

# Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2016 года по физике

**Демидова Марина  
Юрьевна**

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

**Ключевые слова:** КИМ ЕГЭ по физике, основные результаты ЕГЭ по физике в 2016 г., анализ результатов по блокам содержания, анализ результатов по группам учебной подготовки, статистические характеристики заданий экзаменационной работы.

На ЕГЭ по физике в 2016 году использовалась та же экзаменационная модель контрольных измерительных материалов, что и в прошлом году. По сравнению с 2015 годом был расширен перечень контролируемых элементов содержания, который проверялся линиями заданий с кратким ответом. Кроме того, в вариантах был использован более широкий спектр оригинальных задач высокого уровня сложности, для которых необходимо было самостоятельно выделить необходимую для решения физическую модель.

Каждый вариант экзаменационной работы состоял из двух частей и включал в себя 32 задания, из которых 9 заданий с выбором одного верного ответа, 18 заданий с кратким ответом и 5 заданий с развёрнутым ответом.

Каждый вариант экзаменационной работы включал в себя контролируемые элементы содержания из всех разделов школьного курса физики, при этом для каждого раздела предлагались задания всех таксономических уровней. В работе контролировались элементы содержания из следующих разделов (тем) курса физики.

1. *Механика* (кинематика, динамика, статика, законы сохранения в механике, механические колебания и волны).

2. *Молекулярная физика* (молекулярно-кинетическая теория, термодинамика).

3. *Электродинамика и основы СТО* (электрическое поле, постоянный ток, магнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитные колебания и волны, оптика, основы СТО).

4. *Квантовая физика* (корпускулярно-волновой дуализм, физика атома, физика атомного ядра).

В каждом варианте предлагалось 19 заданий базового уровня, 9 заданий повышенного и 4 задания высокого уровня сложности. Задания базового уровня

ны были включены в часть 1 работы, задания повышенного уровня распределены между двумя частями работы, а задания высоко-го уровня сложности располагались в части 2 работы.

Часть 1 содержала 24 задания, из которых 9 заданий с кратким ответом в виде одной цифры, соответствующей номеру верного ответа, и 15 заданий с кратким ответом в виде числа или последовательности цифр. 22 задания этой части проверяли усвоение понятийного аппарата курса физики (в том числе применение знаний при объяснении физических явлений и использование законов и формул в несложных расчётных ситуациях), а последние 2 задания — овладение методологическими умениями.

Решению задач была отведена часть 2, которая содержала задачи по всем разделам разного уровня сложности и позволяла проверить умение применять физические законы и формулы как в типовых ситуациях, так и в нетрадиционных ситуациях. Часть 2 содержала 8 заданий, из которых 3 задания с кратким ответом и 5 заданий, для которых необходимо было привести развёрнутый ответ.

Задания с кратким ответом в виде одной цифры, соответствующей номеру верного ответа, и в виде числа оцениваются 1 баллом. Задания на установление соответствия и множественный выбор оцениваются 2 баллами, если верно указаны оба элемента ответа, 1 баллом, если допущена ошибка в указании одного из элементов ответа, и 0 баллов, если допущено две ошибки. Задания с развёрнутым ответом оцениваются двумя экспертами с учётом правильности и полноты ответа. К каждому заданию приводится подробная инструкция для экспертов, в которой указывается, за что выставляется каждый балл — от нуля до максимального балла. Максимальный первичный балл за задания с развёрнутым ответом составляет 3 балла.

Минимальная граница для КИМ ЕГЭ по физике установлена на уровне 36 тестовых баллов. Максимальный первичный балл за выполнение всей работы — 50 баллов. На выполнение всей экзаменационной работы отводится 235 минут.

В ЕГЭ по физике в 2016 году (основной день) приняло участие 167 472 выпускника, что примерно соответствует числу участников в прошлом году (166 926). Наибольшее число участников ЕГЭ по физике, как и в 2015 году, отмечается в г. Москве, Московской области, г. Санкт-Петербурге, Республике Башкортостан, Краснодарском крае и Ростовской области.

В 2016 году в сравнении с 2015 годом практически не изменилась доля неподготовленных участников экзамена (0–20 т.б.), несущественно увеличилась доля слабо подготовленных участников (до 40 т.б.) и снизились доли участников с результатами в диапазонах 61–80 и 81–100 т.б. При этом возросла доля участников, показавших «средние» результаты (в диапазоне от 50 до 60 баллов).

Для ЕГЭ по физике значимым является диапазон от 61 до 100 т.б., который демонстрирует готовность выпускников к успешному продолжению образования в организациях ВПО. Группа участников экзамена, набравших более 61 балла, в 2015 году составляла 17,20%; в 2016 г. этот процент немного снизился — до 15,28.

Ниже представлен анализ результатов выполнения экзаменационной работы для групп заданий по разным тематическим разделам и для групп заданий, проверяющих сформированность разных видов деятельности.

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

Таблица 1

Раздел курса физики	Средний % выполнения по группам заданий
Механика	52,2
МКТ и термодинамика	46,2
Электродинамика	41,8
Квантовая физика	57,9

Таблица 2

Виды деятельности	Средний % выполнения по группам заданий
Применение законов и формул в типовых ситуациях	59,5
Анализ и объяснение явлений и процессов	58,6
Методологические умения	60,5
Решение задач	16,6

Высокие результаты по квантовой физике объясняются тем, что в 2016 г. задача по данному разделу была представлена лишь среди заданий с кратким ответом повышенного уровня сложности. В целом же отмечается более высокий уровень освоения содержательных элементов механики по сравнению с другими разделами курса. Очевидно, данному материалу уделяется значительное учебное время. Наиболее сложными, как и в 2015 г., оказываются задания по электродинамике.

В табл. 2 представлены основные результаты выполнения экзаменационной работы по проверяемым видам деятельности.

По сравнению с 2015 годом несколько улучшились показатели по группе заданий на интерпретацию свойств различных процессов и явлений. Вместе с тем по-прежнему низки результаты выполнения заданий на объяснение явлений, при этом повысились средние проценты выполнения заданий на анализ изменения физических величин в механических тепловых и электромагнитных процессах. Наиболее сложным видом деятельности является решение расчётных и качественных задач. Для заданий с кратким ответом повышенного уровня средний процент выполнения составил 25,0, а для заданий с развёрнутым ответом — 11,6. Для заданий высокого уровня сложности отмечается небольшое увеличение средних процентов выполнения задач, использующих явно заданные физические модели, а для заданий с неявно заданными моделями результаты несколько снизились.

В Приложении приведён обобщённый план экзаменационной работы 2016 году с указанием средних процентов выполнения по каждой линии заданий. Исходя из общепринятых норм, при которых содержательный элемент или умение считается усвоен-

ным, если средний процент выполнения соответствующей им группы заданий с выбором ответа превышает 65%, а заданий с кратким и развёрнутым ответом — 50%, можно говорить об усвоении следующих элементов содержания и умений:

- построение графиков скорости и ускорения для равномерного и равноускоренного прямолинейного движения;

- закон всемирного тяготения, закон Гука, сила трения, давление, движение по окружности, закон сохранения импульса, закон сохранения механической энергии, условие равновесия рычага, пружинный и математический маятники, механические волны, количество теплоты, работа в термодинамике, первый закон термодинамики КПД тепловой машины, закон Кулона, закон Ома для участка цепи (формулы);

- инвариантность скорости света в вакууме, планетарная модель атома, нуклонная модель ядра, ядерные реакции, фотоны, закон радиоактивного распада;

- изменение физических величин в механических, тепловых, электромагнитных и квантовых процессах;

- установление соответствия между физическими величинами и формулами или графиками для механических, тепловых, электромагнитных и квантовых процессов;

- определение показаний приборов с учётом абсолютной погрешности измерений, построение графиков по результатам измерений с учётом абсолютной погрешности, выбор оборудования для проведения опыта по заданной гипотезе;

- интерпретация результатов исследований, представленных в виде таблицы или графика.

К проблемным можно отнести группы заданий, которые контролировали следующие умения:

– применение принципа суперпозиции тел, законы Ньютона и определение момента сил;

– объяснение явлений (диффузия, броуновское движение, изопроецессы, насыщенные и ненасыщенные пары, влажность воздуха, изменение агрегатных состояний вещества, электризация тел, проводники и диэлектрики в электрическом поле, явление электромагнитной индукции, интерференция света, дифракция и дисперсия света);

– связь между давлением и средней кинетической энергией, связь температуры со средней кинетической энергией, уравнение Менделеева — Клапейрона, относительная влажность воздуха, последовательное и параллельное соединение проводников, работа и мощность тока, закон Джоуля — Ленца, закон электромагнитной индукции Фарадея, индуктивность, энергия магнитного поля катушки с током, фотоны, закон радиоактивного распада (формулы);

– принцип суперпозиции электрических полей, магнитное поле проводника с током, сила Ампера, сила Лоренца, правило Ленца (определение направления векторных величин);

– решение расчётных задач повышенного уровня сложности;

– решение качественных задач повышенного уровня сложности;

– решение расчётных задач высокого уровня сложности.

Анализ результатов выполнения групп заданий показал отсутствие существенной положительной динамики в освоении како-

го-либо вида деятельности или какого-либо элемента содержания. Как и в прошлые годы, самые высокие результаты показывают задания на проверку основных формул и законов школьного курса физики с использованием простейших расчётов. Наибольшие трудности вызывают любые вопросы на поиск объяснений процессов и явлений и на интерпретацию результатов исследований. Проиллюстрируем это на примерах.

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

Шесть линий заданий в каждом варианте проверяли умение применять законы и формулы в стандартных учебных ситуациях, проводить простейшие расчёты и представлять ответ в виде значения физической величины. Результаты выполнения этих групп заданий базового уровня сильно зависят от проверяемого элемента содержания, а в целом результаты по электродинамике (средний процент выполнения — 45) ниже, чем по молекулярной физике (средний процент выполнения — 51), а по МКТ ниже, чем по механике (средний процент — 65). Внутри тематического раздела результаты различны для разных законов и формул.

Так, в механике наиболее высокие результаты демонстрируются при выполнении заданий с применением формул кинетической и потенциальной энергии, импульса тел, длины звуковой волны, силы упругости и силы тяжести (все они выше 70%). Ниже приведён пример задания, с которым справляются 85% выпускников.

### **Пример 1**

*Скорость груза массой 0,2 кг равна 3 м/с. Какова кинетическая энергия груза?*

*Ответ: 0,9 Дж.*

Трудности здесь вызывают задания на применение закона сохранения импульса, закона сохранения энергии, а также силы Архимеда. Так, с заданием из примера 2 справились лишь 42% участников экзамена. Основной ошибкой было использование плотности тела вместо плотности воды, которую необходимо было определить по таблице в начале варианта.

### **Пример 2**

*Шар плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> и объёмом 400 см<sup>3</sup> целиком опущен в воду. Определите архимедову силу, действующую на шар.*

*Ответ: 4 Н.*

В блоке молекулярной физики наиболее высокие результаты показаны при выполнении заданий на определение КПД идеальной тепловой машины, а наибольшие трудности вызвали задания на применение первого закона термодинамики, в которых рассматривалась ситуация уменьшения внутренней энергии газа либо охлаждения газа. Одно из таких заданий, верный ответ на которое смогли дать лишь 42% экзаменуемых, приведено в примере 3.

### Пример 3

*В некотором процессе газ отдал окружающей среде количество теплоты, равное 10 кДж. При этом внутренняя энергия газа увеличилась на 30 кДж. Определите работу, которую совершили внешние силы, сжав газ.*

Ответ: 40 кДж.

В блоке электродинамики предлагались задания на применение закона Кулона, закона Ома для участка цепи, формул для расчёта заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, ЭДС индукции, периода колебаний в колебательном контуре, магнитного поля катушки с током. Наиболее высокие результаты получены при выполнении заданий на применение закона Ома (около 80%) и формулы для определения ЭДС индукции. Снизились результаты выполнения заданий на закон Кулона. В примере 4 приведено задание, с которым успешно справились лишь 49% выпускников.

### Пример 4

*С какой силой взаимодействуют в вакууме два маленьких заряженных шарика, находящихся на расстоянии 4 м друг от друга? Заряд каждого шарика  $8 \cdot 10^{-8}$  Кл.*

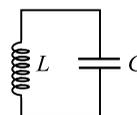
Ответ: 3,6 мкН.

Наиболее сложной оказалась группа заданий на определение периода колебаний в колебательном контуре по формуле зависимости напряжения на конденсаторе от времени (пример 5). Вспомнить взаимосвязь периода колебаний и циклической частоты и верно определить значение периода смогли лишь треть участников экзамена.

### Пример 5

*В колебательном контуре (см. рисунок) напряжение между обкладками конденсатора меняется по закону  $U_C = U_0 \cos \omega t$ , где  $U_0 = 5$  В,  $\omega = 2000\pi$  с<sup>-1</sup>. Определите период колебаний напряжения.*

Ответ: 0,001 с.



Кроме заданий с кратким ответом в виде числа, в варианты были включены 2-балльные задания, в которых необходимо было установить соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить. Здесь встречались как основные формулы из кодификатора, так и их производные, полученные путём математических преобразований. Средний процент выполнения этих заданий оказался равным 55. Результаты выполнения этих групп заданий не зависят от тематического раздела. Более высокие показатели получены при выполнении заданий с применением тех формул, которые чаще используются в аппарате усвоения школьного курса. Наиболее высокие результаты продемонстрированы в заданиях с использованием формул, описывающих протекание постоянного тока в цепи, движение заряженной частицы в магнитном поле и изопроцессы, — около 70% выполнения. Самые низкие результаты у группы заданий, использующих формулы, которые описывают преломление света на границе двух сред. Ниже приведён пример одного из таких заданий.

**Пример 6**

Пучок монохроматического света переходит из воды в воздух. Скорость света в воде —  $v$ ; скорость света в воздухе —  $c$ ; длина световой волны в воде —  $\lambda$ . 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) показатель преломления воды относительно воздуха  
 Б) длина световой волны в воздухе

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $\frac{\lambda \cdot c}{v}$   
 2)  $\frac{v}{c}$   
 3)  $\frac{v \cdot \lambda}{c}$   
 4)  $\frac{c}{v}$

Ответ:

А	Б
4	1

Выполняя это задание, лишь 20% выпускников правильно определили обе формулы, а ещё 30% смогли привести верный ответ лишь для показателя преломления воды относительно воздуха.

**Анализ и объяснение явлений и процессов**

В каждом варианте экзаменационной работы было шесть линий заданий на анализ и объяснение процессов и явлений: 4 2-балльных задания на изменение величин в различных процессах (по одному заданию в каждом разделе) и 2 задания на распознавание явления или их объяснение.

Среди заданий на изменение величин прослеживается тенденция снижения средних процентов выполнения заданий от механики к квантовой физике. Например, задания по механике на анализ движения тела по наклонной плоскости и движения спутников вокруг Земли выполнили более 70%. Исключение составляет группа заданий на плавание тел на поверхности жидкости — 52%. Ошибки традиционно допускаются при определении силы Архимеда.

По молекулярной физике предлагались задания на анализ изопроцессов, которые в среднем выполнили около 63% участников. Пример одного из заданий, которые вызвали затруднения, приведён ниже.

**Пример 7**

В цилиндрическом сосуде под тяжёлым поршнем находится газ. Поршень не закреплён и может перемещаться в сосуде без трения (см. рисунок). В сосуд закачивается ещё такое же количество газа при неизменной температуре. Как изменятся в результате этого давление газа и концентрация его молекул?



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.

Давление газа  
3

Концентрация молекул газа  
3

С этим заданием справились лишь половина экзаменуемых, которые поняли, что газ в открытом сосуде под тяжёлым поршнем будет находиться при постоянном давлении.

В разделе электродинамики задания на анализ преломления света на границе раздела сред, преломления лучей в линзе, движения заряженной частицы в магнитном поле и т.д. выполнили в среднем 59% участников экзамена, а задания по квантовой физике (анализ явления фотоэффекта, радиоактивного распада и поглощения, излучения света атомом) — лишь половина выпускников.

Результаты выполнения заданий с выбором ответа на объяснение явлений зависят от проверяемого умения. Так, задания на распознавания явлений (броуновское движение, диффузия, теплопередача) выполнили более 70% выпускников. А вот с объяснениями справляются в среднем лишь половина участников экзамена. Ниже приведён пример одного из таких заданий.

### Пример 8

При нагревании воды на большой высоте она закипает при более низкой температуре, чем на земной поверхности. Это происходит потому, что

- 1) при кипении давление насыщенного водяного пара равно атмосферному давлению, которое убывает с высотой;
- 2) на воду действует меньшая сила тяжести;
- 3) при подъёме воды её внутренняя энергия становится больше, чем на земной поверхности;
- 4) при меньшем давлении происходит более интенсивное испарение жидкости с её поверхности.

Ответ:

1

В этом задании почти 36% тестируемых выбрали последний дистрактор, то есть проблема заключается в непонимании основного свойства кипения — испарения по всему объёму жидкости.

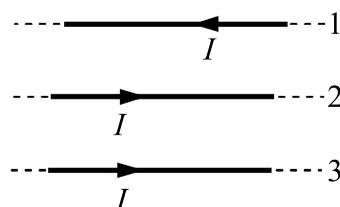
### Определение направления векторных величин

В разных сериях вариантов предлагались задания на определение направления различных векторных величин. Наиболее высокие результаты продемонстрированы для заданий на проверку принципа суперпозиции сил (линия заданий 2), а также для заданий на определение направления результирующей кулоновской силы (около 90%). Существенно ниже результаты для групп заданий по определению направления силы Ампера. Правило левой руки уверенно применяют не более 55% участников экзамена. Около половины тестируемых верно определяют направление силы Лоренца. Наиболее сложным оказались задания на определение силы взаимодействия между параллельными токами. Ниже приведён пример одного из таких заданий.

### Пример 9

Как направлена сила Ампера, действующая на проводник № 2 со стороны двух других (см. рисунок), если все проводники тонкие, длинные, прямые, лежат в одной плоскости, параллельны друг другу и расстояния между соседними проводниками одинаковы? ( $I$  — сила тока.)

- 1) от нас  $\otimes$
- 2) вниз  $\downarrow$
- 3) к нам  $\odot$
- 4) вверх  $\uparrow$



Ответ:

2

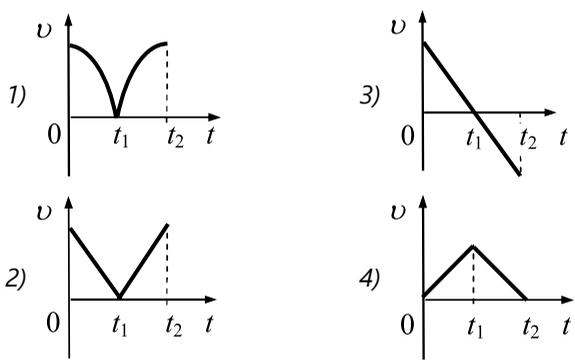
Для ответа на этот вопрос достаточно просто помнить, что проводники с сонаправленными токами притягиваются, а с противоположно направленными отталкиваются. К сожалению, успешно выполнить это задание смогла лишь треть участников экзамена.

**Понимание графического представления зависимостей физических величин**

В каждом варианте предлагалось не менее шести заданий, выполнение которых было связано с пониманием различных графических зависимостей. В линии заданий 1 использовались графики зависимости координаты, скорости и ускорения от времени для равномерного и равноускоренного движения. Как правило, эти группы заданий не вызывали затруднений у участников экзамена. Так, задания на определение графика зависимости скорости от времени по графику координаты для равномерного движения выполняли около 90% выпускников; аналогичные задания на определение графика ускорения по графику скорости для равноускоренного движения — около 80% участников. Более сложными оказались задания, в которых необходимо было определить схематичный график движения по его описанию. Пример одного из таких заданий приведён ниже.

**Пример 10**

*Мяч падает с некоторой высоты вертикально вниз и после удара о землю отскакивает вверх с той же (по модулю) скоростью. Какой из приведённых графиков зависимости модуля скорости  $v$  от времени соответствует указанному движению тела? Система отсчёта связана с Землёй. Сопротивление воздуха не учитывать.*



Ответ:

Судя по выбору дистракторов, основная масса ошибок была связана с тем, что обучающиеся путали свободное падение вниз с противоположно направленным движением вверх. В среднем лишь половина учащихся смогли в таких заданиях выбрать правильный ответ.

Среди заданий по механике были представлены группы заданий в линии 7 на установление соответствия между графиками и физическими величинами для случая движения тела, равноускоренного движения тела. Характер движения задавался в условии задания графиком зависимости координаты тела от времени. Средний процент выполнения этих групп заданий составил около 55. Однако результаты сильно различаются для графиков разных величин. Так, экзаменуемые наиболее успешно узнают графики для скорости и ускорения и существенно хуже — для импульса и кинетической и потенциальной энергий.

В разделе молекулярной физики на линии 7 предлагались задания на понимание графиков изопроцессов, которые успешно выполнялись не менее чем 60% обучаемых. Ниже приведён пример задания, с которым справились 72% выпускников.

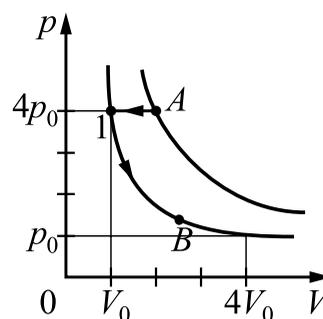
**Пример 11**

Два различных состояния одной и той же массы разреженного газа изображены точками  $A$  и  $B$  на диаграмме  $p$ - $V$ . Переход газа из состояния  $A$  в состояние  $B$  осуществляется двумя изопроцессами, обозначенными стрелками. Какие это процессы?

- 1)  $A-1$  — изобарное сжатие;  $1-B$  — изотермическое сжатие;
- 2)  $A-1$  — изобарное сжатие;  $1-B$  — изохорное охлаждение;
- 3)  $A-1$  — изобарное сжатие;  $1-B$  — изотермическое расширение;
- 4)  $A-1$  — изобарное расширение;  $1-B$  — изотермическое расширение.

Ответ:

3



В блоке заданий по электродинамике не было специальной линии заданий с использованием графиков, однако в части заданий на применение законов и формул предлагались различные графические зависимости (например, силы тока от времени в заданиях на определение заряда, силы тока от времени в колебательном контуре или в катушке индуктивности). Во всех этих заданиях графики нужно было использовать для нахождения значения необходимой физической величины. Как показывает сравнение результатов этих заданий с результатами аналогичных заданий без использования графиков, практически не наблюдается снижение результатов выполнения при включении в текст задания графической зависимости.

В блоке по квантовой физике использовались группы заданий на определение периода полураспада радиоактивных изотопов по графику зависимости числа нераспавшихся ядер изотопа от времени. Эти задания успешно выполняются даже группой слабо подготовленных выпускников (средний процент выполнения — около 77%).

**Методологические умения**

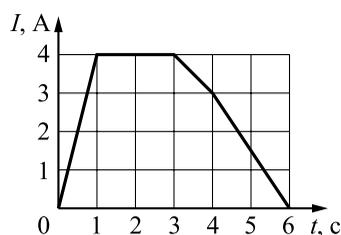
В варианты 2016 года были включены две линии заданий на проверку методологических умений: задание 23 базового и задание 24 повышенного уровня сложности.

Среди заданий базового уровня сложности наиболее высокие результаты (в среднем 75%) продемонстрированы при выполнении заданий на выбор установки для проведения опыта по заданной гипотезе. Как и в прошлом году, среди заданий на запись показаний прибора с учётом заданной абсолютной погрешности измерений при тех же средних результатах выполнения наиболее сложными оказываются задания по фотографиям приборов, особенно в тех случаях, когда необходимо выбрать нужный прибор или нужную шкалу прибора. Например, задание, в котором необходимо было определить, в каком диапазоне находится измеренное барометром атмосферное давление, успешно выполнили лишь половина участников экзамена. Проблема заключалась в том, что нужно было верно выбрать одну из двух шкал (в гПа или мм рт. ст.). Выполнение группы заданий на определение коэффициента пропорциональности по представленной экспериментальной зависимости одной физической величины от другой (с учётом абсолютных погрешностей измерений) свидетельствует о небольшой положительной динамике по сравнению с прошлыми годами.

Средний процент выполнения всех групп заданий на интерпретацию результатов различных опытов, представленных в виде графика или таблицы, составил порядка 55, что соответствует результатам прошлого года. Однако следует отметить, что в этих 2-балльных заданиях значительное место занимает группа участников, сумевшая правильно указать лишь один верный ответ. Покажем это на примере приведённого ниже задания.

**Пример 12**

В катушке индуктивностью 6 мГн сила тока  $I$  зависит от времени  $t$ , как показано на графике, приведённом на рисунке. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения о процессах, происходящих в катушке.



- 1) Скорость изменения тока в катушке была максимальной в интервале времени от 4 до 6 с;
- 2) Модуль ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке, минимален в интервале времени от 3 до 4 с;
- 3) Энергия магнитного поля катушки в интервале времени от 1 до 3 с оставалась равной 12 мДж;
- 4) Модуль ЭДС самоиндукции, возникающей в рамке, в интервале времени от 4 до 6 с равен 9 мВ;
- 5) Модуль ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке, максимален в интервале времени от 0 до 1 с.

Ответ:

5	4
---	---

В каждом из таких заданий один из предлагаемых верных ответов проверяет общее понимание представленного в опыте явления или процесса. В этом задании этот ответ верно указали почти 90% экзаменуемых. А второе утверждение, как правило, требует интерпретации предложенных результатов, проведения несложных расчётов и т.п. С этим, как правило, справляются существенно меньшее число участников экзамена. В данном случае второй ответ верно указали 30% выпускников.

Данная модель заданий обладает большим диагностическим потенциалом, поскольку требует анализа предлагаемого исследования, владения всеми физическими величинами, при помощи которых можно описать соответствующий процесс, понимания зависимостей, связывающих различные величины. В экзаменационной модели 2017 г. количество таких заданий будет увеличено, поэтому на результаты их выполнения необходимо обратить самое пристальное внимание.

**Решение задач**

В части 2 работы предлагалось 8 задач по разным темам курса физики: 3 задачи с кратким ответом и 5 задач с развёрнутым ответом.

Среди задач с кратким ответом практически во всех сериях вариантов первая задача была по механике, а последняя — по квантовой физике. В среднем с расчётными задачами повышенного уровня сложности справляются четверть участников экзамена. Наиболее успешно выполнены задачи по квантовой физике: примерно треть участников экзамена смогли верно применить уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Ниже приведён пример задачи по данному разделу, с которой справились 32% выпускников.

**Пример 13**

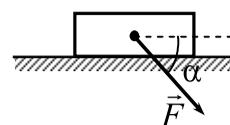
Когда на металлическую пластину падает электромагнитное излучение с длиной волны, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 4,5 эВ. Если длина волны падающего излучения равна  $2\lambda$ , то максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 1 эВ. Чему равна работа выхода электронов из металла?

Ответ: 2,5 эВ.

Если сравнивать сложность задач с кратким ответом с точки зрения количества используемых законов и формул и объёма математических выкладок, то при таких равных условиях участники экзамена успешнее всего справляются с задачами по механике. Ниже приведён пример такой задачи, с которой также справились около трети тестируемых.

**Пример 14**

Брусок движется по горизонтальной плоскости прямолинейно с постоянным ускорением  $1 \text{ м/с}^2$  под действием силы  $\vec{F}$ , направленной вниз под углом  $30^\circ$  к горизонту (см. рисунок). Какова масса бруска, если коэффициент трения бруска о плоскость равен  $0,2$ , а  $F = 2,7 \text{ Н}$ ? Ответ округлите до десятых.



Ответ: 0,7 кг.

Среди качественных задач наиболее успешно (около 20% участников представили полностью верное объяснение и верный ответ) была выполнения задача по молекулярной физике, в которой необходимо было определить, получает ли газ теплоту или отдаёт её в двух изопроцессах, которые были представлены в виде графика зависимости давления от концентрации газа.

Немного улучшились по сравнению с результатами предыдущих лет средние проценты выполнения качественных задач по электродинамике. Например, задачу на движение металлического шарика между двумя горизонтальными заряженными пластинами или задачу на определение изменения показаний амперметра и вольтметра при перемещении ползунка реостата в электрической цепи постоянного тока полностью верно или с небольшими погрешностями выполняют около 12% выпускников.

Наиболее сложной среди качественных задач оказалась задача на объяснение изменений вольт-амперной характеристики в опыте по изучению фотоэффекта (пример 15).

**Пример 15**

В опыте по изучению фотоэффекта катод освещается жёлтым светом, в результате чего в цепи возникает ток (рис. 1). Зависимость показаний амперметра  $I$  от напряжения  $U$  между анодом и катодом приведена на рис. 2. Используя законы фотоэффекта и предполагая, что отношение числа фотоэлектронов к числу поглощённых фотонов не зависит от частоты света, объясните, как изменится представленная зависимость  $I(U)$ , если освещать катод зелёным светом, оставив мощность поглощённого катодом света неизменной.

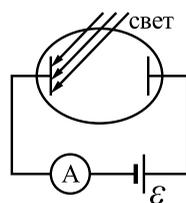


Рис. 1

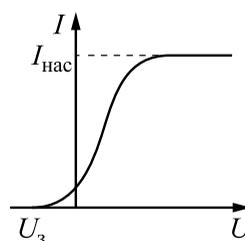


Рис. 2

Около четверти участников экзамена смогли правильно определить изменение тока насыщения, а вот указать на изменение запирающего напряжения и представить верное обоснование ответа смогли лишь около 3% экзаменуемых.

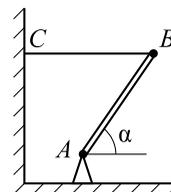
Если сравнивать результаты решения расчётных задач с развёрнутым ответом по тематике, то наиболее высокие результаты получены при выполнении заданий по геометрической оптике. Несмотря на то что предлагались нетрадиционные сюжеты (например, найти длину изображения предмета, расположенного горизонтально главной оптической оси, или определить ход луча через линзу для луча, прошедшего от точечного источника через малое отверстие в экране), в среднем около 20% выпускников смогли не только верно построить ход лучей, но и сделать необходимые расчёты. Для этих серий задач получены самые высокие проценты для оценки в 3 балла.

При выполнении задач по механике наблюдается наиболее высокий процент получения 1 балла за верные попытки решения, то есть к задачам по механике приступают и пытаются

сы их решить наибольшее число участников экзамена. К сожалению, представить полностью верные решения могут в среднем порядка 5% экзаменуемых. Наиболее сложной оказалась задача по статике, пример которой приведён ниже.

### Пример 16

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



Большинство участников, приступивших к решению этой задачи, пытались записать правило моментов и соотношение для сил, действующих на стержень, но, как правило, неверно указывали направление силы, действующей на стержень со стороны шарнира, — вдоль стержня.

Среди задач по молекулярной физике наибольшие затруднение вызвали задачи на определение относительной влажности воздуха (пример 17).

### Пример 17

Давление влажного воздуха в сосуде под поршнем при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$  равно  $p_1 = 1,8 \cdot 10^5$  Па. Объём под поршнем изотермически уменьшили в  $k = 4$  раза. При этом давление в сосуде увеличилось в  $n = 3$  раза. Найдите относительную влажность  $\varphi$  воздуха в первоначальном состоянии. Утечкой вещества из сосуда пренебречь.

Стандартной ошибкой было непонимание того факта, что влажный воздух представляет собой смесь воздуха и водяного пара, а также незнание того факта, что давление насыщенного пара при температуре кипения равно нормальному атмосферному давлению.

По электродинамике, так же как и для качественных задач, повысились средние проценты выполнения заданий по сюжетам, которые использовались в предыдущие годы. Это справедливо для задач на движение заряженной частицы в электрическом поле плоского конденсатора или на движение заряженных частиц в конденсаторе, пластины которого представляют собой дугу окружности.

Для характеристики результатов выполнения работы группами экзаменуемых с разными уровнями подготовки выделяются четыре группы. В качестве границы между группой 1 и группой 2 выбирается наименьший первичный балл (9 п.б.), получение которого свидетельствует об усвоении участником экзамена основных понятий и способов деятельности на минимально возможном уровне. Все тестируемые, не достигшие данного первичного балла, выделяются в группу с самым низким уровнем подготовки. Величина второго граничного первичного балла (33 п.б.) выбирается как наименьший первичный балл, получение которого свидетельствует о высоком уровне подготовки участника экзамена, а именно о наличии системных знаний и об овладении комплексными умениями. Этот балл выбирается как нижняя граница для группы с самым высоким уровнем подготовки.

На рис. 1 представлена диаграмма, демонстрирующая распределение участников по группам подготовки в 2016 г.

На рис. 2 показаны результаты выполнения заданий с кратким и развернутым ответами участниками экзамена с разными уровнями подготовки.

Участники экзамена из группы 1 (0–32 т.б., не преодолевшие минимального балла ЕГЭ) справляются лишь с отдельными простыми заданиями, построенными на широко известных моделях и проверяющих материал, изучаемый как в основной, так и в старшей школе. Например: узнавание формулы второго закона Ньютона, определение скорости по графику зависимости координаты от времени для равномерного движения, определение заря-



Рис. 1. Распределение экзаменуемых по группам с разными уровнями подготовки

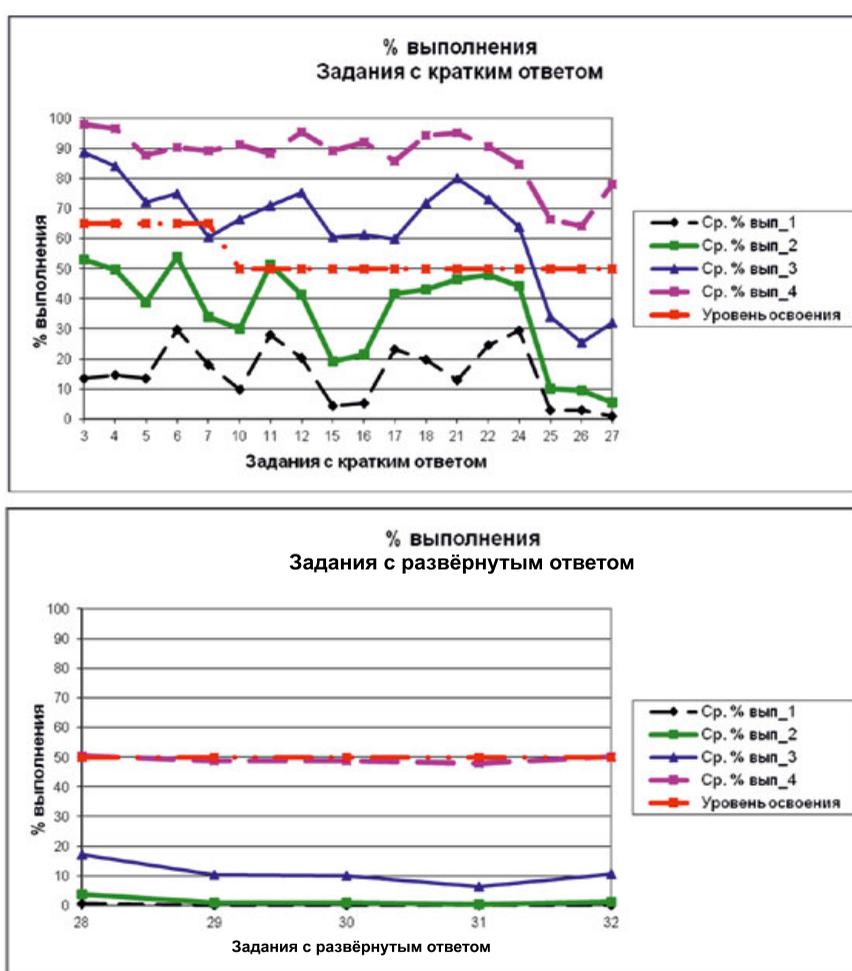


Рис. 2. Результаты выполнения заданий экзаменационной работы участниками экзамена с разными уровнями подготовки

догового и массового чисел для одного из элементов в ядерной реакции, определение показаний приборов. Ниже приведён пример одного из заданий, успешно выполняемых данной группой выпускников.

**Пример 18** (процент выполнения группой 1 — 67)

Отношение импульса автокрана к импульсу легкового автомобиля  $\frac{p_1}{p_2} = 1,8$ .

Каково отношение их масс  $\frac{m_1}{m_2}$ , если отношение скорости автокрана к скорости легкового автомобиля  $\frac{v_1}{v_2} = 0,3$ ?

Ответ: 6.

Экзаменуемые из группы 2 (36–47 т.б.) характеризуются освоением школьного курса физики на базовом уровне. Нижняя граница данной группы — это достижение минимальной границы, то есть выполнение заданий базового уровня, проверяющих наиболее значимые элементы предметного содержания. Верхняя граница — это получение первичного балла, соответствующего суммарному баллу за выполнение всех заданий базового уровня. Для этой группы характерно наиболее успешное выполнение заданий: на понимание графического представления механического движения; применение основных законов и формул в типовых расчётных ситуациях; анализ изменения физических величин в различных процессах; узнавание различных формул, необходимых для вычисления заданных физических величин.

Группа в целом характеризуется освоением следующих элементов содержания на базовом уровне:

- скорость, ускорение, равномерное прямолинейное движение, равноускоренное прямолинейное движение (*графики*);
- закон всемирного тяготения, закон Гука, сила трения, давление, движение по окружности;
- закон сохранения импульса, кинетическая и потенциальные энергии, работа и мощность силы, закон сохранения механической энергии;
- тепловое равновесие, теплопередача (*объяснение явлений*);
- абсолютная температура, изопроцессы, количество теплоты, первый закон термодинамики;
- закон Кулона, закон Ома для участка цепи, последовательное и параллельное соединение проводников;
- колебательный контур, закон отражения света, ход лучей в линзе;
- планетарная модель атома, нуклонная модель ядра;
- радиоактивность, ядерные реакции, закон радиоактивного распада;
- изменение физических величин в механических, тепловых, электромагнитных и квантовых процессах.

Ниже приведены два примера заданий, с которыми успешно справляется данная группа участников, в отличие от участников, не набравших минимального балла.

**Пример 19** (процент выполнения группой 2 — 68)

Тело движется в инерциальной системе отсчёта по прямой в одном направлении. Под действием постоянной силы величиной 6 Н за 8 с импульс тела увеличился и стал равен 56 кг · м/с. Чему равен первоначальный импульс тела?

Ответ: 8 кг · м/с.

**Пример 20** (процент выполнения группой 2 — 57)

Выберите среди приведённых во втором столбце ядерных реакций те, которые являются примерами реакций альфа- и бета-распада.

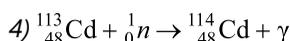
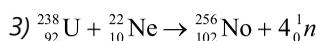
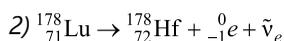
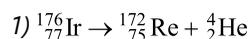
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ВИД ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ

А) альфа-распад

Б) бета-распад

## ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ



	А	Б
Ответ:	1	2

Проблемными для данной группы остаются элементы содержания, которые изучаются преимущественно на профильном уровне, задания, контролирующие умения анализировать и объяснять различные физические явления, а также группы заданий на определение направления векторных физических величин.

Участники, относящиеся к группе 3 (48–61 т.б.), дополнительно к элементам содержания, освоенным предыдущими группами выпускников, продемонстрировали владение следующим материалом:

- принцип суперпозиции сил, момент силы, условие равновесия твёрдого тела, закон Паскаля, сила Архимеда;

- модели строения газов, жидкостей и твёрдых тел, диффузия, броуновское движение, изопроецессы, насыщенные и ненасыщенные пары, влажность воздуха, изменение агрегатных состояний вещества (*объяснение явлений*);

- связь между давлением и средней кинетической энергией, связь температуры со средней кинетической энергией, уравнение Менделеева — Клапейрона;

- относительная влажность воздуха, работа в термодинамике, КПД тепловой машины;
- электризация тел, проводники и диэлектрики в электрическом поле, опыт Эрстеда, явление электромагнитной индукции, правило Ленца, интерференция света, дифракция и дисперсия света (*объяснение явлений*);

- работа и мощность тока, закон Джоуля — Ленца, поток вектора магнитной индукции, закон электромагнитной индукции Фарадея, индуктивность, энергия магнитного поля катушки с током;

- инвариантность скорости света в вакууме, фотоны;

- установление соответствия между графиками и физическими величинами; между физическими величинами и формулами для механических, тепловых, электромагнитных и квантовых процессов.

Группа 3 характеризуется освоением курса физики на базовом и повышенном уровнях сложности. Здесь можно говорить об успешном выполнении всех линий заданий части 1 работы. От предыдущей данную группу отличает высокий процент выполнения заданий с использованием разнообразных расчётов и на соответствие формул и физических величин, а также на определение вида графических зависимостей для различных процессов. Исключение составляет деятельность по решению задач: для группы в целом характерны невысокие результаты для решения задач повышенного уровня сложности части 2 работы (не более 35% выполнения). При этом отдельные задачи с типовыми условиями выполняются вполне успешно.

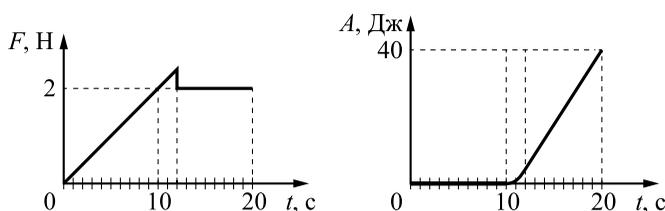
Ниже приведены примеры двух заданий, выполнение которых отличает данную группу от участников, относящихся к группе 3.

**Пример 21** (процент выполнения группой 3 — 67)

На шероховатой поверхности лежит брусок массой 1 кг. На него начинает действовать горизонтальная сила  $\vec{F}$ , направленная вдоль поверхности и зависящая от времени так,

## Аналитика

как показано на графике слева. Зависимость работы этой силы от времени представлена на графике справа. Выберите **два** верных утверждения на основании анализа представленных зависимостей.



- 1) За первые 10 с брусок переместился на 20 м;
- 2) Первые 10 с брусок двигался с постоянной скоростью;
- 3) В интервале времени от 12 с до 20 с брусок двигался с постоянным ускорением;
- 4) В интервале времени от 12 с до 20 с брусок двигался с постоянной скоростью;
- 5) Сила трения скольжения равна 2 Н.

Ответ:

3	5
---	---

### Пример 22 (процент выполнения группой 3 — 53)

«Красная граница» фотоэффекта для натрия  $\lambda_{кр} = 540$  нм. Каково запирающее напряжение для фотоэлектронов, вылетающих из натриевого фотокатода, освещённого светом с длиной волны  $\lambda = 400$  нм? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 0,8 В.

Группа 4 характеризуется высоким уровнем подготовки (62–100 т.б.). Для данной группы все линии заданий части 1 решены со средними процентами выполнения не менее 85%. Только для этой группы можно говорить об овладении элементами содержания, которые проверяются заданиями базового уровня, но традиционно вызывают существенные трудности: элементы статики, насыщенные и ненасыщенные пары, электромагнитная индукция, определение направления векторных величин (индукции магнитного поля проводника с током, силы Ампера и силы Лоренца).

Ниже приведены два примера заданий, с которыми успешно справляется только данная группа экзаменуемых.

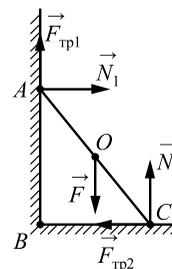
### Пример 23 (процент выполнения группой 4 — 74)

На рисунке изображены силы, действующие на шест, прислонённый к стене. Каково плечо силы трения  $F_{тр1}$  относительно оси, проходящей через точку A перпендикулярно плоскости рисунка?

- 1) AC
- 2) BC
- 3) 0
- 4) AB

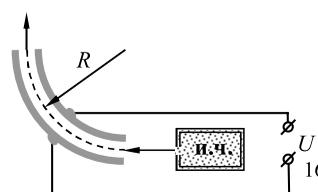
Ответ:

4
---



### Пример 24 (процент выполнения группой 4 — 54)

На рисунке показана схема устройства для предварительного отбора заряженных частиц из источника частиц (и.ч.) для последующего детального исследования. Устройство представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты дугой радиусом R. Предположим, что в промежутке между обкладками конденсатора, не касаясь их, пролетают молекулы инте-



*ресующего нас вещества, потерявшие один электрон. Во сколько раз нужно изменить напряжение на обкладках конденсатора, чтобы сквозь него могли пролетать такие же ионы, но имеющие в 2 раза большую кинетическую энергию? Считать, что расстояние между обкладками конденсатора мало, напряжённость электрического поля в конденсаторе всюду одинакова по модулю, а вне конденсатора электрическое поле отсутствует. Влиянием силы тяжести пренебречь.*

Экзаменуемые группы 4 показали овладение всеми проверяемыми видами деятельности и всем спектром элементов содержания. Для заданий базового и повышенного уровней сложности части 1 работы средний процент выполнения составляет более 90%, для расчётных задач повышенного уровня — более 80%. Данная группа продемонстрировала сформированность умения решать качественные и расчётные задачи высокого уровня сложности. В данной группе можно выделить высокобалльников (от 81 до 100 т.б.), которых отличают способности к решению задач высокого уровня сложности с неявно заданной физической моделью.

Как видно из анализа результатов, практически по всем видам деятельности существует тенденция более высоких результатов выполнения заданий по механике, чем заданий по квантовой физике и последним темам электродинамики (при одинаковой сложности задания по механике имеют более высокие средние проценты выполнения). При подготовке к экзамену желательны усовершенствовать тематическое планирование, перераспределив часть времени, отведённого на механику, «перебросив» его на электродинамику (особенно на темы «Электромагнитные колебания и волны» и «Оптика») и квантовую физику. Это позволит постепенно убрать существующий «перекос» результатов в выполнении одинаковых по сложности заданий.

Стоит отметить и отдельные темы, методика преподавания которых нуждается в совершенствовании. В первую очередь это элементы статики, поскольку низкие результаты продемонстрированы как для простых заданий базового уровня, так и для расчётных задач части 2 работы. Как показывает анализ работ экзаменуемых, выпускники умеют записывать условия равновесия твёрдого тела, а основные их проблемы — неверные рисунки с указанием действующих сил (особенно сил реакции опор) и неверная запись моментов сил относительно выбранной

оси. Целесообразно дополнить дидактические материалы специальными заданиями, в которых требуется правильно изобразить все силы, действующие на тело, или верно определить плечо силы относительно оси и момент этой силы.

Следующей «проблемной зоной» традиционно являются насыщенные пары и влажность воздуха. Трудности возникают на уровне понимания физики процессов (получение насыщенного пара, кипение жидкости, изменение влажности воздуха), поэтому целесообразно сделать акцент на несложных качественных вопросах, позволяющих проверить понимание всех особенностей данных процессов. И особое внимание нужно уделить квантовой физике, самый проблемный элемент в которой — явление испускания и поглощения света атомом.

Результаты решения задач с развёрнутым ответом (наиболее важный вид деятельности, востребованный при поступлении в инженерно-физические вузы) показывают, что только около 26 000 выпускников освоили решение задач на применение знаний в изменённых и новых ситуациях и полностью готовы к обучению в вузе. Это говорит о том, что большое число участников ЕГЭ по физике не имеют возможности полноценного изучения курса физики профильного уровня с учебной нагрузкой не менее 5 часов в неделю. КИМ ЕГЭ по физике в целом, а особенно задания высокого уровня сложности, строятся на базе профильного курса. А его освоение является залогом успешного продолжения образования в соответствующих вузах.

Низкие результаты решения задач свидетельствуют прежде всего о недостатке учебного времени и о том, что физика изучается преимущественно на базовом уровне с нагрузкой 2 часа в неделю. При этом в целом осваиваются все элементы содержания в соответствии с кодификатором, но времени на формирование сложных видов деятельности (в том числе на освоение реше-

ния задач) явно не хватает. Оптимальным является организация профильных физико-математических классов или специальных групп в классе. При невозможности такой организации обучения необходимо шире использовать систему индивидуальных учебных планов для обучающихся, выбравших физику для продолжения образования, включая сюда и дистанционные формы обучения.

С точки зрения методики обучения решению задач целесообразно отказаться от принципа: «заучить как можно больше решений типовых задач». При таком подходе решение задач из сложной самостоятельной деятельности превращается практически в репродукцию, при которой показанные учителем алгоритмы решения без должного анализа и осмысления применяются к аналогичным задачам. Гораздо более ценным является подход, при котором в классе разбирается наиболее сложная задача по данной теме, а затем в малых группах учащиеся сначала совместно друг с другом, а затем самостоятельно вырабатывают планы решения более простых задач (частных случаев рассмотренной в классе задачи).

Успешность решения качественных задач зависит не только от глубины понимания физических процессов, описываемых в задании, но и от сформированности умения выстраивать обоснованные рассуждения. На каждом уроке должны присутствовать качественные задачи: от простых во-

просов, требующих «одношаговых» ответов, до сложных задач с многоступенчатым обоснованием на основании нескольких законов или явлений. При этом необходимо использовать как письменные формы ответов, так и устные.

В процессе обобщающего повторения и подготовки к ЕГЭ целесообразно использовать методы дифференциации в обучении, выделяя группы обучающихся с различными уровнями подготовки (аналогичные описанным выше). При работе с самой слабой группой целесообразно сосредоточиться на базовом курсе физики, особо выделяя наиболее значимые элементы (законы сохранения в механике, законы Ньютона, первый закон термодинамики и т.д.), и добиваться их устойчивого освоения. Для обучающихся, относящихся к группе 2, повторение всех элементов курса физики на базовом уровне сложности целесообразно сочетать с дополнительной математической подготовкой. Это позволит им более уверенно чувствовать себя при выполнении заданий с математическими расчётами и ответами в виде числа. Для группы 3 нужно акцентировать формирование умения решать типовые расчётные задачи повышенного уровня сложности и выбирать посильные для решения задачи высокого уровня. Для наиболее подготовленных выпускников акцентом должно стать решение задач с неявно заданной физической моделью, в которых необходимо требовать обоснование хода решения.