1 до 3 мс равен 4 мВб.
- 3) Модуль ЭДС индукции в рамке в интервале времени от 4 до 6 мс равен 4,5 В.
- 4) Модуль ЭДС индукции в рамке минимален в интервале времени от 4 до 6 мс.
- 5) Модуль ЭДС индукции в рамке максимален в интервале времени от 0 до 1 мс.

Ответ: 135

Независимо от количества верных утверждений ответ на задание оценивается в 2 балла, если верно указаны все элементы верного ответа; в 1 балл, если допущена одна ошибка или дополнительно к верным элементам указан один неверный; в 0 баллов, если два элемента указаны неверно. Если в ответе дополнительно к верным указано два и более неверных элементов (или ответ отсутствует), – 0 баллов.

В конце части 1 предлагаются 2 задания на проверку методологических умений, которые в КИМ 2022 г. оставлены без изменений по сравнению с прошлым годом. При выполнении задания 22 необходимо определить показания измерительного прибора, представленного на фотографии, а в задании 23 – выбрать из предоставленного перечня оборудование для проведения исследования по заданной в условии гипотезе.

Часть 2 работы содержит 7 заданий с развернутым ответом, в которых необходимо представить решение задачи или ответ в виде объяснения с опорой на изученные явления или законы. Максимальный балл за решение задач составляет 37% от максимального балла за всю работу.

На позиции 24 стоит качественная задача по молекулярной физике или электродинамике, ее решение оценивается максимально 3 баллами. На позициях 27, 28 и 29 находятся расчетные задачи по молекулярной физике и электродинамике, которые также оцениваются в 3 балла. Эти задания не изменились по сравнению с предыдущей экзаменационной моделью.

На позициях 25 и 26 предлагаются расчетные задачи повышенного уровня сложности по механике и квантовой физике соответственно. Они оцениваются максимально в 2 балла. Пример такой задачи по квантовой физике приведен ниже.

Пример 31

Электрическая лампа мощностью 60 Вт испускает каждую секунду $1 \cdot 10^{19}$ фотонов. Определите среднюю длину волны излучения лампы, если её коэффициент полезного действия равен 5%.

Возможное решение

Коэффициент полезного действия лампы $\eta = \frac{E}{tP}$, где $\frac{E}{t}$ – энергия излучаемых фотонов в единицу времени, P – мощность лампы. Энергия фотона определяется по формуле $E_{\Phi} = \frac{hc}{\lambda}$. Следовательно, $\frac{E}{t} = nE_{\Phi} = \frac{nhc}{\lambda}$, где n – число фотонов, каждую секунду испускаемых лампой.

Проведя преобразования, для длины волны излучаемого света получим:

$$\lambda = \frac{nhc}{\eta P} = \frac{10^{19} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,05 \cdot 60} = 660 \text{ нм.}$$

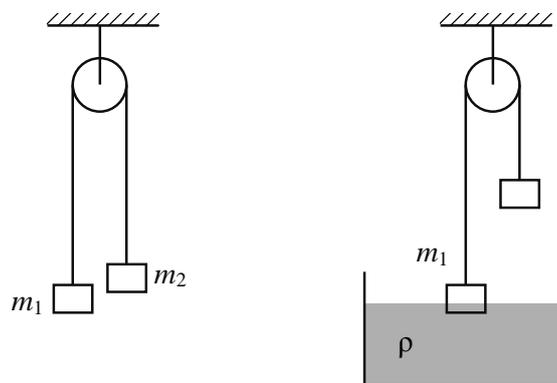
Ответ: $\lambda = 660 \text{ нм.}$

Критерии оценивания решения этих задач остались без изменения. Однако необходимо еще раз обратить внимание на то, что требования к полному верному ответу для этих задач не отличаются от требований к расчетным задачам высокого уровня сложности. Они предполагают обязательную запись в общем виде физических законов и формул, применение которых необходимо для решения задачи; описание всех вновь вводимых в решении буквенных обозначений физических величин; проведение математических преобразований и расчетов и представление ответа с указанием единиц измерения искомой величины. При этом не допускается решения без записи исходных формул. Ошибка хотя бы в одной из них приводит к оцениванию 0 баллов.

В конце варианта представлена новая модель задания (позиция 30) – задание с развернутым ответом высокого уровня сложности, представляющее собой расчетную задачу с неявно заданной физической моделью, в которой требуется привести обоснование выбранной модели и используемых для решения законов и формул. Ниже приведен ряд примеров таких задач с обоснованием выбора физической модели и развернутым решением.

Пример 32

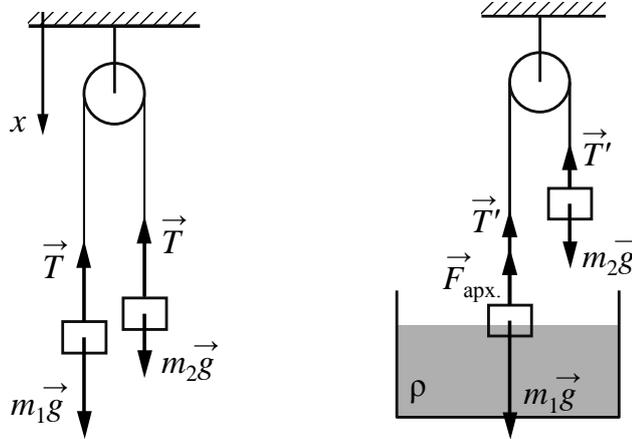
Два груза подвешены за нерастяжимую и невесомую нить к идеальному блоку, как показано на рисунке. При этом первый груз массой $m_1 = 500 \text{ г}$ движется из состояния покоя вниз с ускорением a . Если первый груз опустить в жидкость с плотностью $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, находящуюся в сосуде большого объема, система будет находиться в равновесии. При этом объем погруженной в жидкость части груза $V = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. Определите ускорение a первого груза.



Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.

Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Направим ось x декартовой системы координат вертикально вниз.
2. Грузы будем считать материальными точками независимо от их размеров, так как они движутся поступательно. На рисунках показаны силы, действующие на грузы в обоих случаях.

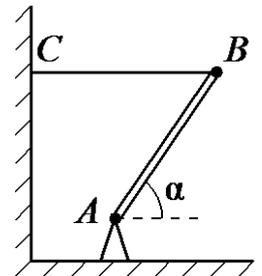


3. Учтено, что нить невесома, блок идеальный (нить скользит по нему без трения), поэтому можно считать $T_1 = T_2 = T$. Так как нить нерастяжима, а грузы движутся прямолинейно, то ускорения тел $a_1 = a_2 = a$.

4. Во втором случае система находится в равновесии за счёт появления силы Архимеда, действующей на погружённую в воду часть груза m_1 . Поэтому сумма проекций на ось x сил, действующих на каждый из грузов, будет равна нулю.

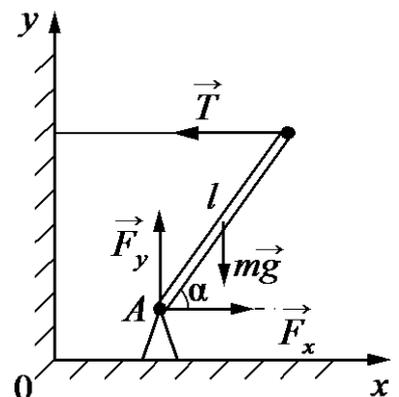
Пример 33

Тонкий однородный стержень AB шарнирно закреплён в точке A и удерживается горизонтальной нитью BC (см. рисунок). Трение в шарнире пренебрежимо мало. Масса стержня $m = 1$ кг, угол его наклона к горизонту $\alpha = 45^\circ$. Найдите модуль силы \vec{F} , действующей на стержень со стороны шарнира. Сделайте рисунок, на котором укажите все силы, действующие на стержень. Обоснуйте применимость использующихся законов к решению задачи.



Обоснование

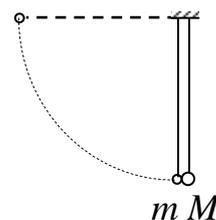
1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной (ИСО). Направим оси декартовой системы координат, как показано на рисунке.
2. Описываем стержень AB моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).
3. Любое движение твёрдого тела является суперпозицией поступательного и вращательного движения. Поэтому условий равновесия твёрдого тела в ИСО ровно два: одно для поступательного движения (сумма внешних сил равна нулю); другое – для вращательного движения (сумма



моментов внешних сил относительно оси вращения равна нулю).

Пример 34

Два шарика висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях (см. рисунок). Левый шарик отклоняют на угол 90° и отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Каким должно быть отношение масс



шариков $\frac{M}{m}$, чтобы в результате их абсолютно неупругого удара

половина кинетической энергии, которой обладал левый шарик непосредственно перед ударом, перешла в тепло? Обоснуйте применимость использующихся законов к решению задачи.

Обоснование

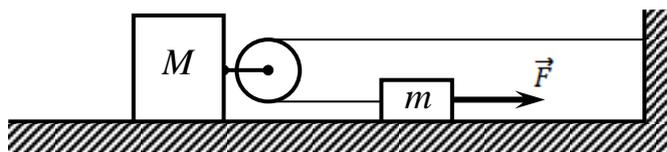
1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной (ИСО).
2. Шарик m и M описываем моделью материальной точки, так как их размеры малы по сравнению с длинами нитей.
3. При движении шарика m по окружности от начального положения до столкновения шариков на него действуют потенциальная сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити \vec{T} (сопротивлением воздуха пренебрегаем). Сила \vec{T} направлена по нити, то есть по радиусу окружности, а скорость \vec{v} шарика m направлена по касательной к окружности. Поэтому в любой точке траектории шарика $\vec{T} \perp \vec{v}$ и работа силы \vec{T} при движении шарика от начального положения до места столкновения шариков равна нулю. Следовательно, при этом движении сохраняется механическая энергия шарика m :

$$E_{\text{мех}} = \frac{mv^2}{2} + mgh.$$

4. Закон сохранения импульса системы тел выполняется в ИСО в проекциях на выбранную ось, если сумма проекций внешних сил на эту ось равна нулю. В данном случае выбранную ось направим горизонтально вправо, по направлению скорости шарика m перед столкновением. При столкновении все внешние силы, действующие на систему тел «шарик m + шарик M » (силы тяжести $m\vec{g}$ и $M\vec{g}$, а также силы натяжения нитей), вертикальны. Следовательно, в ИСО проекция импульса системы «шарик m + шарик M » на горизонтальную ось сохраняется при их столкновении.

Пример 35

Грузы $M = 2$ кг и $m = 1$ кг связаны нерастяжимой невесомой нитью, перекинутой через идеальный блок, прикрепленный к грузу M . Отрезки нити, не касающиеся блока, горизонтальны и параллельны друг другу (см. рисунок). Грузы находятся на гладкой горизонтальной плоскости. Каково



ускорение a_1 груза M , когда к грузу m приложена сила \vec{F} , модуль которой $F = 3$ Н? Сила направлена вдоль нити. Обоснуйте применимость использующихся законов к решению задачи.

Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной.
2. Грузы будем считать материальными точками независимо от их размеров, так как они движутся поступательно.
3. Из п. 1 и 2 следует, что движение грузов можно описывать вторым законом Ньютона.
4. Нить невесома, блок идеальный (нить скользит по нему без трения), поэтому модуль T силы натяжения нити во всех её точках один и тот же.
5. Блок идеальный (масса блока пренебрежимо мала), поэтому из второго закона Ньютона следует, что модуль T_1 силы, с которой груз M действует на блок, вдвое больше T .
6. По третьему закону Ньютона со стороны блока на груз M действует сила \vec{F}_1 , модуль которой $F_1 = T_1$.
7. Грузы движутся прямолинейно. При этом если груз M под действием натянутой нити сдвинется относительно стола вправо на Δx , то верхний отрезок нити укоротится на Δx , а нижний удлинится на Δx , так как нить нерастяжима. В результате груз m сдвинется вправо относительно груза M с блоком на Δx , а относительно стола – на $2\Delta x$. Таким образом, перемещение груза m всегда вдвое больше перемещения груза M . Отсюда следует, что и скорость груза m в любой момент времени вдвое больше скорости груза M . При прямолинейном движении грузов из этого следует, что и ускорение груза m в любой момент времени вдвое больше ускорения груза M .

Максимальный балл за решение задачи линии 30 составляет 4 балла. При этом используется два независимых критерия оценивания: на 1 и 3 балла.

Первый критерий направлен на оценивание только обоснования выбора физической модели (см. ниже).

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей)	1
В обосновании возможности использования законов (закономерностей) допущена ошибка.	0
ИЛИ	
Обоснование отсутствует	

Так, например, для задачи из примера 32 в обосновании необходимо указать следующие элементы: выбор инерциальной системы отсчета, рисунок с указанием сил и условия равенства сил натяжения нити и ускорений грузов. Критерий на 3 балла полностью соответствует системе оценивания других расчетных задач высокого уровня сложности.

Методическую помощь учителям и обучающимся при подготовке к ЕГЭ могут оказать материалы с сайта ФИПИ (www.fipi.ru):

- документы, определяющие структуру и содержание КИМ ЕГЭ 2022 г.;
- открытый банк заданий ЕГЭ;
- учебно-методические материалы для председателей и членов региональных предметных комиссий по проверке выполнения заданий с развернутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ;
- Методические рекомендации на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ прошлых лет;

- Методические рекомендации для учителей по преподаванию учебных предметов в образовательных организациях с высокой долей обучающихся с рисками учебной неуспешности. Физика (<https://fipi.ru/metodicheskaya-kopilka/metod-rekomendatsii-dlya-slabyx-shkol#!/tab/223974643-3>);
- Журнал «Педагогические измерения»;
- Youtube-канал Рособнадзора (видеоконсультации по подготовке к ЕГЭ 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 гг.).

Основные характеристики экзаменационной работы ЕГЭ 2021 г. по ФИЗИКЕ

Анализ надежности экзаменационных вариантов по физике подтверждает, что качество разработанных КИМ соответствует требованиям, предъявляемым к стандартизированным тестам учебных достижений. Средняя надежность (коэффициент альфа Кронбаха)¹ КИМ по физике – 0,91.

Обозначение задания в работе	Проверяемые элементы содержания	Коды элементов содержания по кодификатору элементов содержания	Коды проверяемых умений	Уровень сложности задания	Максимальный балл за выполнение задания	Средний процент выполнения
Часть 1						
1	Равномерное прямолинейное движение, равноускоренное прямолинейное движение, движение по окружности	1.1.3–1.1.8	1, 2.1–2.4	Б	1	71,3
2	Законы Ньютона, закон всемирного тяготения, закон Гука, сила трения	1.2.1, 1.2.3–1.2.6, 1.2.8, 1.2.9	1, 2.1–2.4	Б	1	69,4
3	Закон сохранения импульса, кинетическая и потенциальные энергии, работа и мощность силы, закон сохранения механической энергии	1.4.1–1.4.8	1, 2.1–2.4	Б	1	84,6
4	Условие равновесия твердого тела, закон Паскаля, сила Архимеда, математический и пружинный маятники, механические волны, звук	1.3.1–1.3.5, 1.5.1–1.5.5	1, 2.1–2.4	Б	1	66,1
5	Механика (<i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i>)	1.1–1.5	2.4	П	2	60,0
6	Механика (<i>изменение физических величин в процессах</i>)	1.1–1.5	2.1	Б	2	69,6
7	Механика (<i>установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i>)	1.1–1.5	1, 2.4	Б	2	61,1
8	Связь между давлением и средней кинетической энергией, абсолютная температура, связь температуры со средней кинетической энергией, уравнение Менделеева – Клапейрона, изопроцессы	2.1.6–2.1.10, 2.1.12	1, 2.1–2.4	Б	1	69,1

¹ Минимально допустимое значение надежности теста для его использования в системе государственных экзаменов равно 0,8.

9	Работа в термодинамике, первый закон термодинамики, КПД тепловой машины	2.2.6, 2.2.7, 2.2.9, 2.2.10	1, 2.1–2.4	Б	1	70,0
10	Относительная влажность воздуха, количество теплоты	2.1.13, 2.1.14, 2.2.1–2.2.5, 2.2.11	1, 2.1–2.4	Б	1	65,9
11	МКТ, термодинамика (<i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i>)	2.1, 2.2	2.4	П	2	68,5
12	МКТ, термодинамика (<i>изменение физических величин в процессах; установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i>)	2.1, 2.2	1, 2.4	Б	2	77,7
13	Принцип суперпозиции электрических полей, магнитное поле проводника с током, сила Ампера, сила Лоренца, правило Ленца (<i>определение направления</i>)	3.1.2, 3.1.4, 3.1.6, 3.3.1–3.3.4, 3.4.5	1, 2.1–2.4	Б	1	55,5
14	Закон сохранения электрического заряда, закон Кулона, конденсатор, сила тока, закон Ома для участка цепи, последовательное и параллельное соединение проводников, работа и мощность тока, закон Джоуля – Ленца	3.1.1, 3.1.2, 3.1.5, 3.1.9, 3.1.11, 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.7–3.2.9	1, 2.1–2.4	Б	1	49,3
15	Поток вектора магнитной индукции, закон электромагнитной индукции Фарадея, индуктивность, энергия магнитного поля катушки с током, колебательный контур, законы отражения и преломления света, ход лучей в линзе	3.4.1, 3.4.3, 3.4.4, 3.4.6, 3.4.7, 3.5.1, 3.6.2–3.6.4, 3.6.6–3.6.8	1, 2.1–2.4	Б	1	63,3
16	Электродинамика (<i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i>)	3.1–3.6	2.4	П	2	58,1
17	Электродинамика (<i>изменение физических величин в процессах</i>)	3.1–3.6	2.1	Б	2	58,9
18	Электродинамика и основы СТО (<i>установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i>)	3.1–3.6, 4.1–4.3	1, 2.4	Б	2	52,2
19	Планетарная модель атома. Нуклонная модель ядра. Ядерные реакции.	5.2.1, 5.3.1, 5.3.4, 5.3.6	1.1	Б	1	62,1
20	Фотоны, линейчатые спектры, закон радиоактивного распада	5.1.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.5	2.1	Б	1	65,2

21	Квантовая физика (<i>изменение физических величин в процессах; установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i>)	5.1–5.3	2.1 2.4	Б	2	63,2
22	Механика – квантовая физика (<i>методы научного познания</i>)	1.1–5.3	2.5	Б	1	72,2
23	Механика – квантовая физика (<i>методы научного познания</i>)	1.1–5.3	2.5	Б	1	79,1
24	Элементы астрофизики: Солнечная система, звезды, галактики	5.4.1–5.4.4	2.4	Б	2	58,8
Часть 2						
25	Молекулярная физика, электродинамика (<i>расчетная задача</i>)	2.1, 2.2, 3.1–3.6	2.6	П	1	37,8
26	Электродинамика, квантовая физика (<i>расчетная задача</i>)	3.1–3.6 5.1–5.3	2.6	П	1	37,8
27	Механика – квантовая физика (<i>качественная задача</i>)	1.1–5.3	2.6, 3	П	3	17,9
28	Механика, молекулярная физика (<i>расчетная задача</i>)	1.1–1.5 2.1, 2.2	2.6	П	2	35,6
29	Механика (<i>расчетная задача</i>)	1.1–1.5	2.6	В	3	14,5
30	Молекулярная физика (<i>расчетная задача</i>)	2.1, 2.2	2.6	В	3	13,3
31	Электродинамика (<i>расчетная задача</i>)	3.1–3.6	2.6	В	3	23,0
32	Электродинамика, квантовая физика (<i>расчетная задача</i>)	3.1–3.6 5.1–5.3	2.6	В	3	13,2