



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

**М.Ю. Демидова**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
для учителей, подготовленные  
на основе анализа типичных ошибок  
участников ЕГЭ 2018 года**

**по ФИЗИКЕ**

Москва, 2018

В 2018 г. были незначительно изменены структура и содержание КИМ ЕГЭ по физике. В кодификатор элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников образовательных организаций для проведения ЕГЭ по физике была добавлена тема «Элементы астрофизики», включающая пять контролируемых элементов содержания, которые соответствуют обязательному минимуму содержания образования по физике ФК ГОС. В часть 1 работы добавлена линия заданий по проверке трех элементов астрофизики, изучаемых в курсе физики средней школы: Солнечная система, звезды, современные представления о происхождении и эволюции звезд. Все задания в новой линии имели контекстный характер и предполагали использование различных табличных данных об объектах Солнечной системы и звездах или диаграммы Герцшпрунга – Рассела. По форме задания этой линии представляли собой выбор двух верных утверждений из пяти предложенных и оценивались максимально в 2 балла. Это привело к увеличению максимального первичного балла с 50 до 52 баллов. Кроме того, была изменена минимальная граница в первичных баллах: с 9 до 11. На выполнение всей экзаменационной работы отводилось 235 минут.

Каждый вариант экзаменационной работы состоял из двух частей и включал в себя 32 задания, различающихся формой и уровнем сложности. Часть 1 содержала 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, в которых ответы необходимо записать в виде последовательности цифр. Задание 21 проверяло освоение понятийного аппарата по механике, молекулярной физике, электродинамике и квантовой физике. 2 задания в конце части 1 были направлены на оценку методологических умений. Последнее задание части 1 оценивало освоение элементов астрофизики. Часть 2 содержала 8 заданий, объединенных общим видом деятельности – решение задач. Из них 3 задания с кратким ответом и 5 заданий, для которых необходимо было привести развернутый ответ.

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).

Каждый вариант экзаменационной работы проверял элементы содержания из всех разделов школьного курса физики, при этом для каждого раздела предлагались задания разных уровней сложности. Наиболее важные с точки зрения продолжения образования в высших учебных заведениях содержательные элементы контролировались в одном и том же варианте заданиями разных уровней сложности.

В экзаменационной работе были представлены задания разных уровней сложности: базового, повышенного и высокого. Задания базового уровня были включены в часть 1 работы (19 заданий с кратким ответом, из которых 15 заданий с записью ответа в виде числа

или слова и 4 задания на соответствие или изменение физических величин с записью ответа в виде последовательности цифр). Это простые задания, проверяющие усвоение наиболее важных физических понятий, моделей, явлений и законов. Задания повышенного уровня – это 5 заданий с кратким ответом в части 1, 3 задания с кратким ответом и 1 задание с развернутым ответом в части 2. Эти задания направлены на проверку умения использовать понятия и законы физики для анализа различных процессов и явлений, а также умения решать задачи на применение одного-двух законов (формул) по какой-либо из тем школьного курса физики. 4 задания части 2 являются заданиями высокого уровня сложности и проверяют умение использовать законы и теории физики в измененной или новой ситуации. Выполнение таких заданий требует применения знаний сразу из двух-трех разделов физики, т.е. высокого уровня подготовки.

Число участников ЕГЭ по физике в 2018 г. (основной день) составило 150 650 человек, среди которых 99,1% выпускников текущего года. Численность участников экзамена сопоставима с предыдущим годом (155 281 человек), но ниже численности в 2016 г. (167 472 человек). В процентном отношении число участников ЕГЭ по физике составило 23% от общего числа выпускников, что немного ниже показателей прошлого года. Небольшое снижение численности сдающих ЕГЭ по физике, возможно, связано с увеличением вузов, принимающих в качестве вступительного испытания информатику.

Наибольшее число участников ЕГЭ по физике отмечается в г. Москве (10 668), Московской области (6546), г. Санкт-Петербурге (5652), Республике Башкортостан (5271) и Краснодарском крае (5060).

Средний балл ЕГЭ по физике 2018 г. составил 53,22, что сопоставимо с показателем прошлого года (53,16 тестовых балла). На рис. 1 представлено распределение результатов участников ЕГЭ по физике по первичным баллам.



Рис. 1

Максимальный тестовый балл набрали 269 участников экзамена из 44 субъектов РФ, в предыдущем году 100-балльников было 278 человек. Минимальный балл ЕГЭ по физике в 2018 г., как и в 2017 г., составил 36 т.б., но в первичных баллах это составило 11 баллов, по сравнению с 9 первичными баллами в предыдущем году. Доля участников экзамена, не преодолевших минимального балла в 2018 г. составила 5,9%, что немного выше не достигших минимальной границы в 2017 г. (3,79%).

В сравнении с двумя предыдущими годами немного повысилась доля слабо подготовленных участников (21–40 т.б.). Доля высокобалльников (61–100 т.б.) увеличилась, достигнув максимальных значений за три года. Это позволяет говорить об усилении дифференциации в подготовке выпускников и о росте качества подготовки обучающихся, изучающих профильный курс физики.

В 2018 г. доля участников экзамена, набравших 81–100 баллов, составила 5,61%, что выше, чем в 2017 г. (4,94%). Для ЕГЭ по физике значимым является диапазон от 61 до 100 тестовых баллов, который демонстрирует готовность выпускников к успешному продолжению образования в вузах. В этом году эта группа выпускников увеличилась по сравнению с предыдущим годом и составила 24,22%.

Анализ результатов выполнения экзаменационной работы можно проводить по трем направлениям: для групп заданий по разным тематическим разделам; для групп заданий, проверяющих сформированность различных способов действий, а также для групп заданий разного уровня сложности. Приведем общие результаты по всем трем направлениям и подробно остановимся на анализе по способам действий.

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
Механика	60,8
Молекулярная физика	53,3
Электродинамика	49,9
Квантовая физика и элементы астрофизики	60,3

По механике, молекулярной физике и электродинамике средние результаты по блокам содержания можно сравнивать, так как в этом году по этим разделам процент заданий базового, повышенного и высокого уровней сложности был одинаковым. По квантовой физике в работу не включались задачи высокого уровня сложности, поэтому средний процент выполнения этой группы заданий отражает только выполнение заданий базового и повышенного уровней сложности. Для заданий этих уровней сложности результаты по квантовой физике несколько повысились. Как и в прошлом году, четко прослеживаются приоритет механики и более низкие результаты по молекулярной физике и электродинамике. Это еще раз подтверждает существующее в тематическом планировании курса несоответствие учебного времени, отводимого на изучение электродинамики, объему содержания этого раздела и требованиям к глубине его освоения.

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

Таблица 2

Способы действий	Средний % выполнения по группам заданий	
	2017 г.	2018 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	67,1	68,8
Анализ и объяснение явлений и процессов	63,1	61,4
Методологические умения	75,3	65,3
Решение задач	19,3	20,6

Значимых изменений результатов в применении законов и формул в типовых учебных ситуациях и анализе физических процессов не произошло. Положительной динамики по решению задач в среднем не продемонстрировано, но для групп с разным уровнем подготовки отмечается еще большая дифференциация в освоении этого умения. Высокобалльники демонстрируют несколько более высокие результаты, чем в прошлом году, а выпускники с низким уровнем подготовки практически не приступают к решению задач.

Снизилась результаты выполнения заданий на проверку методологических умений. При этом отмечен тот же уровень овладения умением выбирать оборудование для проведения эксперимента по заданной гипотезе, но снизилась результаты выполнения заданий на снятие показаний измерительных приборов. Основные затруднения были связаны с использованием фотографий двухпредельных приборов.

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

Таблица 3

Группы заданий разного уровня сложности	Средний % выполнения	Средний % выполнения для групп с различным уровнем подготовки			
		Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Базовый уровень	66,1	17,7	60,3	88,9	96,4
Повышенный уровень	46,4	19,7	38,8	68,7	87,2
Высокий уровень	15,4	0,1	5,1	37,6	79,5

По сравнению с прошлым годом наблюдается положительная динамика для заданий базового уровня сложности (с 42,0% до 46,4%).

На рис. 2 приведена диаграмма средних процентов выполнения по каждой линии заданий для экзаменационной работы 2018 г.



Рис. 2

Исходя из общепринятых норм, содержательный элемент или умение считается усвоенным, если средний процент выполнения соответствующей группы заданий с кратким и развернутым 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, проверяемых заданиями части 1 экзаменационной работы. К ним относятся умения:

- интерпретировать графики, отражающие зависимость физических величин, характеризующих равноускоренное движение тела, свободное падение тела, механические колебания маятника, электромагнитные колебания в колебательном контуре, явление фотоэффекта; определять ускорение по графику зависимости проекции скорости от времени;
- вычислять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: второй закон Ньютона, сила упругости, сила трения, закон сохранения механической энергии, потенциальная энергия тела в поле тяжести, кинетическая энергия, импульс тела, импульс силы, скорость звука, период колебаний пружинного маятника, зависимость средней кинетической энергии теплового движения молекул от температуры, основное уравнение МКТ, уравнение состояния идеального газа, работа газа, первый закон термодинамики, КПД тепловой машины, влажность воздуха, количество теплоты, закон Кулона, формула для силы тока, закон отражения света, формула Томсона, формулы для энергии и импульса фотона, закон радиоактивного распада;
- определять направление вектора напряженности суммарного поля нескольких точечных зарядов, вектора магнитной индукции прямого тока, направление силы Ампера; состав атома и 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, движение спутников, движение по наклонной плоскости, плавание тел, изменение параметров газов в изо-процессе, изменение параметров цепи постоянного тока, движение заряженной частицы в магнитном поле, изменение длины или поперечного сечения проводника в цепи

постоянного тока, изменение параметров колебательного контура, явление фотоэффекта;

- проводить комплексный анализ физических процессов: неравномерное движение, представленное в виде графика зависимости координаты от времени; плавание тел; неупругий удар; колебательные движения тел, представленные в виде табличных значений координаты и времени; движение тела по окружности; изопроцессы в идеальном газе, представленные при помощи графиков; сравнение изопроцессов, представленных в виде  $pV$ - или  $np$ -диаграммы; насыщенные и ненасыщенные пары; возникновение индукционного тока в контуре; действие силы Ампера на проводник с током; колебания проводящего шарика в поле конденсатора;
- записывать показания измерительных приборов (динамометр, манометр, вольтметр) с учетом погрешности измерений, выбирать недостающее оборудование для проведения косвенных измерений и экспериментальную установку для проведения исследования;
- характеризовать свойства космических объектов (планеты Солнечной системы, спутники планет, звезды) с использованием табличных данных и диаграммы Герцшпрунга – Рассела.

К проблемным можно отнести группы заданий, которые контролировали умения:

- определять давление твердых тел, силу давления столба жидкости, удельную теплоту парообразования и удельную теплоту плавления вещества с использованием графика зависимости времени нагревания от полученного количества теплоты, период колебаний колебательного контура с использованием формулы для изменения напряжения на обкладках конденсатора, энергию магнитного поля катушки с током; определять направление суммарного вектора магнитной индукции для двух прямых проводников с током; записывать показания манометра, двухпредельного амперметра; применять первый закон термодинамики для циклического процесса с использованием  $pV$ - и  $pT$ -диаграмм;
- проводить комплексный анализ физических процессов: изменение геометрических размеров заряженного конденсатора, явление электромагнитной индукции, излучение света атомом;
- решать качественные задачи повышенного уровня сложности, решать расчетные задачи повышенного и высокого уровней сложности.

Рассмотрим более подробно особенности выполнения групп заданий, проверяющих наиболее важные способы действий.

### ***Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях***

В каждом варианте экзаменационной работы содержалось по 12 заданий базового уровня с кратким ответом в виде числа, которые в совокупности по всем сериям вариантов проверяли понимание всех законов и формул курса физики средней школы. По большинству проверяемых элементов продемонстрирован уровень освоения.

Наиболее высокие результаты (более 75% выполнения) отмечены для групп заданий на проверку: понимания второго закона Ньютона, закона сохранения механической энер-

гии; знание формул силы упругости, потенциальной энергии тела в поле тяжести Земли, скорости звука; понимание зависимости средней кинетической энергии теплового движения молекул от температуры; знание основного уравнения МКТ, уравнения состояния идеального газа, первого закона термодинамики, КПД тепловой машины, формул влажности воздуха, силы тока, понимание закона отражения света, формулы для энергии и импульса фотона, закона радиоактивного распада.

Математически сложными оказались задания на определение давления твердых тел и закон Кулона (см. примеры ниже).

*Пример 1 (средний процент выполнения – 47)*

*Кирпич массой 4 кг лежит на горизонтальной кладке стены, покрытой раствором, оказывая на неё давление 1250 Па. Какова площадь грани, на которой лежит кирпич?*

*Ответ:* \_\_\_\_\_ см<sup>2</sup>.

*Пример 2 (средний процент выполнения – 36)*

*Одинаковые отрицательные точечные заряды, модуль которых  $|q| = 2 \cdot 10^{-8}$  Кл, расположены в вакууме на расстоянии 3 м друг от друга. Определите модуль сил взаимодействия этих зарядов друг с другом.*

*Ответ:* \_\_\_\_\_ мкН.

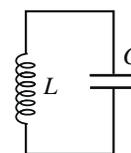
Для участников с низким и базовым уровнями подготовки трудности в этих заданиях представляли арифметические расчеты и перевод ответа в дольные единицы. Знание формулы закона Кулона подтверждается выполнением заданий на изменение силы Кулона при изменении расстояния между зарядами или величины зарядов не менее чем 60% выпускников.

Не усвоены формулы для силы давления столба жидкости (43%), энергии магнитного поля катушки с током (37%), а также определение периода колебаний колебательного контура с использованием формулы для изменения напряжения на обкладках конденсатора (см. пример ниже).

*Пример 3 (средний процент выполнения – 37)*

*В идеальном колебательном контуре (см. рисунок) напряжение между обкладками конденсатора меняется по закону  $U_C = U_0 \cos \omega t$ , где  $U_0 = 5$  В,  $\omega = 1000\pi$  с<sup>-1</sup>. Определите период колебаний напряжения на конденсаторе.*

*Ответ:* \_\_\_\_\_ с.



Понимание основных законов и формул проверялось и заданиями на соответствие как базового, так и повышенного уровней сложности. В них необходимо было сопоставить физическую величину той формуле, по которой ее можно рассчитать в заданной ситуации.

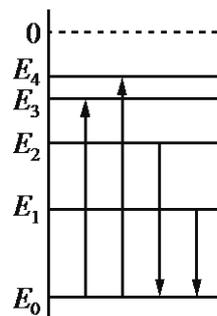
Наиболее высокие результаты здесь для закона Ома для участка цепи, работы и мощности электрического тока (86%), для уравнения Менделеева – Клапейрона и формулы для внутренней энергии (84,1%). Задания на определение формул из закона сохранения импульса и задания на нахождение формул для расчета электрических цепей с последовательным и параллельным соединениями проводников оказались доступны примерно половине выпускников. Ниже ожидаемого выполнены задания базового уровня на излучение света атомом.

Пример 4 (1 балл – 19%; 2 балла – 38%)

На рисунке изображена упрощённая диаграмма нижних энергетических уровней атома. Стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями.

Установите соответствие между процессами поглощения света наименьшей длины волны и излучения кванта света наименьшей частоты и энергией соответствующего фотона.

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



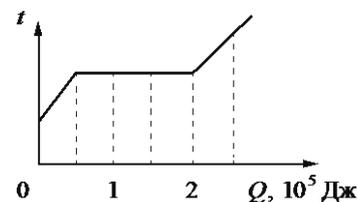
ПРОЦЕСС	ЭНЕРГИЯ ФОТОНА
А) поглощение света наименьшей длины волны	1) $E_1 - E_0$
Б) излучение кванта света наименьшей частоты	2) $E_2 - E_0$
	3) $E_3 - E_0$
	4) $E_4 - E_0$

Большое внимание в КИМах по физике уделяется проверке понимания различных графических зависимостей. Здесь используются как задания с кратким ответом в виде числа, в которых необходимо определить значение величины при помощи предложенного графика, так и задания на соответствие, в которых необходимо установить соответствие между схематичными графиками и величинами, которые эти графики описывают в заданном процессе.

При выполнении заданий первого типа с определением проекции ускорения по графику зависимости проекции скорости от времени справляется 75% участников экзамена, с определением силы тока по графику зависимости заряда от времени – 88%, с определением периода полураспада радиоактивных изотопов по графику – 76%. Затруднения в этом году вызвали графики плавления и кипения вещества, по которым необходимо было определить удельную теплоту плавления/парообразования. Пример такого задания приведен ниже.

Пример 5 (средний процент выполнения – 40,2)

Вещество массой 0,5 кг находится в сосуде под поршнем. На рисунке показан график изменения температуры  $t$  вещества по мере поглощения им теплоты  $Q$ . Первоначально вещество было в жидком состоянии. Какова удельная теплота парообразования вещества?



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж/кг.

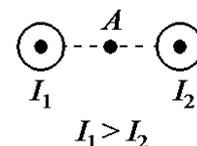
Для второго типа заданий с интерпретацией графиков, характеризующих: колебания математического маятника, справляются в средней 73% выпускников; свободное падение тела – 67%; равноускоренное движение, изменение координаты которого задано аналитической формулой, – 48%. Как и в прошлом году, затруднение вызывают графики величин, характеризующих электромагнитные колебания в контуре – 44% выполнения.

Линия заданий 13 в КИМ по физике оценивает сформированность умения определять направление векторных величин. Наиболее высокие результаты, как и в прошлом го-

ду, получены для заданий на определение результирующего вектора напряженности электростатического поля двух зарядов (средний процент выполнения – 73,2). С заданиями на определение силы Ампера для рамки в магнитном поле справлялись около 56% участников экзамена, что немного выше показателей прошлого года (51%). Наиболее сложными оказались задания на определение результирующего вектора магнитной индукции двух прямых проводников с током. Пример такого задания приведен ниже.

*Пример 6 (средний процент выполнения – 48)*

*На рисунке показаны сечения двух параллельных длинных прямых проводников и направления токов в них. Сила тока  $I_1$  в первом проводнике больше силы тока  $I_2$  во втором. Куда направлен относительно рисунка (вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя) вектор индукции магнитного поля этих проводников в точке  $A$ , расположенной точно посередине между проводниками? Ответ запишите словом (словами).*



*Ответ: вверх.*

В этом задании 48% выпускников записали верный ответ. При этом 15% указали ответ «вниз», неверно интерпретировав соотношение сил токов в проводниках, а почти 28% указали ответы «вправо», «влево», указывающие на незнание правила буравчика.

Следует отметить, что в подобных заданиях с противоположно направленными токами в проводниках и одинаковыми по величине силами токов результаты выполнения оказались несколько выше.

### ***Анализ и объяснение явлений и процессов***

Умение анализировать и объяснять протекание различных физических явлений и процессов проверялось в экзаменационной работе двухбалльными заданиями на изменение величин и на множественный выбор.

В каждом экзаменационном варианте встречалось по 3 задания на определение характера изменения физических величин в различных процессах: по механике, по электродинамике, по молекулярной или квантовой физике. Участники экзамена успешно справились с заданиями:

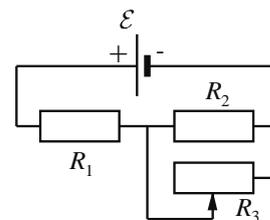
- по механике для ситуаций колебания математического и пружинного маятников (71%), движения спутников (57%), движения тела по наклонной плоскости (68%), плавания тел;
- по молекулярной физике на изменение параметров газов в различных изо процессах (65%);
- по электродинамике на движение заряженной частицы в магнитном поле (65%), изменение длины или поперечного сечения проводника в цепи постоянного тока, изменение параметров колебательного контура (58%);
- по квантовой физике на изменение параметров ядра в ядерных реакциях (67%), энергию и импульс фотона в световом пучке при изменении интенсивности (62%), явление фотоэффекта (71%);

Для этих сюжетов существенной динамики (как отрицательной, так и положительной) по сравнению с прошлым годом не отмечается.

К проблемным можно отнести лишь одну группу заданий на анализ изменения физических величин, характеризующих протекание тока в цепи (см. пример ниже).

Пример 7 (средний процент выполнения – 40,2)

На рисунке показана цепь постоянного тока, содержащая источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , два резистора и реостат. Сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  одинаковы и равны  $R$ . Сопротивление реостата  $R_3$  можно менять. Как изменятся напряжение на резисторе  $R_2$  и суммарная тепловая мощность, выделяемая во внешней цепи, если уменьшить сопротивление реостата от  $R$  до  $0$ ? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



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.

Напряжение на резисторе $R_2$	Суммарная тепловая мощность, выделяемая во внешней цепи

В этом задании полностью верный ответ 21 записали лишь 18% выпускников, при этом частично верный ответ с указанием уменьшения напряжения на резисторе  $R_2$  указали почти 68%. Таким образом, большинство участников экзамена понимают, что уменьшение сопротивления реостата до  $0$  означает то, что резистор  $R_2$  закоротили, но не могут верно определить изменение тепловой мощности во внешней цепи.

Для трех разделов (механики, молекулярной физики и электродинамики) предлагались задания на множественный выбор, предполагающие выбор двух верных утверждений на основе комплексного анализа физического процесса. Как и в прошлом году, для этих заданий характерен более высокий процент участников, набравших 1 балл, и существенно более низкий процент участников, набравших 2 балла. Это связано с комплексным характером анализа процессов в этих заданиях и подбором ответов, один из которых, как правило, проверяет понимание ситуации на качественном уровне, а для другого необходимо провести какие-либо расчеты. Анализ средних процентов выполнения этих заданий показывает, что их можно отнести к освоенным:

- неравномерное движение, представленное в виде графика зависимости координаты от времени (64%); плавание тел (55%); неупругий удар (68%); колебательные движения тел, представленные в виде табличных значений координаты и времени (58%); движение тела по окружности (80%);
- изопроцессы в идеальном газе, представленные при помощи графиков (84%); сравнение изопроцессов (61%), представленных в виде  $pV$ - или  $np$ -диаграммы (62% и 64% соответственно), насыщенные и ненасыщенные пары (78%);
- возникновение индукционного тока в контуре, действие силы Ампера на проводник с током (57%), колебания проводящего шарика в поле конденсатора (54%), характеристика электростатического поля конденсатора (60%).

Однако среди этих заданий есть те, для которых процент выпускников, правильно указавших оба ответа невелик. Рассмотрим типичные ошибки для двух групп таких заданий.

**Пример 8** (1 балл – 66%; 2 балла – 14%)

Две параллельные металлические пластины больших размеров расположены на расстоянии  $d$  друг от друга и подключены к источнику постоянного напряжения (см. рисунок 1). Пластины закрепили на изолирующих подставках и спустя длительное время отключили от источника (рисунок 2).

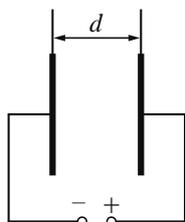


Рис. 1

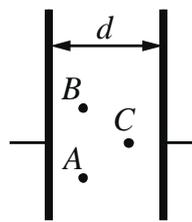


Рис. 2

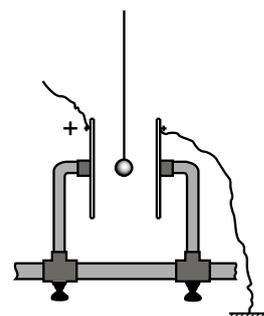
Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения.

- 1) Если уменьшить расстояние между пластинами  $d$ , то заряд правой пластины не изменится.
- 2) Если увеличить расстояние между пластинами  $d$ , то напряжённость электрического поля в точке  $C$  не изменится.
- 3) Если пластины полностью погрузить в керосин, то энергия электрического поля конденсатора останется неизменной.
- 4) Напряжённость электрического поля в точке  $A$  больше, чем в точке  $B$ .
- 5) Потенциал электрического поля в точке  $A$  больше, чем в точке  $C$ .

Выполняя задания этой группы, выпускники практически не допускали ошибок со сравнением напряженности электрического поля в разных точках (почти 85% знают, что в однородном поле конденсатора напряженность во всех указанных точках одинакова). Чуть более 60% верно выбрали утверждение 1, т.е. понимают, что при отключении конденсатора от источника тока его заряд при изменении расстояния между пластинами будет оставаться постоянным. Несколько ниже были результаты для сравнения потенциалов. Так, в приведенном примере задания ответ 5 как верный выбрали 53% участников экзамена. Треть выпускников, выбравших в качестве верного ответ 3, не понимают, что при погружении в керосин изменяется электроемкость конденсатора, следовательно, энергия его электрического поля не может остаться неизменной. И наконец, лишь 14% понимают, что при неизменном заряде конденсатора напряженность электрического поля не меняется при изменении расстояния между пластинами.

**Пример 9** (1 балл – 53%; 2 балла – 27%)

Для оценки заряда, накопленного воздушным конденсатором, можно использовать устройство, изображённое на рисунке: лёгкий шарик из оловянной фольги подвешен на изолирующей нити между двумя пластинами конденсатора, при этом одна из пластин заземлена, а другая заряжена положительно. Когда устройство собрано, а конденсатор заряжен (и отсоединён от источника), шарик приходит в колебательное движение, касаясь поочерёдно обеих пластин.



Выберите **два** верных утверждения, соответствующие колебательному движению шарика после первого касания пластины.

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

В этом задании 27% участников экзамена указали верный ответ 13, а еще 23% ошиблись только в выборе второго утверждения (ответ 12). Очевидно, здесь сказалась типичная ошибка: заряд заземленной пластины равен 0, а следовательно, и шарик также при движении к положительной пластине не будет заряжен.

В этом году среди заданий на множественный выбор была новая линия заданий, проверяющих элементы астрофизики. В основной день предлагалось четыре различных блоков данных для анализа. Ниже описаны группы заданий и основные результаты их выполнения.

1. Контекст заданий – характеристики планет Солнечной системы: среднее расстояние от Солнца, диаметр, наклон оси вращения, первая космическая скорость (средний процент выполнения – 65,2). Пример одного из таких заданий приведен ниже.

*Пример 10*

*Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики планет Солнечной системы.*

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца (в а.е.)	Диаметр в районе экватора, км	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость, км/с
Меркурий	0,39	4879	0,6'	3,01
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91
Марс	1,52	6794	25°11'	3,55
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Среднее расстояние от Солнца до Юпитера составляет 300 млн км.
- 2) Ускорение свободного падения на Нептуне составляет около 11,4 м/с<sup>2</sup>.
- 3) Ускорение свободного падения на Уране составляет 15,1 м/с<sup>2</sup>.

- 4) *Объём Юпитера почти в 3 раза больше объёма Нептуна.*
- 5) *На Меркурии не наблюдается смены времён года.*

В этих заданиях не менее 80% экзаменуемых верно соотносят смену времен года с наклоном оси вращения планеты, около 70% верно переводят расстояние из астрономических единиц в километры, и лишь треть участников получают верное значение ускорения свободного падения.

2. Контекст заданий – характеристики планет Солнечной системы: диаметр, период обращения вокруг Солнца, период вращения вокруг оси, вторая космическая скорость (72,1%). Здесь более 85% верно соотносят продолжительность года и суток, умеют рассчитывать их соотношения для разных планет. Примерно половина выпускников правильно определяют значение первой космической скорости по известному значению второй космической скорости.

3. Контекст заданий – характеристики спутников планет Солнечной системы: радиус спутника, радиус орбиты, вторая космическая скорость, планета, вокруг которой вращается спутник (62,5%). В этой группе заданий более 80% участников справились со сравнением объемов тел через их радиусы и равенством радиусов орбит, а результаты для определения первой космической скорости и ускорения свободного падения такие же, как и в предыдущих моделях.

4. Контекст заданий – характеристики ярких звезд: температура поверхности, масса, радиус, средняя плотность (74,4%). Здесь выпускники успешно анализировали радиусы и плотности звезд, относя их по этим параметрам к звездам главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга – Рассела, красным гигантам или белым карликам, но допускали ошибки в определении спектрального класса звезд по температуре их поверхности.

Эта линия заданий относилась в спецификации 2018 г. к заданиям повышенного уровня сложности. Однако результаты выполнения показывают, что проверяемые элементы астрофизики хорошо усваиваются большинством выпускников и, соответственно, эти задания целесообразно перевести в задания базового уровня.

### **Методологические умения**

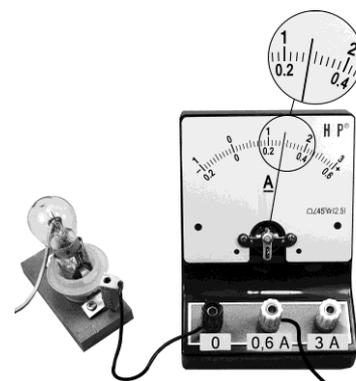
Каждый вариант содержал 2 задания базового уровня сложности, которые были направлены на оценку методологических умений.

Задание 22 проверяло умение записывать показания измерительных приборов с учетом заданной погрешности измерений. В тексте задания либо указывалось, что погрешность равна цене деления прибора, либо предлагалось конкретное значение абсолютной погрешности. Средний процент выполнения этой линии заданий оказался ниже, чем в прошлом году, и составил 63 (в 2017 г. – 74,4). Проблемными оказались задания с использованием фотографий двухпредельных приборов (см. пример 11).

*Пример 11 (средний процент выполнения – 35)*

*Чему равна сила тока в лампочке (см. рисунок), если погрешность прямого измерения силы тока амперметром на пределе измерения 3 А равна  $\Delta I_1 = 0,15$  А, а на пределе измерения 0,6 А равна  $\Delta I_2 = 0,03$  А?*

*Ответ: ( \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_ ) А.*



Анализ спектра ответов, представленных участниками экзамена к этому заданию, показывает, что почти треть из них используют неверную шкалу для снятия показаний, а остальные ошибки связаны с неверной записью самих показаний или погрешности измерений.

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). Использовались три модели заданий:

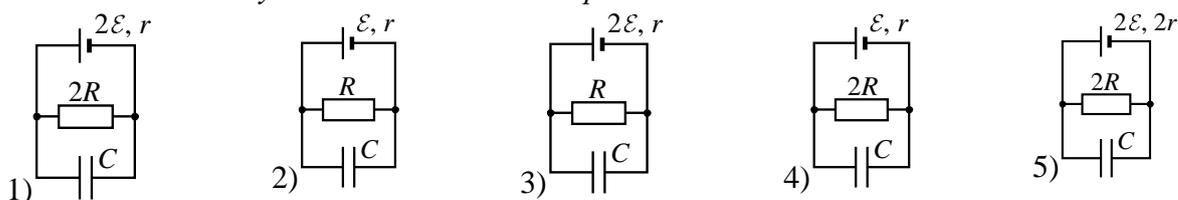
- словесное описание опыта, перечисление имеющегося оборудования, а в качестве ответов – набор дополнительного оборудования, из которого необходимо было выбрать два недостающих элемента (средний процент выполнения – 70,5);
- характеристики экспериментальной установки указывались в виде таблицы, а ответом являлся выбор двух строк таблицы (65%);
- представление экспериментальных установок в виде схематичных рисунков (63%).

Ниже приведен пример последней модели заданий.

*Пример 12 (средний процент выполнения – 54)*

*Необходимо экспериментально изучить зависимость заряда, накопленного конденсатором, от внутреннего сопротивления аккумулятора.*

*Какие две схемы следует использовать для проведения такого исследования?*



Здесь 54% выпускников выбрали верный ответ 15, 13% – ответ 24, перепутав внутреннее сопротивление аккумулятора с внешним сопротивлением цепи, а еще 10% – ответ 25, считая, что изменяться в таком опыте должны все имеющиеся параметры. Анализ ответов свидетельствует о том, что часть выпускников не имеет практики планирования реальных экспериментов в лабораторных работах.

### **Решение задач**

В каждом экзаменационном варианте предлагалось по 8 задач по разным темам школьного курса физики.

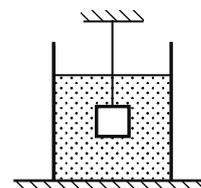
Задания с кратким ответом включали в себя задачи по механике, молекулярной физике и квантовой физике. Как и в прошлые годы, наиболее высокие результаты продемонстрированы для заданий по механике, средний процент выполнения по всем видам этих заданий – 38,1. Несколько ниже оказались результаты по молекулярной физике и термодинамике – 30,2%, а самые низкие результаты продемонстрированы для задач по квантовой физике – 26,1%.

Уровень освоения достигнут для трех групп задач: на определение силы натяжения нити для тела, подвешенного на нити и опущенного в жидкость; на применение закона сохранения механической энергии (шарик на сжатой пружине подскакивает вверх) и на

применение уравнения теплового баланса для нагревания и плавления части вещества. Ниже приведен пример одной из таких задач.

*Пример 13 (средний процент выполнения – 59)*

*Груз массой  $m = 2,0$  кг и объемом  $V = 10^{-3}$  м<sup>3</sup>, подвешенный на тонкой нити, целиком погружён в жидкость и не касается дна сосуда (см. рисунок). Модуль силы натяжения нити  $T = 12$  Н. Найдите плотность жидкости.*



*Ответ:* \_\_\_\_\_ кг/м<sup>3</sup>.

В механике с задачами на движение связанных тел по горизонтали и тел, связанных перекинутой через блок нитью, на применение закона сохранения импульса и для камня, падающего в тележку с песком, справляются в среднем порядка трети участников экзамена. Наиболее сложными оказались задачи на статику, которые правильно решают менее четверти выпускников.

По молекулярной физике предлагались задачи на уравнение теплового баланса с использованием процесса конденсации пара (средний процент выполнения – 28) и на применение первого закона термодинамики к изобарному процессу (35%), а также задачи на расчет КПД теплового двигателя, которые вызвали наибольшие затруднения (см. пример).

*Пример 14*

*Тепловая машина с максимально возможным КПД имеет в качестве нагревателя резервуар с водой, а в качестве холодильника – сосуд со льдом при 0 °С. При совершении машинной работы 1 МДж растаяло 12,1 кг льда. Определите температуру воды в резервуаре.*

*Ответ округлите до целых.*

*Ответ:* \_\_\_\_\_ К.

Несмотря на то явное указание в условии, что в качестве холодильника используется сосуд со льдом, выпускники не смогли понять, что количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику, можно определить, подсчитав количество теплоты, необходимое для плавления указанной массы льда.

На последней позиции предлагались задачи по кантовой физике: на применение уравнения Эйнштейна для фотоэффекта и на расчет КПД источника электромагнитного излучения. Для задач на фотоэффект средний процент выполнения составил порядка 35, а со вторым типом задач участники экзамена справились хуже: средний результат – около 20% (см. пример ниже.)

*Пример 15 (средний процент выполнения – 10)*

*Лазер излучает в импульсе  $10^{19}$  световых квантов. Средняя мощность импульса лазера 1100 Вт при длительности вспышки  $3 \cdot 10^{-3}$  с. Определите длину волны излучения лазера.*

*Ответ выразите в микрометрах.*

*Ответ:* \_\_\_\_\_ мкм.

Следует отметить, что в этих задачах с достаточно объемными расчетами количество арифметических ошибок не столь велико, а типичным затруднением является неверное выражение мощности импульса через энергию квантов света.

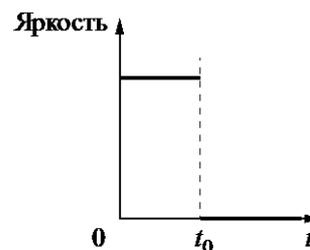
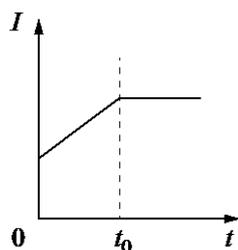
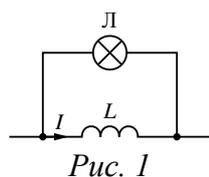
Существенные дефициты, как и в предыдущие годы, фиксируются для решения качественных задач. В этом году предлагались следующие сюжеты:

- изменение вида изображения предмета в линзе при условии, что часть линзы закрыли экраном (13,0% выпускников полностью справились с решением задачи);
- изменение показаний приборов в электрической цепи (по фотографии цепи) при изменении сопротивления реостата (средний процент выполнения – 11,5);
- изменение величины и направления тока в цепи постоянного тока, содержащей параллельно соединенные резистор и катушку индуктивности (средний процент выполнения – 7,0, а 11% участников экзамена смогли получить лишь 1 балл, верно определив изменение направления тока, но не ответив на вопрос об изменении силы тока);
- определение направления индукционного тока в катушке при изменении силы тока в другой катушке при условии, что обе катушки помещены на одном железном сердечнике (средний процент выполнения – 9,6, частично верное объяснение на 1 балл представили 14% выпускников);
- определение направление результирующей силы Ампера, действующей на рамку в изменяющемся внешнем магнитном поле и поле прямого тока (средний процент выполнения – 5,2 и 10% участников экзамена привели частично верный ответ).

Одним из наиболее сложных сюжетов качественных задач оказался сюжет из приведенного ниже примера.

*Пример 16 (средний процент выполнения – 5,2)*

Параллельно катушке индуктивности  $L$  включена лампочка (см. рис. 1). Яркость свечения лампочки прямо пропорциональна напряжению на ней. На рисунке 2 представлен график зависимости силы тока  $I$  в катушке от времени  $t$ . Сопротивлением катушки пренебречь. Опираясь на законы физики, изобразите график зависимости яркости свечения лампочки от времени.



По критериям проверки качественных задач 2 балла можно получить только при наличии верного ответа. Верным ответом в этой задаче является график яркости свечения лампочки от времени, приведенный на рисунке 3.

Как правило, участники, приступившие к решению этой задачи верно интерпретировали два участка графика: наличие ЭДС самоиндукции катушки на первом участке, а следовательно, и наличие тока в лампочке, и равенство нулю ЭДС самоиндукции на втором участке, и, соответственно, отсутствие тока в лампочке. 7% участников экзамена верно провели эти рассуждения, но не смогли определить постоянство силы тока в катушке на первом участке. ЭДС самоиндукции катушки  $E_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = const$ . Напряжение на лампочке

равно ЭДС самоиндукции катушки, а значит, постоянно, и яркость свечения лампочки на этом интервале времени также постоянна.

Средние результаты решения расчетных задач составили 17,7% по механике, 19,0% для задач по молекулярной физике и термодинамике, 10,6% по электростатике и постоянному току и 14,3% по геометрической оптике.

Среди заданий по механике более высокие результаты продемонстрированы для задач по динамике. Так, задачу на движение грузов, связанных нитью, перекинутой через блок, и их равновесие при условии, что одни из грузов частично погружают в воду, полностью справились, получив 3 балла, 29% участников экзамена. Средний процент выполнения задачи на движение бруска по горизонтальной поверхности под действием силы, приложенной под разными углами, составил 20,8. Значит, такие задачи по динамике доступны не только высокобалльникам, но и участникам с повышенным уровнем подготовки.

С задачами на применение закона сохранения импульса к неупругому удару и закона изменения механической энергии выпускники справляются несколько хуже. Так средний процент решения задачи на разрыв снаряда с учетом добавки энергии разрыва составил 15,3, а задачи на неупругое столкновение шарика на нити и неподвижного бруска (см. пример 17) – 18,7. Наиболее сложными оказались задачи, в которых требуются использовать и законы сохранения, и законы динамики (см. пример ниже).

#### *Пример 17*

*В маленький шар массой  $M = 250$  г, висящий на нити длиной  $l = 50$  см, попадает и застревает в нём горизонтально летящая пуля массой  $m = 10$  г. При какой минимальной скорости пули шар после этого совершит полный оборот в вертикальной плоскости? Сопротивлением воздуха пренебречь.*

В этой задаче 16% учащихся, как правило, верно записывали закон сохранения импульса и закон сохранения энергии, но не осознавали условия «минимальной скорости совершения полного оборота», а именно не указывали условия равенства нулю силы натяжения нити в верхней точки траектории и, соответственно, неверно определяли скорость в верхней точке.

Средний процент выполнения задач с развернутым ответом по молекулярной физике оказался самым высоким по сравнению с задачами по другим разделам. «Лидерами» здесь стали задачи на применение первого закона термодинамики к изопротессам (средний процент выполнения – 26) и задачи на расчет КПД циклического процесса (27). Ниже ожидаемого выполнены задачи на изопротессы в столбике воздуха, запертого столбиком ртути в запаянной с одного конца стеклянной трубке. Здесь 7% участников экзамена смогли верно записать условия равновесия для горизонтального и вертикального положений трубки, но довести решение до верного ответа удалось лишь 5% выпускников.

С таким же результатом (9,8%) решены и задачи на подъем воздушного шара, наполненного горячим воздухом. Здесь основная ошибка – непонимание того, что давление внутри шара с отверстием в нижней части равно атмосферному давлению.

На позиции 31 предлагались задачи по электростатике и постоянному току. Наиболее успешно выполнены задачи на расчет количества теплоты, выделяющийся на резисторе в цепи постоянного тока, содержащей конденсатор и катушку индуктивности. Здесь 16% смогли правильно определить количество энергии, запасенной в электрическом поле

конденсатора и магнитном поле катушки, используя необходимые законы и формулы для расчета цепи постоянного тока.

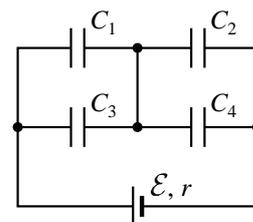
Для группы задач на определение количества теплоты в цепи постоянного тока, содержащей конденсатор, средний процент выполнения составил чуть более 10. Здесь 16% участников экзамена получили за решение 1 балл, поскольку совершенно верно записали формулу расчета сопротивления параллельно соединенных элементов цепи, законы Ома для полной цепи и участка цепи, формулу энергии заряженного конденсатора и закон Джоуля – Ленца, но не справились с определением отношения количеств теплоты, выделяющихся на параллельно включенных лампе и резисторе.

При решении традиционных задач на движение заряженной частицы в электрическом поле плоского конденсатора выпускники продемонстрировали такой же средний процент выполнения – 10,7. В этом случае существенно меньший процент участников экзамена (около 5%) получили по 1 баллу. Трудности вызывает прежде всего комплексность задачи – необходимость применения формул кинематики для движения тела, движущегося по параболе.

Наиболее сложными в этой линии оказались задачи на соединения конденсаторов. Пример одной из таких задачи приведен ниже.

#### Пример 18

Батарея из четырёх конденсаторов ёмкостью  $C_1 = 2C$ ,  $C_2 = C$ ,  $C_3 = 4C$  и  $C_4 = 2C$  подключена к источнику постоянного напряжения с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  (см. рисунок). На сколько и как изменится общая энергия, запасённая в батарее, если в конденсаторе  $C_3$  возникнет пробой?



Здесь, кроме применения формул для расчета ёмкости последовательно и параллельно соединенных конденсаторов и выражения для энергии заряженного конденсатора, необходимо понимать, что происходит в цепи при пробое одного из конденсаторов. В данном случае, если в конденсаторе  $C_3$  возникнет пробой, это эквивалентно короткому замыканию пары  $C_1$  и  $C_3$ , а энергия, запасенная в батарее, будет определяться энергией параллельно соединенных конденсаторов  $C_2$  и  $C_4$ . Представить полный ход решения в этой задаче смогли лишь около 3% экзаменуемых, а 17% получили за решение по 1 баллу, верно записав указанные формулы.

На последней позиции почти во всех сериях вариантов предлагались расчетные задачи на геометрическую оптику. Эти задачи, хотя и были новыми по содержанию, базировались на достаточно часто встречающихся ситуациях: определение площади изображения треугольника в линзе (средний процент выполнения – 14); определение скорости движения изображения в линзе предмета, движущегося по окружности (15); определение параметров тени сваи, погруженной в воду (14). Как правило, участники экзамена достаточно успешно справлялись с построением требуемых изображений или хода лучей, в среднем порядка 12% получали по 1 баллу именно за верный рисунок. Наиболее сложной оказалась здесь задача на определение параметров изображения точечного источника в линзе при наличии экрана с малым отверстием (средний процент – 9,6%). В этой группе задач минимальное (по сравнению с другими задачами на геометрическую оптику) число участников смогли верно построить ход преломленного в линзе луча, падающего на линзу от

источника света через отверстие в экране, поскольку в этом случае необходимо было использовать построение с помощью побочной оптической оси. Кроме того, лишь высокобалльники полностью справились с геометрическим способом решения задачи.

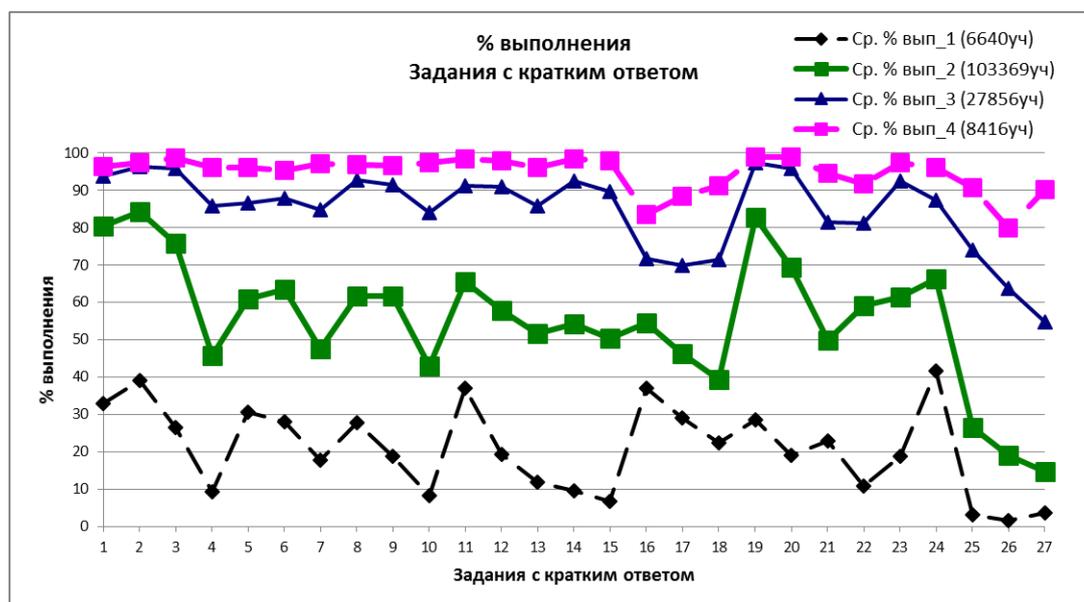
Для характеристики результатов выполнения работы группами экзаменуемых с различным уровнем подготовки выделяется четыре группы. В качестве границы между группами 1 и 2 выбирается минимальная граница (36 тестовых баллов). Все тестируемые, не достигшие минимальной границы, выделяются в группу с самым низким уровнем подготовки (группу 1). В группу 2 входят выпускники, набравшие от 36 до 60 баллов, в первичных баллах это соответствует выполнению заданий базового уровня сложности. Далее следует группа от 61 до 80 баллов (группа 3). 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 экзаменуемых по группам с разным уровнем подготовки в 2018 г.



Рис. 3

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



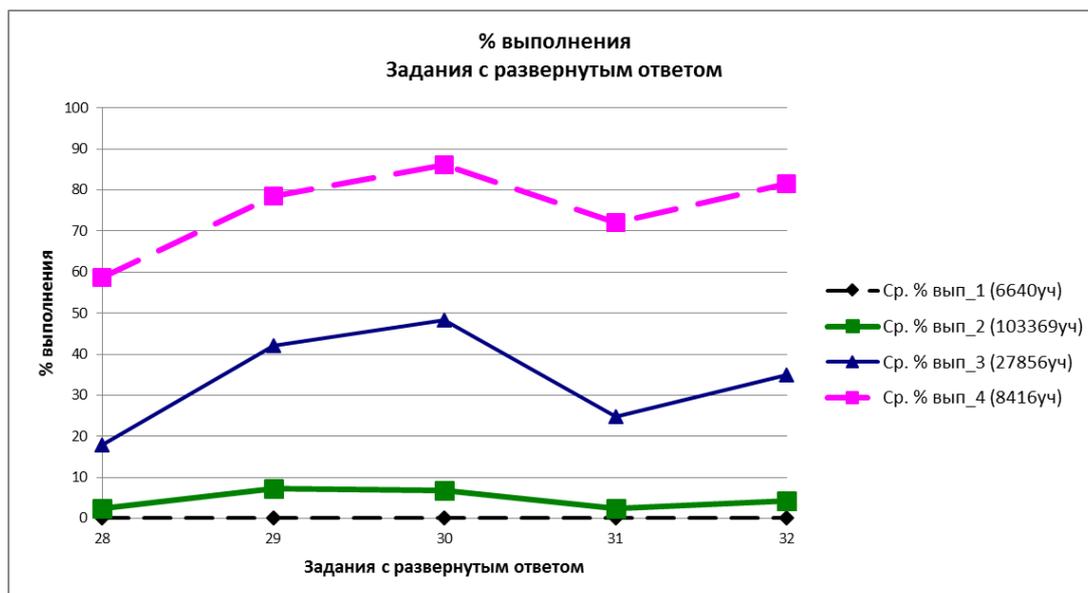


Рис. 4

Участники из группы 1 по уровню подготовки получили по итогам выполнения экзаменационной работы от 0 до 10 первичных баллов. Средний процент выполнения заданий базового уровня составил для этой группы 17,7. Группа участников экзамена, не достигшая минимальной границы, не продемонстрировала освоения каких-либо элементов содержания и овладения какими-либо проверяемыми умениями. Более успешно выполняются задания, в которых проверяются законы и формулы, изучаемые как в основной, так и в средней школе (второй закон Ньютона, сила трения, закон Гука, количество теплоты, необходимое для нагревания вещества, строение ядра). Ниже приведен пример задания, с которым справляются около 40% выпускников данной группы.

*Пример 19*

*На штативе закреплён школьный динамометр. К нему подвесили груз массой 0,1 кг. Пружина динамометра при этом удлинилась на 2,5 см. Чему будет равно удлинение пружины, если масса груза уменьшится вдвое?*

*Ответ:* \_\_\_\_\_ см.

Группа 2 по уровню подготовки самая многочисленная, к ней относятся обучающиеся, получившие от 11 до 31 первичных балла. Результаты выполнения заданий базового уровня составили в среднем 60,3%, для заданий повышенного уровня этот показатель – 38,8%. Таким образом, данная группа, как и в прошлом году, демонстрирует освоение курса физики средней школы на базовом уровне сложности.

Наиболее успешно выполняются задания по механике: на определение ускорения по графику зависимости проекции скорости от времени, на знание формул второго закона Ньютона, сил трения, упругости и тяжести, импульса тела, кинетической и потенциальной энергий, а также простые задания по квантовой физике: определение строения ядра или недостающего элемента ядерной реакции, расчет отношений энергий или импульсов фотонов. Ниже приведен пример задания, с которым справляются около 80% тестируемых из данной группы.

Пример 20

В результате ядерной реакции синтеза  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^1_0\text{n}$  образуется ядро химического элемента  ${}^A_Z\text{X}$ . Каковы заряд  $Z$  образовавшегося ядра (в единицах элементарного заряда) и его массовое число  $A$ ?

Заряд ядра $Z$	Массовое число ядра $A$

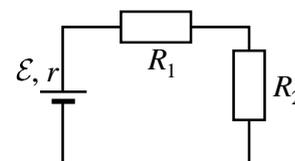
Более трудными для этой группы оказываются задания базового уровня сложности, проверяющие элементы статики и гидростатики, понятия насыщенных и ненасыщенных паров и относительной влажности. Для заданий повышенного уровня затруднения вызывают задания на интерпретацию результатов экспериментов в виде графических или табличных зависимостей, а результаты решения расчетных задач с кратким ответом составляют в среднем около 20%.

Для группы 3 (от 32 до 42 первичных баллов) характерно освоение содержания курса физики как на базовом, так и на повышенном уровнях сложности. Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 88,9, повышенного уровня – 68,7, высокого уровня – 37,6.

От предыдущей группы эту группу отличает: успешное выполнение заданий базового уровня по статике и свойствам паров, а также заданий повышенного уровня сложности на интерпретацию результатов экспериментов, на установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами; освоение умения решать расчетные задачи повышенного уровня сложности. Ниже приведен пример задания на определение формул для заданных физических величин, средний процент выполнения которого для данной группы составляет около 80.

Пример 21

Два резистора с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  подключены к источнику тока с внутренним сопротивлением  $r$  (см. рисунок). Напряжение на втором резисторе равно  $U_2$ . Чему равны напряжение на первом резисторе и ЭДС источника?



Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) напряжение на резисторе  $R_1$
- Б) ЭДС источника

ФОРМУЛЫ

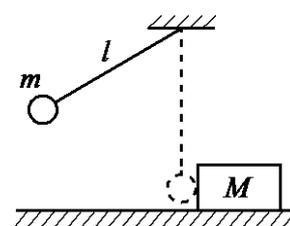
- 1)  $U_2 \cdot \frac{R_1}{R_2}$
- 2)  $U_2 \cdot \frac{R_2}{R_1}$
- 3)  $\frac{U_2}{R_2} \cdot (R_1 + R_2 + r)$
- 4)  $\frac{U_2}{R_1} \cdot (R_1 + R_2 + r)$

К дефицитам относятся качественные задачи повышенного уровня, при решении которых выпускники демонстрируют понимание общей физической ситуации, но не способны выстроить аргументированное объяснение всех рассматриваемых процессов. Данная группа не освоила решение расчетных задач с развернутым ответом, хотя для типовых ситуаций грамотно выбирает все необходимые законы и формулы.

Выпускники из группы 4 набрали по результатам выполнения экзаменационной работы от 43 до 52 первичных баллов. Для них характерно качественное выполнение заданий высокого уровня сложности. Данная группа демонстрирует освоение всех элементов содержания и всех проверяемых способов действий. Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 96,4, повышенного уровня – 87,2, высокого уровня – 79,5. Ниже приведен пример задачи высокого уровня сложности, с которой справляются примерно 85% выпускников данной группы.

### Пример 22

Маленький шарик массой  $m = 0,5$  кг подвешен на лёгкой нерастяжимой нити длиной  $l = 0,8$  м, которая разрывается при силе натяжения  $T_0 = 8,6$  Н. Шарик отведён от положения равновесия (оно показано на рисунке пунктиром) и отпущен. Когда шарик проходит положение равновесия, нить обрывается, и шарик тут же абсолютно неупруго сталкивается с бруском, лежащим неподвижно на гладкой горизонтальной поверхности стола. Скорость бруска после удара  $u = 0,4$  м/с. Какова масса  $M$  бруска? Считать, что брусок после удара движется поступательно.



Дополнительно к предыдущей группе освоены умения решать качественные задачи, т.е. выстраивать доказательные рассуждения с опорой на изученные законы и свойства физических явлений, и решать расчетные задачи с развернутым ответом по всем разделам школьного курса физики.

Представленный выше анализ результатов выполнения заданий КИМ ЕГЭ по физике показал, что существуют традиционные «проблемные зоны», которые связаны с общепринятой практикой изучения соответствующих элементов содержания. К этим проблемным зонам относятся как общие сюжеты (элементы статики, более глубокое освоение вопросов механики по сравнению с электродинамикой и квантовой физикой, более высокие результаты решения расчетных задач по сравнению с качественными), так и мелкие частные вопросы (например, потенциал электростатического поля, что происходит при заземлении проводника, соединения конденсаторов). Все эти вопросы нашли отражение в анализе результатов. Приведенный выше подробный разбор содержания заданий и типичных ошибок, допускаемых участниками экзамена, позволяет учителям при планировании учебного процесса принять меры по минимизации частных проблем. Решение же указанных выше более общих проблем является задачей новых учебных методических комплектов.

Вместе с тем анализ результатов ЕГЭ показывает, что для выпускников с разным уровнем подготовки выявляются разные проблемы в освоении как способов действий, так и элементов содержания. Поэтому приоритетным направлением совершенствования процесса обучения физике является использование педагогических технологий, позволяющих обеспечить дифференцированный подход к обучению. Остановимся на том, какие методические приемы будут эффективны для разных групп.

Акцентом в выборе методов обучения для групп с высоким уровнем подготовки может стать технология «перевернутого» обучения. В процессе обучения эти школьники проявляют мотивацию к изучению физики и, как правило, обладают достаточными математическими знаниями для серьезной самостоятельной работы. Технология перевернутого обучения заключается в том, что учащиеся изучают новый материал самостоятельно (например, в качестве домашнего задания) с помощью учебников, он-лайн технологий, специально подготовленных обучающих материалов для самостоятельной работы. При этом они осуществляют познавательную деятельность по получению новых теоретических знаний, их осмыслению и первичному закреплению. Тем самым первые этапы обучения, затрагивающие деятельность нижних таксономических уровней, проходят в самостоятельной деятельности, к которой эти группы обучающихся вполне готовы. На уроке с учетом имеющейся предварительной подготовки выполняется деятельность более высокого уровня, т.е. требующая применения знаний, их анализ и обобщение, например выполнение учебно-исследовательских работ, решение достаточно сложных качественных и расчетных задач. Перевернутое обучение позволяет учащимся составить первоначальное представление об изучаемом материале до проведения занятия, делает обязательной самостоятельную деятельность и стимулирует учащихся к ее выполнению, способствует формированию у них коммуникативных и информационных умений. Использование этой технологии позволяет существенно оптимизировать учебный процесс с точки зрения использования учебного времени, поскольку основное время посвящается обсуждению и решению проблем.

Для хорошо успевающих школьников основное внимание должно быть направлено на обучение в процессе решения задач различного содержания и разного уровня сложности. По характеру деятельности можно выделить три группы задач:

- использование изученного алгоритма решения задачи;
- комбинирование различных изученных алгоритмов;
- выбор собственного алгоритма решения.

По используемому контексту различают:

- типовые учебные ситуации, с которыми учащиеся встречались в процессе обучения и в которых используются явно заданные физические модели;
- измененные ситуации, в которых, например, необходимо увидеть и обосновать выбор физической модели, вводить дополнительные обоснования в решении;
- новые ситуации, которые предполагают серьезную деятельность по анализу физических процессов и самостоятельному выбору физической модели для решения задачи.

Формируя наборы задач для обучения целесообразно, естественно, начинать с задач на использование только что изученного алгоритма и с типовой учебной ситуации, но нельзя полностью повторять формулировки уже решенных задач. В задаче должны быть не только изменены числовые данные, но и использованы другие словесные обороты для описания той же типовой ситуации. В этом случае освоение алгоритма осуществляется полностью с учетом работы над условием и осмысленным выделением физической модели. Затем можно переходить к использованию изученного алгоритма в измененной ситуации, затем – к комбинированию изученных алгоритмов в типовой ситуации и т.д. Таким образом, «лесенка» усложнения задач состоит из вариаций заданий, различающихся как по сложности деятельности, так и по контексту.

Известно, что в КИМ ЕГЭ для задач, использующих типовые учебные ситуации и требующих изученного алгоритма или комбинирования известных алгоритмов, используются задания с кратким ответом. В условиях итоговой оценки здесь можно ограничиться лишь анализом полученного ответа. В большинстве случаев по ошибке в ответе можно с достаточной степенью вероятности судить и о тех недостатках, которые были допущены выпускником в ходе решения задачи. Однако в процессе обучения нельзя допускать решения даже этих задач без должного обоснования и оформления («на черновике»). Не стоит экономить время на полную запись решений в угоду решению большого количества однотипных задач. Такой путь приводит к формальному заучиванию конкретного алгоритма, но не решает в полной мере задач по освоению такой сложной деятельности, как решение задач.

Рассмотрим, на что нужно обращать внимание в процессе формирующего оценивания расчетных задач. Если обратиться к материалам, которые размещены на сайте ФГБНУ «ФИПИ» для экспертов региональных предметных комиссий, то можно увидеть, что в ЕГЭ при проверке решения задач большое внимание уделяется обоснованности решения. Обоснованность решения определяется набором исходных законов и формул. В качестве исходных принимаются формулы, указанные в кодификаторе. Если же выпускник использовал в качестве исходной не указанную в кодификаторе формулу, то работа оценивается, исходя из отсутствия одной из необходимых для решения формул. Например, экзаменуемый может в качестве исходной использовать формулу для изменения внутренней энергии одноатомного идеального газа через произведение давления на объем, поскольку она есть в кодификаторе. Однако формулу для расчета количества теплоты, полученной газом в изобарном процессе, через произведение давления на изменение объема, в качестве исходной использовать нельзя (отсутствует в кодификаторе). В этом случае даже такая работа оценивается по критерию отсутствия одной из основополагающих формул в 1 балл, даже при наличии верного числового ответа.

Но критерии оценивания в ЕГЭ по физике построены таким образом, что при обоснованном решении (правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности и проведены необходимые преобразования) можно получить 2 балла, если допущен целый ряд ошибок (неверный ответ или его отсутствие, ошибки в математических преобразованиях и вычислениях, отсутствие комментариев о введении новых величин).

Оценивать решения задач в процессе обучения целесообразно с учетом расширения критериев, используемых в КИМах ЕГЭ по физике, и выделять следующие элементы полного верного решения:

- работа с условием задачи: запись «Дано», представление рисунка, если это необходимо для понимания физической ситуации; описание физической модели, т.е. указание на то, какие явления или процессы рассматриваются, какие закономерности можно использовать для решения задачи и чем можно пренебречь, чтобы ситуация отвечала выбранной модели;
- запись всех необходимых для решения задачи законов и формул; описание используемых физических величин, которые не вошли в «дано»;
- проведение математических преобразований и расчетов, получение ответа;
- проверка ответа одним из выбранных способов.

Если материал позволяет, то рекомендуется выбирать задачи, предполагающие альтернативные способы решения. В этом случае учащиеся учатся использовать различные способы обоснования, что важно для профессиональной деятельности не только в области физики и техники.

Для многочисленной группы учащихся со средним уровнем подготовки важнейшим элементом является освоение теоретического материала курса физики без пробелов и изъянов в понимании всех основных процессов и явлений. Эта группа учащихся нуждается в дополнительной работе с теоретическим материалом, выполнении большого количества различных заданий, предполагающих преобразование и интерпретацию информации. Приоритетной технологией здесь может стать совместное обучение – технология работы в малых группах сотрудничества из 3–5 человек. При использовании технологии сотрудничества учащиеся обмениваются мнениями, учатся и помогают друг другу. При возникновении спорных вопросов они могут вместе их обсудить, чтобы найти ответы. В процессе групповой работы не только формируются предметные умения и навыки, но и развивается коммуникативная компетентность учащихся: умение формулировать проблему; способность слушать и слышать других, выражать собственное мнение и уважать мнение других людей; способность приходить к консенсусу, находить баланс между слушанием и говорением.

Важнейшая роль учителя при использовании групповой работы состоит: в четкой формулировке задач, которые должны быть поняты и осознаны всеми членами группы; в оказании своевременной помощи при затруднениях, в грамотной организации оценки деятельности как группы в целом, так и каждого участника, а также в организации рефлексии.

В зависимости от поставленных задач группы могут формироваться как из учащихся с различным уровнем подготовки, так и из учащихся примерно одинакового уровня подготовки. В первом случае акцент делается на продвижение слабых обучающихся за счет помощи хорошо успевающих учеников. Такое формирование целесообразно при организации групповой работы при изучении нового материала. Во втором случае – на использование учебных материалов, специально разработанных с учетом особенностей данной группы обучающихся. Такой подход более эффективен при закреплении материала и обучении решению задач, поскольку для групп с разным начальным уровнем подготовки готовятся и предлагаются разноуровневые дидактические материалы.

Важно помнить, что при использовании групповой работы необходимо проводить оценивание как работы всей группы целиком, так и индивидуальные достижения каждого участника группы. Оценка деятельности группы существенно повышает индивидуальную ответственность каждого за совместную работу. Индивидуальная оценка в процессе обучения должна сравнивать достижения ученика с его прежними показателями, а не с достижениями других учащихся.

Для всех групп учащихся процесс обучения будет более эффективным при использовании приемов активного самостоятельного обучения. Основной акцент здесь делается на осознание обучающимися задач обучения. Механизмом является качественная разработка учителем промежуточных планируемых результатов (тематических или на законченный блок уроков). Учащиеся заранее должны быть ознакомлены с этими планируемыми результатами, осознавать, что они должны выучить за ближайшие несколько уроков, какие задания должны научиться делать, каким образом это будет проверяться и оцени-

ваться. Осознание задач обучения повышает самостоятельность, позволяет понимать школьнику, на какой ступени он находится в процессе обучения и как он может улучшить свои результаты. Открытость ближайших целей и задач обучения, четкие ориентиры в виде учебных заданий, которые нужно научиться выполнять, и заранее известные критерии оценивания результатов – это залог развития учебной самостоятельности, освоения навыков самообразования и высоких учебных достижений.

Сегодняшние школьники, выбирающие ЕГЭ по физике, – это будущие инженеры, специалисты в области высоких технологий. Нельзя забывать, что специалисты современных высокотехнологичных производств работают в большинстве своем на стыке различных естественных наук. Поэтому одним из приоритетом в обучении физике является проектно-исследовательская деятельность интегрированного характера. Этой деятельности придается большое значение, поскольку она помогает подчеркнуть прикладной характер теоретических знаний и практических умений, формируемых в рамках традиционных уроков.

Ведущей здесь для предметов естественнонаучной области является STEM-технология, базирующаяся на проектно-исследовательской деятельности. Проекты имеют прикладной характер и требуют применения знаний из самых разных образовательных областей естественных наук, математики, инженерии и технологии. Учащиеся учатся работать с информацией, критически ее оценивать, анализировать и систематизировать, получают возможность широкого выбора в области будущего профессионального развития на основе фундаментальной естественнонаучной и математической подготовки.

В 2019 г. структура и содержание контрольных измерительных материалов ЕГЭ по физике будут полностью соответствовать экзаменационной модели 2018 г. Методическую помощь учителям и обучающимся при подготовке к ЕГЭ могут оказать материалы с сайта ФИПИ ([www.fipi.ru](http://www.fipi.ru)):

- документы, определяющие структуру и содержание КИМ ЕГЭ 2019 г.;
- открытый банк заданий ЕГЭ;
- учебно-методические материалы для председателей и членов региональных предметных комиссий по проверке выполнения заданий с развернутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ;
- методические рекомендации прошлых лет.

Приложение

**Основные характеристики экзаменационной работы ЕГЭ 2018 г. по ФИЗИКЕ**

Анализ надежности экзаменационных вариантов по физике подтверждает, что качество разработанных КИМ соответствует требованиям, предъявляемым к стандартизированным тестам учебных достижений. Средняя надежность (коэффициент альфа Кронбаха)<sup>1</sup> КИМ по истории – 0,9.

Таблица 4

№	Проверяемые требования (умения)	Коды проверяемых элементов содержания (по КЭС)	Коды проверяемых требований (умений) (по КТ)	Уровень сложности задания	Максимальный балл за выполнение задания	Примерное время выполнения задания (мин.)	Средний процент выполнения
1	Равномерное прямолинейное движение, равноускоренное прямолинейное движение, движение по окружности	1.1.3–1.1.8	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	81,7
2	Законы Ньютона, закон всемирного тяготения, закон Гука, сила трения	1.2.1, 1.2.3–1.2.6, 1.2.8, 1.2.9	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	85,3
3	Закон сохранения импульса, кинетическая и потенциальные энергии, работа и мощность силы, закон сохранения механической энергии	1.4.1–1.4.8	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	78,7
4	Условие равновесия твердого тела, закон Паскаля, сила Архимеда, математический и пружинный маятники, механические волны, звук	1.3.1–1.3.5, 1.5.1, 1.5.2, 1.5.4, 1.5.5	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	54,5
5	Механика ( <i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i> )	1.1–1.5	2.4	П	2	4–6	66,4
6	Механика ( <i>изменение физических величин в процессах</i> )	1.1–1.5	2.1	Б	2	4–6	68,3
7	Механика ( <i>установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i> )	1.1–1.5	1, 2.4	Б	2	4–6	56,1

<sup>1</sup> Минимально допустимое значение надежности теста для его использования в системе государственных экзаменов равно 0,8

8	Связь между давлением и средней кинетической энергией, абсолютная температура, связь температуры со средней кинетической энергией, уравнение Менделеева – Клапейрона, изопроецессы	2.1.6.– 2.1.10, 2.1.12	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	68,1
9	Работа в термодинамике, первый закон термодинамики, КПД тепловой машины	2.2.6, 2.2.7, 2.2.9, 2.2.10	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	67,4
10	Относительная влажность воздуха, количество теплоты	2.1.13, 2.1.14, 2.2.1–2.2.5, 2.2.11	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	52,4
11	МКТ, термодинамика ( <i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i> )	2.1, 2.2	2.4	П	2	4–6	71,0
12	МКТ, термодинамика ( <i>изменение физических величин в процессах; установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i> )	2.1, 2.2	1, 2.4	Б	2	4–6	64,7
13	Принцип суперпозиции электрических полей, магнитное поле проводника с током, сила Ампера, сила Лоренца, правило Ленца ( <i>определение направления</i> )	3.1.2, 3.1.4, 3.1.6, 3.3.1, 3.3.2–3.3.4, 3.4.5	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	58,9
14	Закон сохранения электрического заряда, закон Кулона, конденсатор, сила тока, закон Ома для участка цепи, последовательное и параллельное соединение проводников, работа и мощность тока, закон Джоуля – Ленца	3.1.1, 3.1.2, 3.1.5, 3.1.9, 3.1.11, 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.7–3.2.9	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	62,1
15	Поток вектора магнитной индукции, закон электромагнитной индукции Фарадея, индуктивность, энергия магнитного поля катушки с током, колебательный контур, законы отражения и преломления света, ход лучей в линзе	3.4.1, 3.4.3, 3.4.4, 3.4.6, 3.4.7, 3.5.1, 3.6.2– 3.6.4, 3.6.6–3.6.8	1, 2.1–2.4	Б	1	2–4	58,7
16	Электродинамика ( <i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i> )	3.1–3.6	2.4	П	2	4–6	58,7
17	Электродинамика ( <i>изменение физических величин в процессах</i> )	3.1–3.6	2.1	Б	2	4–6	52,5

18	Электродинамика и основы СТО ( <i>установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i> )	3.1–3.6 4.1–4.3	1, 2.4	П	2	4–6	47,6
19	Планетарная модель атома. Нуклонная модель ядра. Ядерные реакции.	5.2.1, 5.3.1, 5.3.4, 5.3.6	1.1	Б	1	2–4	84,0
20	Фотоны, линейчатые спектры, закон радиоактивного распада	5.1.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.5	2.1	Б	1	2–4	73,9
21	Квантовая физика ( <i>изменение физических величин в процессах; установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами</i> )	5.1–5.3	2.1 2.4	Б	2	4–6	57,2
22	Механика – квантовая физика ( <i>методы научного познания</i> )	1.1–5.3	2.5	Б	1	4–6	63,0
23	Механика – квантовая физика ( <i>методы научного познания</i> )	1.1–5.3	2.5	Б	1	4–6	67,6
24	Элементы астрофизики: Солнечная система, звезды, галактики	5.4.1–5.4.4	2.4	П	2	4–6	71,0
25	Механика, молекулярная физика ( <i>расчетная задача</i> )	2.1, 2.2, 3.1–3.6	2.6	П	1	10–15	38,1
26	Молекулярная физика, электродинамика ( <i>расчетная задача</i> )	5.1–5.3	2.6	П	1	10–15	30,2
27	Электродинамика, квантовая физика ( <i>расчетная задача</i> )	1.1–5.3	2.6	П	1	10–15	26,1
28	Механика – квантовая физика ( <i>качественная задача</i> )	1.1–5.3	2.6, 3	П	3	15–25	8,5
29	Механика ( <i>расчетная задача</i> )	1.1–1.5	2.6	В	3	15–25	17,7
30	Молекулярная физика ( <i>расчетная задача</i> )	2.1, 2.2	2.6	В	3	15–25	19,0
31	Электродинамика ( <i>расчетная задача</i> )	3.1–3.6	2.6	В	3	15–25	10,6
32	Электродинамика, квантовая физика ( <i>расчетная задача</i> )	3.1–3.6 5.1–5.3	2.6	В	3	15–25	14,3