ЭФФЕКТИВНАЯ ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

ЕГЭ 2016

Н.И. Зорин

ФИЗИКА

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

СДАЕМ БЕЗ ПРОБЛЕМ!

ПОЛУЧИ ВЫСШИЙ БАЛЛ НА ЕГЭ! * ПОЛУЧИ ВЫСШИЙ БАЛЛ НА ЕГЭ! *

ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА

МОСКВА
2015

УДК 373:53
ББК 22.3я721
З-86

Зорин, Николай Иванович.

З-86 ЕГЭ 2016. Физика. Решение задач. Сдаем без проблем! / Н.И. Зорин. — Москва : Эксмо, 2015. — 320 с. — (ЕГЭ. Сдаем без проблем).

ISBN 978-5-699-79864-3

Издание содержит решение задач с кратким и развернутым ответом, а также задачи для самостоятельного решения.

Книга окажет неоценимую помощь учащимся при подготовке к ЕГЭ по физике, а также может быть использована учителями при организации учебного процесса.

УДК 373:53
ББК 22.3я721

ISBN 978-5-699-79864-3

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие предназначено для выпускников школ и учителей, занимающихся подготовкой учащихся к ЕГЭ.

Цель пособия — углубить и расширить понимание физики будущими абитуриентами и научить их активно применять физические законы к решению конкретных задач.

Данное пособие подготовлено на основе большого практического опыта, накопленного автором при работе с абитуриентами, при подготовке к выпускным экзаменам в форме ЕГЭ, что позволило выявить наиболее сложные для понимания школьниками вопросы физики.

Главное внимание уделено важнейшим физическим явлениям и физическим законам. Нельзя дать рецепта для решения всех задач по физике, можно только научить грамотному подходу к задаче, который позволит найти ее решение.

Выполнение заданий с кратким и развернутым ответом (часть 1 и 2) требует применение знаний сразу из двух-трех разделов физики, т.е. высокого уровня подготовки школьников. Эти задания отражают уровень требований к вступительным экзаменам в вузы. Включение в экзаменационную работу сложных заданий разной трудности позволяет дифференцировать учащихся при отборе в вузы с различными требованиями к уровню подготовки. Главная цель экзамена по физике — проверка знания учащимся школьного курса физики, умения использовать эти знания для решения задач и объяснения различных физических явлений. Рассмотрим основные рекомендации по выполнению заданий и характерные ошибки.

Решение и анализ задач позволяют понять и запомнить основные законы и формулы физики, создают представление об их характерных особенностях и границах применения. Задачи развивают навык в использовании общих законов материального мира для решения конкретных вопросов, имеющих практическое значение. Таким образом, умение решать задачи является одним из важных критериев оценки глубины усвоения программного материала.

Решение большинства физических задач можно разделить на четыре этапа.

1. Анализ условия задачи и его наглядная интерпретация схемой или чертежом.

На этом этапе следует уяснить физическое содержание задачи, понять, какие процессы и явления включены в ее условие.

Ознакомившись с условием задачи, не следует пытаться сразу найти искомую величину. Необходимо помнить, что ближайшая цель решения состоит в том, чтобы свести задачу от физической к математической, записав ее условие при помощи формул. Для этого нужно четко представить себе физическое явление, о котором говорится в условии задачи, установить, какие законы физики лежат в основе данного явления, вспомнить математическое выражение этих законов.

Чтобы хорошо понять условие задачи, необходимо сделать схематический чертеж, где, хотя бы условно, указать все величины, характеризующие данное явление. Если при этом окажется, что для полного описания явления надо использовать величины, не фигурирующие в условии задачи, их нужно ввести в решение самим, так как в большинстве случаев без них невозможно найти связь между искомыми и заданными величинами.

Сделав чертеж, следует еще раз прочитать условие задачи и отметить, какие из величин, указанных на чертеже, даны и какие требуется найти. Все известные величины — их числовые значение и наименования — выписываются обычно в колонку.

2. Составление алгебраических уравнений, связывающих физические величины, которые характеризуют рассматриваемое явление с количественной стороны.

На втором этапе с помощью физических законов и формул необходимо установить математическую связь между всеми величинами, введенными в решение при символическом описании рассматриваемого явления. В результате получится одно или несколько уравнений, включающих в себя как заданные, так и неизвестные величины, — физическая задача сводится к математической. При этом особое внимание следует обратить на векторный характер ряда величин, входящих в формулы физики. Для полного определения этих величин необходимо учитывать не только их числовое значение, но и направление. При этом всегда нужно помнить, что числовое значение и направление — это две неотъемлемые характеристики любого вектора. Если происходит изменение векторной величины, то это значит, что меняется или ее числовое значение, или направление, или то и другое вместе. Векторные величины равны только в том случае, если их числовые значения и направления одинаковы.

3. Совместное решение полученных уравнений относительно искомой величины.

Прежде чем решать составленную систему уравнений, полезно убедиться в том, что число неизвестных равно числу уравнений, иначе система не будет иметь определенного решения. В том случае, если число неизвестных величин превышает число уравнений, приходится искать дополнительные уравнения. Дополнительные уравнения могут выражать такие условия, как: следствия, вытекающие из стандартных упрощающих допущений (например, допущение о невесомости нитей и блоков); связи между движениями, которые указаны в задаче; особые свойства отдельных видов сил (упругости, трения, тяготения); разного рода геометрические соотношения, указанные в задаче. Третий этап заканчивается повторной проверкой полученной системы уравнений и решением этой системы.

Решение системы уравнений нужно начинать с исключения тех неизвестных величин, которые не требуется находить по условию задачи, и следить за тем, чтобы при каждом алгебраическом действии число неизвестных уменьшалось.

4. Анализ полученного результата и числовой расчет.

Получив ответ в общем виде, следует проверить правильность расчетных формул по наименованию. Для этого в расчетные формулы вместо входящих в них физических величин подставляют их единицы измерения и проводят с ними действия, с тем чтобы убедиться, что результат получается в единицах измерения искомой величины в принятой системе. Несоблюдение этого условия (оно необходимо, но недостаточно) свидетельствует об ошибке, допущенной в ходе решения. Установив наименование искомой величины, можно приступать к действиям с числами. Все расчеты необходимо проводить в Международной системе единиц (СИ). Проводя арифметические расчеты, следует пользоваться правилами приближенных вычислений, позволяющими во многих случаях сэкономить время, не нанося никакого ущерба точности. Эти правила излагаются в руководствах по элементарной математике.

5. Требования к оформлению работы.

О ваших знаниях будут судить по тому, ЧТО написано в работе и КАК написано.

Работа должна быть аккуратной. Ответу на каждый пункт задания должно быть выделено определенное место.

Проверяющему должно быть понятно, где заканчивается одна задача и начинается другая. То есть между задачами должен быть некоторый интервал. Текст задания переписывать не нужно, надо лишь кратко указать, что дано в условии задачи.

При решении многих задач необходимо сделать рисунок. **Рисунок первичен.** Рисунок помогает понять, что рассматривается в задании, и найти путь к решению задачи.

- В задачах по механике на рисунке необходимо показать все данные в задании параметры: силы, скорости, ускорения, направления движения или вращения тел, реакции связей, направления сил (силы трения скольжения, например), возникающих в процессе движения тел, и т.д.
- В задачах по термодинамике необходимо указать на графиках процессов температуру в разных точках процессов, выделить участки, на которых подводится и отводится тепло, графически указать работу, совершаемую в процессе (вы знаете, что это площадь под графиком в координатах P-V).
- В задачах по электродинамике указать знаки зарядов, направление силовых линий, знаки зарядов на обкладках конденсаторов, направление токов в цепях и направление сторонних сил в источниках ЭДС.
- Если речь идет об оптике, то аккуратно изобразить ход лучей в оптических системах, положение фокусов, при необходимости построить изображение предмета.

Решение задач по физике требует пояснений. Оно сопровождается неким текстом, в котором необходимо по ходу решения указать, какие явления рассматриваются в этой задаче, основываясь на каких законах строится ее решение. После этого, например в задачах по механике, записываются уравнения движения тел (второй закон Ньютона) в векторной форме. В случае необходимости выбирается система координат и записываются уравнения движения в проекциях на оси координат[1]. В результате получается система уравнений, решение которой приводит к ответу. Желательно проверить полученную формулу по наименованию. Подставить числовые значения, если необходимо, и получить числовой ответ, указав наименование искомой величины. Если нет специальных указаний, результат записывается в единицах СИ. Закончить решение задачи необходимо словом «ответ», привести его в виде конечной формулы и отдельно в виде числа с указанием наименования.

[1] При выполнении действий с векторными величинами необходимо использовать математические правила работы с векторными величинами и их проекциями.

МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА

Примеры решения задач с кратким или развернутым ответом

1. Автомобиль двигался из пункта A в пункт B со скоростью $v_1 = 40$ км/ч, а обратно из B в A со скоростью $v_2 = 60$ км/ч. Определите среднюю путевую скорость автомобиля на всем пути и скорость перемещения, если автомобиль в пункте B: а) мгновенно развернулся и поехал назад; б) простоял в течение времени, равного половине времени движения из B в A.

Решение

а) Расстояние между A и B равно l. Пройденный автомобилем путь $s = 2l$. Движение из A в B равномерное, поэтому время движения $t_1 = l/v_1$, аналогично время движения из B в A $t_2 = l/v_2$. Полное время движения $t = t_1 + t_2$, средняя путевая скорость

$$v_s = \frac{s}{t} = \frac{2l}{t_1 + t_2} = \frac{2l}{\frac{l}{v_1} + \frac{l}{v_2}} = \frac{2l}{l\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = 48 \text{ км/ч} \approx 13 \text{ м/с}.$$

При возвращении в исходную точку вектор перемещения $\Delta\vec{r} = 0$, поэтому средняя скорость перемещения $v_{\text{ср}} = \Delta\vec{r}/t = 0$.

б) В этом случае полное время движения включает в себя слагаемое

$$t_3 = \frac{1}{2}t_2 = \frac{l}{2v_2}.$$

Поэтому

$$v_s = \frac{2l}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{2l}{\frac{l}{v_1} + \frac{1}{v_2} + \frac{1}{v_3}} = \frac{4v_1v_2}{3v_1 + 2v_2} = 40 \text{ км/ч} \approx 11 \text{ м/с}.$$

Поскольку перемещение остается равным нулю, то и $v_{ср} = 0$.

2. Материальная точка совершает два последовательных перемещения. Вектор первого перемещения направлен под углом $\alpha_1 = 30^\circ$ к оси OX, причем на этом участке точка движется прямолинейно и равномерно со скоростью $v_1 = 10$ м/с. Вектор второго перемещения направлен под углом $\alpha_2 = 90^\circ$ к оси OX, и его модуль вдвое больше модуля первого перемещения. Движение на втором участке — прямолинейное равномерное со скоростью $v_2 = 20$ м/с. Найдите среднюю скорость перемещения и среднюю скорость на всем пути.

Решение

На рисунке изображено движение точки. $\overrightarrow{AC}$ — первое перемещение, $\overrightarrow{CB}$ — второе перемещение. Вектор полного перемещения $\Delta\vec{r} = \overrightarrow{AB}$. Найдем его модуль. $\angle ACB = \beta$ — внешний угол $\Delta\ AC_1C$, поэтому он равен сумме двух внутренних, с ним не смежных. Итак, $\beta = \alpha_1 + \alpha_2 = 120^\circ$. Пусть модуль первого перемещения $AC = S$, тогда модуль второго перемещения $BC = 2S$. Из $\Delta\ ACB$ по теореме косинусов

$$\Delta r = AB = \sqrt{AC^2 + BC^2 - 2AC \cdot BC \cdot \cos\beta} =$$
$$= \sqrt{S^2 + (2S)^2 - 2 \cdot S \cdot 2S \cdot \cos 120^\circ} = S\sqrt{7}.$$

Так как движение на участке AC равномерное, то время, за которое совершено перемещение $\overrightarrow{AC}$, равно $t_1 = S/v_1$. Время, за которое совершено перемещение $\overrightarrow{CB}$, равно $t_2 = 2S/v_2$. Полное время движения

$$t = t_1 + t_2 = \frac{S}{v_1} + \frac{2S}{v_2} = \frac{S(2v_1 + v_2)}{v_1 v_2}.$$

По определению средняя скорость перемещения $\vec{v}_{\text{ср}} = \dfrac{\Delta \vec{r}}{t}$, а ее модуль

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta r}{t} = \frac{S\sqrt{7}}{S(2v_1 + v_2)/v_1 v_2} = \frac{\sqrt{7} v_1 v_2}{2v_1 + v_2} = 13{,}2 \text{ м/с}.$$

Найдем направление вектора $\vec{v}_{\text{ср}}$. Он образует угол γ с вектором $\overrightarrow{AC}$. Из $\Delta\ ABC$ по теореме синусов

$$\frac{2S}{\sin\gamma} = \frac{\Delta r}{\sin\beta} \Rightarrow \sin\gamma = \frac{2S\sin\beta}{\Delta r} = \frac{2S}{S\sqrt{7}}\sin 120^\circ = \sqrt{\frac{3}{7}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \gamma = \arcsin\sqrt{\frac{3}{7}} = 25{,}4^\circ.$$

Угол, который образует вектор средней скорости с осью OX, равен $\gamma + \alpha_1 = 55{,}4^\circ$.

Средняя скорость v_s на всем пути есть весь пройденный путь, отнесенный к полному времени движения, поэтому

$$v_s = \frac{S + 2S}{t} = \frac{3S}{t} = \frac{3S}{S(2v_1 + v_2)/v_1 v_2} = \frac{3v_1 v_2}{2v_1 + v_2} = 15 \text{ м/с}.$$

3. Тело движется равноускоренно. Его начальная скорость v_1, а конечная — v_2. Найдите среднюю скорость тела. В предположении, что начальная скорость равноускоренного движения равна нулю, найдите отношение путей, проходимых телом за последовательные равные промежутки времени.

Решение

При равноускоренном движении координата $x(t)$ и пройденный путь $S(t)$ совпадают, если положить начальную координату равной нулю. Тогда $S(t) = v_1 t + at^2/2$, где a — ускорение тела; t — промежуток времени, за который пройден путь S, при этом скорость изменилась от v_1 до v_2 и $v_2 = v_1 + at \Rightarrow at = v_2 - v_1$. Средняя путевая скорость

$$v_s = \frac{S}{t} = v_1 + \frac{at}{2} = v_1 + \frac{v_2 - v_1}{2} = \frac{v_2 + v_1}{2}.$$

В рассматриваемом случае пройденный путь равен модулю вектора перемещения, поэтому $v_{\text{ср}} = v_s$. Полученный результат справедлив только тогда, когда движение является равноускоренным.

При $v_1 = 0$ путь, проходимый за промежуток времени Δt, равен $S_1 = S(\Delta t) = \dfrac{a\Delta t^2}{2}$. Путь, проходимый за время

$$2\Delta t,\ S(2\Delta t) = \frac{4a\Delta t^2}{2};$$

$$S(3\Delta t) = \frac{9a\Delta t^2}{2};\ \ldots\ S((n-1)\Delta t) = \frac{(n-1)^2 a\Delta t^2}{2};$$

$$S_n = \frac{n^2 a\Delta t^2}{2},\ \text{где}\ n \in N.$$

Путь, проходимый за второй промежуток времени Δt:

$$S_2 = S(2\Delta t) - S(\Delta t) = \frac{4a\Delta t^2}{2} - \frac{a\Delta t^2}{2} = \frac{3a\Delta t^2}{2}.$$

Путь, проходимый за третий промежуток времени Δt:

$$S_3 = S(3\Delta t) - S(2\Delta t) = \frac{9a\Delta t^2}{2} - \frac{4a\Delta t^2}{2} = \frac{5a\Delta t^2}{2}.$$

Путь, проходимый за n-й промежуток Δt:

$$S_n = S(n\Delta t) - S((n-1)\Delta t) =$$
$$= \frac{n^2 a\Delta t^2}{2} - \frac{(n-1)^2 a\Delta t^2}{2} = \frac{a\Delta t^2}{2}(n^2 - (n-1)^2) = \frac{a\Delta t^2}{2}(2n+1).$$

Тогда

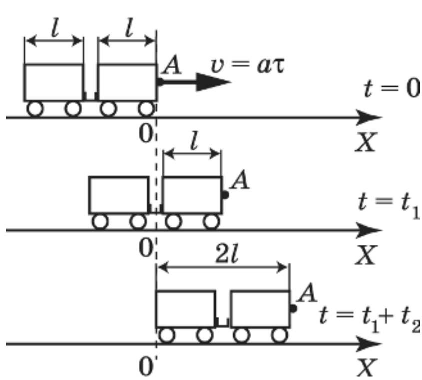
$$S_1 : S_2 : S_3 : \ldots S_n = \frac{a\Delta t^2}{2} : \frac{3a\Delta t^2}{2} : \frac{5a\Delta t^2}{2} : \ldots : \frac{a\Delta t^2}{2}(2n+1) =$$
$$= 1 : 3 : 5 : \ldots (2n+1).$$

Отношение путей, проходимых телом за равные последовательные промежутки времени в равноускоренном движении с начальной скоростью, равной нулю, равно отношению последовательных нечетных чисел натурального ряда.

4. Когда опоздавший пассажир вбежал на платформу, мимо него за время t_1 прошел предпоследний вагон поезда. Последний вагон прошел мимо пассажира за время t_2. На сколько опоздал пассажир к отходу поезда? Поезд двигался равноускоренно, длина вагонов одинакова.

Р е ш е н и е

Так как поезд отходит от платформы, то его начальная скорость $v_0 = 0$. Пусть пассажир опоздал на время τ, тогда в момент, когда пассажир вбежал на платформу,



скорость поезда $v = a\tau$. Отсчет времени начнем с момента появления пассажира на платформе и проследим за положением точки A (в координатной системе, изображенной на рисунке, l — длина вагона). Закон движения поезда

$$x(t) = x_0 + v_x t + \frac{a_x t^2}{2} = x(t) v_x t + \frac{a_x t^2}{2} = x(t) a t\tau + \frac{at^2}{2}.$$

При $t = t_1$ $\quad x(t_1) = x_A = l = at_1\tau + \frac{at_1^2}{2}. \qquad (1)$

При $t = t_1 + t_2$ $\quad x(t_1 + t_2) = x_A = 2l = a\tau(t_1 + t_2) + \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2}. \qquad (2)$

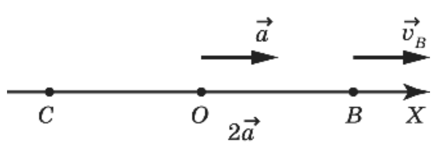
Разделив уравнение (2) на (1), получим

$$2 = \frac{\tau(t_1 + t_2) + (t_1 + t_2)^2/2}{\tau_1 t_1 + t_1^2/2} \Rightarrow 2\tau_1 + t_1^2 = \tau_1 + \tau_2 + \frac{t_1^2}{2} + t_1 t_2 + \frac{t_2^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau(t_1 - t_2) = \frac{t_2^2}{2} + t_1 t_2 - \frac{t_1^2}{2} \Rightarrow \tau = \frac{t_2^2 + 2t_1 t_2 - t_1^2}{2(t_1 - t_2)}.$$

Ответ: $\tau = \frac{t_2^2 + 2t_1 t_2 - t_1^2}{2(t_1 - t_2)}$.

5. Тело начинает двигаться из точки O без начальной скорости по прямой с постоянным ускорением a. Через промежуток времени τ после начала движения тело оказывается в точке B, причем в ней происходит изменение направления ускорения на противоположное, а его модуль возрастает вдвое. Через какое время после начала движения тело окажется в точке C, лежащей по другую сторону от начальной точки движения O, такой, что $OB = OC$?



Решение

Сделаем чертеж, иллюстрирующий условие задачи. Для этого направим координатную ось X вдоль прямой, по которой движется тело, как показано на рисунке. Ее начало поместим в точку O, следовательно, начальная координата $x_0 = 0$. Запишем законы движения на участке OB. Так как проекция ускорения $ax = a$ и $v_0 = 0$, то $v(t) = at$, $x(t) = at^2/2$. В момент времени $t = \tau$ тело окажется в точке B, его скорость $v_B = a\tau$, а его координата $x_B = a\tau^2/2$. Несмотря на то что в точке B ускорение изменяет направление, тело еще некоторое время продолжит свое движение в прежнем направлении, двигаясь равнозамедленно. После того как скорость обратится в нуль, оно начнет двигаться в обратном направлении.

В точке B естественно начать новый отсчет времени. Проекция ускорения $a_x = -2a$, начальная координата x_B, начальная скорость v_B. Закон движения тела

$$x(t) = x_B + v_B t + \frac{a_x t^2}{2} = x(t)\frac{a\tau^2}{2} + a\tau t - \frac{2at^2}{2} = x(t)\frac{a\tau^2}{2} + a\tau t - at^2. \quad (1)$$

Когда тело окажется в точке C, его координата $x_c = -x_B = -a\tau^2/2$. Формула (1) выражает координату тела в любой момент времени при движении с ускорением $a_x = -2a$, в том числе и координату точки C. Поэтому можно составить уравнение $a\tau^2/2 + a\tau t - at^2 = -a\tau^2/2$, где t — время движения на участке от B к C. Перенося все члены в одну часть и сокращая на $a \neq 0$, получаем квадратное уравнение относительно t: $t^2 - \tau t - \tau^2 = 0$. Его дискриминант $D = \tau^2 - 4(-\tau^2) = 5\tau^2$, а его корни $t_{1,2} = (\tau \pm \tau\sqrt{5}) / 2 = \tau(1 \pm \sqrt{5})/2$. Здесь $t_2 < 0$, что не удовлетворяет условию задачи. Значит, $t = t_1 = \tau(1 + \sqrt{5})/2$. Тело окажется в точке С через время $t_2 = t_1 + \tau = \tau(1 + \sqrt{5})/2 + \tau = \tau(3 + \sqrt{5})/2 \approx 2{,}6\tau$ после начала движения.