

Александр Кампин

Как решить задачу по физике
(Тайное оружие)

Москва
Издательство Нобель Пресс

УДК 50
ББК 22
А46

А46 **Александр Кампин**
Как решить задачу по физике: (Тайное оружие) / Александр Кампин – М.: Lennex Corp, — Подготовка макета: Издательство Нобель Пресс, 2024. – 46 с.

ISBN 978-5-458-64719-9

Решение задач по физике – одно из самых и осмысленных занятий в школе. Почему-то это занятие многим школьникам кажется очень трудным. Методика, изложенная в книжке и проиллюстрированная решением нескольких десятков задач должна помочь овладеть этим делом гораздо быстрее. Для будущих инженеров – это фундамент профессии. Для тех, кто собирается стать юристом, финансистом, налоговым инспектором и т. п. подход, используемый в книжке, поможет приобрести полезные для будущей профессии навыки. Специальный раздел показывает, как работает методика в задачах ЕГЭ. Одна из глав посвящена решению задач, которые считаются трудными.

ISBN 978-5-458-64719-9

© Издательство Нобель Пресс, 2024
© Александр Кампин, 2024

КАК РЕШАТЬ ЗАДАЧУ ПО ФИЗИКЕ (Тайное оружие)

1. Введение

Сейчас все знают легенды о китайском монахе, который мирно и тихо шел по улице, размышляя о чем-то высоком. Вдруг на этого китайского ботаника напали вооруженные разбойники. Монах быстро разобрался с ними и продолжал свой мирный поход и размышления о высоком.

Легкая победа служителю культа досталась потому, что он владел *технологией* рукопашного боя, а его противники свирепо и бестолково размахивали саблями.

Эта книжка должна помочь желающим овладеть *технологией* решения школьных задач по физике. При этом, технология-технологией, а физику как-то знать нужно.

Когда читать книжку? В любом классе, начиная с девятого. В ночь перед экзаменом это, наверное, поздно. Лучше – на дальних подступах к экзамену.

И не жалейте стержней и бумаги. Воспроизводите решения. В книжке немного задач, разберите все.

2. Как решать задачу?

Знание общих принципов иногда заменяет знание подробностей.

Учитель никогда не скажет младшеклассникам: «Сегодня мы будем учиться читать басню Крылова «Ворона и лисица», а завтра – «Сказку о рыбаке и рыбке». В школе сразу учатся читать любой текст.

Неплохо бы научиться точно так же решать любую задачу по единым правилам.

Рассмотрим для начала простую задачу.

Мальчик уронил с балкона третьего этажа мячик. Сколько времени мячик будет падать на землю? Высота одного этажа – 3 м.

Записываем условия задачи традиционным способом, вводя обозначения для параметров.

$$h_1 = 3 \text{ м}$$

$$n = 3$$

$$t - ?$$

Проследим шаги, необходимые для решения.

Первый шаг.

Определяем объект задачи, главное действующее лицо.

Первый вариант: объект задачи – мальчик. Это плохой вариант. После того, как мальчик выпустил мячик из рук, никакого участия в физических процессах задачи он не принимает. Второй вариант - мячик. Этот вариант лучше, но не самый лучший. Если вы полистаете справочник по физике, никаких мячиков вы там не найдете. Объект задачи лучше определять, используя физические термины. В нашей задаче объект – тело.

Второй шаг.

Определяем, в каком физическом процессе участвует объект задачи, что в задаче с нашим объектом происходит.

В нашей задаче тело свободно падает, т.е. движется вертикально равноускоренно с ускорением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ и начальной скоростью равной нулю..

Третий шаг.

Вспоминаем какими формулами описывается физический процесс, равноускоренное движение.

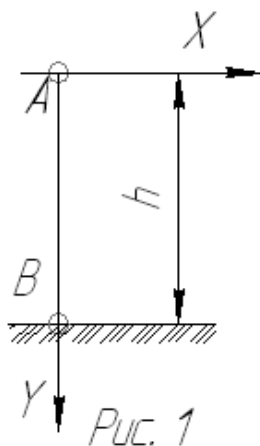
$$y = v_0 t + gt^2/2. (1)$$

$$v = v_0 + gt. (2)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2gy. (3)$$

Четвертый шаг.

Как наша задача выглядит в пространстве? Делаем чертеж, рисунок, вводим систему координат.



Пятый шаг.

Определяем, какие точки физического процесса, какие моменты времени выделены в задаче.

В нашей задаче: момент начала движения, когда тело находится в точке А (на балконе), и момент окончания движения, когда тело – в точке В (на земле). Что известно о процессе в этих точках?

В точке А: $t_A = t_0 = 0$; (4)

$$v_A = v_0 = 0. (5)$$

В точке В: $y_B = h$; (6)

$t_B = t$, – что и требуется определить.

Шестой шаг.

Определяем, какие ещё формулы связывают параметры задачи. В нашем простом случае это – зависимость между высотой падения и этажом, с которого сбросили тело.

$$h = h_1(n - 1). (7)$$

Седьмой шаг.

Составляем систему уравнений – математическую модель задачи. Из уравнений (1)-(3) выбираем уравнение (1), так как оно связывает заданную величину h с интересующей нас неизвестной величиной t .

Произведя очевидные подстановки (4) и (5) в (1), получим систему уравнений

$$\begin{aligned}h &= gt^2/2; \\ h &= h_1(n-1).\end{aligned}$$

В системе два неизвестных – h и t . Нас интересует t .

На этом собственно физическая часть задачи, в основном, закончена. Далее начинается математика.

Восьмой шаг.

Получаем итоговую формулу, проверяем размерность, производим вычисления.

Итоговая формула

$$t = \sqrt{\frac{2h_1(n-1)}{g}}.$$

Проверяем размерность. В правой и левой частях формулы она должна быть одинаковой.

$$c = \sqrt{\frac{mc^2}{m}} = c.$$

Производим вычисления.

$$t = \sqrt{\frac{3(3-1)}{9,8}} = 0,78 \text{ с.}$$

Выпишем еще раз шаги, необходимые для решения задачи.

1. Определяем в терминах физики объект (объекты) задачи.
2. Выясняем, в каких физических процессах или явлениях участвует объект, или же он ни в чем таком не участвует, а находится в состоянии равновесия.
3. Вспоминаем, какими законами и формулами описывается физические процессы, в которых участвует объект или состояние, в котором он находится. Если процессов или объектов несколько ищем формулы, связывающие их между собой.
4. Делаем рисунок, изображаем объект и процесс в пространстве. При необходимости выбираем систему координат.
5. Определяем, какие моменты, какие точки процесса выделены в задаче, и что нам известно о параметрах процесса в выделенных точках.
6. Выясняем, какими еще формулами, кроме выписанных на шагах 3 и 5, (геометрические зависимости, отношения пропорциональности и т.п.) связаны между собой параметры задачи. Выписываем табличные величины и константы.
7. На основе пунктов 3., 5., 6. составляем систему уравнений – математическую модель задачи.
8. Решаем систему уравнений. Получаем итоговую формулу для вычисления неизвестного значения физической величины. Она связывает неизвестную с исходными данными задачи, табличными величинами и константами. Проверяем размерность. Производим вычисления, подставив в формулу числа из условий задачи, табличные величины из справочников и значения констант.

3. Решаем задачи

*Чтобы научиться играть на балалайке,
надо играть на балалайке.*

К. Прутков

Поупражняемся в применении описанных выше принципов. Большинство рассмотренных ниже задач – «бродячие сюжеты». Их условия в той или иной форме переходят из одного задачника в другой. Для оригинальных задач указаны источники.

Номера шагов при решении задач обозначаются подчеркнутой цифрой. Например, первый шаг – 1. Векторные величины изображаем жирным шрифтом.

Задача 1. Свободно падающее тело за последнюю секунду пролетело 10м. С какой высоты оно падает?

$$\Delta t = 1 \text{ с}$$

$$h_1 = 10 \text{ м}$$

$h - ?$

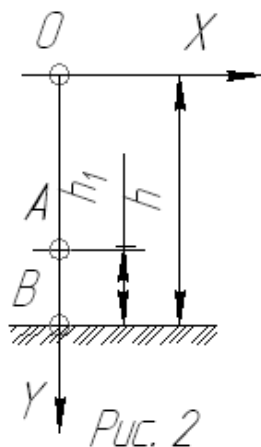
1. Объект задачи – тело.

2. Физический процесс – точка свободно падает, т.е. движется вертикально равноускоренно с ускорением g .

3. Формулы, описывающие процесс

$$v = v_0 + gt. \quad (1)$$

$$y = v_0 t + gt^2/2. \quad (2)$$



4. Делаем рисунок, изображаем ситуацию в пространстве (рис. 2). Одновременно выбираем систему координат.

5. Определяем, какие точки процесса выделены в задаче, и что об этих точках известно.

Точка O, откуда начинается движения – начало координат.

$$v_0 = 0;$$

$$y_0 = 0;$$

$$t_0 = 0;$$

Точка B, в которой движение заканчивается.

$$y_B = h;$$

$$t_B = t;$$

Точка A, в которой тело находится за 1 с до падения.

$$y_A = h - h_1$$

$$t_A = t - \Delta t.$$

6. Шаг пустой, никаких формул добавить не можем.

7. Составляем систему уравнений.

Нам известно ускорение g , а требуется определить путь x .

Выбираем формулу, связывающую эти величины.

С учетом начальных условий (условий в начале координат) имеем

$$y = \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

Подставим в эту формулу выражения, полученные нами для точек A и B на шаге 5.
Получаем

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad (4)$$

$$h - h_I = \frac{g(t - \Delta t)^2}{2}. \quad (5)$$

Получена система из двух уравнений с двумя неизвестными – h и t .

8. Решаем систему уравнений. Так нас интересует величина h , по общему правилу следовало бы из одного из уравнений выразить t , подставить полученное выражение во второе уравнение и получить итоговую формулу для величины h . Поупражняйтесь. Из-за того, что оба уравнения – второй степени итоговая формула получится громоздкой. В этой задаче экономней вычисления производить последовательно и сначала определить значение не интересующей нас величины t .

Вычтем из (5) уравнение (4).

$$h - (h - h_I) = \frac{gt^2}{2} - \left(\frac{gt^2}{2} - \frac{2gt\Delta t}{2} + \frac{g(\Delta t)^2}{2} \right).$$

После сокращения и взаимного уничтожения всего, что можно, имеем

$$h_I = g \cdot t \cdot \Delta t - \frac{g(\Delta t)^2}{2}.$$

Откуда

$$t = \frac{h_I}{g \cdot \Delta t} + \frac{\Delta t}{2}.$$

Проверим размерность.

$$c = \frac{mc^2}{mc} + c.$$

Вычисляем

$$t = \frac{10}{9,8 \cdot 1} + \frac{1}{2}.$$

$$h = \frac{9,8 \cdot 1,52^2}{2} = 11,33 \text{ м.}$$

Задача 2. В подвешенный на нити шар массой 1,5кг попадает летящая горизонтально со скоростью 700м/с пуля массой 8г и застревает в нем. Какова энергия, которая перейдет в тепло, и на какую высоту поднимется шар?

$$m_1 = 0,008 \text{ кг}$$

$$m_2 = 1,5 \text{ кг}$$

$$v = 700 \text{ м/с}$$

$$\Delta W - ?$$

$$h - ?$$

1. Объект – система из двух тел (шар и пуля).

2. Процесс распадается на две стадии. Первая – неупругое столкновение тел. (Неупругое столкновение - это следует из того, что пуля застряла. Если бы столкновение было упругим, тела разлетелись бы в разные стороны, как бильiardные шары).

Вторая – совместное движение тел до остановки, поворот шара вокруг точки подвески, переход кинетической энергии системы в потенциальную.

3. Формулы и законы.

Первая стадия.

Сначала разберемся с обозначениями. При соударении двух тел в общем случае имеем дело с четырьмя скоростями: две до, две после столкновения. Наглядный способ обозначения такой: v_{11} , v_{12} , v_{21} , v_{22} . Здесь первый индекс – номер состояния: 1 – до столкновения, 2 – после. Второй индекс – номер тела. v_{21} – скорость после столкновения (2) первого тела (1). В нашем случае после столкновения тела имеют общую скорость. Для нее хорошее обозначение – v_2 .

Тогда закон сохранения импульса

$$m_1 v_{11} + m_2 v_{12} = (m_1 + m_2) v_2. \quad (1)$$

Закон сохранения энергии

$$\frac{m_1 v_{11}^2}{2} + \frac{m_2 v_{12}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{2} + \Delta W. \quad (2)$$

В формуле (2) член ΔW обозначает часть энергии системы, которая пошла на пластическую деформацию шара, и перешла в тепло.

Вторая стадия.

Разберемся с обозначениями. Окончание первой стадии – это начало второй. Оставим для этого момента индекс – 2. Для следующего момента принимается индекс – 3.

Процесс – Совместное движение двух тел.

Закон – закон сохранения энергии.

$$(m_1 + m_2) gh_2 + \frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{2} = (m_1 + m_2) gh_3 + \frac{(m_1 + m_2) v_3^2}{2}.$$

Откуда

$$gh_2 + \frac{v_2^2}{2} = gh_3 + \frac{v_3^2}{2}. \quad (3)$$

4. Рисунок, выбор системы координат – рис.3.

5. Точки, моменты, выделенные в задаче и соответствующие значения параметров.

Момент начала столкновения (точка O).

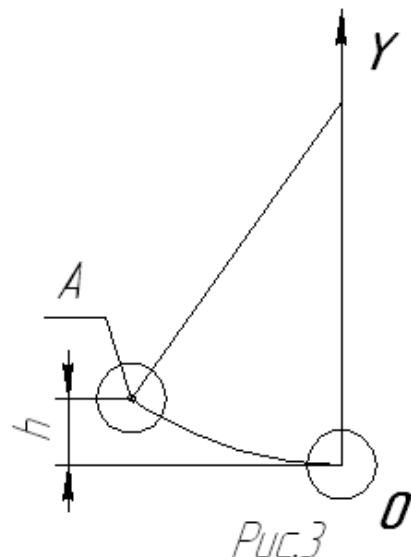
$$v_{11} = v; \quad (4)$$

$$v_{12} = 0. \quad (5)$$

Момент окончания столкновения, первой стадии и одновременно начало второй стадии (точка O).

$$y_2 = h_2 = 0; \quad (6)$$

$$v_{21} = v_{22} = v_2. \quad (7)$$



Момент окончания второй стадии, момент остановки системы (точка А).

$$v_3 = 0; \quad (8)$$

$$y_3 = h_3 = h. \quad (9)$$

6. Другие формулы – нет.

7. Система уравнений. Для ответа на первый вопрос задачи из (2), (4), (5), (7) получаем

$$\Delta W = \frac{m_1 v^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{2}. \quad (10)$$

В (10) неизвестна величина v_2 .

Из (1), (4), (5), (7) имеем

$$m_1 v = (m_1 + m_2) v_2. \quad (11)$$

Откуда

$$v_2 = \frac{m_1 v}{m_1 + m_2}. \quad (12)$$

Система уравнений (10) и (12) позволяет ответить на первый вопрос задачи. Неизвестные – ΔW и v_2 . Нас интересует ΔW , а v_2 потребуется дальше.

Для ответа на второй вопрос задачи используем уравнение (3), содержащее интересующую нас величину h_3 (h). С учетом (6), (7), (8), (9) имеем

$$\frac{v_2^2}{2} = gh. \quad (13)$$

Откуда

$$h = \frac{v_2^2}{2g}. \quad (14)$$

Система из (12) и (14) позволяет определить h .

8. Рабочие формулы, вычисления. Так как величина v_2 требуется при ответе на оба вопроса задачи, вычисления проводим последовательно.

$$v_2 = \frac{0,008 \cdot 700}{0,008 + 1,5} = 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\Delta W = \frac{0,008 \cdot 700^2}{2} - \frac{1,508 \cdot 3,7^2}{2} = 1949,7 \text{ Дж.}$$

$$h = \frac{3,7^2}{2 \cdot 9,8} = 0,7 \text{ м.}$$

Задача 3. Деревянный брусок в форме параллелепипеда плавает в воде. Какая часть толщины бруса находится над водой? Плотность древесины 600 кг/м^3 .

$$\rho_d = 600 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{-----}$$

$$h/b - ?$$

1. Объект – тело, погруженное в жидкость.

2. Процесс или состояние – тело находится в равновесии под действием силы тяжести и архимедовой силы.

3. Законы, формулы, описывающие состояние.

Сумма сил, действующих на тело, равна 0.

$$mg = P_{\text{арх}} \quad (1)$$

Закон Архимеда

$$P_{\text{арх}} = V_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} \quad (2)$$

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости (воды).

4. Рисунок (см. рис. 4).

5. Моменты, выделенные в процессе. Система находится в равновесии. Нет процесса – нет моментов.

6. Другие зависимости, связывающие параметры системы.

Обозначим размеры параллелепипеда – a, b, c . Тогда масса тела

$$m = abc \rho_d \quad (3)$$

Объем жидкости, вытесненной телом

$$V_{\text{ж}} = ac(b-h) \quad (4)$$

7. Система уравнений – математическая модель задачи. Уравнения

(1) – (4) составляет искомую систему. Искомая величина – отношение h/b .

8. Итоговая формула, вычисления.

Подставив в (1) выражения (2), (3), (4) получим

$$abc \rho_d g = ac (b-h) \rho_{\text{ж}} g.$$

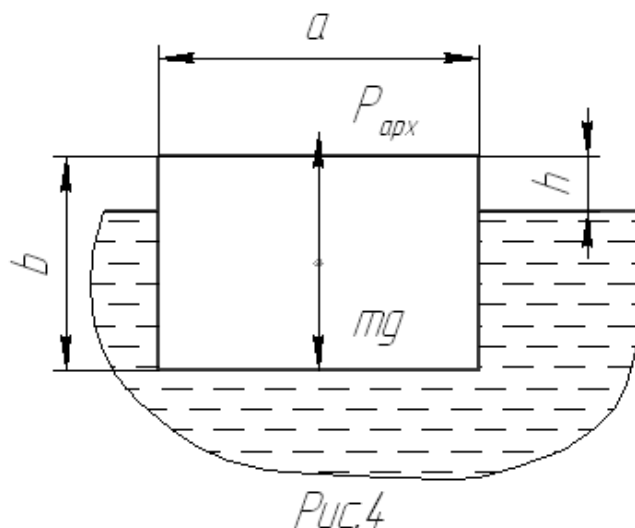
Откуда

$$\frac{b-h}{b} = \frac{\rho_d}{\rho_{\text{ж}}}.$$

$$\frac{h}{b} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_{\text{ж}}}.$$

Плотность воды $\rho_{\text{ж}}$ - табличная величина. $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

$$\frac{h}{b} = 1 - \frac{600}{1000}.$$



Задача 4. В баллоне объемом $V \text{ м}^3$ содержится $m \text{ кг}$ газа при температуре $T_1 \text{ }^\circ\text{К}$. Какое количество газа следует подкачать в баллон, чтобы увеличить давление вдвое, а температура газа составила бы $T_2 \text{ }^\circ\text{К}$?

$V, \text{ м}^3$

$M, \text{ кг}$

$T_1, \text{ }^\circ\text{К}$

$T_2, \text{ }^\circ\text{К}$

$\Delta m - ?$

1. Объект - газ в сосуде.

2. Процесс или состояние. Можно считать, что система находится в термодинамическом равновесии дважды: до ввода дополнительной массы газа и после. Что происходит в процессе подкачки газа нас, не интересует.

3. Формулы. Уравнение Менделеева – Клайперона.

$$pV = \frac{mRT}{\mu} \quad (1)$$

4. Рисунок. Не требуется.

5. Моменты, выделенные в задаче.

До подкачки газа.

Обозначим для этого случая

$$p = p_1.$$

Масса газа – m .

Температура – T_1

Соответственно

$$pV = \frac{mRT_1}{\mu} \quad (2)$$

После подкачки газа.

Давление $p = p_2 = 2p_1$.

Масса газа – $(m + \Delta m)$.

Температура – T_2 .

Соответственно

$$2p_1V = (m + \Delta m)RT_2/\mu. \quad (3)$$

Очевидно, что $V_1 = V_2 = V$.

6. Других формул нет.

7. Система уравнений – уравнения (2) и (3).

8. Расчетная формула.

После деления (3) на (2) имеем

$$2 = \frac{(m + \Delta m)T_2}{mT_1}.$$

Откуда

$$\Delta m = \frac{m(2T_1 - T_2)}{T_2}.$$

Задача 5. Два одноименных заряда $q_1 = 1 \text{ К}$ и $q_2 = 1,5 \text{ К}$ закреплены на расстоянии $l = 0,2 \text{ м}$ между собой. На прямой, соединяющей заряды, находится в равновесии заряд q противоположного знака. На каком расстоянии от q_1 расположен этот заряд?

$q_1 = 1 \text{ К}$

$q_2 = 1,5 \text{ К}$

$l = 0,2 \text{ м}$

$l_1 - ?$

1. Объект - заряд в электрическом поле, созданном другими зарядами.

2. Процесс или состояние. Состояние равновесия.

3. Формулы.

Условие равновесия

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0. (1)$$

Закон Кулона, определяющий величину сил, действующих в задаче,

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 l^2}. (2)$$

4. Рисунок (см. рис. 5).

5. Моменты, выделенные в процессе. Нет процесса – нет моментов.

6. Другие формулы – нет.

7 Система уравнений

Распишем уравнения (1) и (2).

$$F_1 + F_2 = 0. (3)$$

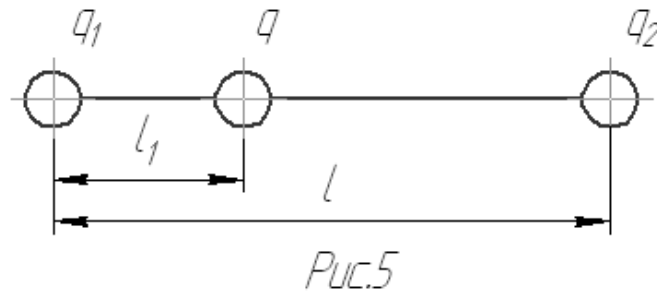
В формуле (3) F_1 и F_2 - силы, действующие на заряд q со стороны, соответственно, зарядов q_1 и q_2 . Положительными считаем силы, направленные слева направо.

$$F_1 = \frac{qq_1}{4\pi\epsilon_0 l_1^2}. (4)$$

$$F_2 = \frac{qq_2}{4\pi\epsilon_0 (l - l_1)^2}. (5)$$

Уравнения (3), (4), (5) составляют искомую систему. Нас интересует l_1 .

8. Расчетная формула, вычисления. Подставив (4) и (5) в (3), получаем



$$\frac{q_1}{l_1^2} = \frac{q_2}{(l - l_1)^2}.$$

Откуда

$$(q_2 - q_1)l_1^2 + 2lq_1l_1 - q_1l^2 = 0.$$

$$l_1 = \frac{-2lq_1 \pm \sqrt{4l^2q_1^2 + 4(q_2 - q_1)q_1l^2}}{2(q_2 - q_1)}.$$

Размерность

$$M = \frac{MK + \sqrt{M^2 K^2}}{K} = M.$$

$$l_1 = \frac{-2 \cdot 0,2 \cdot 1 \pm \sqrt{4 \cdot 0,2^2 \cdot 1^2 + 4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,2^2}}{0,5 \cdot 2}.$$

$$(l_1)_1 = 0,09 \text{ м. } (l_1)_2 = -0,89 \text{ м.}$$