ГОТОВИМСЯ К ЕГЭ

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ НАХОЖДЕНИЯ ВЕРНЫХ ОТВЕТОВ В ЗАДАЧАХ ЕГЭ ПО ФИЗИКЕ

М.Н. Бондаров, учитель физики, Лицей № 1501, Москва; physics.lyceum1501.ru

Ключевые слова: КИМ ЕГЭ по физике, установление соответствия между физическими величинами и формулами, метод размерностей

В статье описаны способы выбора верного ответа в заданиях КИМ ЕГЭ на установление соответствия между физическими величинами и формулами. Показаны примеры анализа буквенного выражения в ответе с помощью метода размерностей, исследования формул на частный случай, на характер изменения искомой физической величины в зависимости от изменения входящих в нее параметров и на симметрию

M.N. Bondarov, physics teacher, Lyceum № 1501, Moscow; physics.lyceum1501.ru

Key words: CMM of unified state exam in physics, the establishment of correspondence between physical quantities and formulas, the method of dimensions

The article describes the ways of choosing the right answer in tasks CMM of unified state exam in physics to establish a correspondence between the physical values and formulas. Examples are shown of the analysis of symbolic expressions in the answer using the method of dimensions, the study of formulas in a particular case, the nature of the change desired physical quantity depending on the change member parameters and on symmetry

Для успешной сдачи ЕГЭ по физике требуется не только проявить уверенное владение изученным ранее материалом, но и искусно распределить отведенное время на выполнение разного типа заданий. Одна из задач учителя — способствовать выработке у учащихся умения находить способы оптимального подхода к выполнению различных заданий, включенных в КИМ.

Нас не будут интересовать способы *получения* правильных ответов к задачам без их полного и даже краткого решения. Такие способы есть, но это тема отдельного разговора. Мы коснемся здесь способов *отбрасывания* предварительно написанных *неверных* ответов. И, разумеется, не приступая при этом к стандартному решению задачи. Опытные коллеги, несомненно, уже догадались, о чем далее пойдет разговор. Конечно, будут рассмотрены задания на *установление соответствия между физическими величинами и формулами*, которые, напомним, содержатся в каждом варианте экзаменационной работы.

Наличие предложенных ответов в них позволяет в большинстве случаев однозначно делать верный выбор ответа, даже не приступая к традиционным этапам решения: записи «дано», основных формул, созданию рисунка и т.п. Главным, но не единственным, помощником в это выборе служит *метод размерностей* (строго говоря, в заданиях ЕГЭ используются лишь элементы этого мощного способа исследования физиков-теоретиков).

Мы не будем рассматривать далее совсем простые для большинства сдающих экзамен задания, для выполнения которых надо просто вспомнить содержащиеся в кодификаторе формулы. Например, поставить в соответствие произведение силы тока I и сопротивления резистора R с напряжением U на резисторе.

Верные ответы к значительной части заданий на соответствие можно получить, установив совпадение размерностей физических величин в одной из колонок, имеющейся в условии таблицы, и формул, по которым их можно рассчитать, в другой.

Рассмотрим этот прием на конкретных примерах.

1. *Грузовик массой m, движущийся по прямолинейному горизонтальному участку дороги со скоростью v, совершает торможение до полной остановки. При торможении колеса грузовика не вращаются. Коэффициент трения между колесами и дорогой равен μ. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.*

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

(*Примечание.* В условиях заданий, рассматриваемых далее, мы опустим последние два предложения.)

Физические величины	Формулы
А) Модуль силы трения, действующей на грузовик Б) Тормозной путь грузовика	1) μmg 2) μg 3) $v/\mu g$ 4) $v^2/2\mu g$

В этом задании все величины в правом столбце таблицы имеют разную размерность, что позволяет однозначно установить верное соответствие. Действительно, выпишем размерности (в единицах СИ) указанных выражений:

1) $[\mu mg]$ = Н,
2) $[\mu g]$ = м/с^2,
3) $[v/\mu g]$ = с,
4) $[v^2/2\mu g]$ = м.

Поскольку модуль силы трения, действующей на грузовик, измеряется в ньютонах, а тормозной путь грузовика — в метрах, то мы мгновенно приходим к верному ответу:

А — 1, Б — 4.

Очевидно, что даже краткое стандартное решение этой задачи заняло бы значительно большее время.

2. *Материальная точка движется по оси X. Ее координата меняется по закону* $x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$.

Физические величины	Формулы
А) Амплитуда скорости точки v_{max} Б) Амплитуда ускорения точки a_{max}	1) $\dfrac{A}{\omega^2}$ 2) $\dfrac{A}{\omega}$ 3) ωA 4) $\omega^2 A$

Стандартно можно прийти к правильному ответу, либо, просто запомнив требуемые формулы (они имеются в кодификаторе), либо, взяв первую и вторую производные от координаты по времени. К сожалению, эти способы решения имеют недостатки. Первый из них чреват возможными ошибками памяти, второй — отнимет некоторое время, да и ошибки при взятии производных не исключены.

Метод размерности позволяет в два счета выбрать верные ответы. Вспомнив, что размерность циклической частоты ω в СИ равна $с^{-1}$, легко определяем, что размерность амплитуды скорости точки v_{max} (м/с) соответствует формуле 3, а амплитуды ускорения точки a_{max} (м/с^2) — формуле 4.

Конечно, не всегда ответ получается столь быстро, но зачем же пренебрегать этим способом тогда, когда он приносит очевидную пользу?!

В следующей задаче ограничиться одним методом размерности не удастся, придется использовать еще один полезный прием: *исследование формулы на частный случай*, когда ответ очевиден.

3. *С высоты h по наклонной плоскости из состояния покоя соскальзывает брусок массой m. Длина наклонной плоскости равна s, а коэффициент трения между бруском и плоскостью равен* μ.

Физические величины	Формулы
А) Сила трения, действующая на брусок Б) Время движения бруска	1) $\sqrt{2g(h-\mu\sqrt{s^2-h^2})}$ 2) $\dfrac{mg}{s}(h-\mu\sqrt{s^2-h^2})$ 3) $\sqrt{\dfrac{2s^2}{g(h-\mu\sqrt{s^2-h^2})}}$ 4) $\dfrac{\mu mg}{s}\sqrt{s^2-h^2}$

Начнем снова с проверки размерности. Это позволит тут же отбросить формулу 1, поскольку она имеет размерность скорости. Зато формула 3 — единственная среди оставшихся — имеет размерность времени, т.е. мы сразу получаем одно из соответствий: Б — 3. Однако далее наш метод начинает буксовать: с его помощью не удастся отбросить ни одну из оставшихся формул. Придется использовать второй прием — проверку на частный случай. Выберем удобный для исследования параметр — коэффициент трения μ — и посмотрим, как поведут себя эти формулы для случая идеально гладкой плоскости с $\mu = 0$. Очевидно, что в таком случае сила трения должна быть равной нулю, что и выходит с помощью формулы 4, в то время как формула 2 приводит к ненулевому ответу $\dfrac{mgh}{s}$, противоречащему физическому смыслу. Таким образом, ответ (А — 4, Б — 3) получен достаточно быстро.

В этой задаче убеждать учащихся в эффективности выбранного подхода для определения верных ответов, наверняка, не придется.

Рассмотрим еще две задачи, где совместно работают два приема: проверка на размерность и на частный случай.

4. *Тело, брошенное с горизонтальной поверхности Земли со скоростью v под углом α к горизонту, в течение времени t поднимается на максимальную высоту h над горизонтом. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.*

Физические величины	Формулы
А) Время подъема t на максимальную высоту Б) Максимальная высота h над горизонтом	1) $\dfrac{v^2\sin^2\alpha}{2g}$ 2) $\dfrac{v\cos\alpha}{g}$ 3) $\dfrac{v^2\sin 2\alpha}{2g}$ 4) $\dfrac{v\sin\alpha}{g}$

Метод размерности позволяет только разбить предлагаемые формулы на две части: 1 и 3 имеют размерность высоты, а 2 и 4 — времени. Что делать дальше? Попробуем проверить каждую из формул на применимость в случае вертикального броска вверх, т.е. при $\alpha = \dfrac{\pi}{2}$.

В таком случае мы сведем нашу задачу к более простой: криволинейное движение по параболе превратится в равноускоренное прямолинейное. Тогда две формулы — 2 и 3 — дают нулевой результат, противоречащий физическому смыслу, поэтому их нужно отбросить. В то же время формулы 1 и 4 не только приводят к ненулевому разумному результату ($h = \dfrac{v^2}{2g}$ и $t = \dfrac{v}{g}$), но наблюдательный школьник может признать в них «старых знакомых», виденных ранее в ответах к подобным задачам. Таким образом, мы без дополнительных рассуждений, а также записи и преобразования дополнительных формул приходим к ответу: А — 4, Б — 1.

5. *Температура нагревателя идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, равна T_1, а температура холодильника равна T_2. За цикл двигатель получает от нагревателя количество теплоты Q_1.*

Физические величины	Формулы
А) КПД двигателя Б) Работа, совершаемая двигателем за цикл	1) $1-\dfrac{T_2}{T_1}$ 2) $\dfrac{Q_1(T_1-T_2)}{T_1}$ 3) $\dfrac{(T_1-T_2)}{T_2}$ 4) $\dfrac{Q_1T_2}{T_1}$

И в этом задании с помощью метода размерностей делим формулы на две группы: 2 и 4 имеют размерность работы, 1 и 3 — безразмерны. В качестве частного случая удобно рассмотреть идеализацию, когда температура холодильника T_2 оказывается практически равной абсолютному нулю. Рассмотрим для этого случая сначала вторую пару формул (1 и 3).

Абсурдный ответ — бесконечно большой КПД — получается, если использовать формулу 3. Зато формула 1 приводит к физически очевидному результату: КПД, как и положено ему в этом случае, стремится к 100%. Перейдем теперь к первой паре формул (2 и 4). Формула 4 удивляет нас противоречием с реальностью, так как для данного частного случая — двигателя, работающего практически без потерь, — дает равную нулю работу. В то же время с помощью формулы 2 приходим к ясному выводу: раз нет потерь, то совершаемая двигателем работа равна количеству теплоты, полученному от нагревателя. Итак, верный ответ: А — 1, Б — 2.

Еще один полезный метод — *исследование формулы на характер изменения искомой физической величины в зависимости от изменения входящих в нее параметров*.

6. *После удара шайба массой m начала скользить со скоростью v_0 вверх по плоскости, установленной под углом* α *к горизонту* (рис. 1). *Переместившись вдоль оси OX на некоторое расстояние, шайба соскользнула в исходное положение. Коэффициент трения шайбы о плоскость равен* μ.

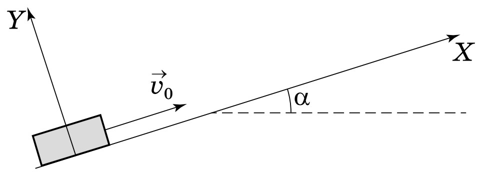

Рис. 1

Физические величины	Формулы
А) Модуль ускорения шайбы при ее движении вниз Б) Модуль проекции силы тяжести на ось *OX*	1) $g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$ 2) $\mu mg\cos\alpha$ 3) $mg\sin\alpha$ 4) $g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$

Легко определить, что формулы 1 и 4 имеют размерность ускорения, а формулы 2 и 3 — силы. Очевидно, что модуль проекции силы тяжести на ось *OX* никак не должен зависеть от степени шероховатости поверхности, т.е. от коэффициента трения. Поэтому отбрасываем формулу 2, оставляя для случая Б формулу 3. Частный случай $\mu = 0$ не позволяет отличить формулы 1 и 4. Зато, заметив, что при увеличении μ должен уменьшаться модуль ускорения шайбы при ее движении вниз, выбираем в качестве правильной формулу 1, отбросив 4. Получаем верный ответ: А — 1, Б — 3.

Заметим, что в этой и многих других задачах полезно не ограничиваться тем, что ответы найдены верно, имеет смысл обсудить с учащимися также физический смысл отброшенных формул 2 и 4. В нашем случае это формулы силы трения скольжения и ускорения шайбы при ее движении вверх по наклонной плоскости.

В доступных нам источниках мы пока не встречали среди задач ЕГЭ такие, чтобы при анализе предлагаемых в них формул требовалось использовать еще один полезный вид проверки — *на симметрию*. В качестве примера предложим задание, составленное нами на основе одной из задач олимпиады МГТУ им. Н.Э. Баумана.

7. *Два груза массами m_1 и m_2, покоящиеся на гладком горизонтальном столе, связаны между собой невесомой и нерастяжимой нитью* (рис. 2). *Между грузами поместили невесомую пружину жесткостью k, которую пришлось при этом сжать на некоторое расстояние x. Затем нить пережигают.*

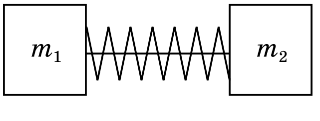

Рис. 2

Физические величины	Формулы
А) Скорость v_1 первого груза после отделения от пружины Б) Импульс второго груза после отделения от пружины	1) $x\sqrt{\dfrac{km_1m_2}{m_1+m_2}}$ 2) $x\sqrt{\dfrac{km_2}{m_1(m_1+m_2)}}$ 3) $x\sqrt{\dfrac{km_1}{m_2(m_1+m_2)}}$ 4) $x\sqrt{\dfrac{km_1m_2}{2m_1+m_2}}$

Начав с поверки размерности, нетрудно выяснить, что формулы 1 и 4 имеют размерность импульса, а 2 и 3 — скорости. Следующий этап рассуждений — проверка на частный случай. Первый груз приобретает импульс, отталкиваясь от второго. Поэтому, если масса второго груза пренебрежимо мала, то первому грузу не удастся от него оттолкнуться и приобрести скорость. Разумеется, этот же результат должен получиться и из правильной формулы, если в нее подставить $m_2 = 0$. Проделав это, найдем, что $v_1 = 0$ во второй формуле и $v_1 \to \infty$ — в третьей. Таким образом, первый ответ получен: А — 2. Далее переходим к импульсу. Из закона сохранения импульса следует, что после отделения от пружин грузы будут иметь одинаковые импульсы. Кроме того, заметим, что если грузы m_1 и m_2 поменять местами, то величина импульса не изменится, т.е. выражение для импульса должно быть *симметрично* относительно m_1 и m_2. Формула 1 этому удовлетворяет, а вот дать разумное объяснение появлению коэффициента 2 перед m_1 в формуле 4 не представляется возможным. Это означает, что второй ответ имеет вид: Б — 1.

Замечание. Желательно на конкретных примерах (они имеются в статьях [**1–3**]) показать ученикам, что наличие в условии задачи некоторой *симметрии* обязательно отразится на характере ответа: его буквенное выражение в таком случае будет иметь *симметричный вид*.

Подведем краткий итог.

Разобранные выше приемы не замыкаются на нахождение верных ответов в заданиях одного — рассмотренного выше — типа, их значение в обучении школьников значительно шире. Важно уже в школьные годы знакомить ребят с теми методами, которые будут надежно служить им при дальнейшем изучении курса общей и теоретической физики. Полезно объяснить ученикам, что использованные приемы являются частью рабочего инструмента современного инженера и ученого.

Конечно, каждый учитель выберет сам, как доходчиво донести до учащихся истинный смысл метода размерностей и других описанных выше способов. Наш опыт работы показал, как методически успешно проводить следующие виды работы с учащимися:

1. Анализ буквенного выражения в ответе.

Для его проведения полезно выявлять опечатки и ошибки в ответах, приводимых в задачниках; разбирать решения задач ЕГЭ и олимпиад; проводить анализ самостоятельных и контрольных работ и т.п. Мы уже видели, что умелый анализ возможных ответов может носить не формальный характер и опираться на достаточно глубокое понимание физических процессов, описанных в условиях задач (как было, например, в рассмотренных выше заданиях 5 и 7).

2. Тренинг по специально составленным задачам с выбором ответа.

Имеет смысл тренировать учащихся на специально подобранных задачах, к каждой из которых приводятся 3-4 ответа. При этом ученик должен обнаружить верный ответ без решения задачи, отбрасывая ошибочные ответы с помощью метода размерностей, проверки формул на частный случай и симметрию, а также исследуя характер изменения величин в зависимости от изменения одного из параметров. В приводимом ниже списке литературы (эти статьи легко доступны в интернете) можно найти примеры подобных заданий.

Литература

1. *Минц Р.Г.* Как проверить ответ / Квант. 1970. № 12. С. 50–55.
2. *Меледин Г.* Можно ли проверить ответ? / Квант. 1979. № 7. С. 41–43.
3. *Бондаров М.Н.* Задачи с выбором ответа / Потенциал. 2011. № 4. С. 24–30.