

Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2019 года по физике

**Демидова
Марина Юрьевна**

доктор педагогических наук,
руководитель Центра педагогических измерений
ФГБНУ «ФИПИ», руководитель федеральной
комиссии по разработке КИМ для ГИА по физике,
demidova@fipi.ru

Ключевые слова: КИМ ЕГЭ по физике, основные результаты ЕГЭ по физике в 2019 г., анализ результатов по блокам содержания, анализ результатов по блокам умений, анализ результатов по группам учебной подготовки

В 2019 году использовалась экзаменационная модель, аналогичная модели 2018 г.

Каждый вариант экзаменационной работы состоял из двух частей и включал в себя 32 задания, различающихся формой и уровнем сложности. В часть 1 было включено 24 задания с кратким ответом: 13 заданий с записью ответа в виде числа, слова или двух чисел, 11 заданий на установление соответствия и множественный выбор. 21 задание проверяло освоение понятийного аппарата по механике, молекулярной физике, электродинамике и квантовой физике. Последние два задания в части 1 оценивали сформированность методологических умений. Задание 24 на множественный выбор проверяло элементы астрофизики. Часть 2 содержала восемь заданий, объединённых общим видом деятельности — решение задач. Из них три задания с кратким ответом и пять заданий с развёрнутым ответом: одна качественная задача и четыре расчётные задачи высокого уровня сложности.

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).

Экзаменационная работа содержала задания трёх уровней сложности: базового, повышенного и высокого. Задания базового уровня были представлены только в части 1 работы: 19 заданий с кратким ответом, из которых 15 заданий с записью ответа в виде числа или слова и четыре задания на соответствие или изменение физических величин с записью ответа в виде последовательности цифр. Это простые задания, проверяющие усвоение наи-

более важных физических понятий, моделей, явлений и законов. Задания повышенного уровня — это пять заданий с кратким ответом в части 1, три задания с кратким ответом и одно задание с развёрнутым 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 задачи на применение одного-двух законов (формул) по какой-либо из тем школьного курса физики. Четыре задания части 2 относились к заданиям высокого уровня сложности. Выполнение таких заданий требовало применения знаний сразу из двух-трёх разделов физики и проверяло умение действовать в изменённой или новой ситуации.

На выполнение всей экзаменационной работы отводилось 235 мин. Минимальная граница составляла 11 первичных баллов. Максимальный первичный балл за работу — 52.

Число участников ЕГЭ по физике в 2019 г. составило 149 400 человек, среди которых 98,8% выпускников текущего года. Наблюдается снижение численности участников экзамена в течение трёх последних лет (150 650 человек в 2018 г.; 155 281 человек в 2017 г.).

Средний балл ЕГЭ по физике 2019 г. составил 54,4, что несколько выше показателя прошлого года (53,2 тестовых балла). На рис. 1 представлено распределение

результатов участников ЕГЭ по физике по первичным баллам.

В течение трёх лет несколько увеличивается доля слабо подготовленных участников (0–40 т.б.) и наблюдается существенный рост доли высокобалльников (61–100 т.б.). Это позволяет говорить об усилении дифференциации в подготовке выпускников: растёт качество подготовки обучающихся, изучающих профильный курс физики, и снижается уровень подготовки выпускников классов с изучением курса базового уровня.

Минимальный балл ЕГЭ по физике в 2019 г., как и в предыдущем году, составил 36 т.б., что соответствует 11 первичным баллам. Доля участников экзамена, не преодолевших минимального балла в 2019 г., возросла и составила 6,6% (в прошлом году — 5,6%).

В 2019 году доля участников экзамена, набравших 81–100 баллов, составила 8,58%, что выше, чем в 2018 г. (5,61%). Максимальный тестовый балл набрали 473 участника экзамена, что в процентном отношении почти в 2 раза выше показателя предыдущего года (255 человек в 2018 г.).

Приведём 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 различного уровня сложности.

Распределение результатов участников ЕГЭ-2019 по физике по первичным баллам

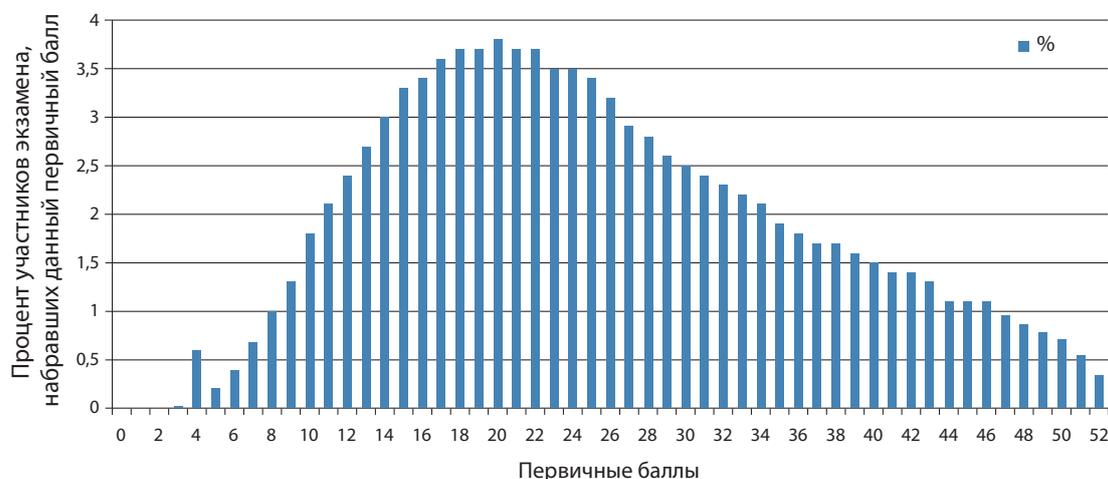


Рис. 1

Таблица 1

Раздел курса физики	Средний % выполнения по группам заданий
Механика	54,0
МКТ и термодинамика	55,1
Электродинамика	50,2
Квантовая физика	49,8

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

В этом году не наблюдается столь явного приоритета механики, как это было в течение нескольких прошлых лет. Материал механики и молекулярной физики усвоен примерно на одинаковом уровне. «Подтянулись» и результаты по электродинамике, особенно за счёт роста средних процентов выполнения заданий базового уровня и расчётных задач на законы постоянного тока. Но, так же как и в прошлые годы, наблюдается отставание в освоении элементов содержания квантовой физики. Задания данного раздела обладают в КИМ меньшей экспертной трудностью (это простые задания на строение атома, ядерные реакции, закон радиоактивного распада и анализ явления фотоэффекта). Их выполнение остаётся пока ниже ожидаемых результатов.

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

Показатели за два года наглядно демонстрируют отсутствие существенных изменений результатов в применении за-

конов и формул в типовых учебных ситуациях и анализе физических процессов. Наблюдается некоторое снижение выполнения заданий на проверку методологических умений, в основном за счёт заданий на использование метода рядов. Эта тенденция для заданий базового уровня сложности фиксируется уже в течение трёх лет. Поскольку задания на оценку отдельных методологических умений базируются на выполнении различных лабораторных работ, то можно говорить о недостаточном внимании к практической части курса физики средней школы.

Значительный прирост наблюдается для решения задач. При этом результаты решения задач повышенного уровня остаются невысокими (около 36%), а результаты выполнения заданий высокого уровня выросли с 14 до 19%. Особенно заметен прирост для заданий с развёрнутым ответом, к решению которых применимы типовые алгоритмы действий.

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

По сравнению с прошлым годом наблюдается положительная динамика для заданий повышенного и высокого уровней

Таблица 2

Способы действий	Средний % выполнения по группам заданий	
	2018 г.	2019 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	68,8	67,5
Анализ и объяснение явлений и процессов	61,4	60,3
Методологические умения	65,3	61,2
Решение задач	20,6	25,8

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	64,9	19,2	55,7	81,5	90,1
Повышенный уровень	49,6	16,5	37,3	71,1	89,7
Высокий уровень	17,3	0,1	4,8	37,0	79,1

сложности, преимущественно за счёт увеличения доли высокобалльников.

На рисунке 2 приведена диаграмма средних процентов выполнения по каждой линии заданий для экзаменационной работы 2019 г.

Исходя из общепринятых норм, содержательный элемент или умение считается усвоенным, если средний процент выполнения соответствующей им группы заданий с кратким или развёрнутым ответом превышает 50%. По результатам выполнения групп заданий, проверяющих одинаковые элементы содержания и требующие 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: сила упругости, сила трения, закон всемирного тяготения, закон сохранения механической энергии, потенциальная энергия пружины, кинетическая энергия,

закон сохранения импульса, длина волны, период колебаний математического и пружинного маятников, условие равновесия рычага, зависимость средней кинетической энергии теплового движения молекул от температуры, уравнение состояния идеального газа, работа газа, первый закон термодинамики, КПД тепловой машины, количество теплоты, закон Кулона, закон Ома для участка цепи, формула Томсона, закон радиоактивного распада;

- интерпретировать графики, отражающие зависимость физических величин, характеризующих равноускоренное движение тела, свободное падение тела, механические колебания маятника, изопроцессы в идеальном газе, электромагнитные колебания в колебательном контуре, явление фотоэффекта; определять по графику зависимости скорости от времени путь, пройденный телом, и ускорение по графику зависимости проекции скорости от времени; строить изображение в собирающей линзе;

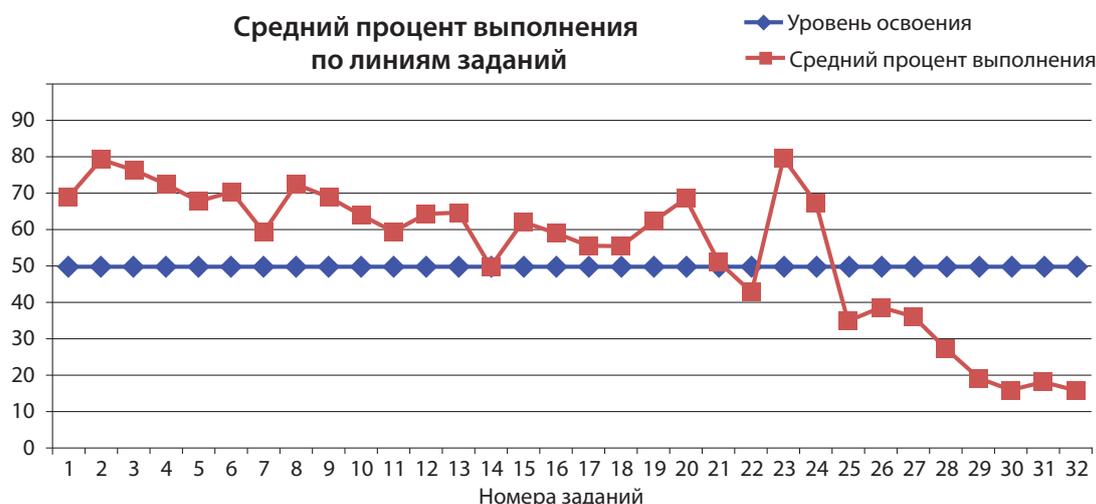


Рис. 2

- определять направление вектора напряжённости суммарного поля нескольких точечных зарядов, силы Лоренца для движения заряда в поле постоянного магнита, состав атома, состав атомного ядра, массовое и зарядовое числа ядер в ядерных реакциях;

- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: колебания математического и пружинного маятников, вращение тела на горизонтальном диске, движение спутников, свободное падение тел, плавание тел, параметры теплового двигателя, параметры газов в изопроцессе, параметры цепи постоянного тока, движение заряженной частицы в магнитном поле, явление фотоэффекта;

- проводить комплексный анализ следующих физических процессов: неравномерное движение, представленное в виде графика зависимости координаты от времени; плавание тел в различных жидкостях; колебательное движение тел, представленные в виде табличных значений координаты и времени; движение искусственных спутников; изопроцессы в идеальном газе, представленные в виде таблицы; насыщенные и ненасыщенные пары; изопроцессы в идеальном газе, представленные в виде графиков; изменение агрегатных состояний вещества; действие силы Ампера на проводник с током; опыт по изменению параметров конденсатора; возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике; электромагнитные колебания в колебательном контуре;

- записывать показания измерительных приборов (динамометр, манометр, вольтметр) с учётом погрешности измерений; выбирать недостающее оборудование для проведения косвенных измерений и экспериментальную установку для проведения исследования;

- характеризовать свойства космических объектов (планеты Солнечной системы, спутники планет, звёзды) с использованием табличных данных и диаграммы Герцшпрунга–Рессела.

К дефицитам можно отнести группы заданий, которые контролировали умения:

- определять значение физической величины с использованием изученных зако-

нов и формул в типовой учебной ситуации: давление столба жидкости; основное уравнение МКТ; относительную влажность воздуха; совместное использование закона Кулона и закона сохранения заряда; формулы для силы тока; закон радиоактивного распада для элемента, образующегося в результате распада;

- определять направление силы Лоренца для движения заряженной частицы вблизи проводника с током, направление индукционного тока;

- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: изменение параметров смеси газов, изменение параметров колебательного контура в радиоприёмнике, преломление света, излучение света атомом;

- проводить комплексный анализ физических процессов: падение тел с учётом силы сопротивления воздуха;

- записывать результаты измерений, выполненные методом рядов;

- 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 экзаменационную работу было включено 12 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 приведённого выше перечня проверяемых элементов содержания, большинство из них можно отнести к освоенным.

Наиболее успешно (более 75% выполнения) экзаменуемые выполняли задания на проверку второго закона Ньютона, формул кинетической энергии, закона сохранения механической энергии, периода колебаний математического маятника, условий равновесия рычага, зависимости средней кинетической энергии теплового

движения молекул от температуры, основного уравнения МКТ, формулы для внутренней энергии идеального газа, первого закона термодинамики, формулы для расчёта количества теплоты, необходимого для нагревания тела, работы газа в изобарном процессе, формулы для расчёта относительной влажности воздуха, закона радиоактивного распада.

Традиционно менее успешно выполняются задания на закон всемирного тяготения и закон Кулона с использованием минимальных расчётов. Пример одного из таких заданий приведён ниже.

Пример 1

Два одинаковых маленьких шарика массой m каждый, расстояние между центрами которых равно r , притягиваются друг к другу с силами, равными по модулю $0,2$ нН. Каков модуль сил гравитационного притяжения двух других шариков, если масса каждого из них $2m$, а расстояние между их центрами $2r$?

Ответ: _____ нН.

Группа сильных выпускников не испытывает никаких сложностей при подстановке чисел в закон (средний процент выполнения — 93), а результаты для группы с низким уровнем подготовки — 10%.

Несколько групп заданий показали результаты ниже уровня освоения. Все они уже обсуждались в материалах прошлых лет как типичные ошибки, но улучшения средних процентов выполнения пока не наблюдается. Рассмотрим примеры этих заданий.

Пример 2

В сосуд глубиной 20 см налита вода, уровень которой ниже края сосуда на 2 см. Чему равно дополнительное к атмосферному давление столба воды на плоское дно сосуда?

Ответ: _____ кПа.

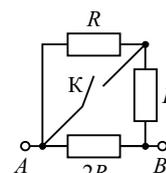
Здесь основной ошибкой было использование 20 см, а не 18 см в формуле для давления столба жидкости. Кроме того, группа выпускников с низким уровнем подготовки не до конца понимает фразу «дополнительное к атмосферному давление столба воды». Они знают формулу для расчёта давления столба жидкости, но не понимают, что на дно сосуда действуют

одновременно атмосферное давление и давление столба жидкости. В результате средний процент выполнения этих заданий составил 43.

Среди заданий на расчёт общего сопротивления участка цепи сложными оказались задания на «закорачивание» одного из резисторов.

Пример 3

На сколько уменьшится сопротивление участка цепи AB , изображённого на рисунке, если ключ K замкнуть? Сопротивление $R = 3$ Ом.



Ответ: на _____ Ом.

Здесь до замыкания ключа сопротивление участка было равно 3 Ом, после замыкания ключа участок представляет собой параллельное соединение резисторов R и $2R$ с общим сопротивлением 2 Ом. Порядка 20% записали верный ответ — на 1 Ом, ещё 33% указали, что сопротивление изменится на 3 Ом.

Среди заданий на проверку закона радиоактивного распада затруднения вызывают те, в которых спрашивается о числе распавшихся, а не оставшихся нераспавшимися ядра.

Пример 4

Образец радиоактивного висмута находится в закрытом сосуде. Ядра висмута испытывают α -распад с периодом полураспада 5 суток. Какая доля (в процентах) от исходно большого числа ядер этого изотопа висмута распадётся за 15 суток?

Ответ: _____ %.

В этом задании 49% участников экзамена записали верный ответ 87,5%, а ещё 17% записали в ответе 12,5%, т.е. указали число нераспавшихся ядер.

Самые низкие результаты получены для заданий на расчёт давления пара.

Пример 5

В закрытом сосуде под поршнем находится водяной пар при температуре 100°C под давлением 40 кПа. Каким станет давление пара, если, сохраняя его температуру неизменной, уменьшить объём пара в 4 раза?

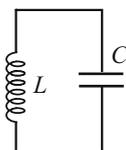
Ответ: _____ кПа.

Давление насыщенного пара при температуре 100°C равно нормальному атмосферному давлению — 100 кПа. Первоначально пар является ненасыщенным, поскольку его давление равно 40 кПа. При изотермическом уменьшении его объёма в 2,5 раза он станет насыщенным и будет оказывать давление 100 кПа. При дальнейшем сжатии уже насыщенного пара его концентрация и давление будут оставаться неизменными, а часть пара будет конденсироваться. В этом задании 54% выпускников дали ответ 160 кПа, заменив пар на идеальный газ, а ещё 26% предложили ответ 10 кПа, заменив сжатие на расширение ненасыщенного пара.

Хуже, чем в прошлом году, выполнены задания на определение периода колебаний колебательного контура с использованием формулы для изменения напряжения на обкладках конденсатора (37% в 2018 г., 31% в 2019 г.).

Пример 6

В идеальном колебательном контуре (см. рисунок) напряжение между обкладками конденсатора меняется по закону $U_c = U_0 \cos \omega t$, где $U_0 = 5 \text{ В}$, $\omega = \pi \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$. Определите период колебаний напряжения на конденсаторе.



Ответ: _____ с.

Аналогичные задания для механических колебаний выполняются более успешно. Очевидно, существуют определённые проблемы с переносом уже имеющихся знаний о механических колебательных процессах на электромагнитные колебания.

Понимание основных законов и формул проверялось и заданиями на соответствие, в которых необходимо было сопоставить физическую величину той формуле, по которой её можно рассчитать в заданной ситуации. Участники экзамена успешно справились с заданиями на соответствие формул для координаты и скорости равноускоренно движущегося тела (68%); на определение формул для силы тока и напряжения в цепи постоянного тока (50%); на распознавание формул для определения силы Лоренца, радиуса окружности или периода обращения для

заряженной частицы, движущейся в магнитном поле (74%), скорости света в воздухе и среде и показателя преломления при переходе света из одной среды в другую (75%), энергии, длины волны, частоты и импульса фотона (63%).

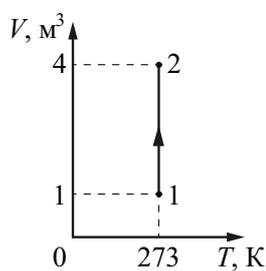
На том же уровне, что и в прошлом году (47%), выполнены задания на соответствие между процессами поглощения и излучения кванта света и энергией соответствующего фотона с использованием диаграммы нижних энергетических уровней атома. В этих заданиях порядка 20% экзаменуемых дают «зеркальные» ответы, полностью путая как процессы излучения и поглощения света, так и максимальные и минимальные энергии.

В части заданий с кратким ответом в виде числа на проверку основных формул используют графики, на которых представлена часть данных, необходимых для выполнения задания. Здесь наиболее высокие результаты получены для первой линии заданий на определение ускорения (79%) и пути (77%) по графику зависимости проекции скорости от времени, на определение коэффициента трения по графику зависимости силы трения от силы нормального давления (93%), жёсткости пружины по графику зависимости силы упругости от удлинения пружины (74%), удельной теплоты плавления или парообразования (69%) или удельной теплоёмкости (64%) по графику зависимости изменения температуры вещества по мере поглощения (или потери) количества теплоты, работы газа по графику зависимости давления газа от его объёма, ЭДС индукции по графику зависимости магнитного потока от времени (67%), периода полураспада по графику зависимости числа нераспавшихся ядер от времени (85%). Немногим более сложными оказались группы заданий на определение относительной скорости по графику зависимости изменения расстояния между телами от времени (54%).

Как правило, эти задания выполняются несколько хуже, чем задания на проверку тех же формул без использования графической информации. Приведём примеры заданий, для которых продемонстрированы результаты ниже уровня освоения.

Пример 7

На рисунке представлен график зависимости объёма идеального газа от его температуры в некотором процессе. В состоянии 1 давление газа было равно нормальному атмосферному давлению. Какое давление соответствует состоянию 2, если масса газа остаётся неизменной?

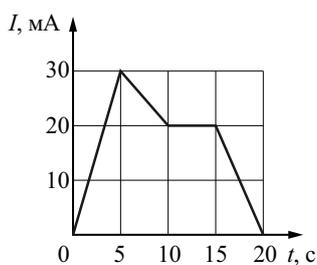


Ответ: _____ кПа.

Смогли узнать по графику изотермический процесс и верно применить к нему закон Бойля–Мариотта 44% участников экзамена. Для слабой группы сложной оказалась комбинация нескольких действий: анализ графика, выбор изопроцесса, использование справочных данных (для состояния 1) и данных об изменении объёма газа.

Пример 8

На рисунке показана зависимость силы тока I в проводнике от времени t . Определите заряд, прошедший по проводнику за интервал времени от 5 до 15 с.



Ответ: _____ мКл.

С этим заданием справились 45% экзаменуемых. Анализ других линий показывает, что формулу для расчёта силы тока через прошедший по проводнику заряд помнят и успешно применяют в расчётах более 90% участников. С аналогичными заданиями, в которых график зависимости силы тока от времени представляет собой одну прямую, справляются более 75%. А вот совмещение двух участков с разным характером изменения силы

тока оказывается сложным для более половины выпускников.

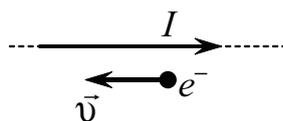
В экзаменационной работе были представлены и задания на соответствие между видом графиков и физическими величинами, зависимость которых от времени эти графики могут отображать. Здесь графики изменения физических величин, характеризующих колебания нитяного маятника, успешно распознают 87% выпускников; отображающих движение тела, брошенного под углом к горизонту, — 64%; движение шайбы по наклонной плоскости — 58%. Пока лишь половина экзаменуемых справляется с заданиями на распознавание графиков следующих процессов:

- равноускоренного движения, заданного графиком зависимости координаты от времени. Здесь основная ошибка в определении знака проекции скорости и ускорения тела;
- электромагнитных колебаний в колебательном контуре. Здесь к типичным можно отнести сложности в распознавании начальных условий (график силы тока путают с графиком заряда, а график энергии электрического поля конденсатора — с графиком энергии магнитного поля катушки);
- явления фотоэффекта и распространения электромагнитных волн. Здесь плохо распознаются графики зависимости энергии фотоэлектронов от частоты падающего света и энергии фотонов от длины волны.

Линия заданий 13 оценивает сформированность умения определять направление векторных величин. Наиболее высокие результаты и полностью совпадающие с результатами прошлого года получены для заданий на определение результирующего вектора напряжённости электростатического поля неподвижных зарядов (73%). С заданиями на определение силы Лоренца для протона, движущегося между полюсами магнита, справились 62% участников экзамена. Наиболее сложными оказались задания на определение направления силы Лоренца для заряженной частицы, движущейся вдоль проводника с током. Пример такого задания приведён ниже.

Пример 9

Электрон e^- 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 электрон сила Лоренца \vec{F} ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: _____.

В этом задании лишь 35% выпускников записали верный ответ «вверх». При этом ещё 18% указали ответ «вниз», неверно интерпретировав направление тока, который создаёт движущийся электрон. В подобных заданиях с использованием протонов результаты выполнения оказались несколько выше — 43%.

Анализ и объяснение явлений и процессов

Умение анализировать и объяснять протекание различных физических явлений и процессов проверялось в экзаменационной работе заданиями на соответствие (изменение величин) и на множественный выбор (двух верных утверждений из пяти предложенных).

В каждом экзаменационном варианте предлагалось по три задания на определение характера изменения физических величин в различных процессах: по механике, электродинамике, молекулярной или квантовой физике. Участники экзамена успешно справились с заданиями

- по механике: для движения тела под углом к горизонту (50%); для движения искусственных спутников Земли (62%); на изменение сил, действующих на брусок на вращающемся диске при изменении его скорости (70%); на плавания тел (71%); на колебания пружинного маятника (64%);

- молекулярной физике: на изменение параметров, характеризующих работу тепловой машины (62%); на изменение параметров газов в различных изопроцессах (77%);

- электродинамике: на изменение параметров цепи постоянного тока (54%); на движение заряженной частицы в магнитном поле (58%);

- квантовой физике: на изменение параметров ядра в изотопах (54%), на явление фотоэффекта (55%).

К проблемным можно отнести группу заданий на анализ изменения физических величин, характеризующих процессы в колебательном контуре (см. пример ниже).

Пример 10

При настройке действующей модели радиопередатчика учитель изменил электроёмкость конденсатора, входящего в состав его колебательного контура, уменьшив расстояние между пластинами конденсатора. Как при этом изменятся частота излучаемых волн и длина волны излучения?

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.

Частота излучаемых волн	Длина волны излучения

Средний процент выполнения этого задания — 44. Полностью верный ответ 21 указали 35% участников экзамена, а 31% дали ответ 12, который говорит о знании соотношения между частотой и длиной волны электромагнитного излучения. Следовательно, типичным затруднением в этой группе заданий, как и в прошлые годы, остаётся плохое усвоение формулы зависимости ёмкости плоского конденсатора от его геометрических размеров.

Задания на множественный выбор по механике, молекулярной физике и электродинамике относились к повышенному уровню сложности. Результаты выполнения этих заданий показывают, что к освоенным можно отнести следующие группы заданий:

- равноускоренное движение, представленное в виде графика зависимости проекции скорости от времени (78%); плавание тел (график зависимости погруженной части тела от плотности жидкости — 53%); движение искусственного спутника (86%); колебательные движения тел, представленные в виде табличных значений координаты и времени (62%);

- изменение агрегатных состояний вещества, представленные в виде графика (88%); циклический процесс в идеальном газе, представленный в виде графика (70%); изменение параметров газа в сосуде (65%); изопроцессы, представленные в виде таблицы (65%); насыщенные и ненасыщенные пары (50%);

- возникновение индукционного тока в рамке при изменении магнитного потока (график зависимости величины индукции магнитного поля от времени — 50%); ЭДС индукции в движущемся проводнике (72%); действие силы Ампера на проводник с током (50%); электромагнитные колебания в контуре (64%); характеристика электростатического поля конденсатора с изменяющимся расстоянием между пластинами (52%).

Однако среди этих заданий есть те, для которых процент выпускников, правильно указавших оба ответа, невелик. Рас-

смотрим типичные ошибки для двух групп таких заданий (пример 11).

Анализ двух графиков для представленного движения показывает, что шарик падал сначала с уменьшающимся ускорением, а затем — равномерно. Полностью верный ответ 25 указали всего 14% выпускников. При этом простое утверждение об изменении потенциальной энергии выбрали 56% экзаменуемых. Четверть участников экзамена посчитали верным утверждение 3 о неизменности полной механической энергии, 11% указали на неизменность ускорения в процессе падения. Все эти участники просто перенесли на предложенную ситуацию модель свободного падения при отсутствии сил сопротивления воздуха.

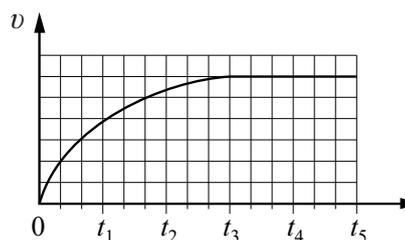
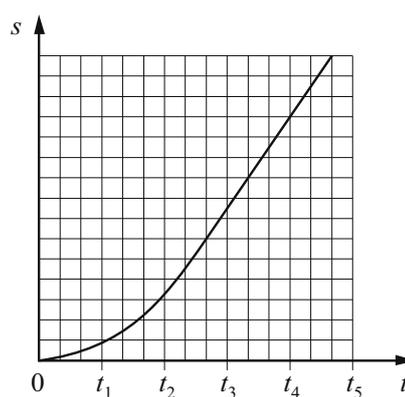
Рассмотрим задание из примера 12. В описанном опыте конденсатор остаётся подключённым к источнику постоянного напряжения, то напряжение между обкладками конденсатора остаётся неизменным. График показывает, что расстояние между пластинами уменьшается в промежутке времени от t_1 до t_4 в 5 раз. Следовательно, ёмкость конденсатора увеличивается в 5 раз, значит, и заряд конденсатора увеличивается. Напряжённость электрического поля между пластинами конденсатора также увеличивается. Полностью

Пример 11

Учащиеся роняли с башни шарики для настольного тенниса и снимали их полёт цифровой видеокамерой. Обработка видеозаписей позволила построить графики зависимости пути s , пройденного шариком, и его скорости v от времени падения t .

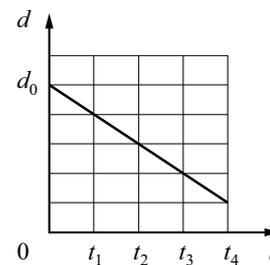
Выберите **два** верных утверждения, характеризующих наблюдаемое падение.

- 1) Величина ускорения, с которым падал шарик, увеличивалась в интервале времени $(0 - t_3)$ и оставалась постоянной при $t > t_4$.
- 2) В течение всего времени падения $(0 - t_3)$ потенциальная энергия шарика в поле тяжести, отсчитываемая от основания башни, уменьшалась.
- 3) Сумма кинетической и потенциальной энергий шарика оставалась неизменной во время падения.
- 4) В течение всего времени падения $(0 - t_3)$ величина импульса шарика постоянно возрастала.
- 5) Величина ускорения, с которым падал шарик, уменьшалась в интервале времени $(0 - t_3)$.



Пример 12

Плоский воздушный конденсатор ёмкостью C_0 , подключённый к источнику постоянного напряжения, состоит из двух металлических пластин, находящихся на расстоянии d_0 друг от друга. Расстояние между пластинами меняется со временем так, как показано на графике.



Выберите **два** верных утверждения, соответствующих описанию опыта.

- 1) В момент времени t_4 ёмкость конденсатора увеличилась в 5 раз по сравнению с первоначальной (при $t = 0$).
- 2) В интервале времени от t_1 до t_4 заряд конденсатора возрастает.
- 3) В интервале времени от t_1 до t_4 энергия конденсатора равномерно уменьшается.
- 4) В промежутке времени от t_1 до t_4 напряжённость электрического поля между пластинами конденсатора остаётся постоянной.
- 5) В промежутке времени от t_1 до t_4 напряжённость электрического поля между пластинами конденсатора убывает.

верный ответ 12 выбрали 30% участников экзамена. 12% выбрали дополнительно ко второму ещё и четвертое утверждение, перепутав напряжённость с напряжением. 17% выпускников выбрали ответы 3 и 5, неверно интерпретировав описанный в задании процесс.

Элементы астрофизики в КИМ проверялись линией заданий 24 на множественный выбор двух утверждений из пяти предложенных. В основной день предлагалось лишь три модели заданий: на базе диаграммы Герцшпрунга—Рессела, на базе таблицы с характеристиками ярких звёзд (температура поверхности, масса, радиус, средняя плотность) и на базе таблицы с характеристиками звёзд (температура поверхности, масса, радиус, название созвездия, к которому относится звезда).

С заданиями с привлечением диаграммы Герцшпрунга—Рессела справляются в среднем 66% участников экзамена. При этом большинство успешно: сравнивает длительность «жизненного цикла» звёзд различных спектральных классов главной последовательности; распознаёт по описаниям звёзд их отношение к главной последовательности, красным гигантам или белым карликам; распознаёт различия в плотности красных гигантов, звёзд главной последовательности и белых карликов. Затруднения вызывают утверждения, связанные с понятиями «светимость» и «абсолютная звёздная величина». Например, к типичным ошиб-

кам можно отнести выбор в качестве верных утверждений «Чем выше температура звезды, тем больше её светимость» и «Чем ниже температура поверхности звезды, тем меньше её абсолютная звёздная величина».

С заданиями на базе таблицы с характеристиками звёзд (температура поверхности, масса, радиус, название созвездия, к которому относится звезда) справляются в среднем около 68% выпускников. Здесь затруднения были связаны с отнесением звёзд по их характеристикам к красным гигантам и сверхгигантам.

Более трудными оказались задания с использованием таблицы с характеристиками звёзд, в числе которых указывалась средняя плотность (см. пример 13).

Средний процент выполнения этого задания — 58. Затруднение вызывает отнесение звёзд к гигантам, белым карликам и звёздам главной последовательности по сравнению их плотностей. Кроме того, без подсказки в виде диаграммы Герцшпрунга—Рессела значительная часть участников экзамена затрудняется в определении спектрального класса звезды по температуре её поверхности.

Методологические умения

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

Пример 13

Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Наименование звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Средняя плотность по отношению к плотности воды
Поллукс	5100	0,83	0,83	2,1
Денеб	8550	21	210	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Садр	6500	12	255	$1,1 \cdot 10^{-6}$
40 Эридана В	16 000	0,5	0,14	$2,7 \cdot 10^2$
Ригель	11 200	40	138	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Процион В	9700	0,6	0,02	$1,1 \cdot 10^5$
Эль-Нат	14 000	5	4,2	0,1

Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд.

- 1) Средняя плотность звезды Денеб больше, чем средняя плотность Солнца.
- 2) Звезда Садр относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рессела.
- 3) Температура поверхности Ригеля соответствует температурам звёзд спектрального класса G.
- 4) Звезда Поллукс относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рессела.
- 5) Звезда Процион В относится к белым карликам.

Ответ:

Задание 22 проверяло умение записывать показания измерительных приборов с учётом заданной погрешности измерений. В тексте задания либо указывалось, что погрешность равна цене деления прибора, либо предлагалось конкретное значение абсолютной погрешности. Средний уровень выполнения этой линии заданий снижается в течение трёх лет: 43% в 2019 г., 63% в 2018 г. и 74% в 2017 г. В текущем году выпускники в целом справлялись со снятием показаний амперметров, вольтметров и динамометров. Но значительные затруднения вызвали задания, в которых необходимо было определить массу или длину объекта, определяемую с использованием метода рядов. Средний процент выполнения этой группы заданий — примерно 30. Ниже приведён пример выполнения одного из таких заданий (средний процент выполнения — 24).

Пример 14

Школьный реостат состоит из керамического цилиндра, на который плотно, виток к витку, намотана проволока. Для выполнения лабораторной работы по измерению удельного сопротивления материала, из которого изготовлена проволока реостата, необходимо измерить её диаметр. Ученик насчитал 40 витков проволоки, а длина намотки, измеренная линейкой, составила 3 см. Чему равен диаметр проволоки по результатам этих измерений, если погрешность линейки равна ± 1 мм?

Ответ: (_____ \pm _____) мм.

Анализ спектра ответов, представленных участниками экзамена к этому заданию, показывает что почти 61% смог определить диаметр проволоки, разделив 3 см на 40 витков, но 37% ошиблись в определении абсолютной погрешности измерений, либо записав её без изменений (± 1 мм), либо не указав вовсе.

Второе задание из этого блока проверяло умение выбирать оборудование для проведения опыта. В тексте заданий была сформулирована цель опыта (измерение какой-либо величины) или гипотеза исследования (зависимости одной физической величины от другой). Предлагались модели заданий: выбор экспериментальных установок, которые представлены в виде схематичных рисунков, или выбор двух строк таблицы, в строках которой предлагались характеристики экспериментальной установки. В первом случае средний процент выполнения заданий оказался выше (около 80), а во втором — результаты выполнения зависели от тематики планируемого опыта. Так, с выбором оборудования для исследования зависимости сопротивления от свойств проводника справились более 90% участников экзамена; для исследования периода нитяного маятника от заданных параметров — немногим более 80% выпускников, а для исследования периода или частоты колебаний в колебательном контуре от его параметров — лишь 62%.

Решение задач

В каждом экзаменационном варианте предлагалось по восемь задач по разным темам школьного курса физики.

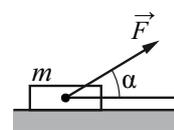
Задания с кратким ответом включали в себя задачи по механике, молекулярной физике и электродинамике. В среднем выполнение по всем расчётным задачам повышенного уровня сложности составило 37%. При этом для задач по механике это показатель — 38%; для заданий по молекулярной физике — 40%; для задач по электродинамике — 29%.

Уровень освоения достигнут только для двух групп задач: на движение связанных тел на нити, перекинутой через неподвижный блок, и на применение уравнения Менделеева–Клапейрона с учётом данных графика зависимости давления газа от его объёма.

В механике с задачами по кинематике справляются в среднем около 44% участников, с задачами на применение закона сохранения импульса к разрыву снаряда — 45%. Самой сложной в механике оказалась задача, представленная ниже.

Пример 15

Брусок массой $m = 2$ кг движется поступательно по горизонтальной плоскости под действием постоянной силы, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (см. рисунок). Коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0,2$. Модуль силы трения, действующей на брусок, $F_{\text{от}} = 2,8$ Н. Чему равен модуль силы F ?



Ответ: _____ Н.

Верный ответ в этом задании указали лишь 18% выпускников. Типичное затруднение здесь, судя по вееру представленных ответов, — неверная запись формулы для силы трения: без учёта того, что сила нормального давления не равна силе тяжести, а меньше её на величину, равную модулю проекции силы F на вертикальную ось.

В молекулярной физике достаточно успешно решались задачи на применение законов изопроцессов и применение уравнения Менделеева–Клапейрона. По-прежнему сложными оказываются задачи на применение первого закона термодинамики к изобарному процессу (пример 16).

Пример 16

Аргону сообщили количество теплоты, равное 30 кДж, и он изобарно расширился. При этом объём газа увеличился на $0,6$ м³. Каково давление газа? Масса газа постоянна.

Ответ: _____ кПа.

В этом задании лишь 19% участников экзамена привели верный ответ — 20 кПа. Четверть выпускников записали ответ 50 кПа, разделив количество теплоты на изменение объёма и не вникая в суть описанного процесса.

Среди заданий по электродинамике наиболее успешно выполнялись задачи на расчёт электрических цепей постоянного тока (44%), на движение заряженных частиц в магнитном поле (46%). Ниже ожидаемого оказались результаты решения достаточно простых задач на движение проводника в магнитном поле (23%), на применение формулы линзы (28%) и формулы для дифракционной решёт-

Пример 17

В таблице показано, как менялся ток в катушке идеального колебательного контура при свободных электромагнитных колебаниях в этом контуре.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I, 10^{-3} \text{ А}$	4,0	2,83	0	-2,83	-4,0	-2,83	0	2,83	4,0	2,83

Вычислите по этим данным энергию катушки в момент времени $5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$, если ёмкость конденсатора равна 405 пФ. Ответ выразите в нанджоулях (нДж), округлив до целого.

Ответ: _____ нДж.

ки (33%). Самые низкие результаты продемонстрированы для задач на электромагнитные колебания в колебательном контуре (см. пример 17).

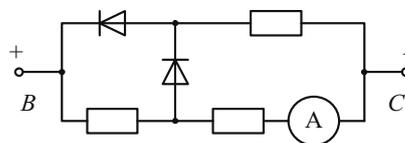
Верный ответ (даже с учётом неправильных округлений) привели всего 8% участников экзамена. При этом 36% пропустили задание, не приведя никакого ответа, а веер неверных ответов очень разнообразен и не даёт информации о какой-либо типичной ошибке. Можно предположить, что основным затруднением стала не формула для энергии магнитного поля (судя по заданиям базового уровня её знает и помнит большинство участников), а операция расчёта индуктивности катушки через ёмкость конденсатора и период колебаний, который необходимо было вычленивать из таблицы.

В этом году зафиксирована положительная динамика для качественных задач: средний процент выполнения — 8,5 в 2018 г., 27,4 в 2019 г. При этом наиболее высокие результаты и существенный рост продемонстрирован для тех моделей заданий, которые уже использовались при проведении ЕГЭ в прошлые годы. С задачей на изменение относительной влажности воздуха и плотности водяных паров при изменении парциального давления водяного пара полностью справились 16% (получили три балла); с задачей на заряд электрометров связанных металлическим стержнем при поднесении заряженной палочки — 12%; с задачей на сравнение времени закипания воды в сосудах с нагревателями, обмотки которого подключают параллельно и последовательно, — 12%; с задачей на перестроение графика циклического процесса из координат VT в координаты pV и сравнение работ газа на двух участках — 23%.

Наиболее сложными оказались две группы заданий. Первая из них, уже встречавшаяся в вариантах ЕГЭ, предполагала объяснение характера движения замкнутого медного кольца, подвешенного вблизи катушки, подключённой к источнику тока через реостат, при изменении сопротивления реостата. Средний процент выполнения этого задания составил 9,6. Пример задачи второй группы представлен ниже.

Пример 18

Три одинаковых резистора и два одинаковых идеальных диода включены в электрическую цепь, показанную на рисунке, и подключены к аккумулятору в точках В и С. Показания амперметра равны 2 А. Определите силу тока через амперметр при смене полярности подключения аккумулятора. Нарисуйте эквивалентные электрические схемы для двух случаев подключения аккумулятора. Опираясь на законы электродинамики, поясните свой ответ. Сопротивлением амперметра и внутренним сопротивлением аккумулятора пренебречь.



Здесь в первом случае верхний диод включён в обратном направлении, обладает бесконечно большим сопротивлением и ток через него не течёт. Получается, что первый резистор соединён последовательно с двумя другими, соединёнными параллельно друг другу. При смене полярности подключения аккумулятора верхний диод окажется включённым в прямом направлении и ток через левый резистор протекать не будет. Соответственно, уменьшится

общее сопротивление цепи, а сила тока станет равной 6 А.

Привели полностью верный ответ, избрав две эквивалентные схемы и проведя все необходимые рассуждения, 4% экзаменуемых. Допустили погрешности в объяснении, но пришли к правильному ответу 2%, а 8% смогли представить лишь отдельные верные рассуждения, направленные на решение задачи.

Средние результаты решения расчётных задач высокого уровня сложности составили 17,2%, что соответствует результатам прошлого года. По разделам средние результаты выполнения по всем группам задач каждого из разделов немного разнятся: 19% — по механике; 16% — по молекулярной физике и термодинамике; 18% — по электродинамике; 16% — по квантовой физике.

Среди заданий по механике более высокие результаты продемонстрированы для группы задач на применение закона сохранения импульса к неупругому удару и закона изменения энергии с учётом потерь на работу силы трения. Здесь полностью верно решили задачу, получив три балла, 31%. С задачами на расчёт силы, действующей на шар со стороны стенки в ситуации, когда шар подвешен к нити, привязанной к стенке сосуда, и полностью погружен в воду, справились в средней 28% участников. Сложными оказались задачи: по статике с палочкой, частично погруженной в жидкость; на равновесие двух грузов на стрелке, закреплённом на двух опорах; на отскок свободно падающего тела от наклонной плоскости с последующим движением под углом к горизонту; на абсолютно неупругое столкновение двух тел с последующим их отскоком от сжатой пружины. Для всех этих сюжетов средний процент выполнения не превышает 10.

По молекулярной физике наиболее высокие результаты были получены для «старых» сюжетов. Среди них задачи: на изменение относительной влажности в комнате при работе увлажнителя воздуха (22%), на расчёт КПД цикла теплового двигателя (27%), на сравнение работы газа в изобарном и адиабатном процессах (18%), на подъём пузырька воздуха со дна равномерно прогретого водоёма (12%).

Несколько ниже ожидаемого выполнены задачи на применение уравнения теплового баланса (10%), в которых затруднение вызвала сама ситуация, когда в один и тот же сосуд с тёплой водой последовательно опускают друг за другом два одинаковых холодных шарика.

Существенные затруднения вызвали задачи, пример одной из которых приведён ниже.

Пример 19

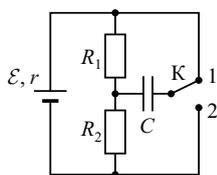
Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. В первом сосуде находится $\nu_1 = 2$ моль гелия при температуре $T_1 = 400$ К; во втором — $\nu_2 = 3$ моль аргона при температуре $T_2 = 300$ К. Кран открывают. В установившемся равновесном состоянии давление в сосудах становится $p = 5,4$ кПа. Определите объём V одного сосуда. Объёмом трубки пренебречь.

Лишь 6% участников экзамена смогли понять, что в указанном процессе газ не совершает работы, а поскольку система является теплоизолированной, то в соответствии с первым законом термодинамики суммарная внутренняя энергия газов сохраняется, записать соответствующее уравнение совместно с уравнением Менделеева–Клапейрона и провести необходимые математические преобразования. Ещё 12% смогли записать часть необходимых уравнений, но допустили ошибку в записи первого закона термодинамики и получили за решение один балл.

По электродинамике участники экзамена достаточно успешно решали задачи на расчёт мощности в электрической цепи постоянного тока (26%). При этом немного ниже среднего выполнены задачи, в которых использовалась ситуаций «закорачивания» резистора при замыкании ключа. С задачами на движение в магнитном поле конического маятника с заряженным шариком справилось около 20% экзаменуемых. Затруднения вызвали два сюжета: задачи на движение заряженного шарика, подвешенного на вертикальной нити, в горизонтальном электрическом поле (4%) и группа задач, одна из которых приведена ниже.

Пример 20

В электрической цепи, показанной на рисунке, $r = 1$ Ом, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $C = 0,2$ мкФ, ключ K длительное время находится в положении 1. За длительное время после перевода ключа K в положение 2 изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = \square 0,55$ мкКл. Найдите ЭДС источника E .



Здесь лишь 4% смогли полностью изложить ход решения. Как показывает анализ результатов решения аналогичных задач прошлых лет, выпускники понимают, что напряжение на конденсаторе в таких цепях равно напряжению на резисторе, параллельно которому конденсатор подключён, и умеют применять законы Ома для участка цепи и полной цепи. Но в задаче из примера 20 после перевода ключа в другое положение меняется и полярность подключения конденсатора к источнику. Правая обкладка, которая первоначально была заряжена положительно, приобретёт отрицательный заряд. Именно с определением изменения заряда обкладки и было связано основное затруднение выпускников при решении данной задачи.

На позиции 32 предлагались задачи по квантовой физике. Здесь достаточно высокие результаты продемонстрированы для заданий: на явление фотоэффекта (средний процент выполнения — 20), на нагрев воды при помощи электромагнитного из-

лучения (три балла получили 35% участников), на движение заряженной частицы в электростатическом и магнитном полях (14%). Ниже ожидаемого выполнена задача на фотоэффект, в которой величину тока насыщения необходимо было определить по графику зависимости силы тока от напряжения между анодом и катодом.

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 (36 тестовых баллов). Все тестируемые, не достигшие минимальной границы, выделяются 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 3, набравшая от 61 до 80 баллов. В этом диапазоне баллов необходимо показать устойчивое выполнение заданий повышенного уровня сложности. Для группы 4 (высокобалльников — от 81 до 100 баллов) характерно наличие системных знаний и овладение комплексными умениями.

На рисунке 3 представлена диаграмма, демонстрирующая распределение по группам подготовки в 2019 г.

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

Распределение участников ЕГЭ по физике по уровням подготовки

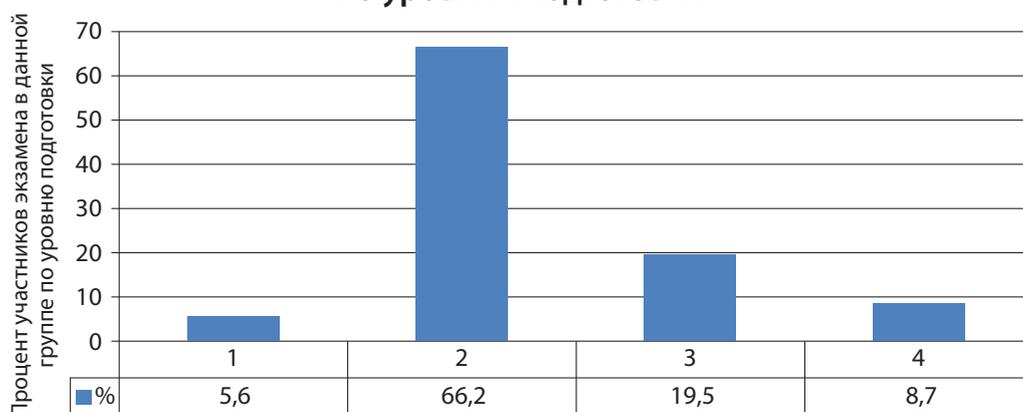


Рис. 3

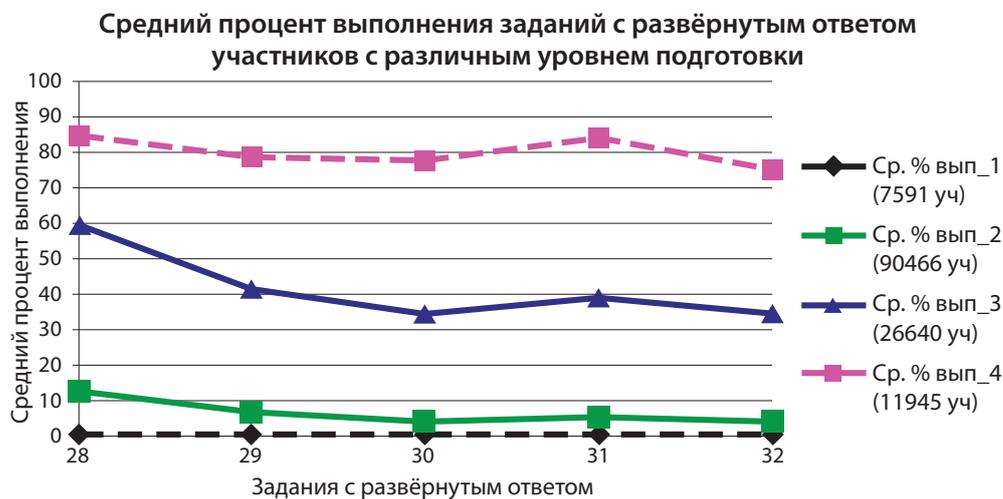
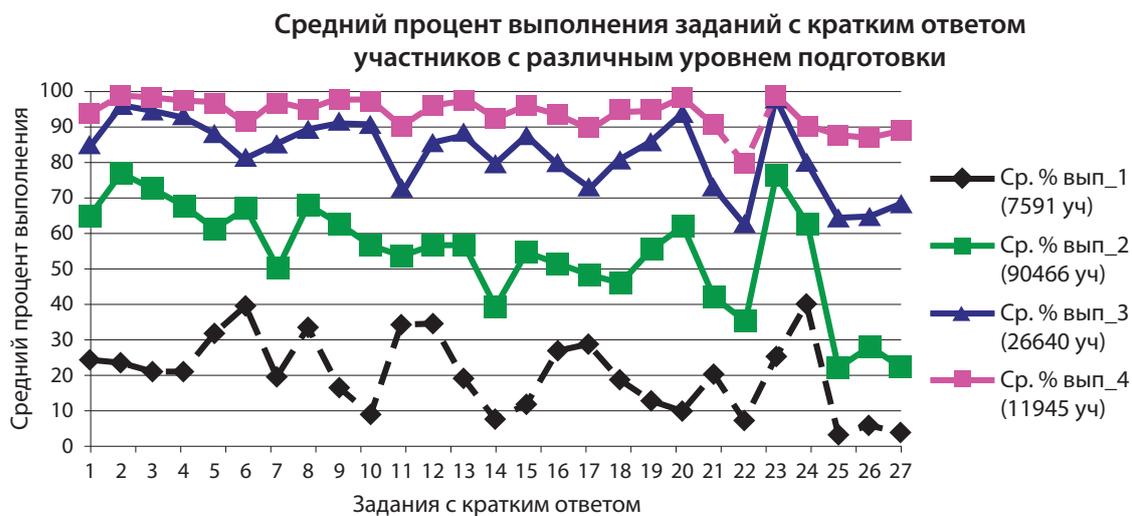


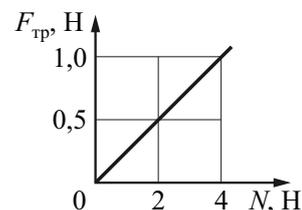
Рис. 4

Участники из группы 1 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 19,2, повышенного уровня — 16,5. Более успешно выполняются задания базового уровня на применение наиболее значимых законов и формул по молекулярной физике и механике, а также задания на изменение величин по темам «Динамика», «Механические колебания» и «Постоянный ток».

Ниже приведён пример задания, с которым справились около 45% выпускников данной группы.

Пример 21

При исследовании зависимости модуля силы трения скольжения $F_{тр}$ бруска от модуля силы нормального давления N получен график, представленный на рисунке.



Определите коэффициент трения.

Ответ: _____.

Группа 2 по уровню подготовки самая многочисленная, к ней относятся экзаменуемые, получившие от 11 до 31 первичных балла. Данная группа участников экзамена продемонстрировала освоение наиболее

важных законов и формул, а также умений применять эти формулы для анализа процессов в типовых учебных ситуациях, которые проверялись в экзаменационной работе заданиями базового уровня сложности. Результаты выполнения группы заданий базового уровня составили в среднем 55,7%, заданий повышенного уровня — 37,3%. Среди заданий базового уровня результаты ниже уровня освоения зафиксированы для линии заданий на расчёт электрических цепей постоянного тока и двух линий заданий по квантовой физике.

Ниже приведён пример задания, с которым справились около 70% тестируемых данной группы.

Пример 22

Искусственный спутник обращается вокруг Земли по вытянутой эллиптической орбите. В некоторый момент времени спутник проходит точку **минимального** удаления от Земли. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения относительно движения спутника.

- 1) Ускорение спутника при прохождении этого положения равно 0.
- 2) Полная механическая энергия спутника в этом положении достигает максимума.
- 3) Кинетическая энергия спутника при прохождении этого положения максимальна.
- 4) Сила притяжения спутника к Земле в этом положении максимальна.
- 5) Скорость спутника при прохождении этого положения минимальна.

Основным дефицитом для группы 2 является решение задач: для заданий повышенного уровня сложности средний процент выполнения составляет 21,7. Из заданий с развёрнутым ответом участники экзамена из этой группы приступают к решению преимущественно заданий по механике, частично записывая, как правило, необходимые исходные уравнения.

Группа 3 (от 32 до 42 первичных баллов) демонстрирует освоение содержания курса физики как на базовом, так и на повышенном уровнях сложности.

Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 81,5, повышенного уровня — 71,1, высокого уровня — 37,0. В отличие от предыдущей, данная группа успешно справляется с расчётом электрических цепей, с заданиями на определение периода полураспада радиоактивных элементов, на сравнение характеристик фотонов различных диапазонов электромагнитного излучения. Кроме того, средний процент решения задач повышенного уровня сложности составляет для этой группы более 60.

Ниже приведён пример расчётной задачи повышенного уровня, средний процент выполнения которого для данной группы составляет около 65.

Пример 23

Какой путь пройдёт тело за 2 с, двигаясь по прямой в одном направлении, если его скорость за это время уменьшается в 3 раза? Модуль ускорения тела равен 5 м/с^2 .

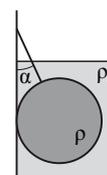
Ответ: _____ м.

Данная группа не освоила решение расчётных задач с развёрнутым ответом. При этом основные затруднения возникают при решении заданий интегрированного характера.

Выпускники группы 4 набрали по результатам выполнения экзаменационной работы от 43 до 52 первичных баллов. Для данной группы характерно освоение всех элементов содержания и всех проверяемых способов действий. Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 90,1, повышенного уровня — 89,7, высокого уровня — 79,1. Ниже приведён пример задачи высокого уровня сложности, с которой справились примерно 85% выпускников из данной группы.

Пример 24

Железный шар массой 2,5 кг подвешен на нити и полностью погружен в воду (см. рисунок). Нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$. Определите силу, с которой шар действует на нить. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шар.



Отличительной особенностью данной группы является освоение умения решать расчётные задачи высокого уровня сложности, требующие применения знаний из разных разделов курса физики.

Остановимся на некоторых рекомендациях по совершенствованию приёмов и методов обучения, которые можно сделать на основании проведённого анализа результатов выполнения заданий ЕГЭ в текущем году.

В первую очередь обратим внимание на существующие дефициты в области сформированности методологических умений выпускников.

К сожалению, в рамках ЕГЭ в силу организационных сложностей не обеспечивается полноценная проверка уровня сформированности умений проводить измерения и опыты. Однако даже имеющиеся данные говорят о недостаточном внимании к проведению лабораторных работ и работ практикума.

Как было показано выше, результаты выполнения группы заданий линии 22 выявили пробелы в умении рассчитывать абсолютную погрешность измерений при использовании метода рядов. Как правило, с этим методом учащиеся первоначально знакомятся ещё в седьмом классе, и в большинстве учебников не уделяется внимание записи показаний с учётом абсолютной погрешности измерений. Очевидно, к методу рядов необходимо вернуться в средней школе и освоить действия с абсолютными погрешностями.

В контрольно-измерительных материалах по физике используются задания, базирующиеся на фотографиях или рисунках различных лабораторных и демонстрационных опытов курса средней школы. Для этих заданий результаты выполнения существенно ниже, чем для других заданий по этой же теме, но не использующих контекст опытов. Приведём примеры.

В заданиях на анализ явлений отражения и преломления света используется фотография стандартного опыта. При этом фотография опыта дополнена стрелками, указывающими ход лучей (рис. 5). Только треть выпускников правильно определяют углы падения, отражения и преломления и находят показатель преломления. 40% участников экзамена по данному рисунку

указывают, что углы падения и отражения равны 20° .

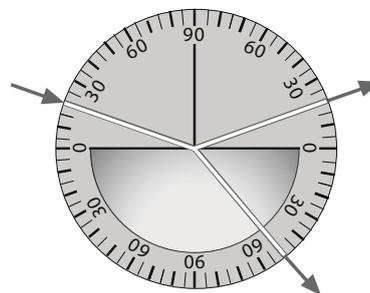


Рис. 5

Как правило, эти понятия очень хорошо усваиваются в процессе выполнения соответствующих учебных опытов. А столь высокий процент ошибочных ответов говорит, скорее всего, об изучении световых явлений только с учебником в руках.

Другим примером является использование рисунка классического опыта с вращением замкнутого кольца при поднесении к нему магнита (рис. 6).

В задании, которое базировалось на данном опыте, требовалось определить, отталкивается или притягивается медное кольцо к магниту, и установить направление индукционного тока в кольце. Лишь треть выпускников справилась с этим заданием. Вполне понятно, что сложным элементом здесь является определение направления индукционного тока. Однако более трети участников экзамена делают ошибку в определении направления движения коромысла с кольцом. Довольно сложно ошибиться в этом, если хотя бы раз провести такой опыт самостоятельно или увидеть его на уроке. Опять же столь высокий процент таких неверных ответов говорит о том, что старшеклассники скорее всего видели только картинку в учебнике, а не реальный опыт.

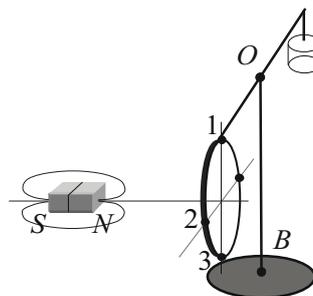


Рис. 6

Эти факты свидетельствуют о недостаточном внимании к практической части курса или об отсутствии необходимого оборудования для проведения лабораторных работ и демонстрационных экспериментов.

Стоит помнить, что замена реального эксперимента компьютерным моделированием или даже видеосюжетами с записью опытов не даёт того обучающего эффекта, как самостоятельное проведение учащимися наиболее важных опытов и обязательных лабораторных работ.

Следующий аспект, на который хочется обратить внимание, — это некоторый дисбаланс, который демонстрируется по результатам экзамена при выполнении заданий по одной теме, но представленных в разных формах (с кратким ответом, на соответствие на изменение величин). В качестве примера рассмотрим задания на понимание электромагнитных колебаний в колебательном контуре. В вариантах ЕГЭ встречаются различные задания по данной теме. Задание на изменение периода колебаний при изменении ёмкости конденсатора или индуктивности катушки правильно выполняют более 75% выпускников. Следовательно, мы можем говорить о том, что проблем с усвоением формулы Томсона нет. С заданиями на распознавание формул для периода колебаний, энергии конденсатора и энергии магнитного поля катушки, а также формул для амплитуд колебаний заряда или силы тока справляются около 60% экзаменуемых. Задания на распознавание графиков, выражающих зависимость различных физических величин, характеризующих свободные колебания в контуре, посильны половине участников. Выполнение этих заданий говорит о том, что должны быть освоены формулы для колебаний заряда и т.д. Но результаты выполнения других заданий противоречат этому. Приведённый выше пример 6 демонстрирует серьёзные проблемы с освоением аналитического представления электромагнитных колебаний, а задание из примера 17 — о проблемах с анализом колебаний, представленных в табличном виде, и применением формулы Томсона.

Вполне вероятно, что процесс освоения электромагнитных колебаний в контуре базируется на заданиях, предлага-

емых в ЕГЭ. При этом сам процесс усвоения «завязан» на модель задания, что и приводит к пробелам по отдельным направлениям. Формирующее оценивание должно базироваться на комплексных заданиях с развёрнутым ответом, например когда по заданным начальным условиям и характеристикам элементов контура предлагается и записать формулы для описания колебаний всех величин, их характеризующих, и построить соответствующие графики, причём «в числах». Понятно, что успешное выполнение такого задания гарантирует впоследствии и успешное выполнение заданий ЕГЭ, которые являются частными случаями по отношению к описанному комплексному заданию.

Наиболее важным видом деятельности, проверяемым в ЕГЭ по физике и востребованным при поступлении в вузы, является решение задач. Несмотря на то что наблюдается положительная динамика для задач повышенного уровня сложности, результаты решения расчётных задач высокого уровня сложности остаются пока без изменений. Здесь можно отметить два основных аспекта.

Первый — дефициты в умении анализировать условие задачи. Как правило, в ЕГЭ демонстрируются более высокие результаты для тех задач, в которых без дополнительного анализа видна физическая модель и решение которых осуществляется по изученному плану. Для них всегда фиксируются лучшие результаты, даже при наличии большего, чем в других задачах, количество необходимых уравнений и достаточно сложных математических преобразований. Например, достаточно трудоёмкая и многоходовая задача на традиционный расчёт КПД цикла решается лучше, чем задача из примера 19, в которой требуется использовать всего два уравнения, но перед этим понять суть происходящих процессов. Хорошей иллюстрацией дефицита в анализе условия, т.е. процессов, описанных в условии задачи, служит задача из примера 20, при решении которой даже высокобалльники не смогли разобраться в перезарядке конденсатора.

В традициях методики обучения решению задач по физике анализ условия относится к устной части, записываем же мы

только «Дано», т.е. заданные физические величины. В результате анализ процессов зачастую сводится к перечню величин, для которых учащиеся стремятся подобрать подходящие формулы. Можно рекомендовать на этапе обучения ввести дополнительный пункт в оформление задачи, в рамках которого, кроме записи «Дано» и рисунка (при необходимости), учащиеся описывают особенности процессов задачной ситуации и обосновывают выбор физической модели. Хотелось отметить, что решения задач в 100-балльных работах отличает как раз наличие таких комментариев в начале решения, которые позволяют судить о понимании экзаменуемым сути рассматриваемых процессов и обоснованности выбранного способа решения.

Второй — недостатки, связанные с полнотой представления решения. Зачастую у участников экзамена бытует мнение, что наличие верного ответа — это гарантия получения максимального балла за решение задачи. При этом они используют формулы, которые уже являются производными основных формул, пропускают логические шаги в математических преобразованиях, не показывают, каким образом был получен числовой ответ. В критериях оценивания задач с развёрнутым ответом оговариваются требования к полному правильному ответу, которые показывают, что оценивается вся цепочка рассуждений.

Целесообразно в рамках курсов повышения квалификации учителей выделить время на знакомство с частью материалов, которые в рамках ЕГЭ разрабатываются для экспертов, проверяющих решения задач с развёрнутым ответом. Если в рамках текущего оценивания учителя будут придерживаться тех же требований, что в ЕГЭ, то повысится и качество выполнения заданий с развёрнутым ответом на экзамене. Приведём два примера того, на что нужно обращать внимание при обучении записи решения и проверке работ учащихся.

Во-первых, в качестве исходных формул принимаются только те, которые указаны в кодификаторе, при этом форма записи формулы значения не имеет, но имеют значение используемые обозначения физических величин. Если используются отличные от кодификатора обозна-

чения, то их нужно отдельно оговаривать. Если же учащийся использовал в качестве исходной формулы ту, которая не указана в кодификаторе, то работа оценивается исходя из отсутствия одной из необходимых для решения формул. Например, если учащийся использовал в качестве исходной формулы для количества теплоты $Q = \frac{5}{2}pV$,

полученного газом в изобарном процессе, то при правильном ответе он получит за работу всего один балл, поскольку эту формулу нужно выводить из первого закона термодинамики и уравнения Менделеева—Клапейрона. А вот формулу для внутренней энергии одноатомного идеального газа $U = \frac{3}{2}pV$ можно использовать без вывода, поскольку она есть в кодификаторе.

Во-вторых, необходимо обращать внимание на корректность числового ответа. Как правило, в процессе решения задач учат проверять размерность полученной величины по конечной формуле, но подчас пренебрегают проверкой числового ответа на соответствие физическому смыслу. В ЕГЭ числовой ответ задачи обязательно проверяется экспертами, при этом допускаются округления с учётом того числа значащих цифр, которые указаны в условии задачи. (Хотя и избыточная точность числового ответа в настоящее время не считается ошибкой.) При недостаточной точности ответа или при решении задачи по действиям допускается погрешность ответа, не меняющая физической сути числового ответа задачи. Например, ученик решал задачу на определение площади изображения треугольника в собирающей линзе и сначала построил рисунок, из которого явно видно, что площадь изображения меньше площади предмета, а затем в процессе решения по действиям допустил несколько грубых округлений и получил искомую площадь, равную площади предмета. В этом случае ответ будет засчитан как неверный, так как он противоречит условию.

Содержание КИМ ЕГЭ по физике в 2020 г. осталось прежним, но изменена форма представления двух линий заданий.

Расчётная задача, которые ранее была представлена в части 2 в виде задания с кратким ответом, теперь предлагается

для развёрнутого решения. Таким образом, количество заданий с развёрнутым ответом в КИМ ЕГЭ увеличено с пяти до шести.

К сожалению, результаты выполнения этих заданий остаются невысокими. Анализ вееров ответов показывает, что достаточно многочисленная часть участников экзамена допускает ошибки при расчётах или в процессе математических преобразований. При этом решение всей задачи оценивается в 0 баллов, хотя все необходимые законы и формулы эта группа выпускников применяет правильно. В качестве примера можно привести результаты решения двух достаточно простых задач.

Пример 25

Предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр. Изображение предмета действительное, увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета) $k = 2$. Найдите расстояние между предметом и его изображением. Ответ выразите в сантиметрах.

Ответ: _____ см.

Здесь 28% участников экзамена записали верный ответ — 90 см, ещё 9% записали в ответ 30 см, т.е. подсчитали расстояние до предмета и забыли прибавить к нему расстояние до изображения, а ещё 26% решили задачу для действительного изображения. Понятно, что более 60% успешно использовали формулу линзы и их ответы являются частично верными, однако балл за выполнение задания получили менее трети участников.

Пример 26

Две частицы с отношением зарядов $\frac{q_2}{q_1} = \frac{1}{8}$ движутся в однородных магнитных полях, перпендикулярных их скоростям: первая — в поле с индукцией B_1 ; вторая — в поле с индукцией B_2 . Найдите отношение радиусов траекторий частиц $\frac{R_2}{R_1}$, если их импульсы одинаковы, а отношение модулей индукции $\frac{B_2}{B_1} = 2$.

Ответ: _____.

Здесь 47% выпускников записали верный ответ — 4, а почти 20% указали вме-

сто него ответ 0,25. Ясно, что они верно записали все формулы и провели преобразования, но нашли отношение радиуса траектории первой частицы к радиусу второй.

Эти данные позволяют говорить о целесообразности перевода таких расчётных задач в форму с развёрнутым ответом. При этом появляется возможность оценивать как полностью верные ответы, так и частично верные, обращая внимание прежде всего на используемую физическую модель. Для этой линии заданий в следующем году будут отбираться задачи с явно заданной физической моделью, для решения которых необходимо использовать две-четыре формулы по одному из разделов механики.

Максимальный балл, который можно будет получить за полное верное решение расчётной задачи повышенного уровня сложности, — два. В требования к полному верному решению включены три стандартные позиции:

1) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом;

2) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

3) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.

Частично верный ответ должен включать в себя всю физическую часть решения (представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи), но допускает ошибки в математических преобразованиях или расчётах.

Для задания 24, проверяющего освоение элементов астрофизики, вместо выбора двух обязательных верных ответов предлагается выбор всех верных ответов — двух или трёх. Ниже приведён пример 27 одного из таких заданий.

Если указаны все верные элементы ответа, то выполнение задания оценивается в два балла. Если допущена одна ошибка или дополнительно к верным

Пример 27

Рассмотрите таблицу, содержащую сведения о ярких звёздах.

Наименование звезды	Температура поверхности, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран <i>A</i>	3600	5,0	45	$7,7 \cdot 10^{-5}$
ε Возничего <i>B</i>	11 000	10,2	3,5	0,33
Капелла	5200	3,3	23	$4 \cdot 10^{-4}$
Ригель	11 200	40	138	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус <i>A</i>	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус <i>B</i>	8200	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6000	1,0	1,0	1,4
α Центавра <i>A</i>	5730	1,02	1,2	0,80

Выберите **все** верные утверждения, которые соответствуют характеристикам звёзд.

- 1) Звезда Альдебаран относится к звёздам спектрального класса *K*.
- 2) Звезда Ригель относится к сверхгигантам.
- 3) Наше Солнце имеет максимальную температуру поверхности среди звёзд главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рессела.
- 4) Звезда α Центавра *A* относится к звёздам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рессела.
- 5) Звезда ε Возничего *B* относится к белым карликам.

Ответ: _____ 124 _____

элементам ответа указан один неверный, ставится один балл. В остальных случаях — 0 баллов.

Содержательные элементы и способы действий, проверяемые другими линиями заданий КИМ, оставлены без изменений.