



ГОТОВИМСЯ К ЕГЭ

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ЗАДАНИЙ С РАЗВЕРНУТЫМ ОТВЕТОМ В ЕГЭ ПО ФИЗИКЕ В 2018 ГОДУ

А.И. Гиголо , к.т.н., доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), член федеральной комиссии разработчиков КИМ ЕГЭ по физике, Москва	A.I. Gigolo , PhD (Technics), Associate professor, Moscow Aviation Institute, a member of the Federal Commission developers CMM unified state examination on physics, Moscow
Ключевые слова: ЕГЭ по физике, контрольные измерительные материалы, задания с развернутым ответом, обобщенная схема оценивания	Keywords: the exam in physics, test materials, tasks with detailed answer, a General scheme of evaluation
В статье изложены особенности оценивания заданий с развернутым ответом в ЕГЭ по физике в 2018 году, приведены и разобраны обобщенные критерии оценивания. На примерах работ школьников показаны основные этапы проверки, проиллюстрированы типичные ошибки, показаны особенности представления решений задач	The article describes the features of assessment tasks with detailed answers of the exam in physics in 2018, given the parsed and aggregated evaluation criteria. For measures of student's works show the basic stages of verification is illustrated a typical error that shows the features of the representation of solutions

Контрольные измерительные материалы единого государственного экзамена (КИМ ЕГЭ) по физике включают задания с кратким ответом в первой части работы и задания с развернутым ответом во второй части. Блок задач с развернутым ответом в КИМах ЕГЭ по физике составляет существенную часть первичных баллов — 15 из 52 баллов, поэтому без успешного выполнения этих заданий выпускнику невозможно получить достойный результат для дальнейшего поступления в ВУЗы.

Концепция конструирования КИМ ЕГЭ по физике обеспечивает единство требований к знаниям и умениям выпускников общеобразовательных организаций и позволяет эффективно дифференцировать абитуриентов в соответствии с уровнем их подготовки по физике. Экзаменационная работа призвана всесторонне оценить как усвоение выпускниками основных содержательных линий всех разделов школьного курса физики, так и сформированность наиболее важных предметных умений.

Часть 2 работы посвящена решению задач. Это традиционно наиболее значимый результат освоения курса физики средней школы и наиболее востребованная деятельность при дальнейшем изучении предмета в вузе. В этой части восемь различных задач: 3 расчетных задачи повышенного уровня сложности с самостоятельной записью числового ответа и 5 задач с развернутым ответом, из которых одна качественная и четыре — расчетные.

По содержанию задачи распределяются по разделам следующим образом: 2 задачи по механике, 2 задачи по молекулярной физике и термодинамике, 3 задачи по электродинамике и 1 задача по квантовой физике.

С точки зрения содержания задачи подбираются таким образом, чтобы охватывать различные темы курса. Не допускается использование в двух различных задачах одинаковых

и не слишком значимых содержательных элементов, но при этом применение фундаментальных законов сохранения предполагается не менее чем в двух-трех задачах. Сложность задач определяется как характером деятельности, так и контекстом. В первом случае можно выделить три группы заданий по деятельности:

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

Что касается контекста, то здесь используются:

- типовые учебные ситуации, с которыми учащиеся встречались в процессе обучения и в которых используются явно заданные физические модели;
- измененные ситуации, в которых, например, необходимо оперировать большим, чем в типовых задачах, числом законов и формул, вводить дополнительные обоснования в решении и т.п.;
- новые ситуации, которые не встречались ранее в учебной литературе и предполагают серьезную деятельность по анализу физических процессов и самостоятельному выбору физической модели для решения задачи.

Любая расчетная задача по физике требует анализа условия, выбора физической модели, проведения математических преобразований, расчетов и анализа полученного ответа. Для оценивания заданий высокого уровня сложности необходим анализ всех этапов решения, поэтому здесь предлагаются задания с развернутым ответом. Однако для задач, использующих типовые учебные ситуации, в большинстве случаев можно ограничиться лишь анализом полученного ответа. Как правило, по ошибке в ответе можно с достаточной степенью вероятности судить и о тех недостатках, которые были допущены учеником в ходе решения задачи. Такие задачи в измерительных материалах предлагаются в виде заданий с кратким ответом.

Одно из заданий с развернутым ответом — качественная задача, в которой решение представляет собой логически выстроенное объяснение с опорой на физические законы и закономерности.

Задания с развернутым ответом оцениваются двумя экспертами с учетом правильности и полноты ответа. В экзаменационных материалах по физике используется две обобщенные системы оценивания заданий с развернутым ответом: для оценивания качественных задач и для оценивания расчетных задач. В экзаменационном варианте перед каждым типом задания предлагается инструкция, в которой приведены общие требования к оформлению ответов. В критериях оценивания экзаменационного варианта к каждому заданию приводится подробная инструкция для экспертов, в которой указывается, за что выставляется каждый балл.

Задания экзаменационной работы по физике, требующие развернутого ответа, оцениваются по полнотомической шкале от 0 до 3 баллов в соответствии с полнотой и правильностью решения. При подготовке учащихся к ЕГЭ важно учитывать особенности проверки этих заданий, учитывать те требования, которые предъявляются к представлению решения.

Как было сказано выше, экзаменационный вариант ЕГЭ по физике включает два типа заданий с развернутым ответом: качественные задачи (28) и расчетные задачи (29–32), к которым предлагаются две различные обобщенные схемы оценивания.

В материалах для экспертов ЕГЭ по физике для каждого задания приводится авторский способ решения. Предлагаемый разработчиками КИМ способ (метод) решения не является определяющим для построения шкалы оценивания работ учащихся. Не является он и образцом решения, оцениваемого в три балла. Он лишь помогает эксперту в решении соответствующего задания.

Эксперту предлагается схема оценивания, которая может применяться при рассмотрении альтернативного авторскому решению. Выполнение заданий оценивается на основании описания полного правильного ответа, за который выставляется максимальный балл, а наличие тех или иных недостатков или ошибок приводит к снижению оценки. В схеме оценивания учтены наиболее типичные ошибки или недочеты, допускаемые учащимися, и определено их влияние на оценивание. Рассмотрим, как строятся обобщенные схемы оценивания и как по этим схемам проверяются работы участников экзамена.

Оценивания качественных задач

Качественные задачи (№ 28) предполагают решение, состоящее из ответа на вопрос и объяснения с опорой на изученные физические закономерности или явления. Требования к полноте ответа приводятся в самом тексте задания. Как правило, все задания содержат:

А) требование к формулировке ответа — «Как изменится... (показание прибора, физическая величина)», «Опишите движение...», «Постройте график...», «Сделайте рисунок...», «Определите значение (например, по графику)» и т.п.

Б) требование привести развернутый ответ с обоснованием — «Объясните..., указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано» или «Поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения».

Обобщенная схема оценивания строится на основании трех элементов решения:

- 1) формулировка ответа;
- 2) объяснение;
- 3) прямые указания на физические явления и законы.

Как правило, в авторском решении правильный ответ и объяснение выделяются отдельными пунктами. В критериях оценивания приводится перечень явлений и законов, на основании которых строится объяснение.

Обобщенная схема, используемая при оценивании качественных задач, приведена ниже.

Обобщенная схема оценивания

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>формулируется ответ</i>) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>перечисляются явления и законы</i>)	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.) И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочет. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачеркнуты, не заключены в скобки, рамку и т.п.). И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения	2

<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нем не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки. ИЛИ Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0

Среди качественных задач встречаются задания с дополнительными условиями. Например, дополнительно к объяснению предлагается изобразить схему электрической цепи или сделать рисунок с ходом лучей в оптической системе. В этом случае в описание полного правильного решения вводится еще один пункт (верный рисунок или схема). Отсутствие рисунка (или схемы) или наличие ошибки в них приводит к снижению оценки на 1 балл. С другой стороны, наличие правильного рисунка (схемы) при отсутствии других элементов ответа дает возможность учащемуся получить 1 балл.

На примере одной из качественных задач поясним, как работает эта обобщенная схема в процессе оценивания работ экспертами.

Пример задания 1

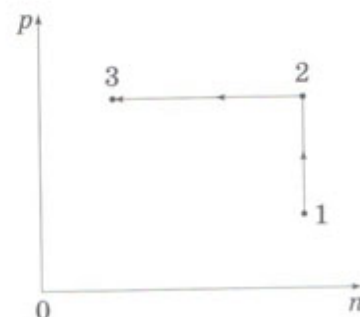
Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, график которого изображен на рисунке в координатах $p - n$, где p — давление газа, n — его концентрация. Определите, получает газ теплоту или отдает в процессах 1–2 и 2–3. Ответ поясните, опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики.

Возможное решение

1. По первому закону термодинамики количество теплоты, которое газ получает, равно сумме изменения его внутренней энергии ΔU и работы газа A : $Q = \Delta U + A$. Концентрация газа $n = \frac{N}{V}$, где N — число молекул газа, V — его объем. Для идеального одноатомного газа внутренняя энергия $U = \frac{2}{3} \nu RT$ (где ν — количество моль газа). По условию задачи $N = \text{const}$.

2. Так как на участке 1–2 концентрация газа не изменяется, его объем постоянен (изохорный процесс), значит, работа газа $A = 0$. В этом процессе давление газа растет, согласно закону Шарля температура газа также растет, т.е. его внутренняя энергия увеличивается: $\Delta U > 0$. Значит, $Q > 0$, и газ получает тепло.

3. На участке 2–3 концентрация газа уменьшается, значит, его объем увеличивается, и работа газа положительна: $A > 0$. Давление газа постоянно (изобарный процесс), по закону



Гей-Люссака температура газа также увеличивается. Поэтому $\Delta U > 0$. По первому закону термодинамики $Q > 0$. В этом процессе газ получает тепло.

В полном правильном ответе должен быть сформулирован ответ ($Q_{12} < 0$; $Q_{23} < 0$), приведены исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (формула для внутренней энергии одноатомного идеального газа, первый закон термодинамики, изопроцессы).

Ниже приведены примеры работ выпускников, иллюстрирующих работу обобщенных критериев.

Работа 1.1

(№ 28)

$n = \frac{N}{V}$, где N - кол-во молекул газа в объёме V . По уравн. Клапейрона - Менделеева $pV = NkT$; $N = nV \Rightarrow \Rightarrow pV = nVkT$ или $p = nkT$.

На рисунке в процессе 1-2 газ увеличивает давление при неизменной концентрации, это значит, что температура увеличивается пропорционально давлению. Имеем: $Q = A + \Delta U$, где

A - работа газа, а ΔU - изменение внутр энергии. В случае 1-2 внутр. энергия газа будет изменяться пропорционально изменению температуры, т.е. в случае 1-2 $\Delta U > 0$. Работа газа

зависит от давления и изменения объёма $V = \frac{N}{n}$, т.к. по условию $N = \text{const}$, то в процессе 1-2 $V = \frac{N}{n} = \text{const} \Rightarrow \Delta V = 0 \Rightarrow A = 0$.

Т.о. в процессе 1-2 газ будет получать тепло т.к. $Q = \Delta U > 0$.

В процессе 2-3 при неизменном давлении газ уменьшает концентрацию, по ф-ле $p = nkT$ соответственно должна увеличиваться температура, след-но $\Delta U > 0$, с другой стороны

$V = \frac{N}{n}$, $N = \text{const}$, соответственно при уменьшении n объём также должен увеличиваться, т.е. $\Delta V > 0 \Rightarrow A = p\Delta V > 0$, откуда $Q = A + \Delta U > 0$, т.е. газ в процессе 2-3 тоже получает тепло.

Ответ: в процессах 1-2 и 2-3 газ получает тепло

Полностью верное обоснованное решение, оценка — 3 балла.

Работа 1.2

2р. 1) $p = nkT$, где n - концентрация, T - температура.
 В процессе 1-2 p увеличивается, а n неизменно, т.е. увеличивается T : идет нагрев, и тепло подводится.
 $\Delta V = 0$, т.к. $\Delta n = 0$
 2) $pV = \nu RT$ - ν - количество газа, V - объем ($n = \frac{1}{V}$). В процессе 2-3 p неизменно при постоянной n . Так как неизменно и кол-во, получаем $\Delta n < 0 \Rightarrow \Delta V > 0$ и $\frac{V}{T} = \text{const}$, изобарное расширение. Тепло также подводится и отдается как на увеличение объема, так и на нагрев ($Q = A + \Delta U$)

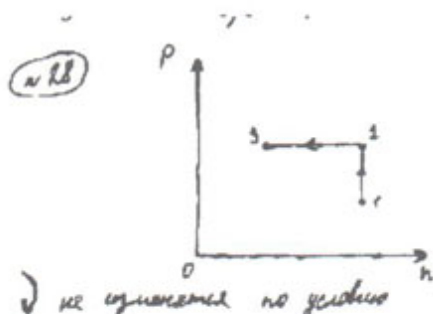
Получен обоснованный правильный ответ, однако, в решении пропущены рассуждения о работе газа во втором процессе, необходимые для полного верного объяснения. Ошибка в формуле концентрации в данном случае может быть отнесена к неверным лишним записям. Поскольку данные недостатки не суммируются, решение оценено в 2 балла.

Работа 1.3

2р.
 $p = nkT$ $pV = \nu RT$
 $n = \frac{N}{V}$
 $\nu = \frac{N}{N_A}$
 $\nu = \frac{N}{N_A} \Rightarrow \frac{pN_A}{N} = \nu RT$
 1-2 n - const $p \uparrow$
 $\frac{pN_A}{N} = RT$; $p \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow$ из нагрев $Q > 0$
 В процессе 1-2.
 2-3 p - const $n \downarrow$
 $\frac{pN_A}{N} = RT$; $n \downarrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow$ из нагрев $Q > 0$
 В процессе 2-3. Общее: 1-2 нагрев $Q > 0$; 2-3 нагрев $Q > 0$

Вывод о количестве теплоты сделан без ссылки на 1-й закон термодинамики. В данном случае не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения, так как в изотермическом и изобарном процессах рассуждения о знаке количества теплоты принципиально различны. Оценка - 1 балл.

Работа 1.4



I. процесс 1-2: n ~~увеличивается~~; p ~~увеличивается~~
 $p = nkT$ - формула зависимости давления от t° и концентрации
 $T = \frac{p}{nk} \Rightarrow T$ ~~увеличивается~~.

$\Delta U = Q + A$, работа не совершается $\Rightarrow \Delta U = Q$

$Q = cM\Delta T$ T ~~увеличивается~~, $\Rightarrow Q$ ~~увеличивается~~, $\Rightarrow \Delta U \uparrow$

\Rightarrow газ получил теплоту, совершил работу внутрь.

II. процесс 2-3: p не изменяется, n увеличивается

$T = \frac{p}{nk} \Rightarrow T \uparrow$ (увеличивается) $\Rightarrow \Delta U \uparrow \Rightarrow$ газ отдал теплоту.

Альтернативное решение с использованием основного уравнения молекулярной теории, но также не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения, формулы внутренней энергии и теплоемкости. В результате — 1 балл.

Работа 1.5

б) в)

1-ый закон термодинамики:

$$\Delta U = A + Q$$

Объем газа V зависит прямо пропорционально от его концентрации n .

В процессе 1-2 n не меняется $\Rightarrow V$ тоже не меняется $\Rightarrow \Delta V = 0 \Rightarrow A = p\Delta V$

$$A = 0 \Rightarrow \Delta U = Q.$$

$\Delta U = \frac{3}{2} DR\Delta T$. $V = \text{const} \Rightarrow$ это изохорный процесс. По графику видно, что p увеличивается $\Rightarrow T$ тоже будет увеличиваться \Rightarrow внутренняя энергия ΔU тоже увеличивается, а значит газ получает тепло.

Процесс 2-3 — изобарный, так как $p = \text{const}$. По графику, $\Delta V < 0 \Rightarrow A < 0$.

При уменьшении V , уменьшается так же и $T \Rightarrow \Delta U < 0 \Rightarrow Q < 0 \Rightarrow$ газ отдает тепло.

Ответ: в процессе 1-2 газ получает тепло, в процессе 2-3 — отдает.

В объяснении допущена ошибка, во втором процессе неверно определен знак количества теплоты. Данное решение также оценивается в 1 балл.

Работа 1.6

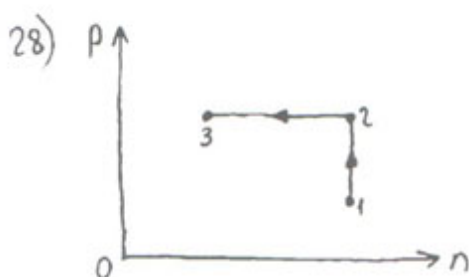
$$28. \quad PV = \nu RT ; \Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T ; Q = \Delta U + A$$

Процесс 1-2: $P \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow \Delta U \uparrow \Rightarrow Q \uparrow \Rightarrow$ газ получает тепло.

Процесс 2-3: $n \uparrow$ но $P = \text{const} \Rightarrow V \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow \Delta U \uparrow \Rightarrow Q \uparrow \Rightarrow$
 \Rightarrow газ получает тепло.

В приведенном решении формула внутренней энергии приведена с ошибкой, нет формулы концентрации, ошибочно определено изменение концентрации, но **имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи**. По последнему критерию данное решение оценивается **1 баллом**.

Работа 1.7



1) ~~газ~~ в процессе (1-2) газ ^{получает} тепло, т.к. увеличивается давление, а объем уменьшается, концентрация остается неизменной
 $\Delta Q = \frac{3}{2} \nu R T \Delta Q = \nu R T ; \Delta Q = PV.$

$$PV = \frac{m}{M} RT.$$

2) в процессе (3-1) газ ~~теряет~~ тепло, т.к. давление уменьшается, а концентрация газа увеличивается.

В приведенном решении дан неверный ответ, первый закон термодинамики записан неверно. Правильно написанного уравнения Менделеева–Клапейрона недостаточно для выставления 1 балла. В итоге — **0 баллов**.

Оценивание расчетных задач

Задания № 29–32 представляют собой расчетные задачи. В текстах заданий нет указаний на требования к полноте решения, эту функцию выполняет общая инструкция.

В каждом варианте экзаменационной работы перед заданиями 29–32 третьей части приведена инструкция, которая в целом отражает требования к полному правильному решению расчетных задач.

Полное правильное решение каждой из задач 29–32 должно содержать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

Обобщенная схема оценивания расчетных задач выглядит следующим образом

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>перечисляются законы и формулы</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объеме или отсутствуют. И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачеркнуты, не заключены в скобки, рамку и т.п.). И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги. И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нем допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

Поясним отдельные пункты описания полного верного решения обобщенной схемы.

1. Решение учащегося может иметь логику, отличную от авторской логики решения (альтернативное решение). В этом случае эксперт оценивает возможность решения конкретной задачи тем способом, который выбрал учащийся. Если ход решения учащегося допустим, то **эксперт оценивает полноту и правильность этого решения на основании того**

списка основных законов, формул или утверждений, которые соответствуют выбранному способу решения.

2. п. (I) В качестве исходных принимаются формулы, указанные в кодификаторе элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения единого государственного экзамена по физике. При этом форма записи формулы значения не имеет (например: $Q = ct\Delta T$, $c = \frac{Q}{m\Delta T}$ и т.п.). Если же уча-

щийся использовал в качестве исходной формулы ту, которая не указана в кодификаторе, то работа оценивается исходя из отсутствия одной из необходимых для решения формул. (Например, учащийся может в качестве исходной использовать формулу для изменения внутренней энергии одноатомного идеального газа $\Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V$, поскольку она есть в кодифика-

торе. Однако формулу для количества теплоты $Q = \frac{5}{2}p\Delta V$, полученного газом в изобарном процессе, в качестве исходной использовать нельзя (отсутствует в кодификаторе). В этом случае такая работа оценивается по критерию **отсутствия одной из основополагающих формул** и оценивается в 1 балл, даже при наличии верного числового ответа.

3. п. (II) Стандартными считаются обозначения физических величин, принятые в кодификаторе элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения единого государственного экзамена по физике.

В связи с вышеизложенным при подготовке к экзамену следует детально изучить кодификатор элементов содержания на предмет повторения и систематизаций физических законов и формул, обозначений физических величин, используемых в стандартной формулировке, чтобы не перегружать решения комментариями или дополнительными словесными описаниями хода решения. Также полезным элементом решения может стать рисунок, поясняющий ход решения, на котором схематически указаны обозначения всех физических величин, участвующих в решении задачи.

4. Встречаются случаи, когда ученик представляет решение задачи, в котором «подменяется» условие задачи, и определяет другую физическую величину. Здесь можно рассматривать три варианта.

- Если в задании требовалось определить отношение величин «А/В», а участник экзамена определил значение отношения «В/А», то это не считается ошибкой или погрешностью.
- Если подмена сводится к тому, что учащийся определил не ту величину, которую требовалось рассчитать по условию задачи, а другую (при условии, что полученный ответ можно считать промежуточным этапом при определении требуемой величины и при этом в других вариантах не требуется определить именно найденную тестируемым величину), то это может быть отнесено к ошибке того же порядка, что и ошибки в преобразованиях.
- Если же подмена сводится к решению задачи, представленной **в другом варианте экзаменационной работы**, то такое решение оценивается в **0 баллов**.

В связи с разнообразием расчетных задач существуют возможные изменения в обобщенной системе оценивания расчетных задач.

- Если в задании **не требуется получение числового ответа**, то в описании полного верного решения снимается требование к указанию числового ответа.
- Если в тексте задачи присутствует требование дополнительно сделать **рисунок с указанием сил**, действующих на тело, то включается требование к правильности рисунка в описании полного правильного ответа, а также дополнительные условия к выставлению 2 баллов.

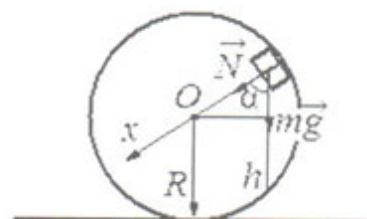
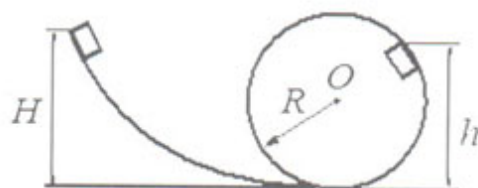
Если в тексте задачи присутствует требование изобразить **схему электрической цепи** или **оптическую схему**, то включается требование к правильности рисунка в описании полного правильного ответа, а также дополнительные условия к выставлению 2 и 1 баллов.

На примере двух расчетных задач из разных разделов курса физики приведем примеры работы обобщенной схемы оценивания.

Пример задания 2

Задача

Небольшой кубик массой $m = 1$ кг начинает соскальзывать с высоты $H = 3$ м по гладкой горке, переходящей в мертвую петлю (см. рис.). Определите радиус петли R , если на высоте $h = 2,5$ м от нижней точки петли кубик давит на ее стенку с силой $F = 4$ Н. Сделайте рисунок с указанием сил, поясняющий решение.



Возможное решение

1. Пусть скорость кубика на высоте h равна v , а в нижней точке петли потенциальная энергия кубика равна нулю. Тогда по закону сохранения механической энергии $mgH = \frac{mv^2}{2} + mgh$, откуда $v^2 = 2g(H - h)$.

2. Когда кубик находится на высоте h , на него действуют две силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции опоры \vec{N} . Запишем второй закон Ньютона в проекциях на радиальное направление (Ox на рисунке): $mg \cos \alpha + N = \frac{mv^2}{R}$,

где $\frac{v^2}{R} = a_n$ — центростремительное ускорение кубика в этой точке.

По третьему закону Ньютона $N = F$.

Из рисунка видно, что $\cos \alpha = \frac{h - R}{R}$.

3. Из выражений п. 2 получим:

$$R = \frac{m(gh - v^2)}{mg - F}.$$

4. Подставив полученное значение v^2 из п. 1, найдем:

$$R = \frac{mg(3h - 2H)}{mg - F} = \frac{1 \cdot 10 \cdot (3 \cdot 2,5 - 2 \cdot 3)}{1 \cdot 10 - 4} = 2,5 \text{ м.}$$

Ответ: $R = 2,5$ м.

Исходными уравнениями здесь являются: закон сохранения механической энергии, второй и третий законы Ньютона, выражение для центростремительного ускорения.

Для этой задачи добавляется требование к рисунку с указанием сил, действующих на тело.

Работа 2.1

№29

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$H = 3 \text{ м}$$

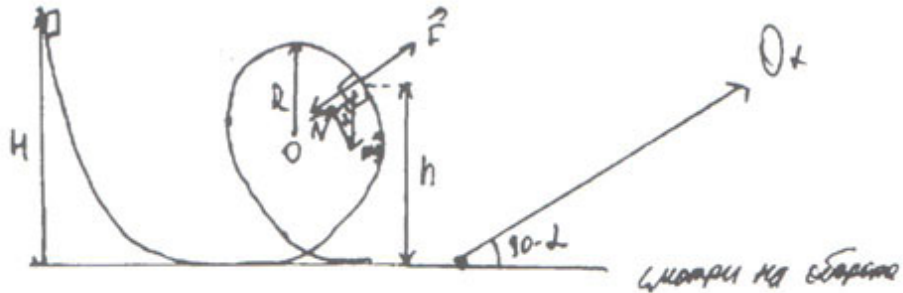
$$h = 2,5 \text{ м}$$

$$F = 4 \text{ Н}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$R = ?$$

Решение.



1) по III закону Ньютона:

$$\vec{F} = -\vec{N};$$

2) на тело действуют силы:

$$\vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

на O_x :

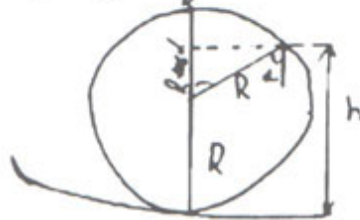
$$-N - mg = -ma_y;$$

$$N + mg \cos \alpha = ma_y;$$

$$F + mg \cos \alpha = ma_y;$$

$$ma_y - mg \cos \alpha = F.$$

3) $a_y = \frac{v^2}{R}$



4) $h = R + R \cdot \cos \alpha = R(1 + \cos \alpha);$

$$R = \frac{h}{1 + \cos \alpha};$$

$$1 + \cos \alpha = \frac{h}{R};$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{R} - 1.$$

5) $F + mg \cdot \left(\frac{h}{R} - 1\right) = m \cdot \frac{v^2}{R};$

$$F + \frac{mgh}{R} - mg = \frac{mv^2}{R};$$

$$\frac{mgh}{R} - \frac{mv^2}{R} = mg - F;$$

$$\frac{mgh - mv^2}{R} = mg - F$$

Приведено полностью верное решение задачи — 3 балла.

Работа 2.2

УЗР
 Дано:
 $m = 1 \text{ кг}$,
 $H = 3 \text{ м}$,
 $h = 2,5 \text{ м}$,
 $F = 4H$,
 $R = ?$

Решение:

1) Рассчитаем путь s малым элементом Δs и найдем $m \cdot \Delta s$, куда Δs — элемент уравнения F закона Ньютона:
 $m \Delta v = \Delta p = m \Delta v$;
 Пусть α — угол наклона Δs относительно хорды h и R :
 $\sin \alpha = \frac{h-R}{R}$;
 Тогда ось $O_x = O_y$ O_x — по направлению Δs , $O_y \perp O_x$, тогда
 Проекции сил на O_x : $N = mg \sin \alpha = m \Delta v$;
 $N = mg \cdot \frac{h-R}{R} = m \Delta v$;

2) Найдем Δv между A и B : так как трение отсутствует, применим закон сохранения энергии:
 $mgH = mgh + \frac{m v^2}{2}$, откуда $v = \sqrt{2g(H-h)}$

3) По 2-му закону Ньютона $\vec{v} = -\vec{F}$, $|\vec{v}| = |\vec{F}|$,
 $a_{xc} = \frac{v^2}{R}$;
 Отсюда $F = mg \frac{(h-R)}{R} = \frac{m v^2}{R}$
 $F \cdot R = mg(h-R) - m v^2 = 0$
 $R(F - mg) = m v^2 - mgh$
 $R = \frac{m \cdot 2g(H-h) - mgh}{F - mg} = \frac{2mgH - 3mgh}{F - mg}$
 $R = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 3 - 3 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 2,5}{4 - 10} = \frac{15}{-6} = -2,5 \text{ м}$
 Ответ: $R = 2,5 \text{ м}$

Второй закон Ньютона в векторном виде записан неверно, так как полное ускорение кубика в момент отрыва не равно центростремительному. Однако, в дальнейшем решении эта ошибочная запись не участвует, необходимая для решения задачи проекция второго закона Ньютона записана верно. В результате, верно получена общая формула и правильный числовой ответ. Подобную ситуацию можно отнести к появлению в решении лишних неверных записей, и согласно обобщенным критериям данная работа оценивается в 2 балла.

Работа 2.3

2.3)

Поскольку доска гладкая, то потерь энергии нет \Rightarrow по закону сохранения энергии
 $mgH = mgh + \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v^2 = 2g(H-h) \Rightarrow$ выйдем ось Ox по направлению центростремительного ускорения
 $|P| = |N|$, $\cos \alpha = \frac{2,5-R}{R} \Rightarrow$
 по второму закону Ньютона
 ось Ox $\frac{mg}{\cos \alpha} + N = m a_c$, $|N| = |P| = 4H$
 $\frac{mg}{\cos \alpha} - N = m a_c \Rightarrow$ так $a_c = \frac{v^2}{R}$
 $\frac{mg}{2,5-R} = \frac{m v^2}{R} + N$; $\frac{mg}{2,5-R} = \frac{2mg(H-h)}{R} + N$;

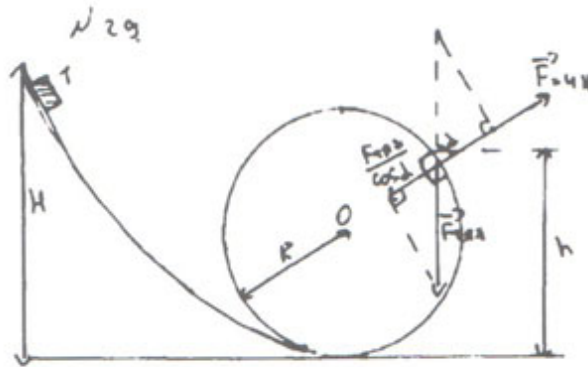
$$\frac{10R}{2,5-R} = \frac{10}{R} + 4; \quad 10R^2 = 25 - 10R + 10R - 4R^2;$$

$$14R^2 = 25;$$

$$R^2 = \frac{25}{14}; \quad R = \sqrt{\frac{25}{14}} \approx 1,3 \text{ м}$$

Верно записан закон сохранения энергии, правильно определена скорость в верхней точке, правильно применен третий закон Ньютона, записана формула центростремительного ускорения. Однако при написании второго закона Ньютона допущена ошибка, причем как в векторном виде (ускорение тела не равно центростремительному), так и в проекции. Следовательно, в одной из исходных формул, необходимых для решения задачи, допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. Работа оценивается 1 баллом.

Работа 2.4



Дано: $m = 1 \text{ кг}$
 $R = 3 \text{ м}$ $h = 2,5 \text{ м}$
 $F = 4 \text{ Н}$
 $R = ?$

Решение: $E_{к1} = 0$
 $E_1 = E_p = mgh = 30 \text{ Дж}$
 по закону сохранения энергии:

$$E_2 = E_{p2} + E_{к2} = mgh + \frac{m v_2^2}{2} = 30 \text{ Дж}$$

$$\frac{m v_2^2}{2} = 30 - 25 = 5$$

$$m v_2^2 = 10 \quad v_2^2 = 10 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$\frac{F \cos \alpha}{\cos \alpha} + F = 4 \text{ Н} \quad F = am \quad a_2 = \frac{F}{m} = 4 \text{ м/с}^2$$

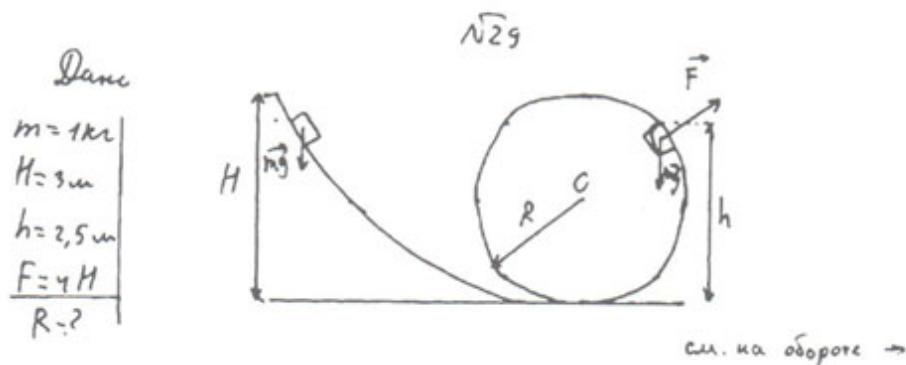
ускорение каюта влево от центра $\Rightarrow a_2 = \frac{v_2^2}{r}$

$$r = \frac{v_2^2}{a_2} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ м}$$

Ответ: 2,5 м.

Верно записан закон сохранения энергии, правильно определена скорость в верхней точке, записана формула центростремительного ускорения. Однако второй и третий законы Ньютона записаны неверно, поскольку неправильно интерпретируется значение и направление силы F . Таким образом, неверно записаны две исходные формулы, необходимые в решении задачи, и работа оценивается в 0 баллов.

Работа 2.5



Решение

1) По закону сохранения энергии

$$E_{n1} = E_{n2} + E_{k2}$$

$$E_{k2} = E_{n1} - E_{n2}$$

$$\frac{mV^2}{2} = mgH - mgh$$

$$V^2 = 2(gH - gh)$$

V - скорость кубика
в верхней точке на
расстоянии h от земли

2) По второму закону Ньютона

$$\Sigma F = ma$$

$$F = \frac{mV^2}{R}$$

$$R = \frac{mV^2}{F}$$

$$R = \frac{1 \text{ кг} \cdot 2(10 \text{ м/с}^2 \cdot 3 \text{ м} - 10 \text{ м/с}^2 \cdot 2,5 \text{ м})}{4H} = 2,5 \text{ м}$$

возьму g , как 10 м/с^2

Ответ: 2,5 м

Аналогичный пример, в котором правильно записан закон сохранения энергии, правильно определена скорость в верхней точке, записана формула центростремительного ускорения. Однако второй и третий законы Ньютона записаны неверно, поскольку неправильно интерпретируется значение и направление силы F . Таким образом, неверно записаны две исходные формулы, работа оценивается 0 баллов.

Пример задания 3

Задача

Металлическую пластину освещают монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 531 \text{ нм}$. Каков максимальный импульс фотоэлектронов, если работа выхода электронов из данного металла $A_{\text{вых}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$?

Возможное решение

1. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта $h\nu = h\frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}$, где h — постоянная Планка, c — скорость света в вакууме, $E_{\text{кин}}$ — максимальная кинетическая энергия электронов.

2. $E_{\text{кин}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = \frac{p_{\text{max}}^2}{2m_e}$, где m_e — масса электрона, v_{max} — его максимальная скорость.

3. Объединяя 1 и 2, получим:

$$p_{\text{max}} = \sqrt{2m_e \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)} = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left(\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{531 \cdot 10^{-9}} - 1,73 \cdot 10^{-19} \right)} \approx 6 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $p_{\text{max}} \approx 6 \cdot 10^{-25}$ (кг · м)/с.

Для решения задачи необходимы следующие исходные формулы: уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, формула связи импульса электрона с его кинетической энергией. К задаче полностью применима обобщенная схема оценивания, приведенная на с. 36.

Работа 3.1

~32.

<p>Дано:</p> <p>$\lambda = 531 \cdot 10^{-9} \text{ м}$</p> <p>$A_{\text{вых}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$</p> <p>$p_{\text{max}} ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>$p = m\vec{v}$.</p> <p>$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$</p> <p>$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$,</p> <p>$\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{531 \cdot 10^{-9}} = 1,73 \cdot 10^{-19} + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} v^2}{2}$</p> <p>$0,0372 \cdot 10^{-12} = 1,73 \cdot 10^{-19} + 4,55 \cdot 10^{-31} v^2$</p> <p>$4,55 \cdot 10^{-31} v^2 = 3,72 \cdot 10^{-19} - 1,73 \cdot 10^{-19}$</p> <p>$v^2 = \frac{1,99 \cdot 10^{-19}}{4,55 \cdot 10^{-31}}$</p> <p>$v^2 = 0,4373 \cdot 10^{12}$</p> <p>$v^2 = 43,73 \cdot 10^{10}$</p> <p>$v \approx 5,6 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$</p> <p style="text-align: right;">Смотрим на Борне</p> <p>$p = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 5,6 \cdot 10^5 = 50,96 \cdot 10^{-26} \approx 5 \cdot 10^{-26} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$</p> <p>Ответ: $\approx 5 \cdot 10^{-26} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$.</p>
---	---

Представлено верное решение задачи. Но в ответе допущена ошибка. В результате возникли ошибки при вычислениях (извлечение квадратного корня). Таким образом, оценка 2 балла.

Работа 3.2

32) Дано:
 $\lambda = 531 \cdot 10^{-9}$
 $A_{\text{кин}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
 $P = ?$

Решение
 Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:
 $h\nu = A_0 + \frac{mv^2}{2}$
 $\frac{hc}{\lambda} = A_0 + \frac{mv^2}{2} \Rightarrow \frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A_0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2hc - 2A_0 \lambda}{m}}$
 $P = m_e v^2 = m_e \left(\frac{2hc - 2A_0 \lambda}{m_e} \right) =$
 $= m_e (2hc - 2A_0 \lambda) = 2A_0 m_e - 2A_0 \lambda m_e =$
 $= 2 \cdot 1,73 \cdot 10^{-19} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} - 2 \cdot 531 \cdot 10^{-9} \cdot$
 $\cdot 1,73 \cdot 10^{-19} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} = 3,1026 \cdot 10^{-59} - 1,6719 \cdot 10^{-59}$
 $\Rightarrow \frac{mv^2}{2} = \frac{5,6 \cdot 10^{-59} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{531 \cdot 10^{-9}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
 $= 3,2124 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$
 $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,73 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 4 \cdot 10^5 \text{ м/с}$
 $P = m_e v^2 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (4 \cdot 10^5)^2 = 1,82 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$
 $1,82 \cdot 10^{-15} \text{ Дж} \cdot \text{м/с}$
 Ответ: $P = 1,82 \cdot 10^{-15} \text{ Дж} \cdot \text{м/с}$

При наличии правильно записанных необходимых исходных формул в процессе решения задачи «по частям» допущена вычислительная ошибка. Итоговый результат — 2 балла.

Работа 3.3

32) Дано:
 $\lambda = 531 \cdot 10^{-9} \text{ м}$
 $A_{\text{кин}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
 $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
 $P = ?$

Дано: По определению импульса:
 $p = m_e v$
 Из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта можно сделать:
 $h\nu = A_{\text{кин}} + \frac{m_e v^2}{2}, \nu = \frac{c}{\lambda};$
 $\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{кин}} = \frac{m_e v^2}{2}$
 $\sqrt{\frac{2(hc - A_{\text{кин}} \lambda)}{m_e}} = v$
 $v = \sqrt{\frac{2(6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 - 1,73 \cdot 10^{-19})}{9,1 \cdot 10^{-31}}} =$
 $P = m_e v^2 = \sqrt{m_e \cdot 2 \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{кин}} \right)} = \sqrt{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 1,97 \cdot 10^{-19}} \approx$
 $\approx 6 \cdot 10^{-25}$

Решение правильное, но в нем присутствуют два недостатка: отсутствует подстановка числовых значений в финальную формулу, а это, согласно критериям, является пропуском логически важных математических преобразований или расчетов, и в правильном числовом ответе отсутствует размерность. Поскольку недостатки решения, каждый из которых приводит к снижению оценки на 1 балл, не суммируются, итоговый результат — 2 балла.

Работа 3.4

$$\begin{array}{l}
 32) \lambda = 531 \cdot 10^{-9} \text{ м} \\
 A_{\text{max}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \\
 p = ?
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{l}
 E_p = A_{\text{max}} + W_k \\
 E_p = h\nu \\
 W_k = \frac{p^2}{2m} \\
 h\nu = A_{\text{max}} + \frac{p^2}{2m}
 \end{array}
 \right.$$

$$p = \sqrt{2m A_{\text{max}} - 2m A_{\text{max}}}$$

$$p = 6 \cdot 10^{-25} \text{ Па}$$

Ответ: $6 \cdot 10^{-25} \text{ Па}$

В одной из исходных формул (формула энергии фотона), необходимых для решения задачи, допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. Работа оценивается 1 баллом.

Работа 3.5

$$\begin{array}{l}
 32) \text{ Дано:} \\
 \lambda = 531 \cdot 10^{-9} \text{ м} \\
 A_{\text{max}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \\
 p_{\text{max}} = ?
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{l}
 \text{Решение} \\
 \text{Алгоритм 01 в уравнении Эйнштейна} \\
 p = mc \text{ или } E = mc^2 = p \cdot c \quad (a) \\
 E = A_{\text{max}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}} \quad (b) \\
 A_{\text{max}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}} \\
 \lambda_{\text{max}} = \frac{hc}{A_{\text{max}}} \\
 \lambda_{\text{max}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,73 \cdot 10^{-19}} = 11,44 \cdot 10^{-9} \text{ (м)} \\
 \text{Приравняем (a) и (b)} \\
 pc = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}} \quad | :c \\
 p_{\text{max}} = \frac{h}{\lambda_{\text{max}}} \\
 p_{\text{max}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{11,44 \cdot 10^{-9}} = 0,58 \cdot 10^{-25} \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \right) \\
 \text{Ответ: } 0,58 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}
 \end{array}
 \right.$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта записано неверно, а также для нахождения импульса фотоэлектрона используется формула импульса фотона. Таким образом, *неверно записаны две исходные формулы*, работа оценивается в 0 баллов.

Заключение

В статье подробно изложена процедура проверки и оценивания задач с развернутым ответом в ЕГЭ по физике, разобраны и прокомментированы обобщенные критерии оценки, которые будут действовать при проверке экзаменационных работ в 2018 году, на примерах работ выпускников проиллюстрированы типичные ситуации и возникающие в работах ошибки.

Прозрачность и доступность основных принципов экспертной проверки заданий с развернутым ответом позволит как учителям, так и выпускникам правильно построить процесс подготовки к важному этапу ЕГЭ по физике — решению задач — а значит, в дальнейшем получить максимальный балл в этой части экзаменационной работы.