



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

М.Ю. Демидова, В.А. Грибов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для учителей, подготовленные
на основе анализа типичных ошибок
участников ЕГЭ 2023 года**

по ФИЗИКЕ

Москва, 2023

В контрольные измерительные материалы ЕГЭ-2023 по физике были включены задания, оценивающие уровень освоения основных предметных результатов и элементов содержания школьного курса физики в соответствии с ФГОС СОО. Группы заданий КИМ проверяли: применение изученных понятий, моделей, величин и законов для описания физических процессов; анализ физических процессов и явлений с использованием изученных физических величин, законов и теоретических положений; методологические умения по снятию показаний приборов и выбору оборудования для проведения опытов; умение решать качественные и расчетные задачи разных уровней сложности по всем разделам курса физики.

КИМ ЕГЭ по физике 2023 г. состоял из двух частей и включал в себя 30 заданий, различающихся формой и уровнем сложности. Часть 1 содержала 23 задания с кратким ответом (в виде числа, на множественный выбор и на соответствие). Часть 2 содержала 7 заданий с развёрнутым ответом, объединённых общим видом деятельности – решение задач. В экзаменационных вариантах были представлены задания разных уровней сложности: 19 заданий базового, 7 заданий повышенного и 4 задания высокого уровня. Задания базового уровня проверяли овладение предметными результатами на наиболее значимых элементах содержания курса физики, входящих в содержание как базового, так и углубленного курсов физики. Все эти задания были включены в часть 1 работы. Задания повышенного уровня сложности были распределены между частями 1 и 2 работы и оценивали умения анализировать различные физические процессы и решать несложные задачи. Задания высокого уровня сложности предлагались в конце части 2 варианта, представляли собой расчётные задачи и проверяли умение конструировать способ решения, комбинируя известные учащемуся способы. Максимальный балл за выполнение всех заданий базового уровня составляет 48%, а заданий повышенного и высокого уровней – 52% от максимального балла за всю работу.

Каждый экзаменационный вариант включал в себя задания, разработанные на базе элементов 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» (электростатика, постоянный ток, магнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитные колебания и волны, оптика); «Квантовая физика» (корпускулярно-волновой дуализм, физика атома, физика атомного ядра).

В начале варианта были представлены блоки заданий по четырём 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 предлагались задания с кратким ответом в виде числа, затем задания на множественный выбор утверждений и задания на соответствие. После тематических блоков были включены 2 задания интегрированного характера: на понимание сведений теоретического характера и на узнавание графиков различных физических законов и формул. В конце части 1 предлагались два задания на проверку методологических умений: определение показаний измерительного прибора, представленного на фотографии, и выбор оборудования для проведения исследования по заданной в условии гипотезе. Максимальный балл за выполнение заданий части 1 работы составлял 63% от максимального балла.

Часть 2 работы включала в себя 7 заданий с развёрнутым ответом, в которых необходимо было представить решение задачи или ответ в виде объяснения с опорой на изученные явления или законы. Здесь были представлены три задачи повышенного уровня сложности: одна качественная задача и две расчётные задачи повышенного уровня, а также четыре задания высокого уровня сложности – расчётные задачи. При решении качественной задачи необходимо было привести рассуждения о физических процессах с указанием используемых в объяснении законов, формул или свойств явлений. Умение решать расчётные задачи оценивалось на основании выполнения комплекса действий: выбор на основании анализа условия задачи физической модели, отвечающей

требованиям условия; применение формул, законов, закономерностей и постулатов физических теорий при использовании математических методов решения задач; проведение расчётов на основании имеющихся данных, анализ результатов и корректировка методов решения с учётом полученных результатов. Максимальный балл за решение задач составлял 37% от максимального балла за всю работу.

Умение работать с информацией физического содержания проверяется опосредованно через использование в текстах заданий различных способов представления информации: текста, графиков, схем, рисунков.

Структура и содержания КИМ ЕГЭ-2023 по сравнению с экзаменационной моделью 2022 г. в КИМ не изменились. Задания интегрированного характера на проверку теоретических положений и на распознавание графиков зависимостей физических величин были перенесены из начала варианта (позиции 1 и 2) на позиции 20 и 21.

Максимальный первичный балл за выполнение всех заданий работы составлял 54. Общее время выполнения работы – 235 мин.

Число участников основного периода ЕГЭ по физике в 2023 г. составило 92 286 человек.

Средний балл ЕГЭ по физике 2023 г. составил 54,62 и остался на уровне прошлого года. Распределение участников экзамена по тестовым баллам и, соответственно, по уровням подготовки продемонстрировало небольшое возрастание доли выпускников с повышенным (61–80 баллов) и высоким (81–100 баллов) уровнями подготовки.

Минимальный балл ЕГЭ по физике в 2023 г., как и в 2022 г., составил 36 тестовых баллов, что соответствует 10 первичным баллам. В 2023 г. доля участников экзамена, не преодолевших минимального балла, составила 6,18%, что сопоставимо с аналогичными показателями прошлых лет (в 2022 г. – 6,31%; в 2021 г. – 6,37%).

Максимальный тестовый балл в 2023 г. набрали 193 участника экзамена, что существенно выше показателя прошлого года (103 человека).

В 2023 г. доля участников экзамена, набравших 81–100 баллов, составила 9,09%, что немного выше показателя прошлого года.

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

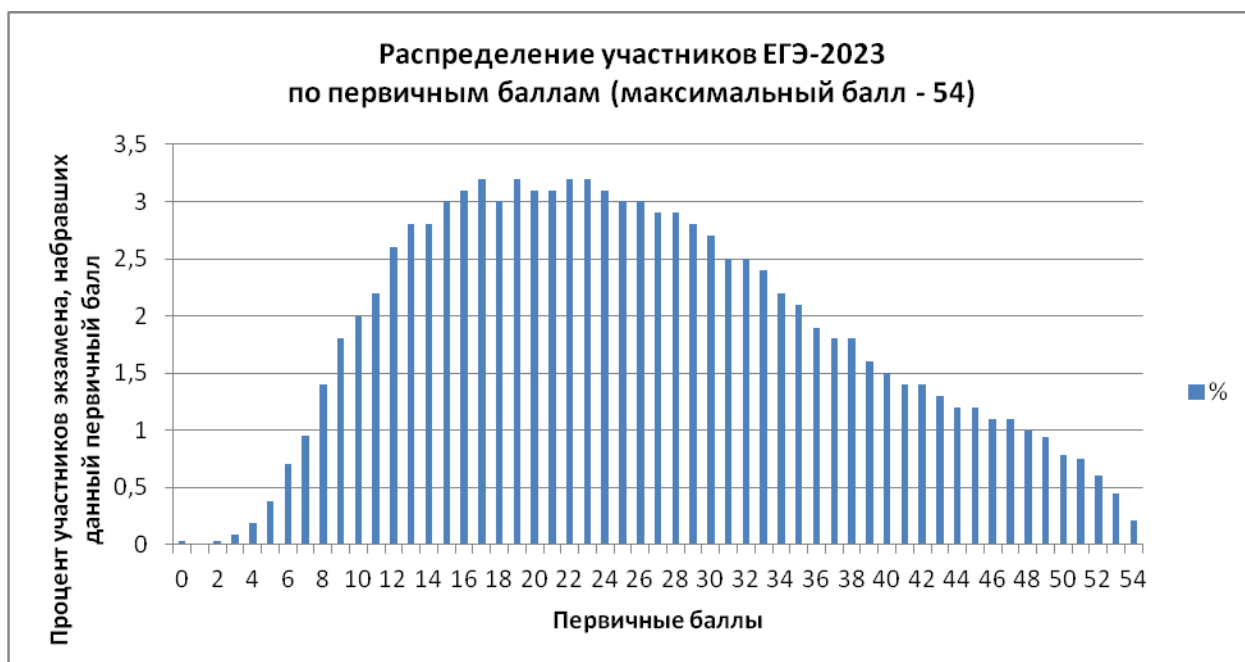


Рис. 1

Ниже представлены общие результаты выполнения экзаменационной работы по трём направлениям: для групп заданий по разным тематическим разделам; для групп заданий, проверяющих сформированность различных способов действий, и для групп заданий разных уровней сложности.

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

Таблица 1

Раздел курса физики	Средний % выполнения по группам заданий	
	2022 г.	2023 г.
Механика	57,4	58,5
Молекулярная физика	58,1	59,1
Электродинамика	48,6	55,5
Квантовая физика	58,2	47,5

Результаты по механике и молекулярной физике незначительно превышают показатели прошлого года. Существенно возросли результаты по электродинамике. Более низкие по сравнению с предыдущим периодом результаты по квантовой физике объясняются различиями в содержании КИМ 2022 и 2023 гг. Если в прошлом году расчётная задача по квантовой физике предлагалась на повышенном уровне сложности, то в этом году по этому разделу в КИМ была включена расчётная задача высокого уровня сложности. Это и привело к снижению среднего результата, хотя для заданий базового уровня сложности части 1 работы отмечены сопоставимые с прошлым годом результаты.

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

Таблица 2

Способ действий	Средний % выполнения по группам заданий	
	2022 г.	2023 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	66,8	67,6
Анализ и объяснение явлений и процессов	60,9	65,7
Методологические умения	75,9	77,3
Решение задач	22,0	19,6

На уровне прошлого года продемонстрированы результаты выполнения заданий на применение законов и формул в типовых учебных ситуациях и на оценку методологических умений. Значимо улучшились результаты выполнения заданий, особенно заданий на множественный выбор по механике и электродинамике, в которых требуется интегрированный анализ физических процессов, и заданий интегрированного содержания, проверяющих базовые теоретические положения курса физики. По-прежнему наблюдается снижение результатов решения задач, что фиксируется в течение нескольких последних лет.

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	Средний % выполнения для групп с различным уровнем подготовки			
		Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Базовый уровень	67,9	20,5	61,6	89,6	95,8
Повышенный уровень	50,0	11,9	34,8	71,8	89,4
Высокий уровень	14,3	0,03	2,7	29,0	74,1

По сравнению с прошлым годом на прежнем уровне зафиксированы результаты выполнения заданий базового уровня. Наблюдается существенный рост показателей для заданий повышенного уровня сложности, в том числе и несложных расчётных задач части 2 работы. Вместе с тем снижены результаты для заданий высокого уровня сложности, к которым относятся расчётные задачи с развёрнутым ответом в конце варианта.

Анализ результатов выполнения заданий участниками с различным уровнем подготовки показывает чёткую дифференциацию групп участников экзамена по успешности выполнения заданий разных уровней сложности. По сравнению с прошлым годом показатели групп 1 и 2 для заданий всех уровней сложности остались на прежнем уровне. Для групп 3 и 4 характерно снижение результатов для заданий высокого уровня сложности (в 2022 г. для группы 3 – 33,6%, для группы 4 – 77,5%). Для группы 2 участников характерно освоение курса физики только на базовом уровне, группа 3 показывает освоение предметных результатов и элементов содержания как на базовом, так и на повышенном уровнях сложности. Высокобалльники демонстрируют успешное выполнение заданий всех уровней сложности.

На рис. 2 приведена диаграмма средних процентов выполнения по каждой линии заданий для экзаменационной работы 2023 г.



Рис. 2

Исходя из общепринятых норм, содержательный элемент и умение считаются усвоенными, если средний процент выполнения соответствующей им группы заданий с кратким и развёрнутым ответами превышает 50%. По результатам выполнения групп заданий, проверяющих одну и ту же группу предметных результатов и построенных на

близких элементах содержания, можно говорить об усвоении следующих умений и элементов содержания:

- определять скорость равномерного движения по графику зависимости пути от времени, ускорение по графику зависимости проекции скорости от времени;
- вычислять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: центростремительное ускорение тела; второй закон Ньютона, принцип суперпозиции сил; закон всемирного тяготения; сила трения; жёсткость пружины (по графику зависимости силы упругости от деформации); закон сохранения механической энергии; импульс тела, закон сохранения импульса; 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; относительная влажность воздуха, давление насыщенного пара; КПД тепловой машины; закон Кулона; заряд, протекающий через поперечное сечение проводника; закон Ома; энергия магнитного поля катушки с током; сила Лоренца; закон Фарадея; закон отражения света; закон радиоактивного распада;
- устанавливать соответствие физических величин, характеризующих процессы, и формул, по которым их можно рассчитать: движение тела по наклонной плоскости, торможение автомобиля, изменение агрегатных состояний вещества, ток в цепях постоянного тока, энергия и импульс фотонов; устанавливать соответствие между процессами излучения и поглощения света атомом и энергетическими переходами;
- интерпретировать графики, отражающие зависимость физических величин, характеризующих равномерное и равноускоренное движение тела, движение тела, брошенного под углом к горизонту, движение тела по наклонной плоскости под действием силы трения;
- определять изображения в собирающей линзе, состав атома, атомного ядра и массовое и зарядовое числа ядер в ядерных реакциях;
- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: свободное падение; колебания пружинного маятника; движение спутников; плавание тел; изменение параметров газов в изопротессе; изменение агрегатных состояний вещества; цикл Карно; зарядка и разрядка конденсатора; преломление света; явление фотоэффекта; бета-распад;
- проводить комплексный анализ физических процессов: равноускоренное движение, представленное в виде графиков; равномерное и равноускоренное движение, представленное в виде графика зависимости координаты от времени; движение искусственных спутников; колебания математического маятника; гидростатическое давление в баке при равноускоренном движении; установление теплового равновесия в газах; изменение агрегатных состояний вещества; изменение относительной влажности воздуха; поле равномерно заряженной плоскости; возникновение ЭДС самоиндукции в катушке индуктивности; возникновение индукционного тока в проводнике, электромагнитные колебания в контуре;
- воспроизводить основные теоретические сведения по всем разделам курса физики: определения понятий и физических величин, формулировки законов, зависимости физических величин, описание физических моделей, свойства процессов и явлений;
- узнавать схематичный вид графиков зависимостей физических величин из всех разделов курса физики;
- записывать показания измерительных приборов (динамометра, барометра, амперметра, вольтметра) с учётом погрешности измерений;
- выбирать недостающее оборудование для проведения косвенных измерений и экспериментальную установку для проведения исследования.

К дефицитам можно отнести группы заданий, которые контролировали умения:

- определять путь по графику зависимости проекции скорости от времени при равноускоренном движении;
- определять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: магнитный поток, потенциальная энергия упруго деформированной пружины маятника, частота электромагнитных колебаний в контуре, частота фотонов;
- анализировать изменения характера физических величин для движения частицы в магнитном поле;
- устанавливать соответствие между графиками квантовых процессов и соответствующей зависимостью;
- устанавливать соответствие физических величин, характеризующих процессы, и формул, по которым их можно рассчитать: ток в цепях постоянного тока с последовательным и параллельным соединением проводников;
- проводить комплексный анализ физических процессов: изопроцессы в идеальном газе, представленные при помощи графика; взаимодействие неподвижных заряженных тел; электростатическая индукция;
- записывать показания измерительных приборов (манометра) с учётом погрешности измерений;
- решать расчётные задачи повышенного уровня сложности;
- решать качественные задачи;
- решать расчётные 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 экзаменационные варианты было включено 10 заданий базового уровня с кратким ответом в виде числа, которые проверяли понимание основных законов и формул курса физики средней школы. Для всех линий этих заданий в среднем продемонстрирован уровень освоения умения. Рассмотрим результаты выполнения этих заданий по каждому из тематических разделов.

Средний процент выполнения заданий на применение формул в стандартных ситуациях по механике составил 70,5, что немного выше, чем в прошлом году (67%). Здесь наиболее успешно выполнены группы заданий на применение закона сохранения энергии при свободном падении тел, применение формулы для силы трения и закона Гука с использованием соответствующих графиков, сравнение импульсов тел, применение формулы для определения скорости звука. Более сложными, но вполне посильными оказались задания на нахождение равнодействующей силы (сложение векторов), применение закона всемирного тяготения, сравнение периодов и частот колебаний при помощи графиков. Как и в прошлом году, существенные трудности вызвали задания на применение формулы для гармонических колебаний (см. пример ниже).

Пример 1 (средний процент выполнения – 37)

Пружинный маятник расположен на гладкой горизонтальной плоскости. Смещение груза этого пружинного маятника меняется относительно положения равновесия с течением времени по закону $x = A \cos \frac{2\pi}{T} t$, где период $T = 0,8$ с. Через какое минимальное время, начиная с момента $t = 0$, потенциальная энергия деформации пружины маятника примет минимальное значение?

Ответ: через _____ 0,2 _____ с.

В начальный момент времени смещение маятника равно амплитуде колебаний. Следовательно, минимальное значение смещение примет через четверть периода, когда маятник будет находиться в положении равновесия.

Для заданий по молекулярной физике результаты в целом несколько ниже, чем в прошлом году – 68,3% (в 2022 г. – 75%). Здесь можно отметить высокий уровень усвоения таких элементов содержания, как определение удельной теплоемкости по графику зависимости температуры вещества от переданного или отданного количества теплоты, основное уравнение МКТ, уравнение состояния идеального газа, определение работы по pV -диаграмме, первый закон термодинамики, КПД тепловой машины. Трудности отмечены для заданий на проверку формулы зависимости средней кинетической энергии теплового движения молекул от температуры и для группы заданий, пример одного из которых приведён ниже.

Пример 2 (средний процент выполнения – 44)

Горизонтальный цилиндрический сосуд с гладкими стенками разделён подвижным поршнем на две части. В одной части сосуда находится неон, в другой – аргон. Определите отношение средних кинетических энергий теплового движения молекул неона и аргона $\frac{E_n}{E_a}$, если поршень покоится,

а отношение концентраций газов $\frac{n_n}{n_a} = \frac{1}{3}$.

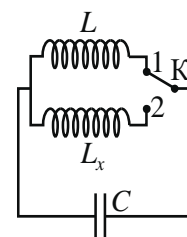
Ответ: _____ 3 _____.

В равновесном состоянии поршень находится в покое, следовательно, давление неона и аргона одинаково. Поскольку $p = nkT$, а отношение концентраций газов задано в условии, то для равенства давлений отношение температур должно быть равно 3. Поскольку средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газов прямо пропорциональна абсолютной температуре, то и искомое отношение энергий также равно 3. Это рассуждение с привлечением двух известных формул необходимо было провести для выполнения задания.

Среди заданий по электродинамике средний процент выполнения выше 70% отмечен для групп заданий по проверке зависимости силы тока от заряда, протекающего по проводнику, для расчёта общего сопротивления цепей с последовательно и параллельно соединёнными резисторами, для сравнения сил Ампера, действующих на проводник, и сил Лоренца, действующих на заряды в магнитном поле, а также для заданий на определение изображения в собирающей линзе. Традиционно затруднения вызывают задания на сравнение периода колебаний в колебательном контуре при изменении индуктивности катушки; на определение ЭДС индукции в проводнике по графику зависимости силы тока от времени; на расчёт магнитного потока и энергии магнитного поля катушки с током. Пример одного из таких заданий приведён ниже.

Пример 3 (средний процент выполнения – 34)

Индуктивность катушки идеального колебательного контура $L = 0,1$ Гн. Какой должна быть индуктивность L_x катушки в контуре (см. рисунок), чтобы при переводе ключа K из положения 1 в положение 2 частота собственных электромагнитных колебаний в контуре уменьшилась в 3 раза?



Ответ: _____ 0,9 _____ Гн.

Такие задания давно используются в КИМ ЕГЭ, есть в открытом банке и различных сборниках для подготовки к экзамену. Очевидно, целесообразно уделить внимание пониманию электрической схемы, поскольку (как показывают результаты прошлых лет) формула Томсона хорошо знакома участникам экзамена.

В квантовой физике было всего одно задание на применение формул. И здесь результаты выполнения сильно различались в зависимости от тематики заданий. Так, для заданий на понимание строения атома и ядра продемонстрирован результат в 77%, для заданий на определение периода полураспада по закону радиоактивного распада – 61%. А вот с заданиями на сравнение частоты и длины волны фотонов для двух случаев справилось в среднем лишь около трети экзаменуемых.

Пример 4 (средний процент выполнения – 30)

При перестройке работы лазера мощность испускаемого им светового пучка уменьшилась в 3 раза, а энергия каждого испускаемого фотона возросла в 2 раза. Во сколько раз увеличилась при этом частота испускаемого лазером света?

Ответ: увеличилась в 2 раз(а).

Очевидно, что большинство участников экзамена, писавших эту группу вариантов, не понимает, что частота фотона определяется только его энергией. Мощность же светового пучка в данном случае определяется как числом фотонов, испускаемых в единицу времени, так и их энергией. В данном случае число испускаемых в единицу времени фотонов в результате перестройки сократилось в 6 раз.

Кроме заданий с кратким ответом в виде числа знание основных формул курса физики проверялось в некоторых группах вариантов заданиями на соответствие, в которых необходимо было установить соответствие между формулами для расчёта физических величин и названиями этих величин. Наиболее успешно были выполнены задания на узнавание формул для расчёта физических величин в цепях постоянного тока (см. пример ниже).

Пример 5 (средний процент выполнения – 85)

Установите соответствие между формулами для расчёта физических величин в цепях постоянного тока и названиями этих величин. В формулах использованы обозначения: P – мощность тока в резисторе; I – сила тока, протекающего через резистор; U – напряжение на резисторе; R – сопротивление резистора.

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

ФОРМУЛЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) $\frac{P}{I}$

1) мощность тока в резисторе

2) сопротивление резистора

3) напряжение на резисторе

Б) $\frac{U^2}{R}$

4) сила тока, протекающего через резистор

Ответ:

А	Б
3	1

В этом задании 78% участников правильно указали оба верных ответа, а 14% ошиблись в определении одной из величин.

В аналогичных группах заданий формулы для энергии и импульса фотонов правильно указывали 77% экзаменуемых; формулы, характеризующие торможение автомобиля на горизонтальной поверхности, – 80%; формулы, описывающие движение тела по наклонной плоскости, – 53%.

Понимание графиков зависимостей физических величин

В КИМ ЕГЭ по физике в каждом варианте встречается 6 – 8 заданий, в которых используются различные графические зависимости и проверяются различные умения по работе с графиками.

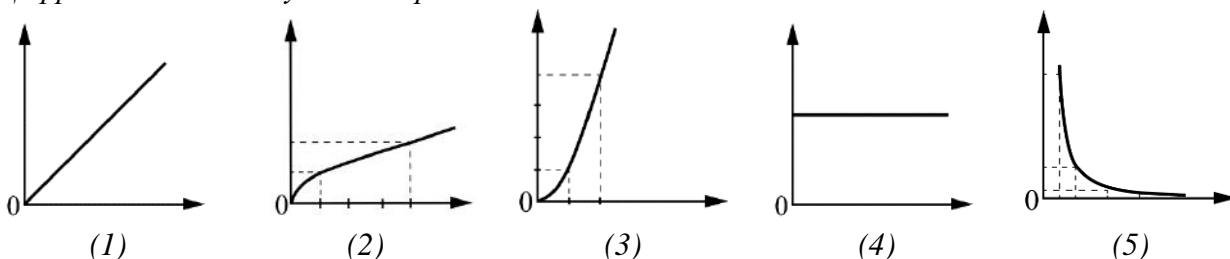
В КИМ 2023 г. была представлена отдельная линия заданий на распознавание графиков зависимостей физических величин. Все графики отражали те зависимости, которые входят в законы и формулы, включённые в кодификатор ЕГЭ по физике. Средний процент выполнения для этой линии заданий составил 49,6% – самый низкий результат из всех заданий части 1 экзаменационной работы. Пример задания на распознавание графиков приведён ниже.

Пример 6 (средний процент выполнения – 39)

Даны следующие зависимости величин:

- А) зависимость модуля сил гравитационного притяжения между точечными телами массой m каждое, от расстояния между ними;*
- Б) зависимость количества теплоты, выделяющегося при конденсации пара, находящегося при температуре кипения, от его массы;*
- В) зависимость сопротивления длинного цилиндрического никелинового проводника площадью поперечного сечения S от его длины.*

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



Ответ:

<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>
5	1	1

В этом задании 26% участников смогли верно указать все три графика, а еще 25% – только две из предложенных зависимостей, при этом чаще всего участники делали ошибку при распознавании графика для закона всемирного тяготения.

Анализ ответов на эти задания позволяет говорить о двух причинах неудач. Первая – это математические затруднения в распознавании схематичных графиков (путают обычную параболу с графиком $y \sim \sqrt{x}$, не узнают зависимости, соответствующие графику $y \sim \frac{1}{x^2}$, хотя в таких заданиях гиперболы, с которой можно было перепутать вид

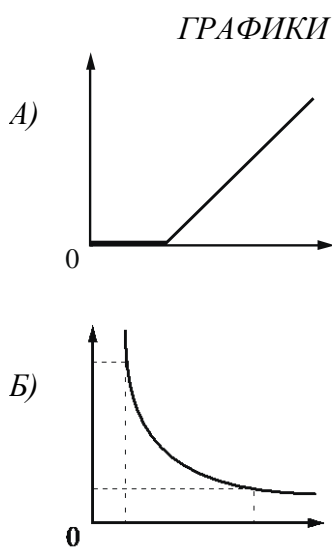
этого графика, не предлагалось). Вторая причина связана с плохим усвоением отдельных физических закономерностей, графики которых плохо распознавались, например: зависимость кинетической энергии от модуля импульса тела, зависимость магнитного потока через катушку индуктивности от силы тока через нее, зависимость модуля импульса фотона от его энергии, зависимость относительной влажности воздуха при данной температуре от плотности водяного пара при $\varphi < 100\%$.

Кроме новой линии заданий, умение соотносить графики и характеризующие процесс физические величины, зависимость которых от времени эти графики могут представлять, проверял ряд заданий на соответствие. Хочется отметить, что результаты выполнения этих заданий постепенно растут. Так, по механике для заданий на распознавание графиков для тела, брошенного вертикально вверх, средний результат выполнения составляет 69%; для тела, брошенного под углом к горизонту, – 73%; для тела, движущегося равноускоренно по наклонной плоскости, – 61%. Наиболее сложным здесь оказалось распознавание графиков для равноускоренного движения, заданного графиком зависимости координаты от времени, – 56%.

К сожалению, ниже уровня освоения выполнены задания на распознавание графиков зависимостей величин из квантовой физики. Пример такого задания приведён ниже.

Пример 7

Установите соответствие между графиками, представленными на рисунках, и зависимостями, которые они могут выражать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



- ЗАВИСИМОСТИ**
- 1) зависимость энергии фотона от длины волны
 - 2) зависимость максимальной энергии фотоэлектронов от частоты света
 - 3) зависимость энергии фотона от частоты света
 - 4) зависимость силы фототока от напряжения между электродами при неизменной освещённости

Ответ:

А	Б
2	1

С этим заданием успешно справились, верно указав оба ответа, лишь 36% участников экзамена. В данном случае нельзя говорить о проблемах с математической подготовкой и плохим распознаванием основных графических зависимостей. Низкий результат связан прежде всего с недостатками в усвоении материала квантовой физики.

**Анализ и объяснение явлений и процессов,
проверка понимания основополагающих теоретических положений**

На позиции 20 экзаменационного варианта предлагались задания интегрированного характера, проверяющие понимание основных теоретических положений школьного курса физики. Эти задания на выбор двух или трёх верных ответов из пяти предложенных состояли из утверждений из разных разделов курса физики: по одному из механики, молекулярной физики и квантовой физики и два из электродинамики. Ниже приведён пример такого задания.

Пример 8 (средний процент выполнения – 72)

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

- 1) Если в данной системе отсчёта материальная точка совершила ровно один полный оборот по окружности, то перемещение материальной точки в этой системе отсчёта равно нулю.*
- 2) Пар над поверхностью жидкости является насыщенным, если за одно и то же время с поверхности жидкости в среднем вылетает меньшее число молекул, чем возвращается обратно в жидкость.*
- 3) Разноимённые точечные электрические заряды притягиваются друг к другу.*
- 4) Индукционный ток возникает в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего поверхность, ограниченную контуром.*
- 5) Термоядерными реакциями называют экзотермические реакции распада тяжёлых ядер.*

Ответ: _____134_____.

Средний процент выполнения этой группы заданий составил 53,9%, что соответствует результатам прошлого года. Наиболее успешно участниками выделялись верные утверждения, соответствующие различным изученным формулам и законам. Что касается свойств различных явлений или процессов, то здесь более привлекательными были утверждения по механике, термодинамике и постоянному току. Существенные трудности фиксировались для утверждений по темам «Ток в различных средах», «Электромагнитная индукция», «Физика атомного ядра» и «Электромагнитные волны». Несложно увидеть, что все эти темы относятся к тем, по которым либо расчётные задачи отсутствуют, либо их немного. Следовательно, если не решаются задачи, то и теория «выпадает» из процесса повторения и подготовки к экзамену. Приведём примеры утверждений, выбор которых оказался для выпускников затруднителен.

- Поверхность проводника, находящегося в электростатическом поле, является эквипотенциальной.
- При помещении проводника в электростатическое поле наблюдается явление электростатической индукции.
- При преломлении света при переходе из одной среды в другую изменяются скорость волны и длина волны, а её частота остаётся неизменной.
- При α -распаде ядра выполняются закон сохранения электрического заряда, закон сохранения импульса.

Умение анализировать изменение физических величин в различных процессах проверялось в КИМ заданиями 6, 16, 12 и 19. Наиболее высокие результаты продемонстрированы для заданий по молекулярной физике (изопрцессы – 82%; изменение агрегатных состояний вещества – 86%; КПД тепловой машины – 57%).

По механике с заданиями на движение тел, брошенных горизонтально, справились 76% выпускников; с заданиями на движение спутников вокруг планеты – в среднем 68%. Традиционно возникают затруднения при анализе изменения величин, характеризующих плавание тел. Ниже приведён пример одного из таких заданий.

Пример 9

Деревянный шарик плавает в керосине. Как изменятся сила тяжести и сила Архимеда, действующие на шарик, если он будет плавать в воде?

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.

<i>Сила тяжести, действующая на шарик</i>	<i>Сила Архимеда, действующая на шарик</i>
<i>3</i>	<i>3</i>

То, что сила тяжести, действующая на шарик, при переносе его из керосина в воду не изменяется, понимают чуть более половины выпускников. А вот то, что сила Архимеда при плавании тела уравнивает силу тяжести, и поэтому их модули равны, правильно указали лишь 22% участников экзамена. Эта типичная ошибка связана с методикой определения, будет тело плавать в жидкости или тонуть, только через соотношение плотностей тела и жидкости. При этом не уделяется внимание рассмотрению соотношения сил, действующих на плавающее тело.

По электродинамике средний процент выполнения заданий этой группы, как и в прошлом году, составил 63%. Здесь предлагались задания на зарядку/разрядку конденсатора, преломление света и движение частицы в магнитном поле. Возросли результаты для заданий на движение заряженной частицы в магнитном поле. Хотя трудности в определении изменения периода и частоты вращения (их независимости от скорости движения) ещё есть, но в среднем эти задания выполнялись с результатом 58% (в прошлом году – 41%).

В квантовой физике использовались группы заданий на анализ изменения физических величин при фотоэффекте и при различных радиоактивных распадах. В первом случае средний результат выполнения составил 67%. Здесь участники экзамена затруднялись с определением зависимостей величин лишь в заданиях с использованием фильтров, которые изменяли частоту падающего света. Для заданий на радиоактивные распады средний результат выполнения составил 53%. При этом большую трудность вызывали ситуации с бета- и гамма-распадами.

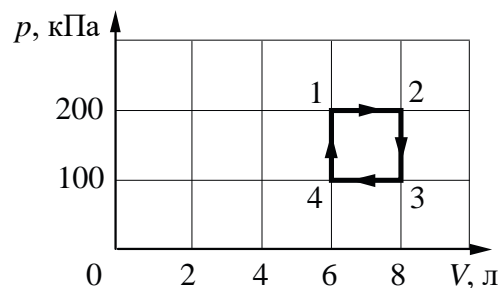
Тремя заданиями на множественный выбор в КИМ оценивалось важное для курса физики умение проводить комплексный анализ физических процессов. В каждом задании предлагалось выбрать все верные ответы из пяти предложенных, при этом верными могли быть как два, так и три утверждения.

В этом году наиболее высокие результаты продемонстрированы для заданий по молекулярной физике, средний результат выполнения составил 70%. Это связано с выбором тематики заданий: в двух группах вариантов предлагалось проанализировать процессы изменения агрегатных состояний вещества, которые были представлены в виде

графиков (80% выполнения). Успешно справились экзаменуемые и с анализом изопроцессов, анализом ситуации с изменением относительной влажности воздуха и сравнением параметров газов в двух разных сосудах при различной температуре. Однако задания на анализ циклического процесса выполнены ниже границы освоения (44%). Пример такого задания приведён ниже.

Пример 10

С одноатомным идеальным газом происходит циклический процесс 1–2–3–4–1, pV -диаграмма которого представлена на рисунке. Максимальная температура, достигаемая газом в этом процессе, составляет 400 К. Масса газа постоянна. На основании анализа этого циклического процесса выберите все верные утверждения.



- 1) Минимальная температура в циклическом процессе равна 200 К.
- 2) Количество теплоты, переданное газу при изохорном нагревании, равно 900 Дж.
- 3) В процессе 2–3 газ получает положительное количество теплоты.
- 4) Работа, совершённая над газом при его изобарном сжатии, равна 100 Дж.
- 5) Работа газа за цикл равна 200 Дж.

Ответ: _____25_____.

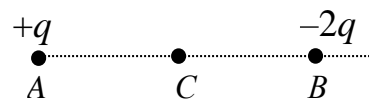
Несомненно, задание объективно достаточно сложное, поскольку требует расчётов для проверки большинства утверждений: применение уравнения состояния для определения температуры, первого закона термодинамики и уравнения Менделеева – Клапейрона для вычисления количества теплоты и определения работы по графику. Верно выбрать утверждение о работе газа за цикл смогли 67% участников экзамена, а вот определить дополнительно количество теплоты и указать оба верных ответа – лишь 22%.

В механике все группы заданий выполнены с результатами, превышающими уровень усвоения. Так, с анализом колебаний математического маятника справились 80% участников, а анализ колебаний пружинного маятника, представленных с помощью таблицы, традиционно оказался труднее – 54%. Успешно проводился комплексный анализ сравнения движения двух тел – равномерного и равноускоренного, которые были представлены в виде графиков зависимости координаты от времени (65% выполнения).

Наиболее сложными оказались задания на комплексный анализ процессов в электродинамике. Здесь наиболее успешно были выполнены задания на явление самоиндукции в катушке, по которой протекает электрический ток, изменения которого показаны при помощи графика (68%). Немногим более половины участников верно выбрали все правильные утверждения в заданиях на анализ особенностей электростатического поля бесконечной заряженной плоскости, анализ электромагнитных колебаний в контуре, представленных в виде графика, и анализ протекания индукционного тока в катушке при изменении магнитного потока через неё. Результаты ниже экспертных ожиданий продемонстрированы для заданий на анализ электростатического поля системы из двух неподвижных точечных заряженных тел и анализ особенностей поляризации проводника в электростатическом поле. При этом наиболее сложным было утверждение об эквипотенциальности поверхности проводника. вернёмся к задаче про два неподвижных точечных заряда.

Пример 11

Две маленькие закреплённые бусинки, расположенные в точках A и B , несут на себе заряды $+q > 0$ и $-2q$ соответственно (см. рисунок).



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно этой ситуации.

- 1) Модули сил Кулона, действующих на бусинки, одинаковы.
- 2) Если бусинки соединить незаряженной стеклянной палочкой, их заряды станут равными.
- 3) Напряжённость результирующего электростатического поля в точке C направлена горизонтально вправо.
- 4) Если бусинки соединить медной проволокой, они будут притягивать друг друга.
- 5) На бусинку A со стороны бусинки B действует сила Кулона, направленная горизонтально вправо.

Ответ: _____ 135 _____.

Здесь все три утверждения смогли верно указать лишь 15% экзаменуемых, допустили же по одной ошибке 47%.

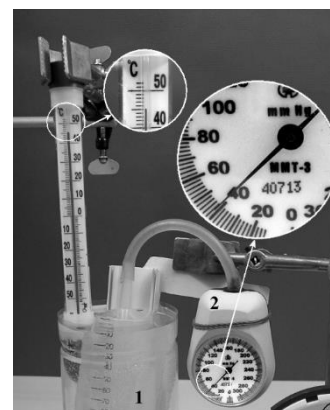
Методологические умения

В КИМ было включено два задания базового уровня сложности, направленных на оценку методологических умений.

Задания линии 22 проверяли умение записывать показания измерительных приборов с учётом заданной погрешности измерений. Средний процент выполнения составил 76,9%, что в целом соответствует показателю прошлого года (в 2022 г. – 74,3%). Наиболее успешно участникам экзамена удаётся определять результаты измерений при помощи динамометра (84%), амперметра и вольтметра (77%). Наиболее сложным оказалось снятие показаний манометра (см. пример ниже).

Пример 12 (средний процент выполнения – 43)

При исследовании зависимости давления газа от температуры ученик измерял давление в сосуде с газом с помощью манометра. Шкала манометра проградуирована в мм рт. ст. Абсолютная погрешность измерений давления равна цене деления шкалы манометра. Каково показание манометра с учётом погрешности измерений?



Ответ: (_____ 42 _____ ± _____ 2 _____) мм рт. ст.

Задания линии 23 оценивали умение выбирать оборудование для проведения опыта. Предлагалось две модели заданий: выбор оборудования по представленному в таблице перечню данных и выбор номенклатуры необходимого оборудования из списка. Группу заданий на выбор строк таблицы, описывающих параметры оборудования, успешно выполняли 76% участников, что сопоставимо с результатами прошлого года (79%). Наиболее сложным традиционно было задание на выбор оборудования из предложенного списка – 61%.

Решение задач

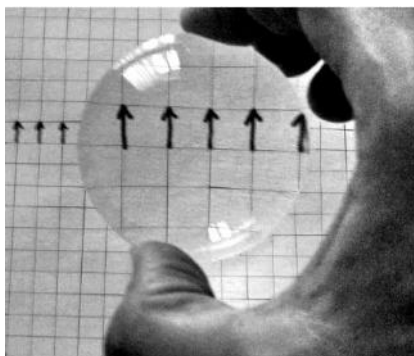
Как было отмечено выше в части 2 каждого варианта предлагалось 7 задач различного уровня сложности и по всем разделам школьного курса физики.

Качественные задачи в этом году имели различную тематику, при этом почти половина групп задач была по механике. Средние результаты решения качественных задач составили 16,3%, что немного ниже прошлогоднего показателя (18%).

В среднем проще для экзаменуемых оказались задачи по механике: анализ падения пирамидки с пружинкой в воздухе и в воде (22%), анализ движения льдинки в яме с гладкими стенками с заданным начальным значением механической энергии (18%), построение графика зависимости силы нормальной реакции опоры от силы натяжения нити при подъёме тела с поверхности при помощи неподвижного блока (16%). Хочется отметить, что один из самых высоких результатов продемонстрирован при решении задач по оптике на базе фотографии реального опыта (см. пример ниже).

Пример 13

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.



Около 10% участников экзамена смогли дать полностью верный ответ и привести все необходимые рассуждения: на основе анализа фотографии изображения в линзе верно определить, что глаз видит прямое увеличенное изображение стрелок. Следовательно, линза является собирающей, так как только такая линза способна давать прямое увеличенное мнимое изображение. По фотографии видно, что увеличение линзы равно 2. Отсюда по формуле линзы фокусное расстояние равно 6 см. Еще 5% получили верный ответ, но допустили неточности в рассуждениях. К сожалению, 28% выпускников смогли привести формулу линзы, определить увеличение линзы, но ошиблись в определении вида изображения и, соответственно, типа линзы.

Наиболее сложными оказались задачи на определение результирующей силы Ампера, действующей на один из проводников с током со стороны двух других (13%), и на анализ графика зависимости силы тока от напряжения между катодом и анодом при изменении условий протекания фотоэффекта (15%). При определении направления силы Ампера 11% экзаменуемых смогли указать верный ответ, сделав полностью правильный рисунок для векторов магнитной индукции (рис. 3), а 10% участников ошиблись при выборе направлений и не могли довести рассуждения до верного ответа.

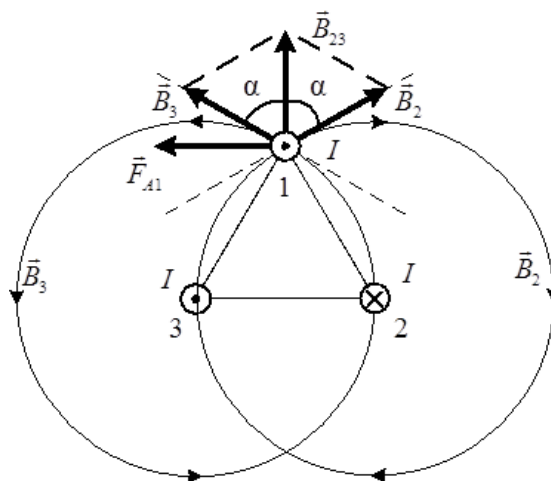


Рис. 3

Во втором случае при фотоэффекте меняли частоту падающего света и просили определить изменение тока насыщения и запирающего напряжения (отношение числа фотоэлектронов к числу поглощённых фотонов не зависит от частоты света). Здесь лишь 9% довели рассуждения до полностью верного ответа, т.е. правильно указали изменения для двух параметров, а 20% при явном знании основных особенностей фотоэффекта смогли, как правило, верно определить изменение запирающего напряжения, связав его с энергией падающего света, но не сумели разобраться с изменением числа выбитых электронов и, соответственно, с изменением тока насыщения.

На позиции 25 в разных группах вариантов предлагались либо расчётные задачи по кинематике и динамике (средний процент выполнения – 42), либо задачи на применение уравнения теплового баланса (36% выполнения). По калориметрии затруднения вызвала задача, в которой не указывалась конечная температура смеси, её нужно было определить из условия («При достижении теплового равновесия в воде остаётся плавать кусочек льда»).

Вторая двухбалльная задача была по электродинамике, и во всех варианты (кроме того, где качественной задачей была задача про линзу) была включена задача по оптике. Здесь предлагалось два типа задач: на построение изображения в линзе и применение формулы для дифракционной решетки. Последние вызвали существенные затруднения у участников экзамена, представить верное решение смогли лишь около 10% экзаменуемых (см. пример ниже).

Пример 14

Плоская монохроматическая световая волна с длиной волны 400 нм падает по нормали на дифракционную решётку. Параллельно решётке позади неё размещена собирающая линза. Дифракционная картина наблюдается на экране в задней фокальной плоскости линзы. Расстояние между её главными максимумами 1-го и 2-го порядков равно 16 мм. Найдите период решётки, если фокусное расстояние линзы равно 24 см. Считать для малых углов ($\varphi \ll 1$ в радианах) $\varphi \approx \sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$.

Чтобы решить задачу, нужны формулы для определения периода дифракционной решетки и для определения максимумов дифракционной решетки, которые хорошо известны выпускникам. Однако типичной ошибкой здесь было непонимание того, что расстояние от линзы до экрана в данном случае совпадает с фокусным расстоянием линзы, т.е. $\frac{x}{L} = \frac{k\lambda}{d}$, где x – расстояние от центра экрана до главного максимума данного порядка, $L = F$ – расстояние от линзы до экрана.

Для расчётных задач высокого уровня сложности средний процент выполнения заданий по молекулярной физике составил 12,9%, для заданий по электродинамике – 15,5%, а по квантовой физике – 17,2%. По молекулярной физике использовались преимущественно задачи с сюжетами, аналогичными тем, которые уже использовались в КИМ ЕГЭ. Несмотря на это, повышения показателей не отмечено.

По электродинамике более высокие результаты продемонстрированы для задач на конденсатор в цепи постоянного тока (22%), движение проводника в магнитном поле по горизонтальной поверхности (31%), движение проводящего стержня по наклонной плоскости в магнитном поле (18%). Значительно ниже ожидаемого оказался средний процент выполнения для группы задач на движение заряженного шарика в однородном электростатическом поле (см. пример ниже).

Пример 15

Две большие параллельные вертикальные пластины из диэлектрика расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Пластины равномерно заряжены разноимёнными зарядами. Модуль напряжённости поля между пластинами $E = 6 \cdot 10^5$ В/м. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещён маленький шарик с зарядом $Q = 5 \cdot 10^{-11}$ Кл и массой $M = 3 \cdot 10^{-3}$ г. После того как шарик отпускают, он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснётся одной из пластин? Трением о воздух и размерами шарика пренебречь.

Лишь 6% участников смогли проанализировать движение шарика, для которого модуль скорости в момент касания пластины $V = \sqrt{V_{\Gamma}^2 + V_{\text{в}}^2}$, где V_{Γ} и $V_{\text{в}}$ – проекции скорости шарика на соответственно горизонтальную и вертикальную оси: $V_{\Gamma} = a_{\text{эл}}t$, и $V_{\text{в}} = gt$, где t – время движения шарика, $a_{\text{эл}}$ – проекция ускорения шарика на горизонтальную ось.

По квантовой физике более успешно экзаменуемые справились с решением задач на движение фотоэлектронов в электрическом поле и на применение законов сохранения импульса и энергии к реакции синтеза. Затруднения вызвала задача на давление света, с ней смогли справиться лишь 6% (см. пример ниже).

Пример 16

Лазер испускает световой импульс с энергией $W = 3$ Дж и длительностью $\tau = 10$ нс. Свет от лазера падает перпендикулярно на плоское зеркало площадью $S = 10$ см², полностью отражающее падающий на него световой импульс. Какое среднее давление окажет свет на зеркало?

Основное затруднение – определение изменения импульса фотонов при отражении от зеркала: $\Delta p_{\text{ф}} = \frac{2h\nu}{c}$, где ν – частота света, излучаемого лазером, h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме. К сожалению, механизм возникновения давления света и различия при полном поглощении и отражении остаются сложными для осмысления даже сильными выпускниками.

На позиции 30 в этом году были задачи как на применение законов сохранения, так и по новому разделу – на статику. Средний процент по критериям: К1 – 10,6%; К2 – 15,2. Оба результата несколько ниже, чем в прошлом году, что, скорее всего, связано с приоритетом задач на статику, для которых традиционно демонстрируются результаты ниже, чем для задач по динамике или законам сохранения.

Следует отметить, что в целом средний процент по критерию К1 (обоснование используемых законов) для задач по статике оказался несколько ниже, чем для задач по динамике или законам сохранения. В этих задачах в обосновании требовалось указать на

выбор инерциальной системы отсчета, использование модели абсолютно твердого тела и особенности использования условий равновесия. Например: «Поскольку тело не движется поступательно, то векторная сумма сил, действующих на тело, равна нулю. Поскольку тело не вращается, то алгебраическая сумма моментов сил относительно оси, проходящей перпендикулярно рисунку через центр масс тела, равна нулю».

Выполнение работы группами экзаменуемых с различным уровнем подготовки

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

На рис. 4 представлена диаграмма, демонстрирующая распределение по группам подготовки в 2023 г.



Рис. 4

На рис. 5 показаны результаты выполнения заданий с кратким и развёрнутым ответами участниками экзамена с различным уровнем подготовки.

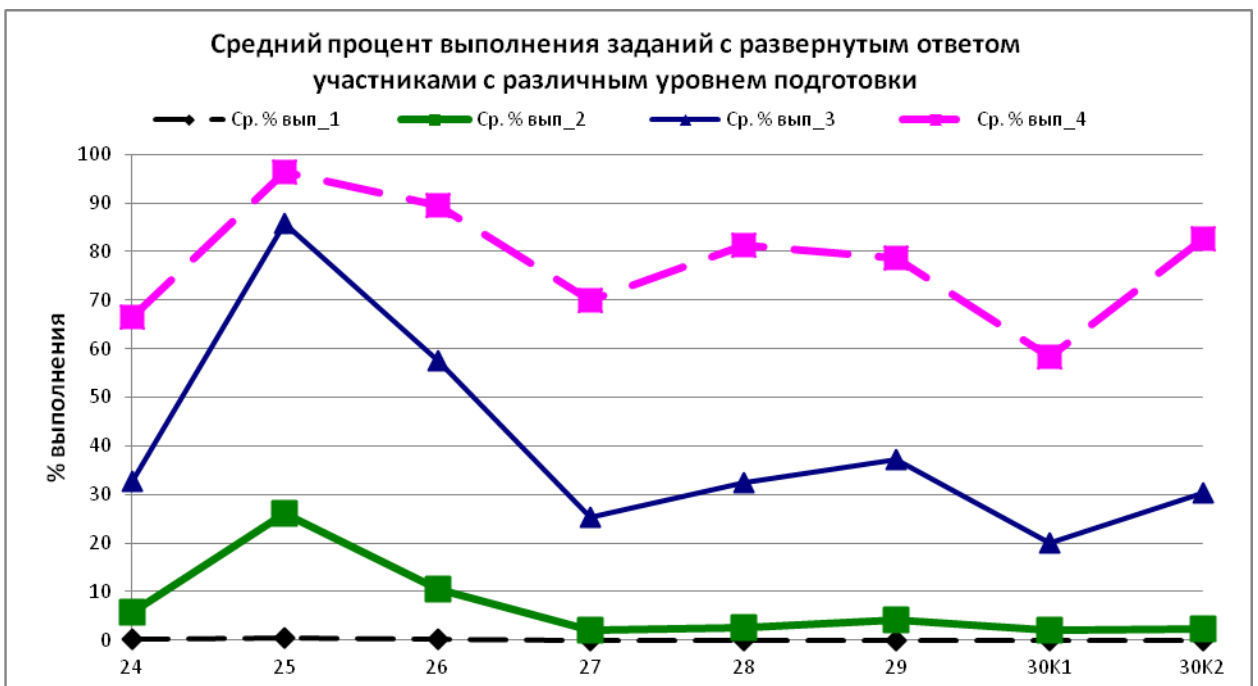
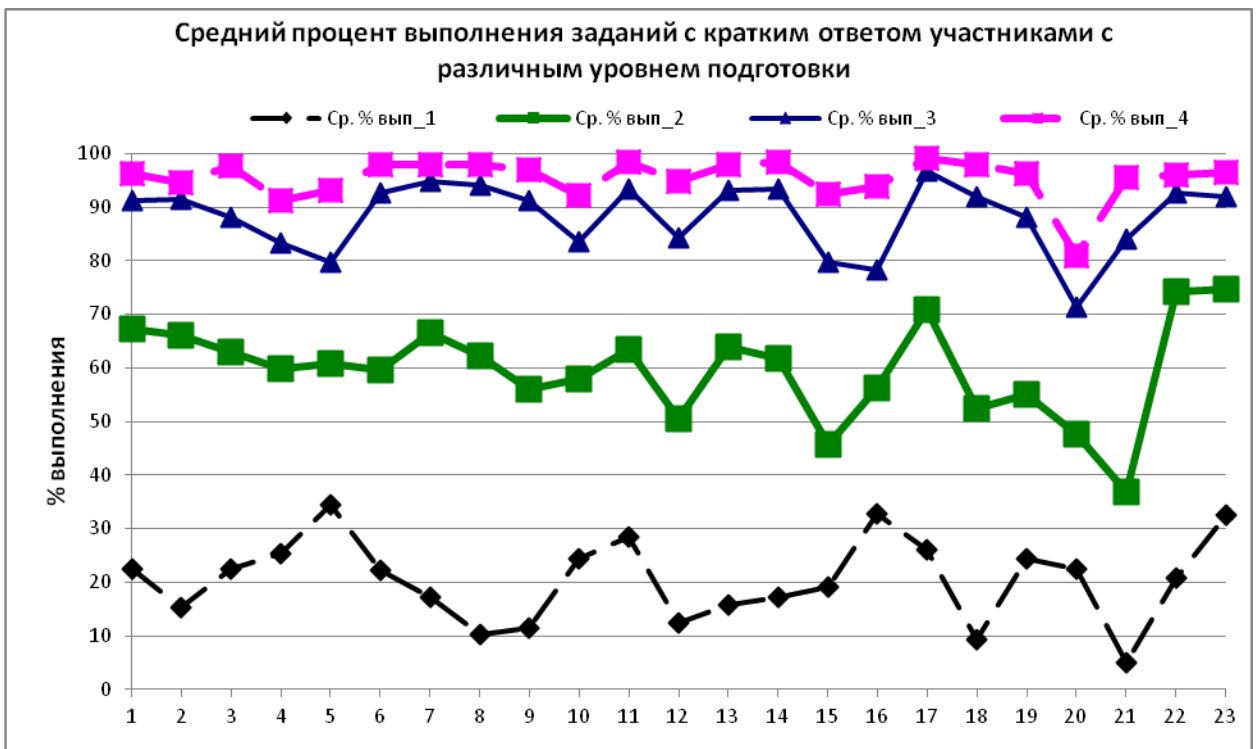


Рис. 5. Результаты выполнения заданий экзаменационной работы участниками экзамена с различным уровнем подготовки

Участники из группы 1 по уровню подготовки получили по итогам выполнения экзаменационной работы от 0 до 9 первичных баллов. Численность группы составляет 5,6% от общего числа участников экзамена. Средний процент выполнения заданий базового уровня составил для этой группы 20,5%, заданий повышенного уровня – 11,9%.

Данная группа участников экзамена не продемонстрировала освоения каких-либо элементов содержания и овладения какими-либо проверяемыми умениями. Более успешно выполняются задания базового уровня на применение формул при простейших расчетах по механике: сила трения, импульс тела, закон сохранения механической энергии, скорость звука, а также задания на определение модуля ускорения по графику зависимости скорости от времени и выбор установки для проведения опыта, если параметры оборудования представлены в виде таблицы. Ниже приведён пример задания, с которым справляется около половины выпускников из данной группы.

Пример 16

Отношение импульса легкового автомобиля к импульсу мотоцикла $\frac{P_1}{P_2} = 5$. Каково

отношение их скоростей $\frac{v_1}{v_2}$, если отношение массы легкового автомобиля к массе

мотоцикла $\frac{m_1}{m_2} = 2,5$?

Ответ: _____ 2 _____.

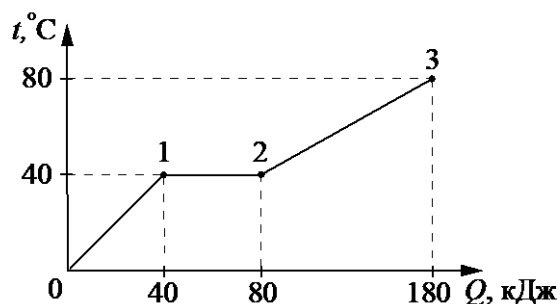
Группа 2 составляет 65,8% от общего числа участников. К этой группе относятся участники экзамена, получившие от 10 до 32 первичных баллов. Результаты выполнения группы заданий базового уровня составили в среднем 61,6%; для заданий повышенного уровня этот показатель 34,8%; для заданий высокого уровня сложности – 2,7%. Данная группа демонстрирует освоение содержания курса физики средней школы на базовом уровне сложности.

Лишь одна линия заданий базового уровня не освоена данной группой участников экзамена – воспроизведение основных теоретических сведений по всем разделам курса физики (определения понятий и физических величин, формулировки законов, зависимости физических величин, описание физических моделей, свойства процессов и явлений). Кроме того, отмечены низкие результаты при определении значения физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: магнитный поток, потенциальная энергия упруго деформированной пружины маятника, частота электромагнитных колебаний в контуре, частота фотонов, при определении пути по графику зависимости проекции скорости от времени при равноускоренном движении, при анализе изменения характера физических величин для движения частицы в магнитном поле, при установлении соответствия между графиками квантовых процессов и соответствующей зависимостью.

Для задач повышенного уровня сложности средний процент выполнения составляет всего 14%. Отмечены дефициты комплексного анализа физических процессов в электродинамике. Ниже приведён пример задания повышенного уровня сложности, с которым успешно справляются экзаменуемые данной группы.

Пример 17

Твёрдый образец вещества нагревают в печи. На графике представлены результаты измерения поглощённого количества теплоты Q и температуры образца t .



Выберите из предложенного перечня все утверждения, которые соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений.

- 1) В состоянии 2 вещество полностью расплавилось.
- 2) На участке 0–1 внутренняя энергия вещества не изменяется.
- 3) Температура плавления вещества равна 40 °С.
- 4) Удельная теплоёмкость вещества в жидком состоянии меньше, чем в твёрдом.
- 5) Для того чтобы полностью расплавить образец вещества, уже находящийся при температуре плавления, ему надо передать количество теплоты, равное 40 кДж.

Ответ: _____ 135 _____.

Группу 3 составляет 19,3% участников экзамена; к ней относятся выпускники, набравшие от 33 до 43 первичных баллов. Для данной группы характерно освоение содержания курса физики на базовом и повышенном уровнях сложности. Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 89,6%; повышенного уровня – 71,8%; высокого уровня – 29,0%. От предыдущей группы эту группу отличает успешное выполнение всех линий заданий повышенного уровня. Средний процент выполнения заданий на комплексный анализ физических процессов составляет 81%. Для части 2 работы отмечены высокие результаты решения расчётных задач повышенного уровня сложности (72%).

Группа 3 демонстрирует дефициты при решении качественных задач повышенного уровня сложности (33%) и расчётных задач высокого уровня сложности. Наиболее успешно выполнялись задачи по квантовой физике (37%). Ниже приведён пример задачи повышенного уровня сложности, с которой справляются участники экзамена, относящиеся к этой группе.

Пример 18

Груз массой 200 г подвешен на пружине жёсткостью 100 Н/м к потолку лифта. Лифт равноускоренно движется вниз, набирая скорость. Каково ускорение лифта, если удлинение пружины постоянно и равно 1,5 см?

Выпускники из группы 4 получили по результатам выполнения экзаменационной работы от 44 до 54 первичных баллов. Данная группа, к которой относится 9,3% участников экзамена, демонстрирует освоение всех проверяемых предметных результатов и всех элементов содержания. Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 95,8%; повышенного уровня – 89,4%; высокого уровня – 74,1%. По сравнению с прошлым годом немного снизились результаты решения задач высокого уровня

сложности. Дополнительно к предыдущей группе освоены умения решать различные качественные задачи (66%), выстраивая рассуждения с опорой на изученные законы и свойства физических явлений, и решать расчётные задачи высокого уровня сложности по всем разделам школьного курса физики. Из заданий базового уровня наиболее сложными для этой группы оказались задания на понимание теоретических основ курса физики.

Среди заданий высокого уровня сложности наиболее успешными стали расчётные задачи по молекулярной физике и механике. Ниже приведён пример расчётной задачи высокого уровня сложности, с которой успешно справляются выпускники из данной группы.

Пример 19

В вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью поперечного сечения $S = 5 \text{ см}^2$, под подвижным поршнем массой $M = 1 \text{ кг}$ с лежащим на нём грузом массой $m = 0,5 \text{ кг}$ находится воздух при комнатной температуре. Первоначально поршень находился на высоте $h_1 = 13 \text{ см}$ от дна сосуда. На сколько изменится эта высота, если груз снять с поршня? Воздух считать идеальным газом, а его температуру – неизменной. Атмосферное давление равно 10^5 Па . Трение между стенками и поршнем не учитывать.

Представленный выше анализ результатов выполнения заданий КИМ ЕГЭ по физике показывает как успехи в овладении нашими выпускниками предметных результатов обучения, так и дефициты освоения умений и элементов содержания. Разбор содержания заданий и типичных ошибок, допускаемых выпускниками при их выполнении, позволяет совершенствовать отбор дидактических материалов и корректировать методические приёмы работы с обучающимися в зависимости от демонстрируемого ими уровня подготовки.

Прежде всего хочется еще раз отметить важность контроля освоения теоретических сведений курса физики: знания формулировок законов, понимания границ их применения; понимания физического смысла величин и причинно-следственных связей в зависимостях величин; понимания особенностей использования различных физических моделей; знания и понимания свойств изученных явлений и процессов. Для этого необходимо в текущем оценивании не только использовать задания на уровне применения формул и решение задач, но и включать в него вопросы теории на уровне как воспроизведения, так и интерпретации учебных текстов.

Что касается выпускников с низким уровнем подготовки по предмету, то для них необходимо акцентировать внимание на усвоение наиболее важных дидактических единиц, которые проверяются в КИМ заданиями базового уровня сложности. Как показывает анализ выполнения таких заданий, здесь нельзя останавливаться только на заучивании законов и формул, а необходимо уделять внимание анализу тех процессов, которые описывают соответствующие зависимости. Без этого аспекта формальные знания не позволяют ориентироваться в ситуациях, которые предлагаются даже в простых заданиях.

Для самой многочисленной группы учащихся со средним уровнем подготовки целесообразно больше внимания уделять систематизации и обобщению знаний в конце каждой темы и разделов. Как правило, в каждом разделе курса физики изучается целый ряд различных закономерностей, и важно, чтобы у учащихся была возможность совместно применить их для анализа тех или иных процессов. Такой подход лежит в основе успеха в выполнении заданий на комплексный анализ физических величин.

Для групп обучающихся с повышенным и высоким уровнями подготовки ещё раз остановимся на особенностях выполнения заданий с развёрнутым ответом. В связи с большим количеством вопросов, которые возникают у выпускников и учителей по поводу оформления решений заданий с развёрнутым ответом, рассмотрим ещё раз требования к полному верному ответу. Как известно, решения задач участников экзамена

оцениваются на основании обобщенных схем оценивания, включающих описание полного правильного ответа, за который выставляется максимальный балл, а также критерии с описанием тех или иных недостатков или ошибок, приводящих к снижению оценки. В схеме оценивания на основании ежегодного анализа работ участников экзамена учитываются допускаемые экзаменуемыми типичные ошибки и отдельные недочёты и определяется их влияние на оценивание.

Следует помнить, что в материалах ЕГЭ для каждого задания приводится авторский способ решения. Однако этот способ решения не является образцом решения и определяющим для построения шкалы оценивания работ экзаменуемых. Решение экзаменуемого может иметь логику, отличную от авторской логики решения, т.е. может быть предложено альтернативное решение. В этом случае экспертами оценивается возможность решения конкретной задачи тем способом, который выбрал экзаменуемый. И если такое решение допустимо, то эксперт оценивает полноту и правильность этого решения на основании того списка основных законов, формул или утверждений, которые соответствуют выбранному способу решения. Поясним это положение. Например, задача по механике решается динамическим способом, и для её решения необходимо использовать пять формул. В критериях оценивания эти формулы перечисляются, и, например, при использовании такого способа решения и отсутствии хотя бы одной из исходных формул экзаменуемый не сможет получить более 1 балла. Однако если для той же задачи выбран энергетический способ решения, то необходимых формул, например, может быть три. В этом случае эксперт будет выстраивать систему оценивания, исходя из наличия только этих трёх формул.

Как правило, в качестве исходных формул принимаются формулы, указанные в кодификаторе проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования и элементов содержания для проведения единого государственного экзамена по физике. Форма записи в данном случае

не важна. Например, может быть записано $m = \rho V$ или $\rho = \frac{m}{V}$ независимо от того, в какой форме формула приведена в кодификаторе. В случае использования формул, не входящих в кодификатор (например, правила Кирхгофа, момент инерции и т.п.), работа будет оцениваться индивидуально ведущим экспертом, исходя из особенностей предложенного альтернативного способа решения и схемы оценивания.

Знакомясь с демонстрационным вариантом, обратите внимание на то, что для всех расчётных задач (и двухбалльных и трехбалльных) используются единые требования к полному правильному ответу. Если в задачах на 3 балла при наличии ошибки в физической модели (т.е. в записи исходного уравнения) за попытки решения можно получить 1 балл, то в задачах на 2 балла любая физическая ошибка приводит к получению 0 баллов. Частично верным признаётся только решение, в котором допущены математические ошибки или есть недостатки оформления решения.

Как правило, в демонстрационном варианте или в сборниках для подготовки к экзамену предлагаются решения расчётных задач, которые содержат обоснование к выбору физической модели и пояснения по ходу решения. Однако на экзамене обоснование требуется только в последней задаче по механике, в остальных задачах никаких пояснений не требуется. Поэтому не нужно в этих случаях указывать, как называются используемые законы и какие математические преобразования проводятся. Достаточно записать исходную систему уравнений, математические преобразования, вычисления и ответ.

Исключением являются пояснения к вновь вводимым буквенным обозначениям физических величин. Во-первых, необходимо следить, чтобы разные величины не обозначались одинаково. Например, если в задаче одновременно используется плотность вещества и удельное электрическое сопротивление, которые стандартно

обозначаются одной и той же буквой, то нужно вводить соответствующие индексы для различения.

Во-вторых, нужно следить за тем, какие величины не приведены в условии задачи, и если они появляются по ходу решения, то нужно указать, что соответствующие буквы означают. Рисунок или схема также может использоваться для введения новых величин. Например, если решается задача на изменение давления, температуры и объёма газа в сосуде с поршнем, то рисунок с указанием обозначений параметров в начальном и конечном состояниях является достаточным для пояснения к вновь вводимым величинам.

Особо остановимся на решении задач по механике, которые оцениваются максимально 4 баллами и требуют обоснования физической модели. В следующем году будут использоваться задачи по динамике на связанные тела и задачи на применение законов сохранения в механике. Напомним, какие требования в этих случаях есть к обязательным пунктам обоснований.

В первом случае обязательными элементами обоснования являются следующие:

- выбор инерциальной системы отсчёта;
- выбор модели материальной точки (либо размерами тел можно пренебречь; либо тела движутся поступательно, и для них можно использовать второй закон Ньютона, сформулированный для материальных точек);
- условие равенства сил натяжения в любой точке нити (невесомость нити; связывающей тела, идеальный блок, если нить перекинута через блок);
- условие взаимосвязи ускорений тел (нить нерастяжима).

Во втором случае обязательными элементами обоснования являются следующие:

- выбор инерциальной системы отсчёта;
- выбор модели материальной точки (как в первом случае);
- условие применимости закона сохранения импульса (либо время действия внешних сил мало, и изменением импульса можно пренебречь; либо закон сохранения импульса выполняется в проекции на одну из осей, если внешние силы перпендикулярны этой оси);
- условие применимости закона сохранения энергии (указание на потенциальность действующих сил или на равенство нулю работы непотенциальной силы, так как скорость тела в каждой точке траектории перпендикулярно этой силе) или указание на изменение механической энергии в рассматриваемом процессе.

Обратите внимание на то, что в демонстрационном варианте «Обоснование» и «Решение» представлены раздельно. Однако это не является обязательным требованием, обоснование может быть логично встроено в решение задачи в виде пояснений. Главное, чтобы все пункты обоснования были в наличии. Ниже приведён пример такого решения.

Пример 20

В маленький шар массой $M = 230$ г, висящий на нити длиной $l = 50$ см, попадает и застревает в нём горизонтально летящая пуля. Минимальная скорость пули U_0 , при которой шар после этого совершит полный оборот в вертикальной плоскости, равна 120 м/с. Чему равна масса пули? Сопротивлением воздуха пренебречь. Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

Решение

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела считаем материальными точками.

Для описания взаимодействия пули и шара использован закон сохранения импульса системы тел, который связывает скорость пули v_0 перед ударом со скоростью v_1 составного тела массой $m + M$ сразу после удара. В данном случае проекции внешних сил (силы тяжести и силы натяжения нити) на горизонтальную ось в момент взаимодействия равны нулю. Следовательно, можно использовать закон сохранения импульса в проекциях на эту ось: $mv_0 = (m + M)v_1$.

Для дальнейшего движения шара с застрявшей в нём пулей будет справедлив закон сохранения механической энергии, поскольку сопротивлением воздуха по условию задачи можно пренебречь, а единственная непотенциальная сила, действующая на шар, – сила натяжения нити – при движении шара по окружности совершает работу равную нулю, поскольку она всюду перпендикулярна скорости движения шара.

$$\frac{(m + M)v_1^2}{2} = \frac{(m + M)v_2^2}{2} + (m + M)g \cdot 2l,$$
 где v_2 – скорость шара в верхней точке траектории.

Условие минимальности v_0 означает, что шар совершает полный оборот в вертикальной плоскости, но при этом натяжение нити в верхней точке (и только в ней!) обращается в нуль. Второй закон Ньютона в проекциях на радиальное направление x в верхней точке принимает вид $(m + M)g = \frac{(m + M)v_2^2}{l}$.

Выразив отсюда v_2^2 и подставив этот результат в закон сохранения энергии, получим: $v_1 = \sqrt{5gl}$. Подставив выражение для v_1 в закон сохранения импульса, получим:

$$m = \frac{M\sqrt{5gl}}{v_0 - \sqrt{5gl}} = \frac{0,23\sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5}}{120 - \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5}} = 0,01 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 10 \text{ г.}$

В 2024 г. структура и содержание КИМ ЕГЭ по физике будут существенно изменены, в том числе меняются и документы, регламентирующие разработку КИМ ЕГЭ.

В связи с переходом на обновленную версию ФГОС СОО, утверждённую приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413, и новую Федеральную образовательную программу среднего общего образования изменился кодификатор проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования и элементов содержания для проведения единого государственного экзамена по физике. Кодификатор отражает преемственность проверяемых предметных требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования на основе ФГОС 2012 г. и изменённого в 2022 г. ФГОС и состоит из трёх разделов:

- раздел 1. «Перечень проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования по физике»;
- раздел 2. «Перечень элементов содержания, проверяемых на едином государственном экзамене по физике»;
- раздел 3. «Отражение в содержании контрольных измерительных материалов личностных результатов освоения основной образовательной программы среднего общего образования».

Кроме полностью нового раздела 3, текст которого соответствует требованиям ФГОС СОО к личностным результатам обучения, в раздел 1 вошел перечень метапредметных результатов, которые в соответствии со стандартом формируются в том числе и в рамках преподавания физики.

Полностью обновился перечень проверяемых требований к предметным результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования, которые теперь полностью соответствуют обновлённой версии стандарта. В таблице проверяемых требований указаны метапредметные результаты, которые им соответствуют. В кодификатор не включены указания на метапредметные результаты, достижение которых не может быть проверено в рамках государственной итоговой аттестации (например, часть коммуникативных и регулятивных универсальные учебные действия). Для сохранения преемственности для каждого требования приведены обобщённые формулировки требований к предметным результатам из ФГОС 2012 г., которые в наибольшей степени соответствуют требованиям изменённого стандарта.

Перечень элементов содержания, проверяемых на ЕГЭ по физике, должен соответствовать перечню дидактических единиц, входящих в новую программу по физике для 10–11 классов с углублённым изучением физики. Однако было решено новые дидактические единицы вводить постепенно и в следующем году не расширять спектр проверяемых элементов содержания. Напротив, отдельные элементы содержания были удалены из кодификатора, поскольку они не будут проверяться в следующем году в КИМ. Так, из раздела «Механика» удалены пункты «Первая космическая скорость», «Вторая космическая скорость»; полностью удалён раздел «Основы СТО»; из раздела «Квантовая физика» удалены пункты «Волновые свойства частиц. Волны де Бройля», «Дифракция электронов на кристаллах», «Лазер», «Энергия связи нуклонов в ядре. Ядерные силы», «Дефект масс ядра».

В 2024 г. будет изменена структура КИМ ЕГЭ по физике: количество заданий сокращено с 30 до 26. При этом в части 1 работы будут удалены интегрированное задание на распознавание графических зависимостей и два задания на определение соответствия формул и физических величин по механике и электродинамике. Одно из заданий с кратким ответом в виде числа в части 1 работы перенесено из раздела «Молекулярная физика» в раздел «Механика». Обратите внимание на то, что произошло перераспределение и сокращение элементов содержания, проверяемых в линиях заданий базового уровня с ответом в виде числа.

Таким образом, в начале варианта будет 6 заданий по механике: 4 задания с кратким ответом в виде числа и 2 двухбалльных заданий. В первом задании оценивается освоение умения определять скорость, ускорение и пройденный путь по соответствующим графикам для равномерного и равноускоренного движений. Во второй линии будут предлагаться только задания на понимание второго закона Ньютона, закона Гука и формулы для силы трения. Третья линия проверяет элементы темы «Законы сохранения в механике»: импульс тела, закон сохранения импульса, работа силы, кинетическая и потенциальная энергии, закон сохранения энергии в механике. На четвертой позиции задания будут направлены на оценку понимания формул для момента сил, периодов колебаний маятников, скорости звука, условия равновесия твердого тела и закона Архимеда. Задания 5 на интегрированный анализ процессов могут предлагаться по любой из тем механики. На линии 6 будут предлагаться либо задания на изменение величин также по любой из тем, либо задания на соответствие на узнавание графиков для равноускоренного движения.

Как было отмечено выше, количество заданий по молекулярной физике сокращено, поэтому на позиции 7 будут проверяться элементы МКТ (связь температуры газа со средней кинетической энергией поступательного теплового движения его молекул, уравнение $p = nkT$, уравнение Менделеева – Клапейрона, выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа и изопроцессы), а на позиции 8 – элементы термодинамики (работа в термодинамике, первый закон термодинамики, КПД тепловых

машин). Задания линии 9 на интегрированный анализ процессов могут предлагаться по любой из тем по молекулярной физике, на позиции 10 будут задания на анализ изменения величин.

В электродинамике также произошло существенное сокращение проверяемых заданиями 11–13 элементов содержания. Так, на позиции 11 из электростатики будет проверяться только закон Кулона, а из темы «Постоянный ток» – сила тока, закон Ома для участка цепи, работа и мощность тока, закон Джоуля–Ленца. Линия 12 охватывает элементы темы «Магнитное поле» (только сила Ампера и сила Лоренца) и темы «Электромагнитная индукция» (закон электромагнитной индукции Фарадея, индуктивность и энергия магнитного поля катушки с током). На позиции 13 могут встретиться задания на определение периода и/или частоты свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре, закон отражения света для плоского зеркала или на построение изображения в собирающей линзе. Как и в механике, задания линии 14 на интегрированный анализ процессов могут предлагаться по любой из тем электродинамики, а на линии 15 – либо задания на изменение величин также по любой из тем, либо задания на соответствие на узнавание графиков для процессов в колебательном контуре.

Обратите внимание на то, что в заданиях 5, 9, 14 и 18 на множественный выбор предполагается либо два, либо три верных ответа, но количество верных ответов в задании не указывается.

По квантовой физике, как и прежде, в вариант включено два задания: на позиции 16 будут оцениваться умения определять строение атома и атомного ядра, а также неизвестные параметры в ядерных реакциях; на позиции 17 предлагаются задания на анализ изменения величин при фотоэффекте или задания на соответствие на излучение/поглощение света атомом.

В конце части 1 работы включены интегрированное задание на понимание основных теоретических сведений по всем разделам курса физики и два стандартных задания по методологии: на снятие показаний измерительных приборов и выбор оборудования для опыта.

В части 2 работы удалено одно из заданий высокого уровня сложности (расчётная задача), в этом году не будет расчётных задач по квантовой физике. Обратите внимание на то, что качественная задача (позиция 21) будет базироваться на материале либо молекулярной физики, либо электродинамики. На позиции 22 будут расчётные задачи повышенного уровня сложности по механике, а на позиции 23 – такие же по сложности расчётные задачи по молекулярной физике или электродинамике (в зависимости от тематики качественной задачи). Задания 24 и 25 – традиционные расчётные задачи высокого уровня сложности, которые оцениваются максимально в 3 балла, соответственно, по молекулярной физике и электродинамике.

На позиции 26 будут задачи по механике на 4 балла, в которых необходимо представить обоснование применимости используемых законов и математическое решение задачи. Обоснование для этих задач может быть как выделено отдельно, так и представлено в ходе решения. В критериях оценивания в демонстрационном варианте обоснование выделено в отдельный раздел только для того, чтобы наглядно показать, сколько элементов необходимо указать в полном верном обосновании. В этом году тематика заданий линии 26 будет ограничена задачами по динамике (преимущественно связанные тела) и задачами на применение законов сохранения импульса для абсолютно неупругого удара и закона сохранения энергии.

Максимальный балл за выполнение всех заданий работы уменьшился с 54 до 45. Время выполнения работы осталось прежним – 3 ч. 55 мин.

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 2024 г.;
- открытый банк заданий ЕГЭ;
- Навигатор самостоятельной подготовки к ЕГЭ (fipi.ru);
- Учебно-методические материалы для председателей и членов региональных предметных комиссий по проверке выполнения заданий с развёрнутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ;
- Методические рекомендации на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ прошлых лет (2015–2022 гг.);
- Методические рекомендации для учителей по преподаванию учебных предметов в образовательных организациях с высокой долей обучающихся с рисками учебной неуспешности. Физика;
- журнал «Педагогические измерения»;
- Youtube-канал Рособрнадзора (видеоконсультации по подготовке к ЕГЭ 2016–2023 гг.).

Основные характеристики экзаменационной работы ЕГЭ 2023 г. по ФИЗИКЕ

Анализ надёжности экзаменационных вариантов по физике подтверждает, что качество разработанных КИМ соответствует требованиям, предъявляемым к стандартизированным тестам учебных достижений. Средняя надёжность (коэффициент альфа Кронбаха)¹ КИМ по физике – 0,92.

№	Проверяемые требования (умения)	Коды проверяемых требований (умений) (по КТ)	Коды проверяемых элементов содержания (по КЭС)	Уровень сложности задания	Максимальный балл за выполнение задания	Примерное время выполнения задания (мин.)	Средний процент выполнения
Часть 1							
1	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	1.1, 1.2	Б	1	3	72,0
2	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	1.4	Б	1	3	70,8
3	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	1.3, 1.5	Б	1	3	68,8
4	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики	2.2–2.4	1	П	2	6	65,3
5	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики	2.2–2.4	1	Б	2	5	66,1

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

6	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики. Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.2– 2.4	1	Б	2	5	67,4
7	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	2.1	Б	1	3	72,1
8	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	2.1, 2.2	Б	1	3	68,8
9	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	2.2	Б	1	3	64,1
10	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики	2.2–2.4	2	П	2	6	64,2
11	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики. Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.2–2.4	2	Б	2	5	70,4
12	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	3.1, 3.2	Б	1	3	58,9

13	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	3.3, 3.4	Б	1	3	70,1
14	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	3.5, 3.6	Б	1	3	68,8
15	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики	2.2–2.4	3	П	2	6	55,2
16	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики	2.2–2.4	3	Б	2	5	62,7
17	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики. Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.2–2.4	3	Б	2	5	75,9
18	Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.1	4, 5	Б	1	3	61,8
19	Анализировать физические процессы (явления), используя основные положения и законы, изученные в курсе физики. Применять при описании физических процессов и явлений величины и законы	2.2–2.4	4, 5	Б	2	5	63,5

20	Правильно трактовать физический смысл изученных физических величин, законов и закономерностей	2.2–2.4	1–5	Б	2	6	53,9
21	Использовать графическое представление информации	2.2–2.4	1–5	П	2	5	49,6
22	Определять показания измерительных приборов	2.5.1– 2.5.3	1–5	Б	1	3	76,9
23	Планировать эксперимент, отбирать оборудование	2.5.1– 2.5.3	1–5	Б	1	3	77,7

Часть 2							
24	Решать качественные задачи, используя типовые учебные ситуации с явно заданными физическими моделями	2.6	1–5	П	3	20	16,3
25	Решать расчётные задачи с явно заданной физической моделью с использованием законов и формул из одного раздела курса физики	2.6	1, 2	П	2	15	42,7
26	Решать расчётные задачи с явно заданной физической моделью с использованием законов и формул из одного раздела курса физики	2.6	3, 5	П	2	15	26,3
27	Решать расчётные задачи с неявно заданной физической моделью с использованием законов и формул из одного-двух разделов курса физики	2.6	2	В	3	20	12,9
28	Решать расчётные задачи с неявно заданной физической моделью с использованием законов и формул из одного-двух разделов курса физики	2.6	3	В	3	20	15,5
29	Решать расчётные задачи с неявно заданной физической моделью с использованием законов и формул из одного-двух разделов курса физики	2.6	3	В	3	20	17,2
30	Решать расчётные задачи с неявно заданной физической моделью с использованием законов и формул из одного-двух разделов курса физики, обосновывая выбор физической модели для решения задачи	2.6	1	В	4	30	K1 – 10,6 K2 – 15,2