



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

М.Ю. Демидова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для учителей, подготовленные
на основе анализа типичных ошибок
участников ЕГЭ 2020 года**

по ФИЗИКЕ

Москва, 2020

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. Из них 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. Часть 2 содержала 8 заданий (2 задания с кратким ответом и 6 заданий с развернутым ответом), объединенных общим видом деятельности – решение задач.

В экзаменационной работе контролировались элементы содержания из следующих разделов (тем) курса физики: механика, молекулярная физика, электродинамика и основы СТО, квантовая физика. Каждый вариант экзаменационной работы включал в себя задания, проверяющие освоение контролируемых элементов содержания из всех разделов школьного курса физики, при этом для каждого раздела предлагаются задания разных уровней сложности. Наиболее важные с точки зрения продолжения образования в высших учебных заведениях содержательные элементы контролируются в одном и том же варианте заданиями разных уровней сложности. Различные планы, по которым конструировались экзаменационные варианты, строились по принципу содержательного дополнения так, что в целом все серии вариантов обеспечивают диагностику освоения всех включенных в кодификатор содержательных элементов.

В экзаменационной работе были представлены задания разных уровней сложности: базового, повышенного и высокого. Задания базового уровня, проверяющие усвоение наиболее важных физических понятий, моделей, явлений и законов, а также знаний о свойствах космических объектов, были включены в часть 1 работы. Задания повышенного уровня были распределены между частями 1 и 2 экзаменационной работы. Эти задания были 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 являлись заданиями высокого уровня сложности и проверяли умение использовать законы и теории физики в измененной или новой ситуации.

Выполнение заданий базового уровня сложности позволяло оценить уровень освоения наиболее значимых содержательных элементов курса физики средней школы и овладение наиболее важными видами деятельности. Минимальное количество баллов ЕГЭ по физике, подтверждающее освоение выпускником программы среднего общего образования по физике, соответствует требованиям стандарта для изучения физики на базовом уровне. Использование в экзаменационной работе заданий повышенного и высокого уровней сложности позволяло оценить степень подготовленности учащегося к продолжению образования в вузе.

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

На выполнение всей экзаменационной работы отводилось 235 минут.

Содержание КИМ ЕГЭ по физике в 2020 г. оставлено без изменений, но изменена форма представления двух линий заданий. Расчетная задача по механике или молекулярной физике, которая ранее была представлена в части 2 в виде задания с кратким ответом, в 2020 г. предлагалась для развернутого решения, ее выполнение оценивалось максимально в 2 балла. Таким образом, количество заданий с развернутым ответом увеличилось с 5 до 6. Для задания 24, проверяющего освоение элементов астрофизики, вместо выбора двух верных ответов предлагался выбор всех верных ответов.

Максимальный балл за выполнение всех заданий экзаменационной работы увеличился на 1 балл и составил 53 балла.

Число участников основного периода ЕГЭ по физике в 2020 г. составило 140 837 человек, среди которых более 95% выпускников текущего года. В течение последних лет наблюдается снижение численности участников экзамена: 142 607 человек в 2019 г., 153 928 человек в 2018 г.

Средний балл ЕГЭ по физике 2020 г. составил 54,51 балла и не изменился по сравнению с прошлым годом (в 2019 г. – 54,18 балла). На рис. 1 представлено распределение результатов участников ЕГЭ по физике по первичным баллам.



Рис. 1

Минимальный балл ЕГЭ по физике в 2020 г., как и в 2019 г., составил 36 тестовых баллов, что соответствует 11 первичным баллам. Доля участников экзамена, не преодолевших минимального балла, в 2020 г. составила 5,57%, что немного ниже показателя прошлого года (в 2019 г. – 6,49%).

Максимальный тестовый балл в 2020 г. набрали 309 участников экзамена, что составляет 0,22% от общего числа участников экзамена. Этот показатель в процентном отношении ниже показателя предыдущего года, но сопоставим с результатами 2018 г.

В 2020 г. доля участников экзамена, набравших 81–100 баллов, составила 8,54%, что полностью совпадает с результатами 2019 г.

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

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

Таблица 1

| Раздел курса физики | Средний % выполнения по группам заданий |
|---------------------|---|
| Механика | 58,8 |
| МКТ и термодинамика | 54,4 |
| Электродинамика | 48,1 |
| Квантовая физика | 55,4 |

Как видно из таблицы, результаты выполнения заданий по электродинамике несколько ниже, чем по остальным разделам. Традиционно наиболее высокий средний процент выполнения демонстрируется для заданий по механике. По квантовой физике в текущем году отсутствовали задачи с развернутым ответом (задание по квантовой физике стояло на позиции 26), поэтому результаты по данному разделу выше, чем в прошлом году.

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 | |
|---|---|---------|
| | 2019 г. | 2020 г. |
| Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях | 67,5 | 67,7 |
| Анализ и объяснение явлений и процессов | 60,3 | 62,1 |
| Методологические умения | 61,2 | 70,9 |
| Решение задач | 25,8 | 20,7 |

Данные таблицы 2 демонстрируют стабильность показателей при применении законов и формул в типовых учебных ситуациях. Небольшое увеличение результатов для анализа и объяснения явлений и процессов наблюдается преимущественно за счет группы заданий на анализ изменения физических величин в различных процессах. Результаты по группе заданий на проверку методологических умений в этом году достигли максимального значения за последние три года. Негативной тенденцией стало снижение результатов за блок решения задач. Несмотря на перенос одной из задач повышенного уровня из формы с кратким ответом в форму с развернутым ответом, средний процент выполнения как качественных, так и расчетных задач оказался ниже, чем в прошлом году. Таким образом, стабильность средних результатов обеспечивалась преимущественно ростом качества освоения материала, проверяемого заданиями базового уровня сложности.

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

Таблица 3

| Группы заданий различного уровня сложности | Средний % выполнения | Средний % выполнения для групп с различным уровнем подготовки | | | |
|--|----------------------|---|----------|----------|----------|
| | | Группа 1 | Группа 2 | Группа 3 | Группа 4 |
| Базового уровня | 65,6 | 20,7 | 58,9 | 88,2 | 96,1 |
| Повышенного уровня | 44,3 | 16,9 | 34,3 | 68,5 | 79,1 |
| Высокого уровня | 13,2 | 0,03 | 2,7 | 27,4 | 78,2 |

По сравнению с прошлым годом немного снизились результаты выполнения заданий высокого уровня сложности при повышении результатов для заданий базового уровня. При этом существенно увеличилась дифференциация в выполнении заданий для групп с различным уровнем подготовки. Группы 1 и 2 демонстрируют практически те же средние проценты выполнения групп заданий базового уровня сложности и некоторое снижение для групп заданий повышенного и высокого уровней сложности. Группы 3 и 4 показали существенный прирост в результатах выполнения групп заданий, особенно это касается высокобалльников, для которых отмечен значительный прирост в решении задач высокого уровня сложности.

На рис. 2 приведена диаграмма средних процентов выполнения по каждой линии заданий для экзаменационной работы 2020 г.



Рис. 2

Исходя из общепринятых норм, содержательный элемент или умение считаются усвоенными, если средний процент выполнения соответствующей им группы заданий с кратким и развернутым ответами превышает 50%. По результатам выполнения групп заданий, проверяющих одинаковые элементы содержания и 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: второй закон Ньютона, сила упругости, закон всемирного тяготения, принцип суперпозиции сил, закон сохранения механической энергии, потенциальная энергия пружины, кинетическая энергия, закон сохранения импульса, давление твердого тела, длина волны, зависимость средней кинетической энергии теплового движения молекул от температуры, уравнение состояния идеального газа, работа газа, КПД тепловой машины, относительная влажность воздуха, количество теплоты, формула для мощности тока, закон отражения света, магнитный поток, энергия магнитного поля катушки с током, ЭДС самоиндукции, закон радиоактивного распада (определение периода полураспада по графику);
- устанавливать соответствие физических величин, характеризующих процессы, и формул, по которым их можно рассчитать: равноускоренное движение тела; движение тела под углом к горизонту; параметры газа в изопроцессах; формулы, характеризующие работу теплового двигателя; ток в цепях постоянного тока с последовательным и параллельным соединением проводников;
- интерпретировать графики, отражающие зависимость физических величин, характеризующих равномерное и равноускоренное движение тела, свободное падение тела, изопроцессы в идеальном газе, изменение агрегатных состояний вещества, электромагнитные колебания в колебательном контуре; определять по графику зависимости скорости от времени путь, пройденный телом, ускорение по графику зависимости проекции скорости от времени;
- определять направление вектора напряженности суммарного поля нескольких точечных зарядов, силы Ампера, силы Лоренца, а также состав атома, атомного ядра и массовое и зарядовое числа ядер в ядерных реакциях;
- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: движение тела, брошенного горизонтально; колебания пружинного маятника; движение спутников; изменение параметров газов в изопроцессе; преломление света; изображение в собирающей линзе; изменение параметров цепи

- постоянного тока; движение заряженной частицы в магнитном поле; изменение параметров колебательного контура; радиоактивный распад;
- проводить комплексный анализ физических процессов: движение под действием силы трения (графики зависимости силы трения и работы силы трения от времени); движение тела, брошенного под углом к горизонту; равномерное и равноускоренное движение, представленное в виде графика зависимости координаты от времени; движение тела по окружности; колебания математического маятника (данные таблицы); установление теплового равновесия в газах; изопроцессы в идеальном газе, представленные при помощи графика; изменение агрегатных состояний вещества; изменение параметров, характеризующих электрическое поле в конденсаторе при изменении его геометрических размеров; зависимость мощности и силы тока в спирали лампы накаливания от температуры; возникновение индукционного тока в катушке при изменении тока в другой катушке (с использованием схемы электрической цепи и графика изменения тока от времени); действие силы Ампера на проводник с током; возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике;
 - записывать показания измерительных приборов (динамометра, термометра, амперметра, вольтметра) с учетом погрешности измерений, выбирать недостающее оборудование для проведения косвенных измерений и экспериментальную установку для проведения исследования;
 - характеризовать свойства космических объектов (планет Солнечной системы, спутников планет, звезд) с использованием табличных данных и диаграммы Герцшпрунга – Рассела.

К дефицитам можно отнести группы заданий, которые контролировали умения:

- определять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: уравнение гармонических колебаний, удельная теплота парообразования (данные с графика), основное уравнение МКТ, совместное использование закона Кулона и закона сохранения заряда, закон Ома для участка цепи (расчет цепей постоянного тока), энергия электромагнитных колебаний в колебательном контуре;
- определять направление суммарного вектора магнитной индукции двух проводников с током, число нераспавшихся ядер радиоактивного изотопа по заданному периоду полураспада;
- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: плавание тел, явление фотоэффекта, излучение света атомом;
- устанавливать соответствие физических величин, характеризующих процессы, и формул, по которым их можно рассчитать, для абсолютно неупругого удара двух тел, для торможения автомобиля;
- проводить комплексный анализ физических процессов: изотермическое сжатие (расширение) водяного пара;
- решать расчетные задачи повышенного уровня сложности;
- решать качественные задачи;
- решать расчетные задачи высокого уровня сложности.

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

Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях

В КИМ ЕГЭ 2020 г. было включено 12 заданий базового уровня с кратким ответом в виде числа, которые проверяли понимание основных законов и формул курса физики средней школы. Как видно из приведенного выше перечня проверяемых элементов содержания, большинство из этих элементов освоено на уровне применения в стандартных ситуациях.

Традиционно наиболее высокие результаты продемонстрированы для заданий по механике. Здесь для заданий на расчет величин по формулам в этом году все группы заданий выполнялись с результатами выше 60%. Однако по молекулярной физике и электродинамике несколько групп заданий показали результаты немного ниже уровня освоения. Рассмотрим примеры этих заданий.

Пример 1

Цилиндрический сосуд разделён неподвижной перегородкой на две части. В одной части сосуда находится гелий, в другой – неон. Концентрации газов одинаковы. Средние кинетические энергии теплового движения молекул газов равны. Определите отношение давления гелия к давлению неона.

Ответ: _____ 1 _____.

В этом задании 45% участников экзамена записали верный ответ «1». Более половины не смогли провести простую цепочку рассуждений: поскольку $p = nkT$, то отношение давления гелия к давлению неона равно отношению их концентраций и абсолютных температур. Концентрации газов одинаковы, средние кинетические энергии теплового движения молекул одинаковы, значит, и температуры также одинаковы

$(E = \frac{3}{2}kT)$. Следовательно, отношение давлений равно 1.

Пример 2

При уменьшении абсолютной температуры на 600 К средняя кинетическая энергия теплового движения молекул аргона уменьшилась в 4 раза. Какова конечная температура аргона?

Ответ: _____ 200 _____ К.

С этим заданием справились 43% выпускников. Затруднение, судя по вееру ответов, было связано с математическими сложностями и невнимательным чтением условия. Зная формулу связи средней кинетической энергии теплового движения молекул с абсолютной температурой, участники экзамена записывали в ответ начальную температуру вместо конечной или не обращали внимание на то, что температура уменьшилась на 600 К, а не была изначально равна этой величине.

В электродинамике затруднения вызвали две серии заданий на применение закона Кулона.

Пример 3

С какой силой взаимодействуют в вакууме два маленьких заряженных шарика, находящихся на расстоянии 60 см друг от друга? Заряд каждого шарика равен 10^{-8} Кл.

Ответ: _____ 2,5 _____ мкН.

Средний результат выполнения этого задания – 47%. Затруднения были связаны с математическими расчетами: выпускники не справились с преобразованием степеней и представлением результата в микроныютонах.

Пример 4

Два одинаковых маленьких металлических заряженных шарика с зарядами $+3q$ и $-q$ находятся на большом расстоянии r друг от друга. Их соединяют тонкой проволокой, а затем проволоку убирают. Во сколько раз уменьшается по модулю сила электростатического взаимодействия шариков?

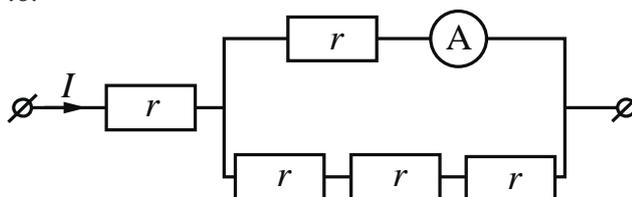
Ответ: в _____ 3 _____ раз(а).

В этом задании участники экзамена затруднились в применении закона сохранения заряда. Лишь 43% выпускников смогли определить, что после взаимодействия оба шарика приобретут заряд $+q$.

Как и в прошлые годы, сложными оказываются задания на применение закона Ома для участка цепи в электрических цепях со смешанным соединением проводников. Ниже приведен пример задания, с которым справился 41% участников экзамена.

Пример 5

По участку электрической цепи (см. рисунок) течёт постоянный ток $I = 4$ А. Какую силу тока показывает амперметр, если сопротивление $r = 1$ Ом? Сопротивлением амперметра пренебречь.



Ответ: _____ 3 _____ А.

Результат выполнения этого задания составил 41%. При этом оно имеет очень большой разброс результатов для групп выпускников с различным уровнем подготовки. Если высокобалльники не испытывают никаких трудностей (средний процент выполнения для группы – 97), то даже для группы со средним уровнем подготовки оказываются сложными запись равенства отношения сил токов в параллельных ветвях обратному отношению общих сопротивлений ветвей и расчет одного из токов.

Наиболее сложными среди заданий базового уровня с кратким ответом в виде числа стали задания на определение отношению значений энергий в колебательного контура (см. пример 6).

Пример 6

Конденсатор, заряженный до разности потенциалов U , в первый раз подключили к катушке с индуктивностью $L_1 = L$, а во второй – к катушке с индуктивностью $L_2 = 4L$. В обоих случаях в получившемся контуре возникли незатухающие электромагнитные колебания. Каково отношение значений полной энергии колебаний $\frac{W_2}{W_1}$?

Ответ: _____.

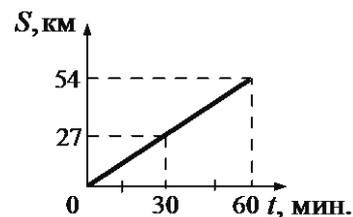
В этой группе заданий предлагалось определить отношение полных энергий, максимальных энергий электрического поля конденсаторов или максимальных энергий магнитного поля катушек с током. Никаких расчетов в заданиях не требуется. Необходимо понять, что полная энергия колебаний определяется начальной энергией электрического поля заряженного конденсатора. Поскольку она остается неизменной для двух случаев, то и отношение энергий будет равно 1. При изменении индуктивности катушки будет изменяться период колебаний в контуре, а не их энергия.

Отдельно остановимся на заданиях с использованием графиков, которые встречались как в заданиях с кратким ответом в виде числа, содержащих необходимую информацию для расчетов, так и в заданиях на соответствие, где требовалось только распознать вид графика для указанной зависимости.

В механике результаты ниже ожидаемых продемонстрированы для заданий на определение относительной скорости и на вычисление пройденного пути по графику зависимости проекции скорости от времени. Примеры таких заданий приведены ниже.

Пример 7

Из населённого пункта одновременно в одном направлении выезжают грузовой автомобиль и бульдозер и движутся по дороге с постоянными скоростями. На графике показана зависимость расстояния между грузовиком и бульдозером от времени. Скорость грузовика равна 25 м/с, а скорость бульдозера меньше. С какой скоростью движется бульдозер?

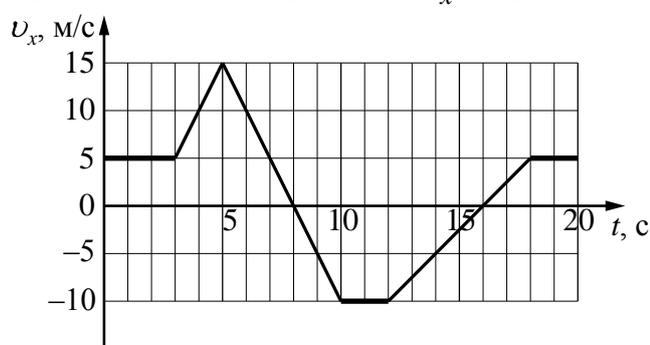


Ответ: _____ 10 _____ м/с.

48% участников экзамена смогли верно определить скорость движения грузовика относительно бульдозера ($54 \text{ км/ч} = 15 \text{ м/с}$) и, соответственно, скорость бульдозера. Большинство допустили ошибку в расчете скорости бульдозера через относительную скорость, не обратив внимания на движение объектов в одном направлении. Таким образом, основная трудность оказалась не в определении скорости по графику, а в умении определять относительную скорость движения объектов в заданной системе отсчета.

Пример 8

На рисунке приведён график зависимости проекции U_x скорости тела от времени t .



Определите путь, пройденный телом в интервале времени от 5 до 10 с.

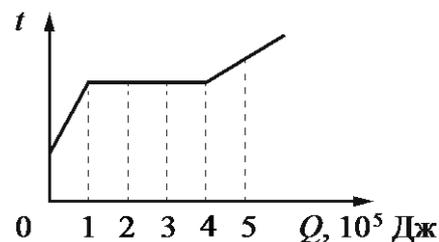
Ответ: _____ 32,5 _____ м.

В этих заданиях лишь четверть участников экзамена смогла верно определить путь для участка, на котором скорость меняет свое направление. Задание предполагает графический способ решения, но при этом путь рассчитывается для двух участков отдельно (от 5 до 7 с и от 7 до 10 с). Основная часть выпускников предложила ответ 62,5 м, подсчитав площадь треугольника со сторонами 25 и 5. Судя по вееру ответов к другим аналогичным заданиям, геометрический способ расчета пути по графику зависимости проекции скорости от времени выпускниками освоен, но необходимо обратить внимание на работу с отрицательными проекциями скоростей и определение пути на таких участках.

В молекулярной физике проблемными оказались задания на расчет удельной теплоты плавления и удельной теплоты парообразования веществ по графикам зависимости температуры веществ по мере их нагревания (см. пример 9).

Пример 9

На рисунке показан график изменения температуры t вещества по мере поглощения им количества теплоты Q . Масса вещества – 0,4 кг. Первоначально вещество было в жидком состоянии. Какова удельная теплота парообразования вещества?



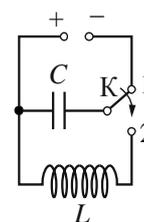
Ответ: _____ 750 _____ кДж/кг.

С этим заданием справились лишь 39% участников экзамена. Принимались ответы и 750 кДж/кг, и 750 000 Дж/кг. Основная проблема была не в переводе единиц измерения, а в работе с графиком – определении количества теплоты, необходимого для кипения вещества. Этот факт подтверждается тем, что задания без графиков на расчет удельной теплоты парообразования по заданным значениям количества теплоты и массы выполняются примерно 70% участников экзамена.

В разделе «Электродинамика» затруднения зафиксированы для заданий на соответствие, в которых необходимо распознать графики, отображающие изменения физических величин, характеризующих свободные электромагнитные колебания в контуре (см. пример 10).

Пример 10

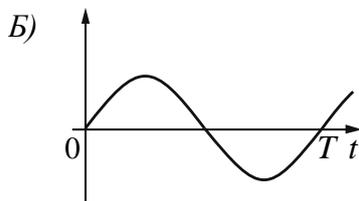
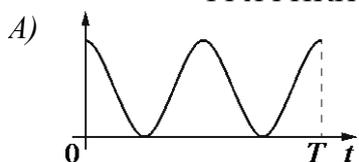
Конденсатор идеального колебательного контура длительное время подключён к источнику постоянного напряжения (см. рисунок). В момент $t = 0$ переключатель K переводят из положения 1 в положение 2. Графики A и B отображают изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре после этого (T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



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

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

ГРАФИКИ



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) сила тока в катушке
- 2) энергия магнитного поля катушки
- 3) заряд левой обкладки конденсатора
- 4) энергия электрического поля конденсатора

В этом задании 57% участников верно определили, что график (Б) отображает зависимость силы тока в катушке от времени. Но лишь 26% смогли верно распознать график для энергии электрического поля конденсатора, т.е. не только определить, что график с периодом, в 2 раза меньшим периода колебаний в контуре, соответствует изменению энергии, но и по начальным условиям (максимальное значение в начальный момент времени) соотнести с максимальным зарядом конденсатора в момент $t = 0$,

а следовательно, и с энергией электрического поля конденсатора. В других заданиях этой группы также основную трудность вызывают графики для энергии (либо электрического поля конденсатора, либо для магнитного поля катушки с током).

Применение законов и формул в стандартных ситуациях в КИМ по физике проверяют и задания на соответствие, среди которых встречались группы на соответствие физических величин и формул, по которым их можно рассчитать. В этом году такие задания предлагались по механике. Как правило, в них рассматривалась стандартная ситуация движения объекта и предлагалось вывести формулы для определения двух величин, описывающих указанное движение. Средний процент выполнения таких заданий составил 45.

Пример 11

Автомобиль массой m , движущийся по прямолинейному горизонтальному участку дороги со скоростью v , совершает торможение до полной остановки. При торможении автомобиля колёса не вращаются. Коэффициент трения между колёсами и дорогой равен μ .

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

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) модуль ускорения автомобиля*
- Б) тормозной путь автомобиля*

ФОРМУЛЫ

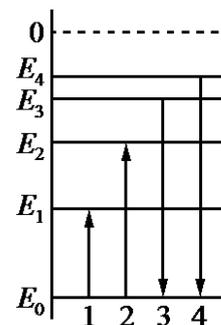
- 1) μmg
- 2) $\frac{v^2}{2\mu g}$
- 3) μg
- 4) $\frac{v}{\mu g}$

В этом задании с записью второго закона Ньютона и определением ускорения (ответ 3) справились 53% участников. А вот получить из закона сохранения энергии формулу для расчета тормозного пути автомобиля удалось лишь 35% выпускников.

К сожалению, традиционно ниже ожидаемого выполнены задания на применение постулатов Бора с использованием диаграммы энергетических уровней атома. Средний процент выполнения этой серии заданий составил 47.

Пример 12

На рисунке изображена упрощённая диаграмма нижних энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какие из этих переходов связаны с поглощением кванта света наибольшей длины волны и излучением кванта света с наименьшей энергией?



Установите соответствие между процессами поглощения и испускания света и стрелками, обозначающими энергетические переходы атома.

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

| ПРОЦЕССЫ | ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ |
|---|-------------------------|
| А) поглощение кванта света наибольшей длины волны | 1) 1 |
| | 2) 2 |
| Б) излучение кванта света с наименьшей энергией | 3) 3 |
| | 4) 4 |

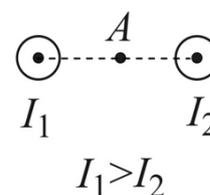
В этом задании 59% участников верно указали переход 3 для излучения кванта с наименьшей энергией. Ошибка, как правило, допускается в дистракторах, для которых энергия кванта характеризуется через длину волны: выпускники хорошо различают на диаграмме излучение и поглощение света, но затрудняются применять формулу для

энергии фотона: $E = \frac{hc}{\lambda}$. Так, в примере 11 второй верный ответ (переход 1) смогли указать 34% участников.

Задания линии 13 оценивали умение определять направление векторных величин: вектора напряженности электрического поля, вектора магнитное индукции тока, силы Ампера и силы Лоренца. В среднем результат выполнения этой линии заданий (62%) соответствует показателям прошлого года. Наиболее высокие результаты получены для заданий на определение направления силы ампера, действующей на сторону рамки с током в магнитном поле. Затруднения вызвала серия заданий на определение направления суммарного вектора магнитной индукции для двух прямолинейных токов (см. пример 13).

Пример 13

На рисунке показаны сечения двух параллельных прямых длинных проводников и направления токов в них. Сила тока I_1 в первом проводнике больше, чем сила тока I_2 во втором. Куда направлен относительно рисунка (вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя) вектор индукции созданного проводниками магнитного поля в точке А, расположенной на равном расстоянии от проводников? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: вниз.

В этом задании верный ответ указали 48% выпускников. Здесь два тока, текущих в одном направлении, создают в точке А вектора магнитной индукции противоположных направлений. Очевидно, значительная часть выпускников забыла, что, кроме направления, у вектора магнитной индукции есть еще и величина, которая зависит от силы тока в проводнике. Следовательно, суммарный вектор магнитной индукции направлен по вектору магнитной индукции большего тока.

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 варианте предлагалось по 3 задания на определение характера изменения физических величин в различных процессах: по механике, электродинамике, молекулярной или квантовой физике. Средний процент выполнения этих заданий составил 62, что вполне соотносится с базовым уровнем сложности этих заданий. Не достигнут уровень освоения для трех групп заданий: на плавание тел (40%), движение заряженной частицы в магнитном поле (41%) и явление фотоэффекта (42%). Приведем примеры таких заданий.

Пример 14

На поверхности пресной воды плотностью $\rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$ плавает деревянный брусок. Как изменятся масса вытесненной бруском жидкости и действующая на него сила Архимеда, если этот брусок будет плавать на поверхности керосина плотностью $\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

| Масса вытесненной бруском жидкости | Сила Архимеда |
|------------------------------------|---------------|
| | |

По сравнению с предыдущими циклами ЕГЭ значительно увеличилось число выпускников, понимающих, что при плавании тела сила Архимеда в случае переноса тела из воды в керосин не изменится, так как равна силе тяжести, действующей на тело (63%). Но при этом лишь 17% участников смогли указать на неизменность массы вытесненной жидкости, понимая, что сила Архимеда равна весу вытесненной жидкости.

Пример 15

Частица массой m , несущая заряд q , движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиусом R со скоростью v . Что произойдет с радиусом орбиты и периодом обращения частицы при уменьшении скорости её движения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

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

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

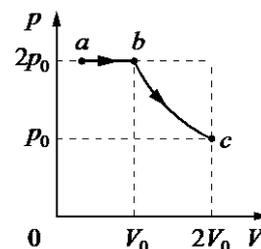
| Радиус орбиты частицы | Период обращения частицы |
|-----------------------|--------------------------|
| | |

В этой группе заданий, как правило, проблемы связаны с определением периода обращения частицы в магнитном поле. Так, в задании из приведенного выше примера 58% участников верно записали второй закон Ньютона и силу Лоренца и определили уменьшение радиуса орбиты частицы. Но только 34% смогли вспомнить, что период обращения частицы в магнитном поле не зависит от ее скорости (или вывести соответствующее соотношение).

Задания на множественный выбор по механике, молекулярной физике и электродинамике относились к повышенному уровню сложности. Следует отметить, что результаты их выполнения в этом году в целом повысились. Лишь для двух групп заданий средний процент выполнения оказался ниже 50. Приведем пример такого задания.

Пример 16

В цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится водяной пар и капля воды. С паром в сосуде при постоянной температуре провели процесс $a \rightarrow b \rightarrow c$, pV -диаграмма которого представлена на рисунке. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения относительно проведённого процесса.



- 1) В точке c водяной пар является насыщенным.
- 2) На участке $b \rightarrow c$ внутренняя энергия пара уменьшается.
- 3) На участке $a \rightarrow b$ внутренняя энергия капли уменьшается.
- 4) На участке $a \rightarrow b$ к веществу в сосуде подводится положительное количество теплоты.
- 5) На участке $b \rightarrow c$ масса пара уменьшается.

В этом задании один верный ответ указали 78% экзаменуемых, а полностью верный ответ 34 смогли записать лишь 13%. Судя по вееру ответов, участники экзамена не смогли правильно интерпретировать ход графика. На участке $a \rightarrow b$ насыщенный водяной пар нагревают, при этом капля воды испаряется, а масса пара и, следовательно, его внутренняя энергия увеличиваются. На участке $b \rightarrow c$ пар ненасыщенный, он изотермически расширяется в соответствии с законом Бойля – Мариотта, его внутренняя энергия остается неизменной.

В 2020 г. в заданиях линии 24 использовалась новая для КИМ по физике форма заданий: выбор всех верных ответов из пяти предложенных утверждений. В заданиях было либо два, либо три верных ответа. При этом для получения 1 балла допускалась не только ошибка в одном из элементов ответа, но и запись одного неверного ответа дополнительно к верному.

Средний процент выполнения заданий линии 24 оказался равен 58, что ниже показателей прошлого года (67%), но вполне ожидаемо с учетом изменения формы ответа на задание. Наиболее успешно участники экзамена справлялись с анализом данных по диаграмме Герцшпрунга – Рассела, а также характеристик звезд и планет Солнечной системы. Трудности вызвала группа заданий с использованием таблицы с данными о спутниках планет (см. пример 17).

Пример 17

Рассмотрите таблицу, содержащую характеристики некоторых астероидов Солнечной системы.

| Название астероида | Примерный радиус астероида, км | Большая полуось орбиты, а.е. | Период обращения вокруг Солнца, земных лет | Эксцентриситет орбиты e^* | Масса, кг |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|---------------------|
| Веста | 265 | 2,37 | 3,63 | 0,091 | $3,0 \cdot 10^{20}$ |
| Эвномия | 136 | 2,65 | 4,30 | 0,185 | $8,3 \cdot 10^{18}$ |
| Церера | 466 | 2,78 | 4,60 | 0,077 | $8,7 \cdot 10^{20}$ |
| Паллада | 261 | 2,78 | 4,61 | 0,235 | $3,2 \cdot 10^{20}$ |
| Юнона | 123 | 2,68 | 4,36 | 0,256 | $2,8 \cdot 10^{19}$ |
| Геба | 100 | 2,42 | 3,76 | 0,202 | $1,4 \cdot 10^{19}$ |
| Аквитания | 54 | 2,79 | 4,53 | 0,238 | $1,1 \cdot 10^{18}$ |

* Эксцентриситет орбиты определяется по формуле $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$, где b – малая полуось, a – большая полуось орбиты. $e = 0$ – окружность; $0 < e < 1$ – эллипс.

Выберите все верные утверждения, которые соответствуют характеристикам астероидов.

- 1) Большая полуось орбиты астероида Эвномия составляет примерно 397,5 млн км.
- 2) Вторая космическая скорость для астероида Веста составляет больше 11 км/с.
- 3) Средняя плотность астероида Аквитания составляет 700 кг/м^3 .
- 4) Орбита астероида Геба находится между орбитами Марса и Юпитера.
- 5) Астероид Юнона вращается по более вытянутой орбите, чем астероид Церера.

В этом задании верными являются утверждения 1, 4 и 5. 1 балл по результатам выполнения задания получили 52% участников, а 2 балла, указав все три верных ответа, – лишь 12% выпускников. Большинство участников экзамена справилось с переводом а.е. в км и указало первый ответ как верный. Кроме того, и сравнение «вытянутости» орбит астероидов с использованием данных об эксцентриситете практически не вызвало затруднений. К сожалению, к числу часто выбираемых ответов относились 2 и 3. Несмотря на то что в них используются числовые значения, никаких расчетов для оценки неверности этих ответов проводить не нужно. Достаточно знать, что 11 км/с – это вторая космическая скорость для Земли, а для астероида радиусом около 300 км она должна быть на порядок меньше. То же самое относится и к данным о плотности. Здесь достаточно понимания, что плотность каменных астероидов не может быть меньше плотности воды и сопоставима с плотностью древесины.

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. Средний процент выполнения этой линии заданий составил 69, что выше показателей прошлого года и сопоставимо с предыдущими годами. Наиболее сложным оказалось задание на снятие показаний термометра, в котором предлагалось дополнительно перевести показания из градусов Цельсия в шкалу Кельвина.

Задание 23 проверяло умение выбирать оборудование для проведения опыта. Задания на выбор экспериментальных установок, которые представлены в виде схематичных рисунков, выполнялись с более высоким результатом (79%), чем задания на выбор строк таблицы, описывающих параметры оборудования (62%). Наиболее сложным оказалось задание на выбор оборудования из предложенного списка, в котором предлагался нетипичный способ измерения плотности жидкости (см. пример 18).

Пример 18

Необходимо собрать экспериментальную установку, с помощью которой можно определить плотность бензина. Для этого школьник взял стакан с бензином и динамометр. Какие два предмета из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) *термометр*
- 2) *стальной цилиндр с крючком*
- 3) *калориметр*
- 4) *пружина*
- 5) *мензурка*

В этом задании необходимо было сообразить, что определить плотность бензина в данном случае можно, измерив объем стального цилиндра и силу Архимеда, действующую на него в бензине. Такой способ измерения нашли и верно выбрали оборудование лишь 41% участников экзамена.

Решение задач

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

Две расчетные задачи повышенного уровня сложности предлагались в виде заданий с кратким ответом, а одна – с развернутым ответом. Практически во всех сериях вариантов на позиции 26 стояла задача по квантовой физике либо на применение уравнения Эйнштейна для фотоэффекта (средний процент выполнения – 31), либо на применение формулы для мощности поглощенного излучения (средний процент выполнения – 27). Среди задач по молекулярной физике (средний процент выполнения – 20) самой сложной оказалась задача на расчет КПД тепловой машины. Задачи по электродинамике (ЭДС в движущемся проводнике, расчет силы Ампера и сравнение амплитуд токов или напряжений при колебаниях в колебательном контуре) показали результат несколько выше – 34%.

На позиции 28 впервые в этом году расчетная задача повышенного уровня сложности предлагалась с развернутым ответом. Средний процент выполнения по всей линии составил 41,4. Наиболее успешно выполнялись задания на неупругое столкновение (46%), на расчет силы натяжения нити для тела, висящего на нити в жидкости (58%), на подъем тела при помощи массивного рычага (47%). Ниже ожидаемого выполнены задачи по молекулярной физике по калориметрии и на расчет КПД теплового двигателя. Ниже приведен пример одной из таких задач.

Пример 19

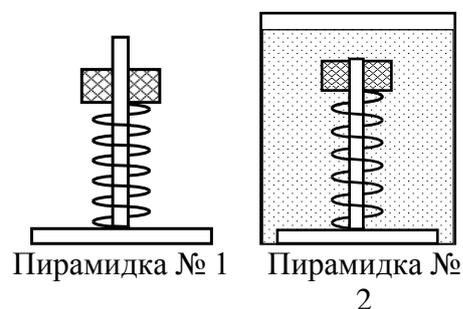
В калориметре находятся в тепловом равновесии вода и лёд. После опускания в калориметр болта, имеющего массу 165 г и температуру $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20% воды превратилось в лёд. Удельная теплоёмкость материала болта равна $500\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$. Какая масса воды первоначально находилась в калориметре? Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

Средний процент выполнения этого задания – 17. При этом полностью верно решили задачу и получили 2 балла 13%, а еще 7% смогли записать обязательные уравнения для нагревания (остывания) тел и плавления (кристаллизации) льда, но допустили ошибку, неверно определив конечную температуру и интерпретировав происходящие процессы: количество теплоты, необходимое для нагревания льда до 0 °С, равно количеству теплоты, выделяющемуся при кристаллизации 20% воды.

В этом году в целом снизились результаты выполнения качественных задач, средний процент выполнения по всем типам задач составил 17 (в 2019 г. – 27). Наиболее успешно выполнялись задания на перестроение графиков изо процессов (например, построение графика зависимости давления от объема по заданному графику зависимости внутренней энергии от объема). Примерно на том же уровне, что и в прошлые периоды, выполнены задачи на объяснение процессов в цепях постоянного тока, содержащих конденсатор, и на движение заряженной пылинки в электрическом поле плоского конденсатора. Наиболее сложными оказались задания по механике. Приведем пример одного из таких заданий.

Пример 20

Два деревянных кольца детских пирамидок № 1 и № 2, способных без трения скользить по оси, соединили с основаниями двумя одинаковыми лёгкими пружинками (см. рисунок). Пирамидку № 2 поместили в прочный сосуд с водой, прикрепив основание к его дну. Обе пирамидки покоятся относительно Земли. Как изменится по сравнению с этим случаем (увеличится, уменьшится или останется прежней) длина пружин пирамидок № 1 и № 2 во время свободного падения с балкона высокого дома? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



Практически все приступившие к решению этой задачи смогли верно указать силы, действующие на кольца до момента падения. Пока пирамидки покоились относительно Земли, пружина пирамидки № 1 под весом кольца была сжата, а пружина пирамидки № 2 была растянута так, чтобы сила упругости и сила тяжести, действующие на деревянное кольцо, скомпенсировали силу Архимеда, равную по модулю весу вытесненной воды. Типичной ошибкой здесь было неверное указание соотношения сил для второй пружины. Очевидно, участники экзамена не смогли понять, что на деревянное кольцо в воде действует сила Архимеда, существенно бóльшая силы тяжести, и пружина будет растянута.

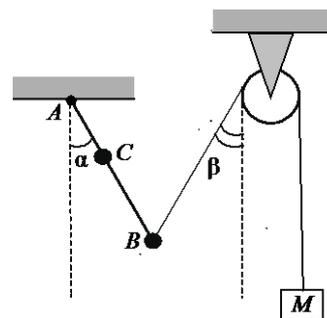
А вот рассуждения о том, что происходит при свободном падении, смогли привести лишь около 10% выпускников. При свободном падении тело испытывает состояние невесомости, невесомы стали и кольцо, и вода. Сила Архимеда стала равна нулю. При равном нулю весе всех предметов обе пружины перестали быть деформированными: первоначально сжатая пружина № 1 увеличила свою длину, а растянутая пружина № 2 ее сократила.

Средний процент выполнения заданий высокого уровня сложности составил в этом году 13,2. При этом результаты решения задач по разным разделам примерно одинаковы: механика – 12%; молекулярная физика – 13%; электродинамика – 14%.

Среди заданий по механике наибольшие трудности вызвали задачи по статике (см. пример 21).

Пример 21

Несомый стержень AB с двумя малыми грузиками массами $m_1 = 200 \text{ г}$ и $m_2 = 100 \text{ г}$, расположенными в точках C и B соответственно, шарнирно закреплён в точке A . Груз массой $M = 100 \text{ г}$ подвешен к несомому блоку за несомую и нерастяжимую нить, другой конец которой соединён с нижним концом стержня, как показано на рисунке. Вся система находится в равновесии, если стержень отклонён от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$, а нить составляет угол с вертикалью, равный $\beta = 30^\circ$. Расстояние $AC = b = 25 \text{ см}$. Определите длину l стержня AB . Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на груз M и стержень.



При выполнении рисунка основной проблемой стало определение направления силы, действующей на стержень со стороны шарнира: большое число выпускников направляло эту силу вдоль стержня (при проверке было принято решение не учитывать эту ошибку, поскольку на дальнейший ход решения это не влияло). Однако стоит обратить внимание на этот момент в процессе обучения. Необходимость записи условий равновесия (равенства нулю суммы внешних сил, действующих на тело, и моментов внешних сил относительно выбранной оси вращения) осознавалась всеми экзаменуемыми, приступившими к решению задачи. Однако полностью справиться со всеми этапами решения удалось лишь 10% участников. Еще 12% смогли записать основные уравнения, но допустили ошибки математического характера, неверно указав плечи сил и не справившись с преобразованиями.

Среди заданий по молекулярной физике можно отметить серию задач о кипении жидкостей под легким поршнем (см. пример 22). Несмотря на то что аналогичная задача была опубликована на сайте ФИПИ в период подготовки к экзамену, результаты выполнения этих заданий оказались существенно ниже ожидаемого.

Пример 22

В вертикальном цилиндре, закрытом лёгким поршнем, находится бензол (C_6H_6) при температуре кипения $t = 80^\circ \text{C}$. При сообщении бензолу количества теплоты Q часть его превращается в пар, который при изобарном расширении совершает работу A . Удельная теплота парообразования бензола $L = 396 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$, его молярная масса $M = 78 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Какая часть подведённого к бензолу количества теплоты переходит в работу? Объёмом жидкого бензола пренебречь.

Здесь средний процент выполнения задания оказался равным 9,5. Привести полное верное решение, определив работу пара при изобарном процессе из уравнения Клапейрона – Менделеева $A = \frac{\Delta m RT}{M}$ и количество теплоты, необходимое для испарения бензола, $Q = \Delta mL$, смогли лишь 6% участников экзамена. Еще 13% лишь частично справились с записью основных уравнений. При этом основной сложностью было понимание того, что количество теплоты как произведение массы на удельную теплоту парообразования включает в себя и изменение внутренней энергии, и работу, совершаемую паром.

Для заданий по электродинамике в зависимости от сюжета следует отметить очень большой разброс в результатах выполнения: определение величины индукции магнитного поля, пронизывающего виток, по которому протекает электрический заряд, – 22%; изменение энергии конденсатора при изменении его геометрических размеров – 18%; определение заряда, образующегося на конденсаторе, соединённом с проволочным кольцом, при изменении магнитного поля через кольцо, – 16%; определение результирующей силы Ампера, действующей на рамку с током в магнитном поле, – 11%;

расчет расстояния между заряженными неподвижными бусинками на непроводящем стержне – 9%; расчет количества теплоты, выделяющегося в резисторе при разрядке конденсатора, – 8%.

На позиции 32 предлагались задачи по геометрической оптике, средний процент выполнения которых оказался равен 16. Как правило, все задачи требовали построения изображения в собирающей линзе и применение формулы линзы. Если анализировать рисунки выпускников, то можно отметить, что недостаточно внимания уделяется построению изображений с использованием побочной оптической оси (многочисленные случаи, когда для построения изображения источника, лежащего на главной оптической оси, тестируемые достраивают на нем стрелку предмета и пользуются привычными лучами через оптический центр и через фокус).

Наиболее сложной с точки зрения построения и понимания условия оказалась задача, приведенная ниже.

Пример 23

Два точечных источника света находятся на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии $L = 1$ м друг от друга. Линза находится между ними. Расстояние от линзы до одного из источников $x = 20$ см. Изображения обоих источников получились в одной точке. Найдите оптическую силу линзы. Постройте на отдельных рисунках изображения двух источников в линзе, указав ход лучей.

Анализируя условие задачи, необходимо было понять, что изображение обоих источников в одной точке может получиться только в том случае, если они располагаются по разные стороны линзы и изображение одного из источников является мнимым (и, следовательно, источник находится между линзой и фокусом). С решением этой задачи полностью справились лишь 7% тестируемых, хотя еще 16% участников успешно смогли построить изображения и записать верно формулу линзы хотя бы для одного из источников.

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: 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 2020 г.



Рис. 3.

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

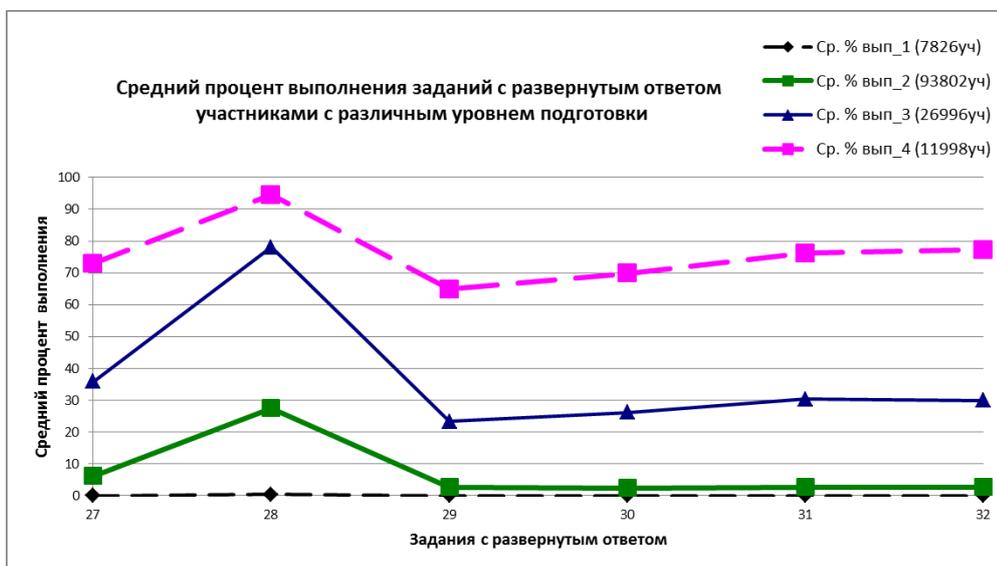
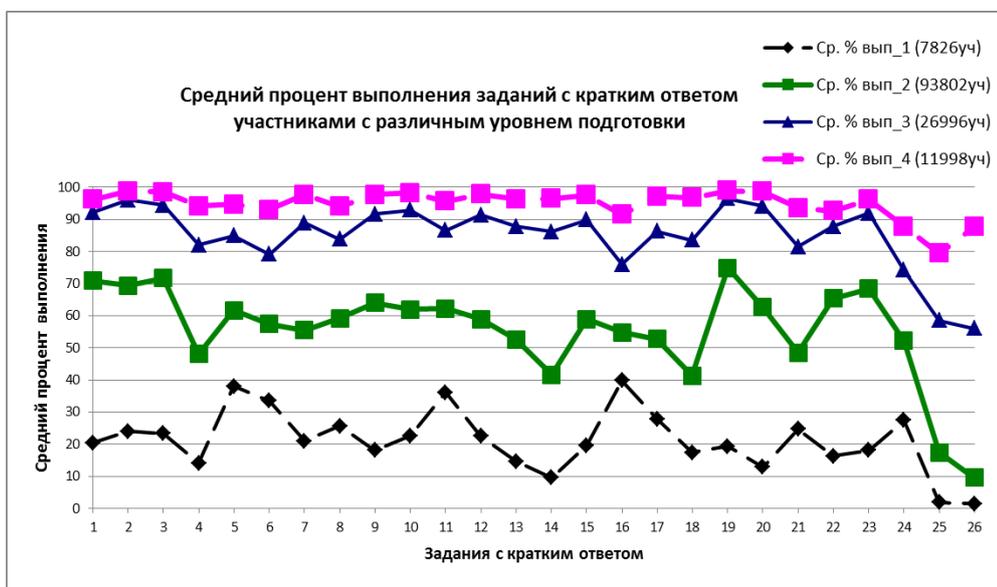


Рис. 4.

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 20,7. Данная группа участников экзамена не продемонстрировала освоение каких-либо элементов содержания и овладение какими-либо проверяемыми умениями. Можно отметить лишь более успешное по сравнению с другими выполнение заданий по механике на проверку наиболее важных законов и формул. Ниже приведен пример задания, с которым справились 45% выпускников из данной группы.

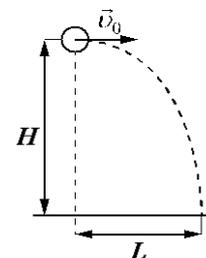
Пример 24

В инерциальной системе отсчёта сила, модуль которой равен 100 Н, сообщает некоторому телу ускорение 10 м/с². Каков модуль силы, которая сообщит этому телу ускорение 7 м/с² в этой системе отсчёта?

К группе 2 относятся участники экзамена, получившие от 11 до 31 первичных балла. Результаты выполнения группы заданий базового уровня составили в среднем 58,9%, для заданий повышенного уровня этот показатель – 34,3%. Таким образом, данная группа демонстрирует освоение содержания курса физики средней школы на базовом уровне сложности, кроме расчета давления твердых тел, расчета электрических цепей постоянного тока, применения закона Кулона совместно с законом сохранения энергии, распознавания графиков изменения величин при электромагнитных колебаниях в колебательном контуре, анализа изменения физических величин при фотоэффекте. Результаты решения расчетных задач повышенного уровня сложности составляют в среднем 18%. Ниже приведен пример задания, с которым справляются выпускники данной группы.

Пример 25

Шарик, брошенный горизонтально с высоты H с начальной скоростью \vec{v}_0 , до падения на землю пролетел в горизонтальном направлении расстояние L (см. рисунок). Что произойдёт с дальностью полёта и ускорением шарика, если в этой же постановке опыта уменьшит начальную скорость шарика? Сопротивлением воздуха пренебречь. Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:



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

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

| <i>Дальность полёта шарика</i> | <i>Ускорение шарика</i> |
|--------------------------------|-------------------------|
| | |

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 88,2, повышенного уровня – 68,5, высокого уровня – 27,4.

От предыдущей группы эту группу отличает успешное выполнение заданий базового уровня на расчет давления твердых тел, расчет электрических цепей постоянного тока, применение закона Кулона совместно с законом сохранения энергии, распознавание графиков изменения величин при электромагнитных колебаниях в колебательном контуре, анализ изменения физических величин при фотоэффекте.

По сравнению с прошлым годом повысились результаты решения качественных задач, стабильные результаты демонстрируются для расчетных задач повышенного уровня.

Данная группа не освоила решение расчетных задач высокого уровня сложности, демонстрируя попытки записи отдельных законов и уравнений, необходимых для решения таких задач. Ниже приведен пример задания, с которым справляется данная группа выпускников.

Пример 26

Герметичный теплоизолированный сосуд разделили неподвижной перегородкой, способной проводить тепло, на две равные части. В первую часть сосуда поместили некоторое количество аргона при температуре 328 К, а во вторую – такое же количество аргона при температуре 15 °С.

Считая, что теплоёмкость сосуда пренебрежимо мала, выберите два утверждения, которые верно отражают изменения, происходящие с аргоном при переходе к тепловому равновесию.

- 1) Внутренняя энергия газа в первой части сосуда увеличилась.*
- 2) Температура газа во второй части сосуда повысилась.*
- 3) При теплообмене газ в первой части сосуда отдавал теплоту, а газ во второй части сосуда её получал.*
- 4) Через достаточно большой промежуток времени температура газов в обеих частях сосуда стала одинаковой и равной 25 °С.*
- 5) В результате теплообмена газ в первой части сосуда совершил положительную работу.*

Высокобалльники получили по результатам выполнения экзаменационной работы от 43 до 52 первичных баллов. Данная группа демонстрирует освоение всех элементов содержания и всех проверяемых способов действий. Средний процент выполнения заданий базового уровня составляет 96,1, повышенного уровня – 79,1, высокого уровня – 78,2. Ниже приведен пример задачи высокого уровня сложности, с которой успешно справились 85% тестируемых из данной группы.

Пример 27

В комнате при 20 °С относительная влажность воздуха составляет 40%. В состоянии покоя через лёгкие человека проходит 5 л воздуха за 1 мин. Выдыхаемый воздух имеет температуру 34 °С и относительную влажность 100%. Давление насыщенного водяного пара при 20 °С равно 2,34 кПа, а при 34 °С – 5,32 кПа. Какое количество воды теряет тело человека за 1 ч за счёт дыхания? Считать, что выдыхаемый воздух имеет такой же объём, какой проходит через лёгкие человека. Влажность воздуха в комнате не изменяется.

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

Представленный выше анализ результатов выполнения заданий КИМ ЕГЭ по физике показывает проблемные зоны как по отдельным элементам содержания, так и по группам проверяемых умений. Подробный разбор содержания заданий и типичных ошибок, допускаемых выпускниками, позволит учителям при планировании учебного процесса принять меры по минимизации выявленных проблем, совершенствуя дидактические материалы, выбирая приемы работы с обучающимися, оптимальные для их уровня подготовки, и т.д.

Остановимся на двух аспектах, касающихся планируемого в ближайшем будущем перехода экзаменационной модели ЕГЭ по физике на требования ФГОС СОО и, соответственно, требующих изменений в методике обучения соответствующим видам деятельности.

Первое направление касается расчетных задач высокого уровня сложности и, соответственно, относится к совершенствованию приемов обучения решению задач обучающихся, по уровню подготовки относящихся к группам 3 и 4. Это введение в требования к полному верному ответу к таким задачам обоснования возможности использования законов (планируется поэтапное введение для части задач). Известно, что в настоящее время при решении расчетных задач КИМ ЕГЭ никаких комментариев, обосновывающих использование указанных в решении законов и формул для ситуации данной конкретной задачи, не требуется. Достаточным считается запись системы уравнений, включающих законы и формулы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом. При этом все указания, необходимые для выбора конкретной модели, предлагаются в задаче (пренебречь такими-то процессами, считать такие-то объекты идеальными и т.д.).

В перспективе указания на выбор модели в текст задания включаться не будут и обучающимся самостоятельно придется показать, какие условия должны выполняться для того, чтобы можно было использовать предложенные законы и формулы для решения данной задачи. Приведем пример.

Пример 28

Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличилась на 0,5 МДж. Найдите скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда. Сопротивлением воздуха пренебречь. Какие законы Вы использовали для описания разрыва снаряда? Обоснуйте их применимость к данному случаю.

В обосновании решения необходимо указать, что для описания разрыва снаряда использован закон сохранения импульса системы тел. Он выполняется в инерциальной системе отсчета, если сумма внешних сил, приложенных к телам системы, равна нулю. В данном случае из-за отсутствия сопротивления воздуха внешней силой является сила тяжести $\vec{m}g$, которая не равна нулю. Но этим можно пренебречь, считая время разрыва снаряда малым. За малое время разрыва импульс каждого из осколков меняется на конечную величину за счет большой внутренней силы взрыва. По сравнению с этой большой силой конечная сила тяжести пренебрежимо мала. Так как время разрыва снаряда считаем малым, то можно пренебречь также изменением потенциальной энергии снаряда и его осколков в процессе разрыва.

Второе направление – изменение подходов к оценке методологических умений экзаменационных материалах. В требованиях ФГОС СОО по физике сделан серьезный акцент на освоение методологических умений: овладение теоретическими знаниями о методах научного познания, знакомство с ролью фундаментальных физических опытов в развитии физики и, главное, овладение умениями самостоятельного проведения измерений и опытов. К сожалению, включение экспериментов на реальном оборудовании в КИМ ЕГЭ пока невозможно в силу технологических сложностей, поэтому освоение методологических умений пока проверяется только заданиями базового уровня, предполагающими использование простейших приемов: снятие показания шкальных приборов и выбор параметров установки по заданной гипотезе опыта. Но одним из направлений развития оценочных материалов становится усиление методологической составляющей. В рамках учебного процесса необходимо уже сейчас ориентироваться на изменение требований к проведению лабораторных работ и обеспечить формирование

всего спектра экспериментальных умений, предполагаемых в рамках углубленного курса физики средней школы: выбор оборудования и измерительных приборов с учетом цели опыта; выбор измерительных приборов с учетом предполагаемых диапазонов измерения величин и достижения максимально возможной точности измерений; планирование хода исследований с учетом минимизации случайных погрешностей; проведение серии измерений с определением средних значений; запись прямых измерений с учетом абсолютной погрешности, сравнение полученных значений с учетом абсолютных погрешностей, определение относительной погрешности прямых измерений; построение графиков зависимости исследуемых величин с учетом абсолютных погрешностей измерений; расчет относительной и абсолютной погрешностей косвенных измерений; интерпретация результатов проведенных измерений.

Полноценная реализация требований стандарта к формированию экспериментальных умений возможна лишь при выполнении обучающимися всего спектра практических работ. Форма их проведения может быть различна: классические лабораторные работы при изучении темы и проведение итогового практикума; специальные еженедельные занятия, выделенные для выполнения только лабораторных работ; проведение серии лабораторных работ в конце изучения темы в виде закрепления материала и т.д. При этом целесообразно шире использовать работы по изучению зависимостей физических величин, заменяя ими традиционные работы, которые по этим же темам предполагают лишь проведение косвенных измерений (например, исследование зависимости напряжения на полюсах источника от силы тока в электрической цепи, а не косвенное измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока).

В современном кабинете физике базой для проведения ученических практических работ становятся цифровые лаборатории. Цифровые технологии в практических работах (цифровые датчики для регистрации физических величин и использование смартфонов или планшетов для расчетов и оформления результатов опытов) не только существенно повышают их привлекательность для современного старшеклассника, но и позволяют перейти на новый качественный уровень проведения измерений. Использование цифровых лабораторий позволяет упростить процесс измерений, повысить их точность и во многих случаях сделать школьный физический эксперимент количественным, а именно перевести многие опыты по наблюдению явлений в количественные эксперименты с автоматическим построением графиков исследуемых зависимостей, например: с высокой точностью измерить мгновенную скорость тела, движущегося неравномерно; исследовать изменение температуры с течением времени в процессе установления теплового равновесия; наблюдать в динамике процесс электромагнитной индукции, возникновение и изменение индукционного тока.

Использование цифровых лабораторий требует формирования дополнительных умений по работе с датчиками: понимание основных принципов их действия; определения погрешностей измерений с использованием приемов, существенно отличающимися от приемов работы с аналоговыми приборами; интерпретации графических или цифровых данных программы измерения. Кроме того, необходимым становится и формирование дополнительных цифровых компетенций: работа со специализированными программами, понимание работы программы аппроксимации графических зависимостей и т.д.

Следует отметить, что качество реализации практической части курса физики влияет не только на выполнение заданий, проверяющих методологические умения. В КИМ ЕГЭ многие задания на соответствие и большинство заданий на множественный выбор (интегрированный анализ физических процессов) построены на базе различных опытов и требуют умений интерпретировать результаты исследований и делать выводы, адекватные полученным данным. В настоящее время в экзаменационных материалах используются преимущественно идеализированные опыты, в которых результаты четко соответствуют изученным на уроках моделям. Но в ближайшей перспективе планируется широкое введение в этих заданиях данных реальных экспериментов (например,

потребуется проанализировать графики свободного падения тела в атмосфере с учетом силы сопротивления воздуха, в то время как сейчас используются графики (или табличные данные), полностью соответствующие уравнениям свободного падения без учета торможения в атмосфере). Понятно, что для выполнения таких заданий обучающиеся должны иметь хорошую базу, полученную в процессе проведения лабораторных работ.

Ежегодно по результатам ЕГЭ фиксируются проблемы слабой группы выпускников, связанные с уровнем математической подготовки. Здесь необходимо обратить внимание на понимание функциональных зависимостей, понимание смысла производной функции и вычислительные навыки. В первом случае это понимание для каждой физической закономерности вида функциональной зависимости и физического смысла коэффициентов (например: заряд конденсатора прямо пропорционален напряжению между его обкладками, емкость же зависит только от геометрических размеров конденсатора). Во втором случае это понимание геометрического смысла производной и использование его при анализе графических зависимостей, а также определение производных при расчетах величин в колебательных процессах. Что касается вычислительных навыков, то здесь прежде всего речь идет о решении задач, об использовании кратных и должных единиц и проведении расчетов с использованием стандартного вида числа. В условиях жесткого дефицита времени сложно уделять специальное внимание организации вычислительной работы на уроках. Для слабо подготовленных обучающихся можно использовать инженерные калькуляторы, которые в настоящее время обладают большими возможностями для проведения самых разных расчетов, позволяют вводить числа в естественном виде, использовать степени, рассчитывать различные функции и т.п. Использование таких калькуляторов при решении задач позволит минимизировать потери времени на расчеты и высвободит его на осмысление физической сути процессов и полученных результатов.

Еще одна проблема выпускников, относящихся к группам 1 и 2 по уровню подготовки, – недостаточно прочные теоретические знания. Анализ выполнения заданий по всем темам курса физики для этих групп показывает, что зачастую частные законы и формулы усвоены лучше важнейших фундаментальных законов и постулатов, а заучивание формул идет без осмысления сущности физических процессов. Можно предположить, что в силу нехватки времени переход к решению задач происходит практически сразу после изучения теоретического материала без полноценной проверки его понимания и усвоения.

Здесь можно порекомендовать либо увеличить долю индивидуальных устных ответов обучающихся на уроках при проверке домашних заданий, либо систематически включать вопросы, проверяющие освоение теоретического материала, в контрольные работы. Следует иметь в виду, что если при первичном закреплении такие вопросы могут базироваться на простом описании одного или нескольких из изученных элементов содержания (т.е. на пересказе материала учебника), то в контрольной работе такие вопросы должны иметь характер рассуждения, а также требовать обобщения, сравнения, выводов, доказательства и т.п. Можно включать в проверочные и контрольные работы специальные задания на проверку теоретических знаний (например, на выбор верных утверждений из числа предложенных). Такие задания не используются в ЕГЭ, но есть в материалах ВПР-11. Эти приемы позволят добиться более прочных теоретических знаний, что позволит обучающимся лучше понимать особенности протекания физических процессов, выстраивать иерархию физических законов и скажется на результатах выполнения экзаменационных заданий.

В 2021 г. структура и содержание контрольных измерительных материалов ЕГЭ по физике будут полностью соответствовать экзаменационной модели 2020 г. Методическую помощь учителям и обучающимся при подготовке к ЕГЭ могут оказать материалы с сайта ФИПИ (www.fipi.ru):

- документы, определяющие структуру и содержание КИМ ЕГЭ 2021 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.

Основные характеристики экзаменационной работы ЕГЭ 2020 г. по ФИЗИКЕ

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

| Обозначение задания в работе | Проверяемые элементы содержания | Коды элементов содержания по кодификатору элементов содержания | Коды проверяемых умений | Уровень сложности задания | Максимальный балл за выполнение задания | Средний процент выполнения |
|------------------------------|--|--|-------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| Часть 1 | | | | | | |
| 1 | Равномерное прямолинейное движение, равноускоренное прямолинейное движение, движение по окружности | 1.1.3–1.1.8 | 1, 2.1–2.4 | Б | 1 | 74,4 |
| 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 | 74,5 |
| 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 | 75,7 |
| 4 | Условие равновесия твердого тела, закон Паскаля, сила Архимеда, математический и пружинный маятники, механические волны, звук | 1.3.1–1.3.5, 1.5.1–1.5.5 | 1, 2.1–2.4 | Б | 1 | 56,6 |
| 5 | Механика (<i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i>) | 1.1–1.5 | 2.4 | П | 2 | 67,7 |
| 6 | Механика (<i>изменение физических величин в процессах</i>) | 1.1–1.5 | 2.1 | Б | 2 | 63,4 |
| 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 | 63,6 |

¹ 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, изопроцессы | 2.1.6.–2.1.10, 2.1.12 | 1, 2.1– 2.4 | Б | 1 | 65,1 |
| 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 | 69,7 |
| 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 | 68,9 |
| 11 | МКТ, термодинамика (<i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i>) | 2.1, 2.2 | 2.4 | П | 2 | 68,3 |
| 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 | 66,4 |
| 13 | Принцип суперпозиции электрических полей, магнитное поле проводника с током, сила Ампера, сила Лоренца, правило Ленца (<i>определение направления</i>) | 3.1.2, 3.1.4, 3.1.6, 3.3.1– 3.3.4, 3.4.5 | 1, 2.1–2.4 | Б | 1 | 61,1 |
| 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 | 53,1 |
| 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 | 66,0 |
| 16 | Электродинамика (<i>объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы или графиков</i>) | 3.1–3.6 | 2.4 | П | 2 | 61,2 |
| 17 | Электродинамика (<i>изменение физических величин в процессах</i>) | 3.1–3.6 | 2.1 | Б | 2 | 61,6 |

| | | | | | | |
|----------------|--|-------------------------------|------------|---|---|------|
| 18 | Электродинамика и основы СТО (установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами) | 3.1–3.6 4.1–4.3 | 1, 2.4 | Б | 2 | 52,8 |
| 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 | 78,0 |
| 20 | Фотоны, линейчатые спектры, закон радиоактивного распада | 5.1.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.5 | 2.1 | Б | 1 | 69,1 |
| 21 | Квантовая физика (изменение физических величин в процессах; установление соответствия между графиками и физическими величинами, между физическими величинами и формулами) | 5.1–5.3 | 2.1 2.4 | Б | 2 | 57,4 |
| 22 | Механика – квантовая физика (методы научного познания) | 1.1–5.3 | 2.5 | Б | 1 | 69,3 |
| 23 | Механика – квантовая физика (методы научного познания) | 1.1–5.3 | 2.5 | Б | 1 | 72,5 |
| 24 | Элементы астрофизики: Солнечная система, звезды, галактики | 5.4.1–5.4.4 | 2.4 | Б | 2 | 58,1 |
| Часть 2 | | | | | | |
| 25 | Молекулярная физика, электродинамика (расчетная задача) | 2.1, 2.2, 3.1–3.6 | 2.6 | П | 1 | 29,7 |
| 26 | Электродинамика, квантовая физика (расчетная задача) | 3.1–3.6 5.1–5.3 | 2.6 | П | 1 | 24,7 |
| 27 | Механика – квантовая физика (качественная задача) | 1.1–5.3 | 2.6, 3 | П | 3 | 17,2 |
| 28 | Механика, молекулярная физика (расчетная задача) | 1.1–1.5 2.1, 2.2 | 2.6 | П | 2 | 41,4 |
| 29 | Механика (расчетная задача) | 1.1–1.5 | 2.6 | В | 3 | 11,9 |
| 30 | Молекулярная физика (расчетная задача) | 2.1, 2.2 | 2.6 | В | 3 | 12,6 |
| 31 | Электродинамика (расчетная задача) | 3.1–3.6 | 2.6 | В | 3 | 14,1 |
| 32 | Электродинамика, квантовая физика (расчетная задача) | 3.1–3.6 5.1–5.3 | 2.6 | В | 3 | 14,1 |