

Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2022 года по физике

**Демидова
Марина Юрьевна**

ведущий научный сотрудник Федерального института педагогических измерений, руководитель федеральной комиссии по разработке КИМ для ГИА по физике, доктор педагогических наук, demidova@fipi.ru

Ключевые слова: основные результаты ЕГЭ по физике в 2022 г., анализ результатов по блокам содержания, анализ результатов по блокам умений, анализ результатов по группам учебной подготовки, рекомендации по коррекции типичных ошибок

Число участников основного периода ЕГЭ по физике в 2022 г. составило 105 244 человека¹ (129 786 человек в 2021 г., 140 603 человека в 2020 г.). За последние пять лет численность участников экзамена по физике уменьшилась в 1,5 раза, при этом наибольшее снижение произошло в последние три года после изменения правил приёма результатов ЕГЭ по физике и информатике в вузы на физико-технические специальности.

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

Средний балл ЕГЭ по физике 2022 г. незначительно снизился по сравнению с прошлым годом и сопоставим с результатами позапрошлого года.

Минимальный балл ЕГЭ по физике в 2022 г., как и в 2021 г., составил 36 т. б., что в новой экзаменационной модели соответствовало 10 первичным баллам. Доля участников экзамена, не преодолевших минимального

Распределение участников ЕГЭ 2022 по физике
по первичным баллам (максимальный балл - 54)

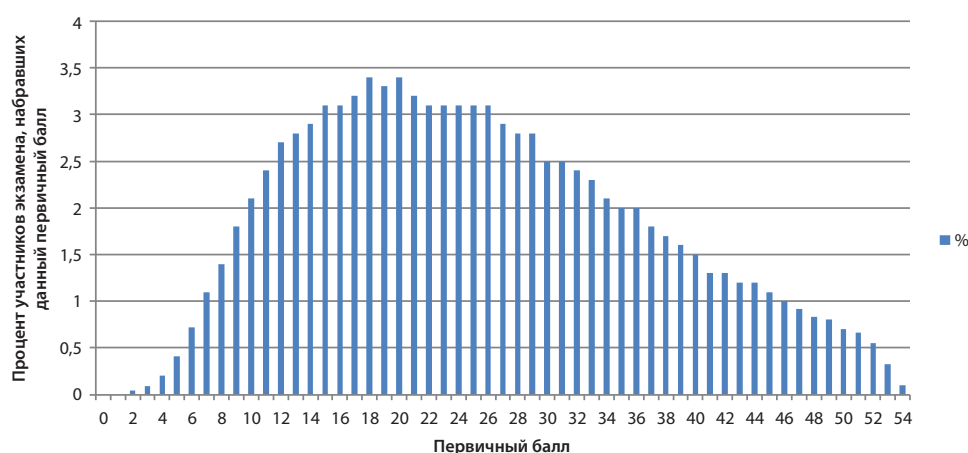


Рис. 1

¹ Статистические данные на основе действующих результатов участников ЕГЭ с учётом резервных дней основного периода ЕГЭ по состоянию на 25.07.2022 г.

Таблица 1

Раздел курса физики	Средний % выполнения по группам заданий	
	2021 г.	2022 г.
Механика	59,1	57,4
МКТ и термодинамика	57,4	58,1
Электродинамика	49,5	48,6
Квантовая физика	52,5	58,2

балла в 2022 г., составила 6,31 %, что сопоставимо с аналогичными показателями прошлых лет (в 2021 г. — 6,37 %; в 2020 г. — 5,56 %).

Максимальный тестовый балл в 2022 г. набрали 103 участника экзамена, что составляет 0,1 % от общего числа участников экзамена. Небольшое число стобалльников наиболее вероятно объясняется существенными дефицитами, которые были продемонстрированы выпускниками при написании обоснования в новой модели расчётной задачи (линия 30). Это вновь введённое требование, которое серьёзно меняет методику обучения решению задач. Наиболее вероятно, что нынешним выпускникам не хватило времени на освоение данного умения. Стобалльники есть в 39 регионах.

В 2022 г. доля участников экзамена, набравших 81–100 баллов, составила 8 %, что немного ниже показателя прошлого года (в 2021 г. — 8,5 %).

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

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

Как видно из таблицы, результаты выполнения заданий по молекулярной физике и электродинамике сопоставимы с прошлым годом. Некоторое снижение результатов по механике объясняется тем, что задачи высокого уровня, для которых предлагалось делать обоснование выбора физической модели, предлагались по механике. Результаты выполнения заданий по механике части 1 работы остались на уровне прошлого года. По квантовой физике результаты повысились. Это связано с тем, что расчётная задача на позиции 26, в отличие от прошлого года, предлагалась в виде задания с развёрнутым ответом (в прошлом году эта задача была с кратким ответом). Перевод задания в другую форму повысил освоение элементов квантовой физики. Общее распределение средних процентов выполнения по разделам курса в целом осталось без изменений: наиболее сложной традиционно остаётся электродинамика.

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	
	2021 г.	2022 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	66,0	66,8
Анализ и объяснение явлений и процессов	62,8	60,9
Методологические умения	75,5	75,9
Решение задач	24,5	22,0

Таблица 3

Группы заданий различного уровня сложности	Средний % выполнения	Средний % выполнения для групп с различным уровнем подготовки ²			
		Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Базового уровня	67,0	21,4	61,3	88,8	95,9
Повышенного уровня	44,2	11,0	34,1	71,5	88,3
Высокого уровня	15,3	0,04	3,9	33,6	77,5

² Группа 1 — участники, не преодолевшие минимального балла (первичный балл — 0–9, тестовый балл — 0–33, доля участников — 5,8 %); группа 2 — участники с результатами в диапазоне 36–60 тестовых баллов (первичный балл — 10–32, доля участников — 67,3 %); группа 3 — участники с результатами в диапазоне 61–80 тестовых баллов (первичный балл — 33–43, доля участников — 18,8 %); группа 4 — высокобалльники (тестовый балл — 81–100, первичный балл — 44–54, доля участников — 8,2 %).

На уровне прошлого года продемонстрированы результаты выполнения заданий на применение законов и формул в типовых учебных ситуациях и на оценку методологических умений. Наблюдается снижение результатов выполнения группы заданий на анализ и объяснение явлений, что связано преимущественно с изменением формы заданий на множественный выбор и введением линии заданий интегрированного содержания, проверяющего базовые теоретические положения курса физики. Негативной тенденцией является снижение результатов решения задач, которая фиксируется в течение трёх последних лет.

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

По сравнению с прошлым годом снизились результаты выполнения заданий повышенного и высокого уровней сложности при повышении результатов для заданий базового уровня. Анализ результатов выполнения заданий участниками с различным уровнем подготовки показывает чёткую дифференциацию этих групп по успешности выполнения заданий различного уровня сложности. Для группы слабо подготовленных участников характерно освоение курса физики только на базовом уровне. Участники со средним уровнем подготовки показывают освоение предметных результатов и на базовом, и на повышенном уровнях сложности. Высокобалльники демонстрируют успешное выполнение заданий высокого уровня.

Эти результаты подтверждают хорошую дифференцирующую способность и эффективность новой экзаменационной модели.

На рисунке 2 приведёна диаграмма средних процентов выполнения по каждой линии заданий для экзаменационной работы 2022 г.

Исходя из общепринятых норм, содержательный элемент или умение считается усвоенным, если средний процент выполнения соответствующей им группы заданий с кратким и развёрнутым ответами превышает 50 %. По результатам выполнения групп заданий, проверяющих одну и ту же группу предметных результатов и построенных на близких элементах содержания, можно говорить об усвоении умений и элементов содержания:

- воспроизводить основные теоретические сведения по всем разделам курса физики: определения понятий и физических величин; формулировки законов, зависимости физических величин; описание физических моделей, свойств процессов и явлений;

- вычислять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: ускорение тела (по закону движения тела); второй закон Ньютона, принцип суперпозиции сил; закон всемирного тяготения; относительная влажность воздуха; сила упругости; кинетическая энергия; импульс тела, закон сохранения импульса; гидростатическое давление столба жидкости; условие равновесия рычага; скорость звука; зависимость средней кинетической энергии теплового движения молекул

от температуры; основное уравнение МКТ; уравнение состояния идеального газа; изо-процессы; связь абсолютной температуры с температурой по шкале Цельсия; работа газа; первый закон термодинамики; количество теплоты; КПД тепловой машины; совместное использование закона Кулона и закона сохранения заряда; энергия магнитного поля катушки с током; сила Ампера; сила Лоренца; период колебаний в колебательном контуре; период полураспада; закон отражения света; закон радиоактивного распада (определение периода полураспада по графику);

- устанавливать соответствие физических величин, характеризующих процессы, и формул, по которым их можно рассчитать: движение математического маятника; движение тела по окружности; ток в цепях постоянного тока с последовательным и параллельным соединением проводников;

- устанавливать соответствие между параметрами движения частицы в электрических и магнитных полях и видами траектории;

- узнавать схематичный вид графиков зависимостей физических величин из всех разделов курса физики;

- интерпретировать графики, отражающие зависимость физических величин, характеризующих равномерное и равноускоренное движение тела, движение тела по наклонной плоскости под действием силы трения; электромагнитные колебания в колебательном контуре; электро-

магнитные колебания в колебательном контуре;

- определять путь, пройденный телом, по графику зависимости скорости от времени и ускорение по графику зависимости проекции скорости от времени;

- определять состав атома, атомного ядра и массовое и зарядовое числа ядер в ядерных реакциях;

- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: свободное падение; падение тела в воздухе с постоянной скоростью; движение тела по наклонной плоскости; колебания пружинного маятника; движение спутников; изменение параметров газов в изопротессе; изменение параметров, характеризующих газ в воздушном шарике; изменение параметров цепи постоянного тока; преломление света; явление фотоэффекта;

- проводить комплексный анализ физических процессов: равноускоренное движение, представленное в виде графиков; равномерное и равноускоренное движение, представленное в виде графика зависимости координаты от времени; установление теплового равновесия в газах; изопротессы в идеальном газе, представленные при помощи графика; возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике; изменение агрегатных состояний вещества; возникновение индукционного тока в проводнике при движении в поле постоянного магнита; действие силы Ампера на проводник с током;

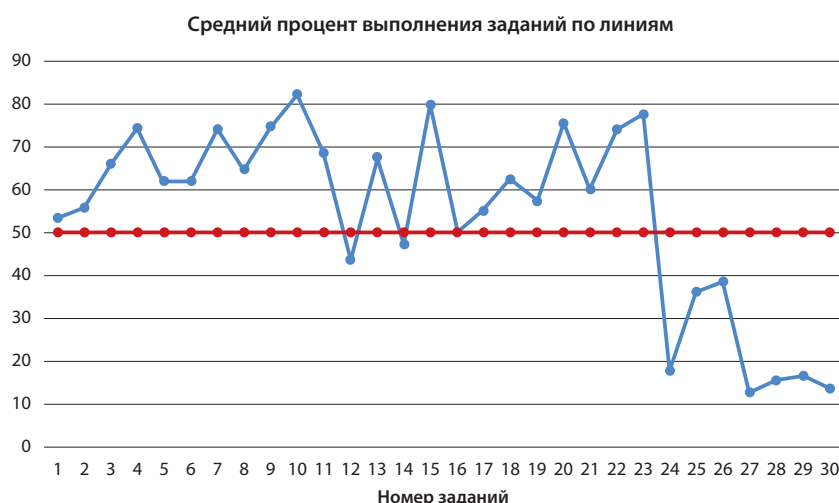


Рис. 2

- записывать показания измерительных приборов (динамометра, барометра, амперметра, вольтметра) с учётом погрешности измерений;

- выбирать недостающее оборудование для проведения косвенных измерений и экспериментальную установку для проведения исследования.

К дефицитам можно отнести группы заданий, которые контролировали умения:

- определять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: потенциальная энергия упруго деформированной пружины; период изменения энергии при механических колебаниях; давление твёрдого тела; общее сопротивление участка со смешанным сопротивлением проводников; закон Ома для участка цепи (расчёт цепей постоянного тока); зависимость энергии магнитного поля катушки с током от начального заряда конденсатора в колебательном контуре;

- анализировать изменения характера физических величин для движения частицы в магнитном поле;

- устанавливать соответствие между процессами излучения и поглощения света атомом и энергетическими переходами;

- проводить комплексный анализ физических процессов: равноускоренное движение тела (результаты исследования представлены в виде таблицы); кипение жидкости; переход насыщенного пара в ненасыщенный и обратно; изменение относительной влажности воздуха (с использованием таблицы плотности насыщенных паров); электромагнитные колебания, представленные в виде графика зависимости силы тока от времени;

- определять по графику зависимости силы тока от времени в колебательном контуре максимумы и минимумы энергии; по графику зависимости силы тока от времени заряд, прошедший по цепи;

- использовать метод рядов для определения результатов измерений с учётом абсолютной погрешности;

- решать расчётные задачи повышенного уровня сложности;

- решать качественные задачи;

- решать расчётные задачи высокого уровня сложности.

Рассмотрим более подробно основные результаты выполнения групп заданий,

проверяющих различные способы действий.

Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях

В КИМ ЕГЭ 2022 г. было включено 10 заданий базового уровня с кратким ответом в виде числа, которые проверяли понимание основных законов и формул курса физики средней школы. Для всех линий этих заданий (кроме линии 14) в целом продемонстрировано освоение умения.

Средний процент выполнения заданий на применение формул в стандартных ситуациях по механике составил 67. Анализ показывает, что трудности в заданиях по механике связаны прежде всего с проблемами в математической подготовке участников экзамена. Так, сложности вызвали задания на расчёт давления твёрдых тел, причём преимущественно у слабо и средне подготовленных выпускников, поскольку для этих заданий наблюдалась очень сильная дифференциация участников по уровню подготовки.

Пример 1

(средний процент выполнения — 39)

Кирпич массой 4,5 кг положили на горизонтальную кладку стены. Площадь грани, на которой лежит кирпич, равна 300 см². Определите давление, которое кирпич оказывает на кладку.

Ответ: _____ 1500 _____ Па.

Анализ вееров ответов демонстрирует, что основные проблемы были не в применении формулы, а в расчётах и переводе в единицы СИ.

С очень низкими результатами выполнены задания на применение формулы для гармонических колебаний.

Пример 2

(средний процент выполнения — 28)

Смещение груза пружинного маятника меняется с течением времени по закону $x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$, где период $T = 1$ с. Через какое минимальное время, начиная с момента $t = 0$, потенциальная энергия маятника уменьшится вдвое?

Ответ: _____ 0,125 _____ с.

Поскольку потенциальная энергия маятника зависит от x^2 , то уменьшение в 2 раза будет соответствовать уменьшению x в $\sqrt{2}$. Следовательно, в этот момент времени $\frac{2\pi}{T}t = \frac{\pi}{4}$. Отсюда: момент времени

равен 0,125 с. Судя по выполнению других заданий, формулу для потенциальной энергии выпускники знают хорошо, поэтому сложности здесь были связаны с применением математики.

Для заданий по молекулярной физике в целом отмечены довольно высокие результаты — 75 %. И здесь дефициты связаны уже не с математикой, а с пониманием описываемых в заданиях ситуаций. Проиллюстрируем это примером задания из группы, вызвавшей серьёзные трудности.

Пример 3
(средний процент выполнения — 41)

Цилиндрический сосуд разделён лёгким подвижным поршнем на две части. В одной части сосуда находится неон, в другой — аргон. Температуры газов одинаковы. Определите отношение концентрации молекул неона к концентрации молекул аргона в равновесном состоянии.

Ответ: _____ 1 _____.

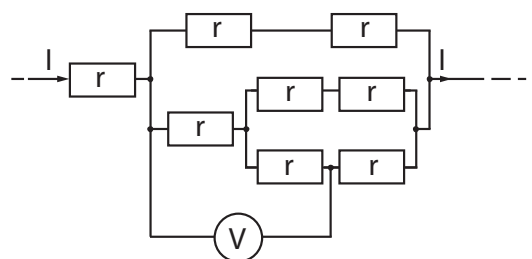
В равновесном состоянии поршень находится в покое, следовательно, давление неона и аргона одинаково. Поскольку $p = nkT$, а температура газов одинакова, значит, и концентрация их одинакова. Эту формулу в других заданиях около 75 % выпускников успешно применяют для расчётов, следовательно, проблема состоит в понимании данной ситуации.

Для групп заданий по электродинамике отмечен самый низкий средний процент выполнения — 59. При этом даже простейшие задания на расчёт энергии магнитного поля катушки с током выполняет чуть менее половины участников экзамена. Наибольшие затруднения оказались связаны с расчётом общего сопротивления участка со смешанным сопротивлением проводников и применением закона Ома для участка цепи со смешанным сопротивлением провод-

ников. Пример одного из таких заданий приведён ниже.

Пример 4
(средний процент выполнения — 21)

Восемь одинаковых резисторов с сопротивлением $r = 1$ Ом соединены в электрическую цепь, по которой течёт ток $I = 8$ А (см. рисунок). Какое напряжение показывает вольтметр? Вольтметр считать идеальным.



Ответ: _____ 6 _____ В.

В задании не требуется никаких сложных расчётов цепи, нужны лишь знание закона Ома для участка цепи, формул для расчёта сопротивлений последовательного и параллельного соединений и устные рассуждения. Поскольку общее сопротивление участка с параллельным соединением резисторов на нижней ветви равно r , то ток, равный 8 А, поровну распределится между верхней и нижней ветвями, а затем в нижней ветви ещё раз поровну распределится между следующим блоком параллельно соединённых резисторов. Соответственно, напряжение на вольтметре $U = 4\text{ А} \cdot 1\text{ Ом} + 2\text{ А} \cdot 1\text{ Ом} = 6\text{ В}$.

В квантовой физике средний процент выполнения заданий составил 75. Предлагались задания на строение атома и атомного ядра, закон радиоактивного распада, с которыми справилось около 80 % участников экзамена, и задания на расчёт заряда и массового числа в ядерных реакциях, которые оказались для выпускников более сложными (в среднем 55 % выполнения).

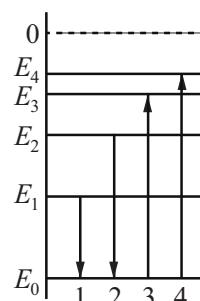
Традиционно вызвали сложности задания на применение постулатов Бора с использованием диаграммы энергетических уровней атома. Средний процент выполнения этой серии заданий остался практически на уровне позапрошлого года — 48.

Пример 5

(средний процент выполнения — 36).

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

Установите соответствие между процессами поглощения и излучения света и энергетическими переходами атома, указанными стрелками. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ПРОЦЕССЫ**

- А) излучение света с наибольшей длиной волны
Б) поглощение света с наименьшей энергией

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ

- 1) 1
2) 2
3) 3
4) 4

Ответ:

А	Б
1	3

В таких заданиях ошибки, как правило, допускаются в дистракторах, для которых энергия кванта характеризуется через длину волны. Так, выпускники хорошо различают на диаграмме излучение и поглощение света, но затрудняются применять формулу для энергии фотона $E = \frac{hc}{\lambda}$.

В приведённом выше примере верно указать первый ответ смогли лишь 25 % участников экзамена.

Понимание графиков зависимостей физических величин

Умение работать с графической информацией — один из важнейших метапредметных результатов, который эффективно формируется при изучении школьного курса физики и востребован в различных сферах современного цифрового мира. В КИМ ЕГЭ по физике в каждом варианте встречается 6–8 заданий, в которых используются различные графические зависимости и проверяются различные умения по работе с графиками.

В этом году, как было отмечено выше, в экзаменационный вариант была включена новая модель задания на распознавание графиков зависимостей физических величин. Все графики отражали те зависимо-

сти, которые входят в законы и формулы, включённые в кодификатор ЕГЭ по физике. При этом, хотя задание по результатам апробаций и относилось к повышенному уровню сложности, в нём не использовалось никаких зависимостей, которые нужно было бы вывести на основании формул из кодификатора. Пример такого задания приведён ниже (пример 6).

Средний процент выполнения этой группы заданий составил 56. При этом 42 % участников смогли верно указать все три графика, а ещё 27 % — только две из предложенных зависимостей. Судя по веерам ответов, в целом выпускники хорошо знают формулы и законы, представленные в кодификаторе, но часть из них испытывают затруднения в распознавании схематичных графиков, например плохо распознают график зависимости $y \sim \sqrt{x}$, который характерен для формул определения периодов и частоты колебаний маятников и колебательного контура, и путают график зависимости $y \sim \frac{1}{x^2}$ с гра-

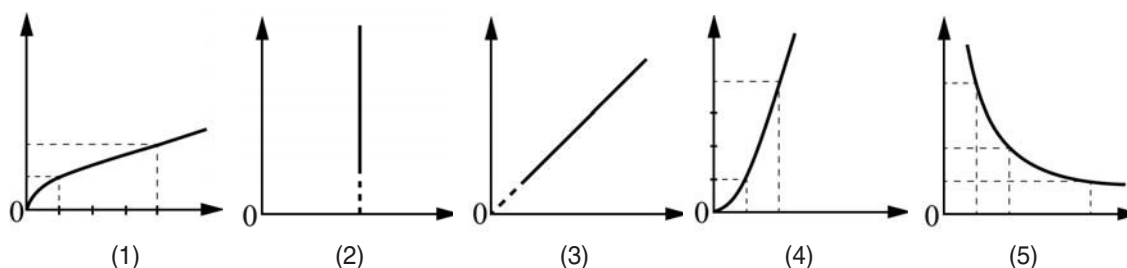
фиком гиперболы $y \sim \frac{1}{x}$. Самые низкие результаты были получены для зависимостей из квантовой физики, например зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов, вылетающих

Пример 6

Даны следующие зависимости величин:

- А) зависимость периода малых свободных колебаний математического маятника от длины нити маятника;
- Б) зависимость количества теплоты, выделяющегося при конденсации пара, от его массы;
- В) зависимость силы тока через участок цепи, содержащий резистор, от сопротивления резистора при постоянном напряжении на концах участка.

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



Ответ:

А	Б	В

с поверхности катода, от частоты падающего электромагнитного излучения и зависимость импульса фотона от длины волны.

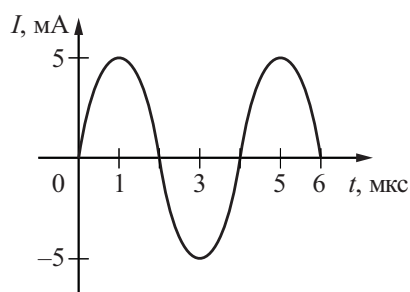
Кроме новой линии заданий, умение соотносить графики и характеризующие процесс физические величины, зависимость которых от времени эти графики могут представлять, проверяется рядом заданий на соответствие. Здесь успешно были выполнены задания по механике, в которых предлагались формулы зависимости координаты от времени и требовалось определить вид графиков проекций скорости, ускорения, перемещения, модуля равнодействующей силы и кинетической энергии тела. Средний процент выполнения составил 66. Улучшились и результаты распознавания графиков, отображающих изменение во времени физических величин, характеризующих свободные электромагнитные колебания в колебательном контуре. Хотя, как и в прошлые годы, фиксируется некоторый дефицит в распознавании графиков энергии электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки (в среднем 42 % выполнения).

Анализ групп заданий на вычисление физических величин, в которых использовались графики, показал, что участники экзамена успешно определяют недостающие данные по предложенным графикам, например: периоды колебаний при сравнении параметров колебаний двух тел; количество теплоты, необходимое для плавления или кипения по графику изменения агрегатных состояний вещества; вид изопроцесса для применения первого закона термодинамики; период полураспада по графику зависимости числа нераспавшихся ядер от времени. Проблемными здесь оказались задания с использованием графиков зависимости силы тока в колебательном контуре от времени. Если с определением периода колебаний справилось около 55 %, то с соотносением максимумов и минимумов силы тока с соответствующими максимумами и минимумами энергии магнитного поля катушки и электрического поля конденсатора справилось около трети участников экзамена. Пример такого задания приведён ниже (пример 7).

Пример 7

(средний процент выполнения — 32)

На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре. Сколько раз в течение первых 6 мкс энергия конденсатора достигает минимального значения?



Ответ: _____ 3 _____ раз(а).

В экзаменационных вариантах предлагались задания с кратким ответом, в которых необходимо было вычислить физическую величину как площадь под данным графиком. Следует отметить, что нельзя говорить об освоении этого умения в целом, поскольку результаты выполнения та-

ких групп заданий очень сильно зависят от тематического раздела. Так, с определением пути по графику зависимости скорости от времени успешно справилось почти 80 % выпускников, с определением работы по графику зависимости давления газа от его объёма — около 60 %, а с определением заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, по графику зависимости силы тока от времени — лишь около 30 % участников экзамена. Одно из таких заданий приведено ниже (пример 8).

При выполнении групп заданий на изменение величин в различных физических процессах успешно анализируются графики изопроцессов. При выполнении групп заданий на комплексный анализ физических процессов, включающих графики, проблемной оказалась одна группа заданий по механике (пример 9).

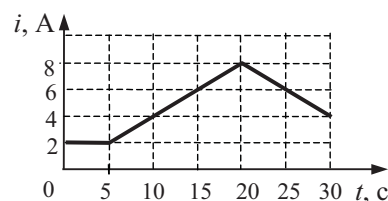
Наиболее сложными в таких заданиях были утверждения на сравнение направлений проекций скорости и ускорения, а также равенство нулю скорости в вершине параболы и направлении ускорения в этих точках.

Пример 8

(средний процент выполнения — 33)

На графике показана зависимость силы тока в проводнике от времени. Определите заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за $\Delta t = 30$ с.

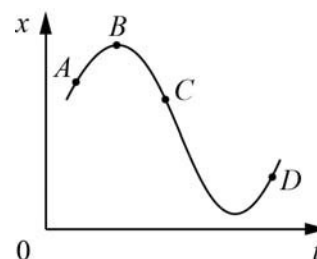
Ответ: _____ 145 _____ Кл.

**Пример 9**

(средний процент выполнения — 39)

На рисунке показан график зависимости координаты x тела, движущегося вдоль оси Ox , от времени t . Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения.

- 1) В точке C проекция скорости тела на ось Ox отрицательна.
- 2) На участке BC модуль скорости тела уменьшается.
- 3) Проекция перемещения тела на ось Ox при переходе из точки C в точку D отрицательна.
- 4) В точке D проекция ускорения тела на ось Ox положительна.
- 5) В точке A ускорение тела и его скорость направлены в одну сторону.



Ответ: _____ 134 _____.

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

В экзаменационной модели ЕГЭ 2022 г. впервые использовались задания интегрированного характера, проверяющие понимание основных теоретических положений школьного курса физики. В линии 1 предлагались задания на множественный выбор, в котором утверждения относились к разным разделам курса физики: 1) механике; 2) молекулярной физике, 3) и 4) электродинамике; 5) квантовой физике (пример 10).

Как правило, два утверждения описывали формулы (в примере — это утверждения 1 и 3), а три утверждения посвящены основным постулатам, принципам и свойствам процессов и явлений.

Средний процент выполнения этой группы заданий оказался ниже ожидаемого и составил 54. При этом задания с двумя и тремя верными утверждениями показали различное распределение верных ответов на 1 и 2 балла. При трёх верных утверждениях 2 балла получили менее трети выпускников, при двух утверждениях этот процент был существенно выше. В целом наиболее часто верно выбирались утверждения, связанные с формулировкой законов или различных зависимостей физических величин. Трудности вызывали, как правило, утверждения, описывающие свойства различных процессов или явлений. Например, менее 30 % участников экзамена смогли отнести к верным следующие утверждения.

Пример 10

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

- 1) Импульсом тела называется величина, равная произведению массы тела на его ускорение.
- 2) Теплопередача путём теплопроводности происходит за счёт переноса вещества в струях и потоках.
- 3) Модуль сил взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел в вакууме прямо пропорционален квадрату расстояния между ними.
- 4) Свободные электрические колебания являются гармоническими, если электрический заряд с течением времени меняется по закону синуса или косинуса.
- 5) β -излучение представляет собой поток электронов или позитронов, возникающих при распаде ядер.

Ответ: _____ 45 _____.

■ В поперечной механической волне колебания частиц происходят в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.

■ В однородном электростатическом поле работа по перемещению заряда между двумя точками не зависит от траектории.

■ Сила тока короткого замыкания определяется только внутренним сопротивлением источника.

■ Дифракция волн хорошо наблюдается в тех случаях, когда размеры препятствий меньше длины волны или сравнимы с ней.

■ Линейчатый спектр дают вещества в газообразном атомарном состоянии.

■ Количество фотоэлектронов, вылетающих с поверхности металла за единицу времени, прямо пропорционально интенсивности падающего на поверхность металла света.

Как видно из примеров, все эти утверждения относятся к базовым теоретическим сведениям. Таким образом, результаты выполнения этой новой линии заданий демонстрируют дефицит в освоении основополагающих теоретических положений курса физики, которые ранее не проверялись в экзаменационной работе.

Умение анализировать изменение физических величин в различных процессах проверялось в КИМ специальными линиями заданий 7, 13 и 18, и отдельными группами заданий линии 21. Таким образом, в целом по группе вариантов предлагались задания на анализ изменения величин по всем разделам курса физики.

Наиболее высокие результаты продемонстрированы для заданий по механике: колебания пружинного маятника, движение по наклонной плоскости, движение парашютиста с постоянной скоростью, движение спутника по орбите, свободное падение тел. Средний процент выполнения этих групп заданий составил 74.

По молекулярной физике также достигнут уровень освоения и продемонстрировано, что задания на анализ изменения величин в различных изопроцессах и в процессах с учётом изменения количества вещества газа (изменение парциального давления газа) имеют базовый уровень сложности. Однако серьёзные затруднения вызвала группа заданий, одно из которых приведено ниже.

Пример 11

Детский тёмно-зелёный воздушный шарик надули в тени под деревом, а затем вынесли на солнечный пляж. Как начали при этом изменяться давление воздуха в шарике и средняя кинетическая энергия молекул в шарике? Оболочка шарика тонкая, упругая и мягкая.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

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

Давление воздуха в шарике	Средняя кинетическая энергия молекул
1	1

В таких заданиях не возникало проблем с определением характера изменения объёма шарика, концентрации молекул в шарике, температуры воздуха, внутренней энергии или средней кинетической энергии молекул воздуха. Однако экзаменуемые утверждали, что при изменении температуры воздуха в шарике и его объёма давление в нём остаётся постоянным и равным атмосферному. Скорее всего, они путали детский воздушный шарик с открытым тепловым аэростатом, в котором действительно будет выполняться это условие. Однако в данных заданиях указано, что оболочка

шарика не только мягкая, т. е. может менять объём, но и упругая. Общеизвестно, что если надутый шарик уколоть, он лопнет, а части оболочки разлетятся в разные стороны. Будь давление снаружи и внутри шарика одинаковым, этого бы не происходило. Следовательно, давление внутри шарика больше, чем снаружи, поэтому и оболочка натянута. При нагревании объём шарика увеличивается, оболочка растягивается, что происходит за счёт увеличения давления внутри шарика.

По электродинамике средний процент выполнения заданий этой группы составил 63. Здесь успешно анализируется изменение различных величин в цепях постоянного тока. Немного хуже обстоит дело с анализом преломления света на границе раздела двух сред: постоянство частоты колебаний и периода электромагнитной волны указывает не более 40 % выпускников. Ниже уровня освоения выполнены задания на анализ изменения величин при движении заряженных частиц в магнитном поле (в среднем около 41 %). Здесь традиционно сложности вызывает независимость периода обращения частицы от её скорости.

В квантовой физике использовались группы заданий на анализ изменения физических величин при фотоэффекте. Средний результат выполнения составил 67 %. Сложности (средний процент выполнения — 52) вызвали задания, в которых в условии говорилось не об увеличении или уменьшении энергии, частоты или длины волны падающего света, а об увеличении или уменьшении запирающего напряжения в связи с неизвестным изменением параметров падающего света.

Умение проводить комплексный анализ физических процессов оценивалось при помощи заданий на множественный выбор, для которых в этом году была изменена форма представления ответа (выбор всех утверждений из пяти предложенных). Для заданий линии 6 по механике средний результат выполнения составил 60 %, для линии 12 по молекулярной физике — 44 %, для линии 17 по электродинамике — 55 %.

По механике наиболее сложными оказались задания с применением графика неравномерного движения (пример 12) и задания на анализ колебательного движения, представленного в виде таблицы.

Пример 12

Небольшой груз, покоящийся на гладком горизонтальном столе, соединён горизонтальной пружиной с вертикальной стенкой. Груз немного смещают от положения равновесия и отпускают из состояния покоя, после чего он начинает колебаться, двигаясь вдоль оси пружины, параллельно которой направлена ось Ox . В таблице приведены значения координаты груза x в различные моменты времени t . Выберите все верные утверждения о результатах этого опыта на основании данных, содержащихся в таблице. Погрешность измерения координаты равна 0,1 см, времени — 0,1 с.

t , с	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
x , см	4,0	2,8	0,0	-2,8	-4,0	-2,8	0,0

- 1) В момент времени 0,8 с ускорение груза максимально.
- 2) Модуль силы, с которой пружина действует на груз, в момент времени 0,8 с меньше, чем в момент времени 1,2 с.
- 3) Частота колебаний груза равна 1 Гц.
- 4) Период колебаний груза равен 1,6 с.
- 5) В момент времени 1,2 с потенциальная энергия пружины минимальна.

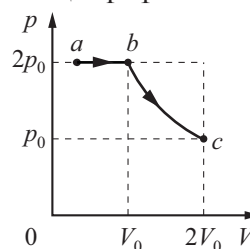
Ответ: _____ 145 _____.

В этих заданиях в связи с тем, что в таблице отражён неполный период колебаний, группа участников среднего уровня испытывала затруднения с определением периода колебаний и их частоты. Более подготовленные выпускники делали ошибки в определении минимума и максимума ускорения, хотя с такими же утверждениями о скорости, потенциальной и кинетической энергии справлялись очень хорошо. В задании из приведённого выше примера выбрали утверждение 1 как верное лишь 16 % экзаменуемых.

Как было отмечено выше, существенные дефициты выявлены для заданий на комплексный анализ физических процессов по молекулярной физике. Здесь лишь для трёх групп (изменение агрегатных состояний вещества, представленное при помощи двух графиков; сравнение изобарных процессов, представленных в виде графиков зависимости давления от объёма; теплообмен между газами в сосуде, разделённом подвижной теплопроводящей перегородкой) результаты выполнения оказались выше 50 %.

В заданиях на анализ процесса кипения воды в сосуде, закрытом крышкой, более 60 % экзаменуемых выбирали ответы о постоянстве температуры воды при кипении и неизменности относительной влажности под крышкой при нагревании воды, но лишь около 20 % смогли указать на изменение плотности или давления па-

ров под крышкой в процессе нагревания и лишь 10 % понимают, что для теплопередачи при кипении воды температура дна кастрюли должна быть нагрета немного выше 100°C . Традиционно сложным для анализа оказался процесс превращения насыщенного пара в ненасыщенный, представленный при помощи 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 остаётся неизменной. Более половины выпускников верно соотносят участки графика с насыщенным и ненасыщенным паром, но не могут верно интерпретировать изменение внутренней энергии и применить первый закон термодинамики к изотермическому расширению ненасыщенного пара.

Самой сложной оказалась группа заданий, одно из которых приведено ниже (пример 13).

Пример 13

В жёстком герметичном сосуде объёмом 1 м^3 при температуре 289 К длительное время находились влажный воздух и 10 г воды. Сосуд медленно нагрели до температуры 298 К . Пользуясь таблицей плотности насыщенных паров воды, выберите все верные утверждения о результатах этого опыта.

$t, ^\circ\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\rho_{\text{пар}} \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06	2,18	2,30

- 1) При температуре 23°C влажность воздуха в сосуде была равна $48,5 \%$.
- 2) В течение всего опыта в сосуде находилась вода в жидком состоянии.
- 3) Так как объём сосуда не изменялся, давление влажного воздуха увеличивалось пропорционально его температуре.
- 4) В начальном состоянии при температуре 289 К пар в сосуде был насыщенный.
- 5) Парциальное давление сухого воздуха в сосуде не изменялось.

Ответ: _____ 24 _____.

Здесь при температуре 289 К (16°C) в сосуде находились насыщенный водяной пар ($13,6 \text{ г}$) и вода. По мере нагревания вода испарялась; при температуре 298 К (25°C) смогло испариться $9,4 \text{ г}$ воды, так как максимально в сосуде могло содержаться в виде насыщенного пара 23 г . Следовательно, в сосуде ещё оставалась вода в жидком состоянии. Значит, по мере нагревания пар всегда оставался насыщенным, а давление влажного воздуха увеличивалось не только за счёт повышения температуры, но и за счёт увеличения концентрации молекул воды. К сожалению, проделать весь этот анализ и получить 2 балла за выполнение задания смогли лишь 36% участников экзамена. При этом наблюдаются малые различия в результатах выполнения между сильной и слабой группами выпускников, что свидетельствует о крайне низком уровне усвоения материала о насыщенных и ненасыщенных парах.

По электродинамике для комплексного анализа в целом продемонстрирован уровень освоения умения: возникновение индукционного тока в проводящем кольце, движущемся в поле постоянного магнита, — 75% ; действие силы Ампера на проводник, который через реостат подключён к источнику постоянного тока, — 54% ; возникновение ЭДС индукции в проводнике, движущемся в магнитном поле при изменении площади проводящего контура, — 53% ; электромагнитные колебания в контуре, представленные в виде графика

зависимости силы тока времени, — 46% . В последнем случае участники успешно определяли по графику период колебаний, максимумы и минимумы энергии электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки. Затруднение вызвал расчёт максимальной энергии электрического поля конденсатора, которая в силу закона сохранения энергии равна максимальной энергии магнитного поля катушки, определяемой с помощью значения амплитуды тока на графике.

Методологические умения

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

Для линии 22, проверяющей умение записывать показания измерительных приборов с учётом заданной погрешности измерений, средний процент выполнения составил $74,3$, что существенно выше показателей прошлого года (в 2021 г. — 69%). Традиционно лучше всего участникам удаётся определять результаты измерений при помощи динамометра (86%), а наиболее сложным является барометр (57%). Не достигнут уровень усвоения для группы заданий, где требовалось использовать метод рядов для определения результатов измерений с учётом абсолютной погрешности. Пример такого задания приведён ниже (пример 14).

Пример 14*(средний процент выполнения — 39)*

Чтобы узнать диаметр медной проволоки, ученик намотал её виток к витку на карандаш и измерил длину намотки из 20 витков. Длина оказалась равной (15 ± 1) мм. Запишите в ответ диаметр проволоки с учётом погрешности измерений.

Ответ: $(0,75 \pm 0,05)$ мм.

Задания линии 23 оценивали умение выбирать оборудование для проведения опыта. С наиболее высокими результатами (81 %) выполнялись задания на выбор экспериментальных установок, которые были представлены в виде схематичных рисунков. Группа заданий на выбор строк таблицы, описывающих параметры оборудования, оказалась посильной 79 %, что выше результатов прошлого года (62 %). Наиболее сложным традиционно было задание на выбор оборудования из предложенного списка — 51 %.

Решение задач

В части 2 экзаменационного варианта предлагалось семь задач по разным темам школьного курса физики.

Впервые две расчётные задачи повышенного уровня сложности требовали развёрнутого ответа. На позиции 25 стояли задачи по механике, средний результат их выполнения составил 36 %. На позиции 26 располагались задачи по квантовой физике, продемонстрировавшие средний результат 38 %.

Для задач по механике наиболее высокие результаты — на применение закона сохранения импульса при неупругом ударе и применение закона сохранения энергии к колебаниям пружинного маятника. Затруднения вызвали сюжеты задач на связанные тела и плавание тел (пример ниже).

Пример 15*(средний процент выполнения — 28)*

Плоская льдина плавает в воде, выступая над её поверхностью на $h = 0,04$ м. Определите массу льдины, если площадь её поверхности $S = 2500$ см². Плотность льда равна 900 кг/м³.

Здесь 21 % экзаменуемых смогли верно решить задачу, представив необходи-

мые формулы, проведя преобразования и расчёты. И 16 % решили задачу частично, правильно записав второй закон Ньютона, но допустив ошибки в преобразованиях или расчётах.

В задачах по квантовой физике использовалось два типа заданий: на применение уравнения Эйнштейна для фотоэффекта и на расчёт мощности излучения. Наиболее сложной оказалась группа задач на коэффициент полезного действия источника света. Пример такой задачи приведён ниже.

Пример 16*(средний процент выполнения — 19)*

Электрическая лампа мощностью 60 Вт испускает каждую секунду $1 \cdot 10^{19}$ фотонов. Коэффициент полезного действия лампы равен 6 %. Определите среднюю длину волны излучения.

Большинство приступивших к решению, но не справившихся с ним участников экзамена делало ошибку в записи формулы для КПД лампы, который связан с мощностью излучения, энергией фотона и их количественным соотношением $\eta = \frac{NE_0}{P\Delta t}$.

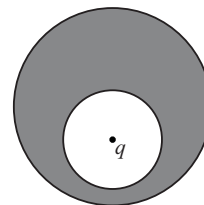
Средний результат выполнения качественных задач составил 18 %, что полностью соответствует результатам прошлого года. Наиболее успешно выполнялись задания на изменение показаний амперметра и вольтметра в цепи постоянного тока при изменении положения ползунка реостата (23 %), описание движения поршня с пружиной при изменении давления воздуха в сосуде (24 %) и на описание колебательного движения гильзы из фольги, расположенной между вертикальными заряженными пластинами.

Следует отметить крайне низкий процент участников, в среднем около 6 %, получивших за решение качественных задач полный балл (3 балла). Анализ ответов экзаменуемых показывает, что они в целом представляют себе процессы в ситуации, описанные в условии задачи, но не могут выстроить логически связное рассуждение с указанием на использованные законы или явления.

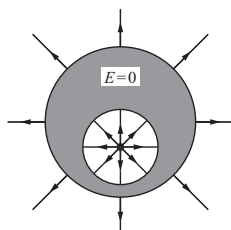
Приведём примеры заданий, вызвавших наибольшие трудности.

Пример 17

В нижней половине незаряженного металлического шара располагается крупная шарообразная полость, заполненная воздухом. Шар находится в воздухе вдали от других предметов. В центр полости помещён положительный точечный заряд $q > 0$ (см. рисунок). Нарисуйте картину линий напряжённости электростатического поля внутри полости, внутри проводника и снаружи шара. Если поле отсутствует, напишите в данной области: $E = 0$. Если поле отлично от нуля, нарисуйте картину поля в данной области, используя восемь линий напряжённости. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



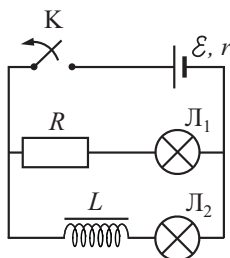
В этом задании лишь 6 % участников смогли привести верный ответ — схематический рисунок картины линий напряжённости:



Типичной ошибкой было, например, указание линий напряжённости с поверхности шара как продолжение линий в полости. Так, участники представляют себе, что линии напряжённости должны быть перпендикулярны поверхности, но не понимают, что их неравномерное распределение по поверхности свидетельствует о том, что и заряд распределён неравномерно, а это является условием для протекания электрического тока по поверхности шара.

Пример 18

Резистор R и катушка индуктивности L с железным сердечником подключены к источнику постоянного тока, как показано на схеме. Первоначально ключ K замкнут, а через лампочки проходят соответственно токи $I_1 = 0,2$ А и $I_1 = 1,5$ А. Что произойдёт с величиной и направлением тока через резистор после размыкания ключа K ? Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения.



Здесь 18 % участников смогли связать происходящие в цепи процессы с явлением самоиндукции, но получить полностью вер-

ный ответ (ток через резистор после размыкания ключа K меняет направление на противоположное и быстро достигает значения около 1,5 А, затем ток уменьшается до 0) смогли лишь 6 % выпускников.

Средний результат решения расчётных задач высокого уровня сложности по молекулярной физике (линия 27) составил 13 %. Успешнее остальных выпускники решали задачи на расчёт условий подъёма теплового аэростата и на изменение относительной влажности воздуха в процессе дыхания человека. Остановимся на двух группах задач, вызвавших затруднения.

Пример 19

В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделённый от атмосферы столбиком ртути длиной $l = 76$ мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха ϕ_1 в ней равна 80 %. Какой станет относительная влажность этого воздуха ϕ_2 , если трубку поставить вертикально, открытым концом вниз? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст. Температуру считать постоянной.

В этой задаче при достаточно высоких общих результатах выполнения (16 %) лишь 3 % экзаменуемых получили за решение 3 балла. Большинство участников допускало одну и ту же ошибку: закон Бойля — Мариотта без доказательства распространяли сразу для парциального давления водяного пара. Для полного решения требовалось записать, что из уравнения Клапейрона — Менделеева следует:

$p = \frac{\nu RT}{V}$, $p_{\text{вл}} = \frac{(\nu + \nu_{\text{св}})RT}{V}$, где p — парциальное давление водяного пара, $p_{\text{вл}}$ — давление влажного воздуха, ν — количество моль водяного пара в трубке, $\nu_{\text{св}}$ — количество моль сухого воздуха в трубке. Отсюда следует, что

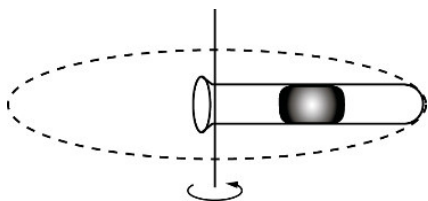
$\frac{P}{P_{\text{вл}}} = \frac{v}{v + v_{\text{св}}} = \text{const.}$ Поэтому $\frac{P_1}{P_{2\text{вл}}} = \frac{P_{1\text{вл}}}{P_2}$, и для

изотермического процесса для парциальных давлений водяного пара имеем:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_0}{P_0 - \rho g l}.$$

Пример 20

В открытой пробирке, вращающейся в горизонтальной плоскости с угловой скоростью 10 с^{-1} вокруг вертикальной оси, проходящей через край пробирки, находится столбик ртути длиной $h = 1 \text{ см}$, центр которого отстоит от оси вращения на расстояние $r = 20 \text{ см}$. До какой температуры надо нагреть пробирку, чтобы при увеличении угловой скорости в 4 раза столбик ртути не сместился? Начальная температура $t_1 = 0^\circ\text{С}$, а внешнее атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

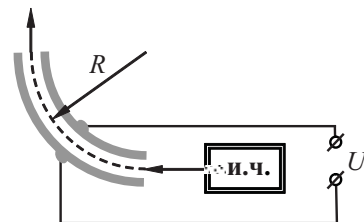


Лишь 4 % участников экзамена смогли верно записать необходимые уравнения: второй закон Ньютона для двух случаев, формулы для центростремительного ускорения, связи силы давления и давления газа, формула связи массы и плотности, уравнение Клапейрона — Менделеева для двух случаев. Здесь основная трудность — совместное использование законов механики и молекулярной физики.

Задачи по электродинамике на позиции 28 в целом были решены успешнее

Пример 21

На рисунке показана схема устройства для предварительного отбора заряженных частиц, вылетающих из источника частиц (и.ч.), для последующего детального исследования. Устройство представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты дугой радиусом R . При первоначальном напряжении U в промежутке между обкладками конденсатора, не касаясь их, пролетают молекулы интересующего исследователей вещества, потерявшие один электрон. Во сколько раз нужно изменить напряжение на обкладках конденсатора, чтобы сквозь него могли пролетать такие же, но дважды ионизированные молекулы (потерявшие два электрона), имеющие такую же скорость? Считать, что расстояние между пластинами мало, напряжённость электрического поля в конденсаторе всюду одинакова по модулю, а вне конденсатора электрическое поле отсутствует. Влиянием силы тяжести пренебречь.



остальных «трёхбалльных» задач: расчёт цепи, содержащей смешанное соединение конденсаторов — 14 %; движение зарядов в электростатическом поле — 12 %; движение проводника, подключённого к параллельно соединённым резисторам и конденсатору, в однородном магнитном поле — 15 %; расчёт мощности для цепи постоянного тока со смешанным соединением ламп — 36 %; расчёт мощности для цепи постоянного тока, содержащей диод, — 17 %. Серьёзные затруднения вызвали задачи, одна из которых представлена ниже (пример 21).

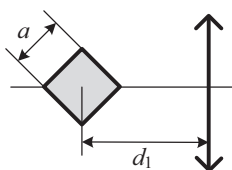
Несмотря на то что такая ситуация встречается в задачах открытого банка заданий ЕГЭ по физике, лишь 8 % экзаменуемых смогли верно записать второй закон Ньютона для движения частицы в таком конденсаторе: $qE = m \frac{v^2}{R}$, где q , m и — соответственно заряд, масса и скорость иона, E — напряжённость электрического поля. А затем связать напряжённость электрического поля E с напряжением между обкладками конденсатора: $U = Ed$. При этом тех, кто получил 1 балл за решение, т. е. не записал одну из формул или ошибся в ней, всего 3 %. Это означает, что большинство участников не разобралось в физической модели: не смогло применить движение заряженной частицы по окружности не к магнитному полю, а к электростатическому полю в цилиндрическом конденсаторе.

На линии 28 предлагались задачи по оптике. Затруднения вызвали два сюжета: изменение изображения при повороте собирающей линзы на некоторый угол (12 %) и расчёт площади изображения фи-

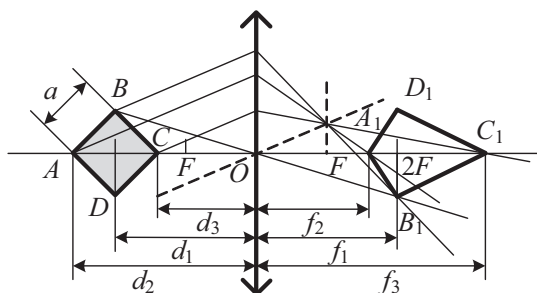
гуры в виде квадрата, две вершины которого находятся на главной оптической оси (7 %, пример 22).

Пример 22

Квадрат со стороной $a = 20$ см лежит в плоскости главной оптической оси тонкой собирающей линзы с оптической силой $D = 2,5$ дптр так, что одна из его диагоналей перпендикулярна главной оптической оси линзы (см. рисунок). Расстояние от центра квадрата до плоскости линзы $d_1 = 80$ см. Определите площадь изображения квадрата в линзе. Сделайте рисунок, на котором постройте изображение квадрата в линзе, указав ход всех необходимых для построения лучей.



В этом случае самым сложным оказалось построение изображения для предложенной ситуации. Для оптимального построения изображения квадрата нужно было провести три параллельных луча через вершины квадрата A , B и C , а также параллельную им побочную оптическую ось. Проведённые лучи после преломления линзой пересекаются в одной точке, лежащей в фокальной плоскости. Точки пересечения с главной оптической осью линзы двух преломлённых лучей дадут изображения A_1 и C_1 точек A и C квадрата. Для получения изображения точки B необходимо построить ещё одну побочную ось, которая пересекает третий преломлённый луч и даёт изображение B_1 . В силу симметрии предмета относительно главной оптической оси его изображение также будет симметричным. В результате построений получим изображение квадрата $ABCD$ в виде симметричного четырёхугольника $A_1B_1C_1D_1$ (см. рисунок).



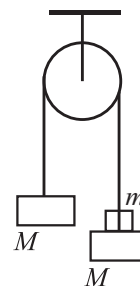
Многие участники считали, что изображением квадрата должен быть квадрат, и это приводило к «подгонке» построения под эти неверные предпосылки. Основной сложностью, как и в прошлые года, остаётся построение изображения точек, лежащих на главной оптической оси с использованием побочных осей. Зачастую встречаются рисунки, где выпускники пытаются достроить привычные стрелочки к таким точкам и затем использовать привычный набор основных лучей. Такие ответы принимались как верные (в случае правильных построений), но для выпускников профильных классов требуется умение пользоваться побочной оптической осью при таких построениях.

На позиции 30 в этом году предлагались задания новой модели: в расчётной задаче по механике необходимо было представить не только математическое решение, но и обоснование законов, которые использовались при решении задачи. Использовались два типа задач: на движение связанных тел и на применение законов сохранения в механике. Обоснование оценивалось по отдельному критерию (критерий 1) максимально в 1 балл. Любые ошибки или отсутствие необходимых указаний в обосновании приводили к снижению до 0 баллов. Математическое решение оценивалось по традиционной схеме (критерий 2), аналогичной критериям оценивания заданий 27–29. Единственным отличием было то, что рисунок с указанием сил, действующих на тела, относился к критерию 1.

Ниже приведён пример задачи на движение связанных тел.

Пример 23

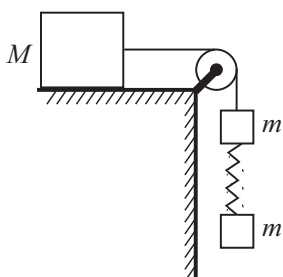
Два одинаковых бруска массой $M = 500$ г связаны между собой невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый гладкий блок, неподвижно закреплённый на потолке (см. рисунок). На один из брусков кладут груз массой $m = 100$ г, и система приходит в движение. С какой силой F груз будет давить на брусок? Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на бруски и груз. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



В обосновании возможности использования законов в этих задачах необходимо было указать следующее:

- выбор инерциальной системы отсчёта;
- использование модели материальной точки (для случаев связанных тел — поступательное движение тел и возможность использовать второй закон Ньютона в привычной форме);
- рисунок с указанием сил, действующих на тела, с соответствующими обозначениями сил, которые затем используются при записи системы уравнений;
- условие равенства сил натяжения нитей (блок и нити невесомы, а трение отсутствует);
- условие равенства модулей ускорений тел (нить нерастяжима).

Несмотря на то что в задачах на связанные тела уже была описана идеализированная ситуация, т. е. указывалось на то, что блок и нить невесомы и нить нерастяжима, лишь 12 % экзаменуемых смогли справиться с обоснованием и получили по данному критерию 1 балл. Ниже всего оказались результаты в задаче, где два тела были связаны лёгкой пружиной (см. рисунок), длина которой при движении оставалась постоянной. Постоянство длины пружины необходимо было учесть в условии равенства ускорений тел, а также указать на равенство сил упругости, действующих на оба тела, поскольку пружина лёгкая.



Типичной была ситуация, когда экзаменуемые, не понимая до конца причинно-следственные связи, объединяли два условия в одном предложении: блок идеальный, нить невесома и нерастяжима, следовательно, силы натяжения нити равны и ускорение тел одинаково. Такие фрагменты обоснований в качестве верных не принимались.

В КИМ использовалось три сюжета задач на применение законов сохранения

в механике: разрыв снаряда и изменение кинетической энергии осколков за счёт энергии взрыва; пуля попадает в шар, висящий на нити, застревает в нём, и шар совершает полный оборот; движение тела по гладкой сфере после попадания в него пули. В этих задачах в обосновании также необходимо было указать на выбор инерциальной системы отсчёта и использование модели материальной точки. Самым сложным для участников экзамена оказалось обоснование использования законов сохранения в механике. В задаче из примера для закона сохранения импульса необходимо было записать, что он выполняется в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны. Для закона сохранения энергии он выполняется, поскольку полусфера гладкая и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела). С таким обоснованием справилось 3,8 % участников экзамена, в среднем для этих задач по критерию 1 получили максимальный балл всего 5,5 % экзаменуемых.

Что касается математического решения задач линии 30, то здесь средний процент выполнения составил 16,3; наиболее успешно выполнены задания на движение связанных тел (одно тело вертикально, а связанное с ним через блок — по горизонтальной поверхности) — 24 %, а самой сложной оказалась задача из примера, приведённого выше, — 5,3 %.

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



Рис. 3

На рисунке 3 представлена диаграмма, демонстрирующая распределение по группам подготовки в 2022 г.

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

Участники из группы 1 по уровню подготовки получили по итогам выполнения экзаменационной работы от 0 до 9 первичных баллов. Численность группы составляет 5,8 % от общего числа участников экзамена. Средний процент выполнения заданий базового уровня составил для этой группы 21,4; заданий повышенного уровня — 11. Группа участников экзамена, не достигшая минимальной границы, не продемонстрировала освоения каких-либо элементов содержания и овладения какими-либо проверяемыми умениями. Более успешно выполняются задания базового уровня на применение формул при простейших расчётах: для кинетической энергии тела, условия равновесия рычага, относительной влажности воздуха, силы Ампера. Ниже приведён пример задания, с которым справилась половина выпускников из данной группы.

Пример 24

Относительная влажность воздуха уменьшилась с 45 до 15 % при неизменной температуре. Во сколько раз уменьшилась при этом концентрация водяных паров в воздухе?

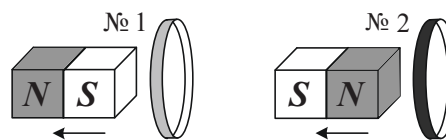
Ответ: в _____ 3 _____ раз(а).

Группа 2 самая многочисленная и составляет 67,3 % от общего числа участников. К этой группе относятся участники

экзамена, получившие в первичных баллах от 10 до 32 баллов. Результаты выполнения группы заданий базового уровня составили в среднем 67,3 %; для заданий повышенного уровня этот показатель — 34,1 %; для заданий высокого уровня сложности — 3,9 %. Данная группа в целом демонстрирует освоение содержания курса физики средней школы на базовом уровне сложности. Ниже приведено задание повышенного уровня сложности, результаты выполнения которого для данной группы составляют 62 %.

Пример 25

От деревянного кольца № 1 отодвигают южный полюс полосового магнита, а от медного кольца № 2 — северный полюс такого же магнита (см. рисунок).



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно наблюдаемых явлений.

- 1) В кольце № 1 возникает индукционный ток.
- 2) В кольце № 2 индукционный ток не возникает.
- 3) Кольцо № 1 не взаимодействует с магнитом.
- 4) Кольцо № 2 притягивается к магниту.
- 5) В кольце № 1 возникает ЭДС электромагнитной индукции.

Для заданий базового уровня отмечены дефициты: при воспроизведении основных

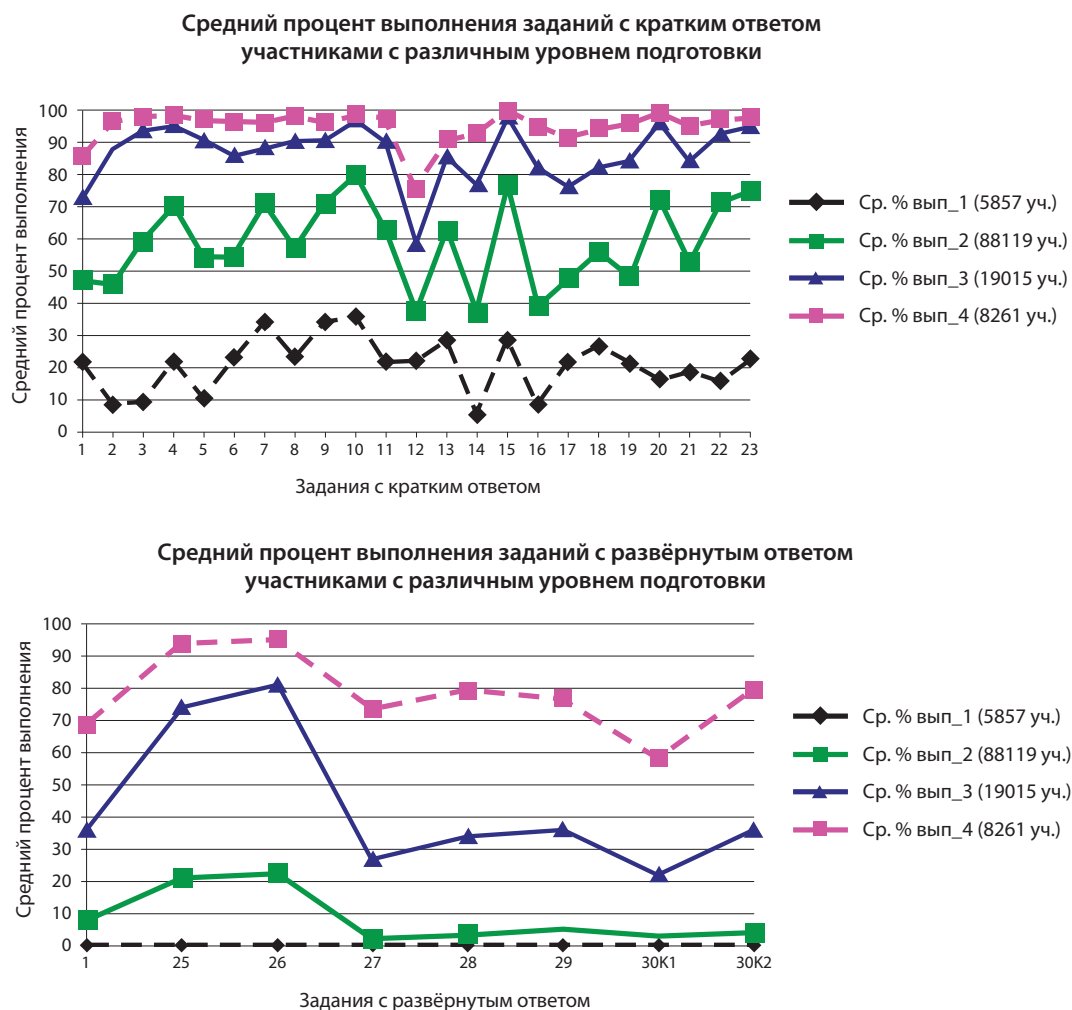


Рис. 4

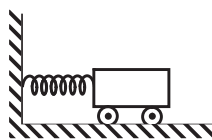
теоретических сведений по всем разделам курса физики; при определении значения физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: потенциальная энергия упруго деформированной пружины, период изменения энергии при механических колебаниях, давление твёрдого тела, общее сопротивление участка со смешанным сопротивлением проводников, закон Ома для участка цепи (расчёт цепей постоянного тока), зависимость энергии магнитного поля катушки с током от начального заряда конденсатора в колебательном контуре; при определении состава атома, атомного ядра и массового и зарядового числа ядер в ядерных реакциях; при анализе изменения характера физических величин для движения заряженной частицы в магнитном поле. Основным дефицитом для данной группы

является решение задач: для задач повышенного уровня сложности средний процент выполнения составляет всего 16.

Группу 3 составляют 18,8 % участников экзамена, к ней относятся выпускники, набравшие от 33 до 43 первичных баллов. Для данной группы характерно освоение содержания курса физики как на базовом, так и на повышенном уровнях сложности. Средний результат выполнения заданий базового уровня составляет 88,8 %; повышенного уровня — 71,5 %; высокого уровня — 33,6 %. От предыдущей группы эту группу отличает успешное выполнение всех линий заданий повышенного уровня. Для части 2 работы отмечены высокие результаты решения расчётных задач повышенного уровня сложности (77 %). Ниже приведён пример задачи, с которой справляется две трети участников из этой группы (пример 26).

Пример 26.

Тележка массой 0,5 кг, прикреплённая к горизонтальной пружине жёсткостью 200 Н/м, совершает свободные гармонические колебания (см. рисунок). Максимальная скорость тележки равна 3 м/с. Какова амплитуда колебаний тележки? Массой колёс пренебречь.

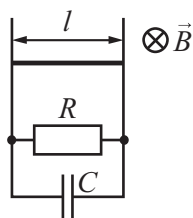


Данная группа не освоила решение качественных задач повышенного уровня сложности и расчётных задач высокого уровня сложности. Как правило, более успешно решаются задачи с известными физическими моделями, не требующими построения собственного алгоритма действий.

Выпускники из группы 4 получили по результатам выполнения экзаменационной работы от 44 до 54 первичных баллов. Данная группа, к которой относится 8,2 % участников экзамена, демонстрирует освоение всех проверяемых предметных результатов и всех элементов содержания. Средний результат выполнения заданий базового уровня составляет 95,9 %; повышенного уровня — 88,3 %; высокого уровня — 77,5 %. Ниже приведён пример расчётной задачи высокого уровня сложности, с которой справляется 86 % выпускников из данной группы.

Пример 27

Горизонтальный проводник длиной $l = 10$ см и массой $m = 25$ г равномерно скользит вниз (без трения и без потери контакта) по двум вертикальным шинам в однородном горизонтальном магнитном поле, перпендикулярном проводнику, с индукцией $B = 0,5$ Тл. Внизу шины замкнуты резистором. Параллельно резистору подключён конденсатор ёмкостью $C = 20$ мкФ (см. рисунок). Определите сопротивление резистора, если заряд конденсатора $q = 1$ мкКл. Сопротивлением проводника и шин пренебречь.



Дополнительно к предыдущей группе освоены умения решать различные качественные задачи, выстраивая рассуждения с опорой на изученные законы и свойства физических явлений, и решать расчётные

задачи высокого уровня сложности по всем разделам школьного курса физики.

Результаты менее 90 % достигнуты среди заданий базового уровня для линии 1 на проверку освоения теоретических положений по всем разделам курса физики и для линии 12 практико-ориентированного характера на анализ изменения величин в тепловых процессах. Среди заданий высокого уровня сложности наиболее сложным оказалось обоснование физической модели в линии расчётных задач линии 30 по механике.

Представленный выше анализ результатов выполнения заданий КИМ ЕГЭ по физике показывает как успехи в овладении нашими выпускниками предметных результатов обучения, так и дефициты по отдельным умениям и элементам содержания. Знакомство с данными методическими рекомендациями и разбор содержания заданий и типичных ошибок, допускаемых выпускниками при их выполнении, позволяют эффективно корректировать индивидуальные методические системы, совершенствовать отбор дидактических материалов и выбирать эффективные методические приёмы работы с обучающимися в зависимости от демонстрируемого ими уровня подготовки.

Следует отметить, что поскольку в КИМ ЕГЭ текущего года не используются задания предыдущего года, то формирование экзаменационных вариантов в рамках использования старых заданий получается сходным по чётным и нечётным годам. В этом году можно увидеть, что фиксируются зачастую те же проблемы, что и в позапрошлом году.

Так, например, есть проблемы слабой группы выпускников, связанные с низким уровнем математической подготовки. Здесь необходимо обратить внимание на использование кратных и дольных единиц, перевод значений величин в СИ и расчёты с использованием стандартного вида числа. Можно порекомендовать использовать для учащихся с недостаточной математической подготовкой пошаговые дидактические материалы, в которых для аналогичных с точки зрения физики заданий постепенно нарастает математическая сложность.

Ещё одна проблема выпускников, относящихся к группам 1 и 2 по уровню подготовки, которая фиксировалась и прежде, но очень явно проявилась с введением

в КИМ интегрированных заданий, проверяющих базовые теоретические сведения, — недостаточно прочные теоретические знания. В процессе изучения нового материала целесообразно шире использовать устные ответы учащихся, обращать внимание на формулировки законов, понимание основных свойств изучаемых явлений и процессов. При обобщающем повторении помогут краткие конспекты, в которых необходимо обобщать и систематизировать не только основные законы и формулы, но и модели и свойства изучаемых процессов. (Таким образом, чтобы при повторении, например, закона преломления света учащиеся вспоминали не только формулу, но и то, что частота электромагнитной волны остаётся неизменной, а скорость и длина волны изменяются при переходе из одной среды в другую.) Кроме того, целесообразно включать задания, аналогичные линии 1, в тематические контрольные работы.

Остановимся на необходимости более пристального внимания к формированию метапредметных результатов обучения на уроках физики. В первую очередь это касается работы с графической информацией. В курсе физики можно выделить задания, которые формируют (и при необходимости оценивают) различные умения по работе с графиками:

- распознавание вида графика для заданной зависимости, которое формируется прежде всего в процессе самостоятельного построения графиков при изучении различных процессов;
- использование значений величин, отбрасываемых на графике, при выполнении расчётов, которое формируется в процессе решения разнообразных расчётных задач различного уровня сложности;
- понимание физического смысла коэффициентов для линейных функций и его расчёт для различных зависимостей физических величин;
- понимание геометрического смысла производной и определение физических величин через площадь под графиками функций;
- интерпретация физического смысла физических процессов, представленных в виде графиков.

Использование такой классификации умений по работе с графиками позволит

оптимизировать подбор дидактических материалов с учётом обеспечения полноты формирования спектра умений.

Крайне важным метапредметным результатом, для которого также фиксируется дефицит при решении качественных задач, является формирование связной письменной речи обучающихся на уроках физики. Если для расчётных задач решение представляет собой описание физической модели в виде системы уравнений и математические преобразования и вычисления, то для качественных задач ответ — это связный текст-рассуждение со ссылками на изученные свойства явлений, законы и формулы. Связный текст при решении качественных задач (как и при воспроизведении теоретических сведений) может содержать формулы, математические операторы, обозначающие логические связи между утверждениями, рисунки, поясняющие протекание процессов, и т. п. Типичными затруднениями здесь являются: ограниченность речевых конструкций, отражающих причинно-следственные связи; затруднения при аргументации; логические повторы (начало и конец рассуждений соответствуют одному и тому же тезису, соответственно, повторяется один и тот же аргумент); избыточность словесных комментариев (многословие); орфографические ошибки в написании физических терминов.

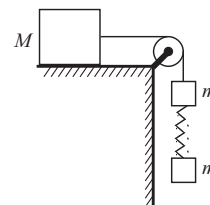
Формирование письменной речи должно быть связано с систематическим использованием в практике преподавания предмета заданий с развёрнутым ответом, формирующих коммуникативную компетентность, с акцентом на обучение таким типам речи, как описание и рассуждение. К таким заданиям можно отнести не только всю совокупность качественных задач, которые необходимо широко использовать на всех этапах обучения, но и письменную проверку теоретического материала, написание рецензий на работу других учащихся, написание эссе на различные темы, связанные с современными проблемами использования физических знаний, и т. д.

В связи с низкими результатами выполнения заданий линии 30, требующих обоснования физической модели, остановимся на примерах написания обоснований сначала для задач разных типов: на связанные

тела, на применение законов сохранения в механике и для задач по статике, которые будут введены в КИМ ЕГЭ в следующем году.

Пример 28

Груз массой $M = 800$ г соединён невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок, с бруском массой $m = 400$ г. К этому бруску на лёгкой пружине жёсткостью $k = 80$ Н/м подвешен второй такой же брусок. Длина нерастянутой пружины $l = 10$ см, коэффициент трения груза о поверхность стола $\mu = 0,2$.



Определите длину пружины при движении брусков, считая, что при этом движении она постоянна.

Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

В этом случае обязательными элементами обоснования являются следующие:

- инерциальная система отсчёта;
- модель материальной точки;
- условия равенства сил натяжения нитей и равенства упругих сил;
- равенства ускорений тел;
- рисунок с указанием сил, действующих на тела.

Обоснование

1. Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной с поверхностью стола.

2. Будем применять для грузов и бруска законы Ньютона, справедливые для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно.

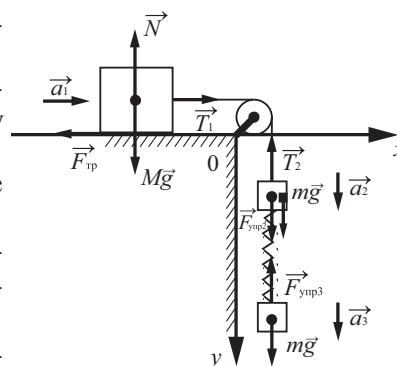
3. Трением в оси блока и трением о воздух, а также массой блока пренебрежём.

4. Так как нить нерастяжима и длина пружины постоянна, ускорения обоих брусков и груза равны по модулю: $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}_3| = a$.

5. На рисунке показаны силы, действующие на бруски и груз.

6. Так как блок и нити невесомы, а трение отсутствует, то модули сил натяжения нити, действующих на груз и верхний брусок, одинаковы: $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$.

7. Равны по модулю и силы $|\vec{F}_{\text{упр}2}| = |\vec{F}_{\text{упр}3}|$, так как пружина лёгкая.



Пример 29

Небольшое тело массой $M = 0,99$ кг лежит на вершине гладкой полусферы радиусом $R = 1$ м. В тело попадает пуля массой $m = 0,01$ кг, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 200$ м/с, и застревает в нём. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите высоту h , на которой это тело оторвётся от поверхности полусферы. Высота отсчитывается от основания полусферы. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

В этой задаче выделяется три процесса: неупругое взаимодействие пули и тела, движение тела по полусфере без трения и отрыв тела от сферы. Соответственно, в обосновании должны быть описаны условия применимости законов для всех трёх этапов:

- инерциальная система отсчёта;
- модель материальной точки;
- условие применимости закона сохранения импульса (в данном случае его выполнение в проекции на горизонтальную ось);

- условие применимости закона сохранения энергии при движении тела по полусфере;

- условие отрыва тела от поверхности полусферы.

Рисунок с указанием сил в задаче не требуется, но он помогает здесь и для обоснования, и для решения.

Обоснование

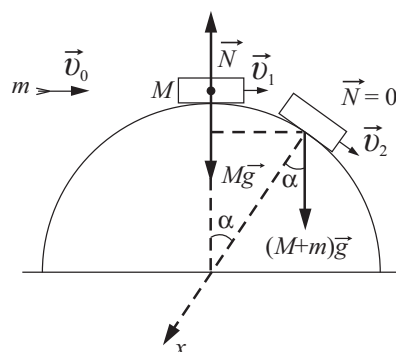
1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.

2. При соударении для системы «пуля — тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.

3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая, и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).

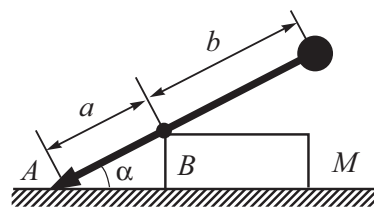
4. В момент отрыва обращается в нуль сила реакции опоры $\vec{N}$.

5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.



Пример 30

Лёгкий стержень AC прикреплен нижним концом к шарниру, относительно которого он может поворачиваться без трения. На верхнем конце стержня закреплён маленький шарик массой $m = 1$ кг. В точке B стержень опирается на середину ребра однородного бруска массой $M = 4$ кг, который имеет форму прямоугольного параллелепипеда и лежит на горизонтальной плоскости (см. рисунок). Стержень образует угол α ($\operatorname{tg} \alpha = 0,75$) с горизонтальной плоскостью и перпендикулярен ребру бруска, на которое он опирается. Трение между стержнем и ребром бруска отсутствует, коэффициент трения между бруском и горизонтальной плоскостью равен μ . $AB = a = 0,2$ м, $DC = b = 0,3$ м.



Покажите на рисунке силы, действующие на брусок и стержень с шариком.

Найдите минимальное значение μ , при котором система тел остаётся неподвижной.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Обязательными элементами обоснования являются следующие:

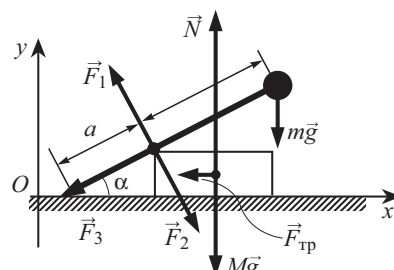
- инерциальная система отсчёта;
- модель твёрдого тела;
- модель материальной точки для бруска;
- применение условия для моментов сил относительно вращения;
- применение векторной суммы сил для поступательного движения;
- рисунок с указанием сил, действующих на тела.

Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной (ИСО).

2. Стержень с шариком будем считать твёрдым телом с осью вращения, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку A .

3. Условие равновесия относительно вращения твёрдого тела на оси — равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно этой оси.



4. Стержень лёгкий, поэтому его массу считаем равной нулю.

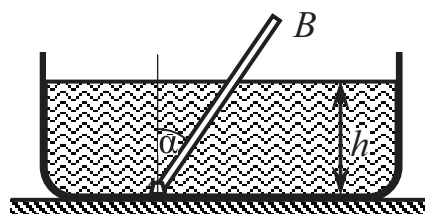
5. В условиях данной задачи брусок может двигаться только поступательно вдоль горизонтальной оси Ox , лежащей в плоскости рисунка. В этом случае для бруска используем модель материальной точки и применяем второй закон Ньютона. Вследствие этого условие равновесия — сумма приложенных к бруску сил равна нулю.

6. Стержень и брусок в точке их соприкосновения друг с другом действуют друг на друга по третьему закону Ньютона силами, равными по модулю и направленными перпендикулярно как стержню, так и ребру бруска, так как трения между ними нет.

Обращаем внимание на то, что в аналогичных случаях отсутствие на рисунке силы, действующей на стержень со стороны шарнира, или её неверное направление не влияет на оценку.

Пример 31

На дне кастрюли с водой неподвижно закреплён шарнир малых размеров. К шарниру прикреплён нижним концом тонкий однородный стержень AB постоянного поперечного сечения $S = 0,25 \text{ см}^2$. Он может без трения поворачиваться на шарнире в плоскости рисунка. Толщина слоя воды в кастрюле $h = 10 \text{ см}$. В равновесии стержень образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$. Плотность воды $\rho_0 = 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность материала стержня $\rho_0 = 600 \text{ кг/м}^3$.



Найдите величину и направление силы $\vec{F}_3$, с которой стержень в равновесии действует на шарнир.

Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на стержень AB .

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Обязательными элементами обоснования являются следующие:

- инерциальная система отсчёта;
- модель твёрдого тела;
- применение условия для моментов сил относительно вращения;
- рисунок с указанием сил, действующих на тела;
- направление силы $\vec{N}$ и взаимосвязь $\vec{F}$ и $\vec{N}$.

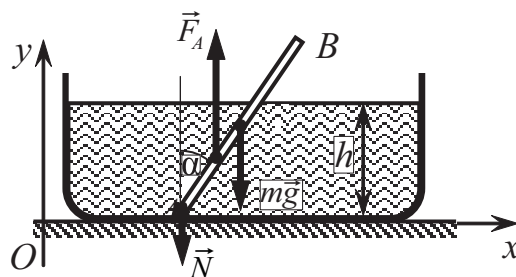
Обоснование

1. Выберем систему отсчёта, неподвижно связанную с Землёй, и будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).

2. Стержень будем считать твёрдым телом с осью вращения, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку A . Условие равновесия твёрдого тела относительно вращательного движения — равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно этой оси. Условие равновесия относительно поступательного движения — равенство нулю суммы сил, приложенных к телу.

3. На стержень действует три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила Архимеда $\vec{F}_A$ и сила реакции шарнира $\vec{N}$. Силы $m\vec{g}$ и $\vec{F}_A$ направлены вертикально, поэтому из пункта 2 следует, что и сила $\vec{N}$ направлена вертикально.

4. Силы $\vec{F}$ и $\vec{N}$ связаны третьим законом Ньютона: $\vec{F} = -\vec{N}$, поэтому сила $\vec{F}$ тоже направлена по вертикали.



Надеемся, что эти примеры позволят лучше осознать требования к написанию обоснований в задачах по механике.

В 2023 г. не планируется существенных изменений структуры и содержания КИМ ЕГЭ по физике.

В структуре части 1 работы останется тот же набор заданий. Но задания интегрированного характера на множественный выбор, проверяющие понимание основных теоретических положений из всех разделов курса физики, и на установление соответствия, проверяющие понимание графических закономерностей, будут перенесены из начала части 1 на позиции 20 и 21 перед заданиями на методологические умения. Практика их применения показала, что задания, требующие применения знаний сразу из всех разделов курса физики лучше выполнять после тематических блоков части 1 работы. Содержание этих линий заданий и уровень сложности не изменятся.

Немного изменится распределение контролируемых элементов содержания по линиям заданий с кратким ответом в виде числа. Так, в линии 1 будут проверяться элементы кинематики, преимущественно определение параметров по графикам зависимости координаты от времени и скорости от времени при равномерном и равноускоренном движении, а также формулы для равномерного движения тела по окружности. Задания линии 2 будут включать в себя все основные содержательные элементы динамики: законы Ньютона и силы в природе (сила тяжести, сила упругости, сила трения, закон всемирного тяготения). В заданиях линии 3 будет объединён материал по темам «Законы сохранения в механике», «Элементы статики» и «Механические колебания и волны». В силу большой насыщенности будут выбраны элементы, наиболее значимые с точки зрения освоения курса физики. Элементы содержания

молекулярно-кинетической теории будут распределяться между заданиями линий 7 и 8: в линии 7 — основное уравнение МКТ, средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа, уравнение Менделеева — Клапейрона и изопроцессы в газе; в линии 8 — насыщенные и ненасыщенные пары, относительная влажность воздуха. А элементы термодинамики будут распределяться между заданиями линий 8 и 9: в линии 8 — внутренняя энергия и расчёт количества теплоты при изменении температуры вещества или изменении агрегатных состояний вещества; в линии 9 — работа в термодинамике, первый закон термодинамики, КПД тепловых машин.

Структура части 2 экзаменационной работы также останется без изменений. Качественные задачи (линия 24) могут базироваться на материале любого из разделов курса физики. В линии 25, как и в прошлом году, будут преимущественно задачи по механике повышенного уровня сложности или задания на уравнение теплового баланса, если механика будет задействована в этой серии вариантов в качественной задаче. На позиции 26 будут преимущественно задачи по оптике (на формулу линзы и дифракционную решётку), если элементы оптики в какой-либо серии вариантов не будут востребованы в качественной задаче на линии 24.

Далее идут расчётные задачи высокого уровня сложности: линия 27 — по молекулярной физике, линия 28 — по электродинамике, линия 29 — преимущественно по квантовой физике. На позиции 30 остаются расчётные задачи по механике, в которых необходимо привести обоснование физической модели. Для этих задач расширяется тематика. Кроме задач по динамике и законам сохранения в механике, будут включены и задачи по статике.

Подписано в печать 12.12.2022. Формат 60×90/8
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печл. 22,75. Усл.-печл. 22,75.
Тираж 1000 экз. Заказ № 22С18

Учредитель ООО «НИИ школьных технологий».
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №77-15870 от 07.07.2003 г.
Издатель: ИД «Народное образование»
109341, Москва, ул. Люблинская, д. 157, корп. 2
Тел.: (495) 345-52-00
E-mail: narob@yandex.ru
Распространение: no.podpiska@yandex.ru