



удк 378.14

**КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ГРАФИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ
ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО УЧЕБНОЙ ТЕМЕ «МЕХАНИЧЕСКИЕ
КОЛЕБАНИЯ» ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВЫПУСКНИКОВ К ЕГЭ**

А. А. Миниахметов

Учителя,

Ф. М. Хакимова

*Средняя общеобразовательная школа № 1,
с. Аскино, Республика Башкортостан, Россия*

**COMBINED METHOD GRAPHICAL SOLUTION
OF PHYSICAL TASKS ON «MECHANICAL OSCILLATION»
WHILE PREPARING STUDENTS FOR USE**

A. A. Miniakhmetov

Teachers,

F. M. Khakimova

*Secondary school № 1,
Askino, Republic of Bashkortostan, Russia*

Summary. The article dwells on one of the methods of graphical solution of physical tasks on mechanical oscillation. The author given a combined graphic building method of main physical magnitude of harmonious oscillation from time in one flat. The algorithm of displacement graph building, speed, acceleration, returning force, kinesthetic and potential energy of mechanical oscillation is shown in the article. As an example, the author shows a physical task solution on harmonious oscillation. The suggested method has a great theoretical and practical value for teachers of Physics while preparing students for USE on Physics.

Keywords: learning; upbringing; Physics; USE; a graphic; dependence; oscillation; waves; mechanic; harmonious; displacement; speed; acceleration; force; energy; kinesthetic; potential; period; phase; amplitude; material; point; inflexibility; waving contour.

На современном этапе обучения и воспитания в современной школе система моделей уроков является определенной технологией построения и проектирования учебного процесса в целом. При этом, независимо от вида образовательного учреждения, профиля обучения, уровня преподавания, каждая модель урока была и остается до сегодняшнего дня конкретной [8].

Однако границы ее применимости определяются опытом и мудростью учителя, условиями данной школы, отдельного класса, содержанием экзаменационных работ единого государственного экзамена (ЕГЭ).

Качественная подготовка выпускника к ЕГЭ по физике во многом зависит от правильной методики построения учебного процесса при использова-

нии новых образовательных программ в рамках Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС), а также применению конкретных методических средств для организации учебной деятельности.

Согласно [9], при разработке содержания контрольно-измерительных материалов (КИМ) в экзаменационной работе контролируются лишь некоторые элементы содержания одного из важнейших разделов общего курса физики в школе – «Механические колебания», «Волны», «Звук».

Хотя в демонстрационном варианте ЕГЭ–2105 по физике [11] обширный набор задач по данным темам. Это задания № 1, 3, 5, 7, 18.

В основном задания демонстрационных вариантов ЕГЭ по физике огра-



ничиваются лишь рассмотрением зависимости смещения от времени $x = x(t)$, а в реальных заданиях ЕГЭ довольно часто встречаются графики на выявление зависимости скорости от времени $v = v(t)$, ускорения от времени $a = a(t)$, силы от времени $F = F(t)$, кинетической энергии от времени $W_{\text{кин}} = W_{\text{кин}}(t)$ и потенциальной энергии от времени $W_{\text{пот}} = W_{\text{пот}}(t)$.

В связи с этим в данной статье предложены методические рекомендации и практические приемы решения физических задач на числовые расчеты и построение графиков зависимостей параметров механического колебания в проекционной связи.

Современному учителю физики важно знать предысторию возникновения учения о колебаниях, что позволит передать обучающимся более точные исторические сведения и факты из жизни известных ученых, чего редко встретишь в современных образовательных учебниках по физике.

Впервые механические колебания начали изучать еще известные ученые Г. Галилей и Х. Гюйгенс в середине XVII века [11].

Галилей установил независимость периода от амплитуды (изохронизм) малых колебаний $T = T(A)$, наблюдая за раскачиванием люстры в соборе и отмеряя время удара пульса на своей руке, фиксируя все данные.

Гюйгенс изобрел первые часы с маятником еще в 1657 году, и во время публикации известной нашему времени монографии «Маятниковые часы» (1673) исследовал ряд проблем, связанных с движением маятника, в частности, нашел центр качания физического маятника.

Именно исследования колебаний маятника, предпринятые еще итальянским ученым Г. Галилеем, а затем голландским ученым Х. Гюйгенсом, сыграли важную роль в возникновении классической механики.

Изучение в конце XIX века электромагнитных колебаний английским физиком У. Томсоном имело большое значение для понимания колебательных процессов в современной физике [1]. Много сведений и результатов о колебаниях содержится и в трудах английского физика Дж. Рэлея.

Изобретение радио А. С. Поповым (1985) явилось одним из главных учений российской физики о колебаниях и важнейшим техническим применением электромагнитных колебаний в современной жизни [4].

Помимо исторических фактов особое место занимает и теоретическая подготовка выпускников к ЕГЭ по физике. Не зная теории процесса колебаний, невозможно правильно решить предложенные задачи экзамена.

Как показывает опыт работы, экзаменуемые просто путаются в элементарных терминах и понятиях. Учителю физики при подготовке выпускников к ЕГЭ необходимо объяснить, что по определению [5] колебаниями называют процессы, точно или приблизительно повторяющиеся через одинаковые промежутки времени. В зависимости от физической природы различают механические, электромагнитные и другие виды колебаний.

Многие обучающиеся не сразу могут понять природу колебаний. В связи с этим учителю важно акцентировать внимание на мотивационном этапе урока, приводя реальные примеры из жизни. Например, колеблются высотные дома, маятники часов, под действием ветра колеблются высоковольтные провода, автомобиль на рессорах и т. д.

С другой стороны, можно сказать, что звук – это те же колебания плотности и давления воздуха, также есть радиоволны, биение пульса или землетрясение как колебания почвы и другие примеры из жизни.

Обучающиеся при изучении из года в год отдельных тем на колебания



должны понять, что, несмотря на разную природу колебаний, в них обнаруживаются одни и те же закономерности, они описываются одними и теми же математическими уравнениями, исследуются общими методами, разработка и применение которых составляет задачу теории колебаний.

Учителю важно из всех разнообразных видов колебаний особо выделить гармонические колебания, так как они играют основную и существенную роль при решении большинства заданий ЕГЭ, где колеблющаяся величина изменяется с течением времени по закону синуса или косинуса.

Будучи экспертами ЕГЭ по проверке заданий части С прошлых лет, мы заметили, что учителям физики необходимо усвоить определенные алгоритмы решения задач повышенной сложности, только после этого обучать своих подопечных правильному решению задач на колебания.

Мы предлагаем свой, реализуемый в обучении и апробированный в течение многих лет комбинированный метод графического представления, решения самых типичных задач на механические колебания, предварительно сформулировав физическую задачу с введением основных понятий.

Пусть под механическими колебаниями понимаются повторяющиеся отклонения материальной точки (тела) массой m от положения равновесия под действием сил различной природы [3]. Тогда основным признаком, по которому можно отличить колебательное движение от других видов движения, будет являться его периодичность.

Из этого следует, что периодом колебаний T будет являться такой промежуток времени, в течение которого тело совершает одно полное колебание. В свою очередь, число колебаний в единицу времени будет являться частотой колебаний $\nu = 1/T$.

Как правило, свободные механические колебания присущи системе, выведенной из первоначального состояния равновесия посредством какого-либо воздействия, а затем предоставленной самой себе. Часто этим воздействием является сила F , пропорциональная модулю смещения $|x|$ и направленная к положению равновесия

$$F = k \cdot |x|,$$

где $k = \text{const}$.

Такая сила называется возвращающей силой, под действием которой тело совершает свободные гармонические колебания вдоль оси абсцисс.

Комбинируя работы [3] и [6], имеем следующее: смещение координаты точки тела в любой момент времени t описывается законами вида:

$$x = A \cdot \sin(\omega t + \varphi) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где $A = x_{\text{max}}$ – наибольшее отклонение (амплитуда) точки (тела) от положения равновесия (м), $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота колебаний (Гц); ν – собственная частота колебаний (Гц); $\varphi = \varphi_0 + \pi/2$ – начальная фаза колебаний в момент времени t .

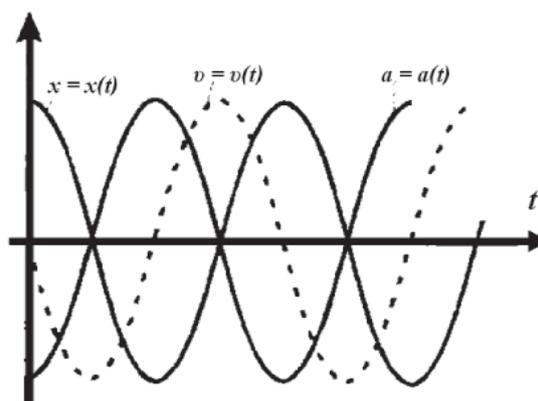


Рис. 1. Графики зависимости смещения, скорости и ускорения от времени



Для выявления зависимости скорости v и ускорения a от времени t необходимо обратиться к курсу алгебры и начала анализа. Как известно, мгновенная скорость представляет собой производную координаты по времени, то есть

$$v_x(t) = x'(t) = -A\omega \cdot \sin(\omega t + \varphi) = v_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi) = v_{\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0 + \pi/2).$$

В свою очередь, ускорение есть производная скорости по времени, или вторая производная координаты по времени, то есть

$$a_x(t) = x''(t) = -A\omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi) = a_{\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi) = v_{\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Для дальнейшего построения графиков зависимостей учителю необходимо довести до выпускников, что в выражениях для смещения, скорости и ускорения

$$x_{\max} = A; \quad v_{\max} = -A\omega; \quad a_{\max} = -A\omega^2.$$

Важно, чтобы каждый обучающийся научился «читать» предложенные графики функций. Для этого учителю при подготовке выпускника к экзамену необходимо показать, что на комбинированных графиках (рис. 1) зависимостей $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ скорость опережает колебания смещения по фазе на угол $(\pi/2)$, что также означает смещение на четверть периода T .

Следует также заметить, что колебания ускорения происходят в противофазе с колебаниями смещений точки от положения равновесия.

С другой стороны, из II закона Ньютона следует, что возвращающая сила

$$F = ma = -m\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) = -m\omega^2 x = -kx,$$

где $k = m\omega^2$.

Для построения графиков зависимости колебаний кинетической и потенциальной энергии необходимо учесть, что период гармонических колебаний

материальной точки (тела) есть закон вида $T = 2\pi\sqrt{m/k}$.

С учетом данного выражения, кинетическая энергия колеблющейся материальной точки (тела) в результате преобразований равна выражению следующего вида:

$$W_{\text{кин}} = mv^2/2 = [m\omega^2 \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega t + \varphi_0)]/2.$$

В свою очередь, потенциальная энергия колеблющейся материальной точки (тела), смещенной от положения равновесия на величину x , определяется выражением вида:

$$W_{\text{пот}} = kx^2/2 = [m\omega^2 \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega t + \varphi_0)]/2.$$

Однако, применяя формулу понижения степени

$$\cos^2\alpha = (1 + \cos 2\alpha)/2,$$

потенциальную энергию можно переписать в другом, измененном виде:

$$W_{\text{пот}} = [kA^2 \cdot \cos^2(\omega t + \varphi_0)]/2 = kA^2 \cdot [1 + \cos 2(\omega t + \varphi_0)]/4.$$

Только после всех проведенных преобразований можно анализировать графики построенных зависимостей. Из рис. 2 видно, что потенциальная энергия, как и смещение, изменяется со временем строго по гармоническому закону. Здесь важно довести до обучающихся, что частота вдвое больше частоты колебаний смещения. Причем, колебания кинетической энергии происходят в противофазе с колебаниями потенциальной энергии.

Тогда полная энергия W материальной точки (тела), колеблющейся без затухания, будет постоянной и равна сумме максимальных значений кинетической и потенциальной энергий, то есть получим выражение следующего вида:

$$W = W_{\text{кин}} + W_{\text{пот}} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{kx_{\max}^2}{2}.$$

Обычно в реальных заданиях ЕГЭ, в отличие от задач демонстрационного



варианта [2], рассматривается математический маятник как материальная точка, находящаяся на конце нерастяжимой невесомой нити длиной l . Поэтому учителю необходимо показать выпускникам, что при углах отклонения в пределах $5-8^\circ$ колебания маятника считаются гармоническими с периодом, равным

$$T = 2\pi\sqrt{l/g},$$

где g – ускорение свободного падения.

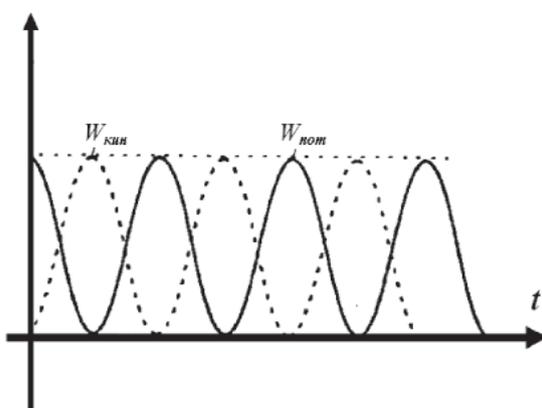


Рис. 2. Графики зависимости кинетической и потенциальной энергии от времени

Иногда экзаменуемые сталкиваются с задачами на пружинный маятник, который рассматривается как физическое тело массой m , прикрепленное к пружине жесткостью k .

Поэтому здесь при подготовке подопечных к ЕГЭ учитель должен объяснить, что в определенных пределах по закону Гука вызванная деформацией восстанавливающая сила упругости пружины есть прямо пропорциональная величина деформации. Это означает, что пружинный маятник, также как и математический маятник, совершает гармонические колебания, период колебаний которого определяется законом $T = 2\pi\sqrt{m/k}$.

Данный метод предлагает научить выпускника общеобразовательной школы при подготовке к ЕГЭ правильному графическому представлению изменения таких физических величин, как, например, смещение, скорость, ускорение, сила (направленная к положению равновесия), кинетическая энергия, потенциальная энергия, полная энергия колеблющейся материальной точки. В результате у экзаменуемого не будет проблем при составлении правильного решения на предложенную задачу.

Например, уже в задании № 7 демонстрационного варианта ЕГЭ–2015 по физике [2] предлагается установить соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять (изображения с графиками приведены в задании ЕГЭ).

Между тем, это задание является хорошей почвой для изучения электромагнитных колебаний, решения задач по данной теме, графического представления изменения физических величин, характеризующих электромагнитные колебания, например, задание № 18 демонстрационного варианта ЕГЭ–2015 того же источника [2].

Конечно, любое умение выпускника средней общеобразовательной школы решать поставленную задачу ЕГЭ делает его знания действенными и практически применимыми в любой нестандартной ситуации.

Поэтому представленный комбинированный метод решения задач и графического представления изменения физических величин при механических колебаниях обладает своими свойствами и преимуществами.

Во-первых, предложенный метод предназначен для решения любой задачи из данного блока однотипных задач (массовость). Во-вторых, метод представляет собой строго прописанную и определенную последовательность выполняемых действий



и шагов (детерминированность). Наконец, в-третьих, решение любой задачи из данного класса задач обеспечивает экзаменуемому получение достоверного результата (результативность).

Однако в сборниках задач по физике довольно известных авторов, таких как Г. Н. Степанова [10] и А. Рымкевич [7], в разделе «Механические колебания и волны» до сих пор нет ни одной задачи на комбинированное графическое представление скорости, ускорения, возвращающей силы и других физических величин, характеризующих колеблющуюся материальную точку (тело).

Поэтому обучающемуся под руководством своего учителя приходится «достраивать» условие задачи и, соответственно, доводить до окончательного решения по всем пунктам приведенного алгоритма.

В связи с этим покажем правильный вариант решения и графического оформления одной из задач согласно приведенной методике.

Рассмотрим задачу № 497 источника [10] по теме «Механические колебания и волны». Согласно условию, на пружине жесткостью 40 Н/м подвешен груз массой 500 г. Необходимо построить график колебаний этого груза, если амплитуда равна 1 см.

Расписав все заданные параметры через принятые физические обозначения с переводом единиц измерения в систему СИ, получим, что $k = 40 \text{ Н/м}$; $m = 500 \text{ г} = 0,5 \text{ кг}$; $x_{\text{max}} = A = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$. Согласно описанной теории необходимо построить графики зависимости смещения $x = x(t)$, скорости $v = v(t)$, ускорения $a = a(t)$, возвращающей силы $F = F(t)$, кинетической $W_{\text{кин}} = W_{\text{кин}}(t)$ и потенциальной $W_{\text{пот}} = W_{\text{пот}}(t)$ энергий от времени t .

До начала конкретных числовых вычислений пусть время $t = 0$. Тогда смещение $x = x_{\text{max}} = A = 0,01 \text{ м}$. Получим зависимость следующего вида $x = x_{\text{max}} \cdot \cos(\omega t)$ при $\varphi_0 = 0$.

Вычислим величину циклической частоты колебаний ω через выражение $k = m\omega^2$, то есть

$$\omega = \sqrt{k/m} = \sqrt{40/0,5} = \sqrt{80} \text{ Гц.}$$

Только теперь можно записать выражение зависимости смещения $x = x(t)$ в конкретной форме вида

$$x(t) = 0,01 \cdot \cos \sqrt{80} t \approx 0,01 \cdot \cos(8,944t).$$

Найдем зависимость скорости от времени $v = v(t) = x'(t)$ как первую производную от смещения, получим

$$v(t) = -0,01\sqrt{80} \cdot \sin \sqrt{80} t \approx -0,089 \cdot \sin(8,944t).$$

Аналогично распишем выражение для ускорения от времени $a = a(t) = v'(t) = x''(t)$ как первую производную от скорости или вторую производную от смещения. Получим

$$a(t) = -0,01 \cdot 80 \cdot \cos \sqrt{80} t \approx -0,8 \cdot \cos(8,944t).$$

Согласно II закону Ньютона, получим зависимость силы от времени

$$F = F(t) = ma = 0,5 \cdot (-0,8 \cos \sqrt{80} t) \approx -0,4 \cos(8,944t).$$

Осталось вычислить численные значения кинетической и потенциальной энергий. При верных расчетах они должны быть равны, то есть

$W_{\text{кин}} = mv^2/2 = [40 \cdot (0,01)^2]/2 = 0,002 \text{ Дж}$, в свою очередь

$$W_{\text{пот}} = \frac{kx^2}{2} = \frac{0,5 \cdot (0,01 \cdot \sqrt{80})^2}{2} = 0,002 \text{ Дж.}$$

Чтобы построить графики всех зависимостей, необходимо вычислить период колебаний T , равный

$$T = 2\pi\sqrt{m/k} = 2 \cdot 3,14\sqrt{0,5/40} \approx 0,702 \text{ с.}$$

Таким образом, видно, что период колебаний всех физических величин



x , v , a , F одинаков и равен $T \approx 0,702$ с, а период изменения кинетической и потенциальной энергий в два раза меньше $T = T/2 = 0,351$ с.

Это означает, что кинетическая и потенциальная энергии периодически меняются от нуля до одинакового наибольшего значения с частотой вдвое больше частоты колебаний смещения. Важно не забывать, что колебания обе-

их энергий происходят в противофазе друг к другу.

Полная энергия колеблющегося тела остается постоянной и равна сумме максимальных значений кинетической и потенциальной энергий.

На рис. 3 приведены графики всех зависимостей в одной плоскости, построенные в программном приложении Microsoft Office Excel.

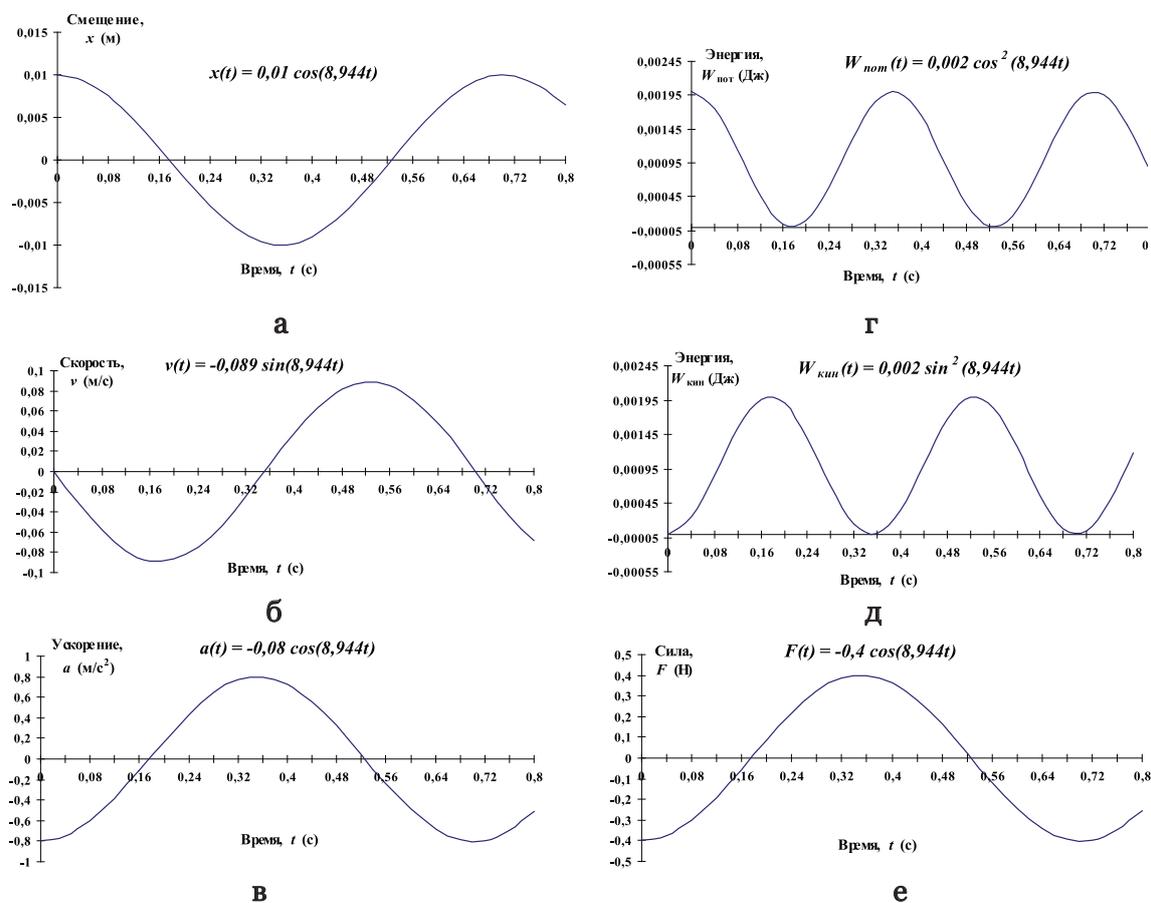


Рис. 3. Графики зависимости:
а – смещение; б – скорость; в – ускорение; г – потенциальная энергия;
д – кинетическая энергия; е – сила

Как видно из полученных шести зависимостей, графики изменения физических величин с течением времени во

многих случаях удобны для описания и более глубокого понимания любых процессов, например, при изучении



процессов, происходящих в идеальном колебательном контуре, переменного электрического тока и т. д.

Поэтому четкое разделение природы рассматриваемых явлений, единообразное их описание дает огромное преимущество в формировании необходимых выпускнику умений при подготовке к ЕГЭ по физике.

При отборе содержания уроков по учебной теме «Механические колебания» учителю важно в равной степени использовать как теоретический, так и экспериментальный методы изучения каждого явления, показать их взаимосвязь, взаимозависимость и взаимодополняемость.

Принципиально важную роль играет не столько изучение идеальных колебательных систем, приведенных в школьных учебниках физики и задачах, сколько глубокое исследование реальных систем в задачах повышенной сложности уже на реальном экзамене.

В конечном итоге, только с помощью законов науки познается весь окружающий нас мир.

Библиографический список

1. Дегтярь И. Г., Несвоев В. А., Чекулай И. В. Великие британцы : физики : монография. – Белгород, 2004. – 54 с.
2. Демонстрационный вариант ЕГЭ–2015. Физика, 11 класс // URL: http://new.fipi.ru/ege-i-gve-11/demoversii-specifikacii-kodifikatory/FI_DEMO_2015.pdf (дата обращения: 20.01.2015).
3. Ергин Ю. В. Физические задачи с решениями. Вып. 6. Механические колебания. – Уфа, 1999. – С. 3–5.
4. Зелевич Е. П., Зудков П. И. «Отец радио» Александр Степанович Попов (к 150-летию изобретателя радио) // Т-сomm : Телекоммуникации и транспорт. – М., 2009. – № 56. – С. 4–8.
5. Кабардин О. Ф. Физика. Справочные материалы : учебное пособие для учащихся. – М. : Просвещение, 1991. – С. 214–215.
6. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика. 11 класс. – М. : Просвещение, 2008. – С. 62.
7. Рымкевич А. П. Физика. Задачник. 10–11 классы : пособие для общеобразовательных учреждений. – М. : Дрофа, 2013. – 188 с.
8. Сауров Ю. А. Физика в 11 классе. Модели уроков : книга для учителя. – М. : Просвещение, 2005. – С. 2–3.
9. Спецификация контрольно-измерительных материалов для проведения в 2015 году единого государственного экзамена по физике. URL: http://new.fipi.ru/ege-i-gve-11/demoversii-specifikacii-kodifikatory/ФИ_СПЕЦИФ_2015.pdf (дата обращения: 20.01.2015).
10. Степанова Г. Н. Сборник задач по физике для 9–11 классов общеобразовательных учреждений : учебное издание. – М. : Просвещение, АО «Московские учебники», 1997. – 256 с.
11. Янина Н. М., Максимова О. Г. Применение новых технологий при изложении темы «Колебательные процессы» в курсе общей физики // Физическое образование в вузах. – Череповец, 2006. – Т. 12. – № 4. – С. 98–109.

Bibliograficheski spisok

1. Degtjar I. G., Nesvoev V. A., Chekulaj I. V. Velikie britancy : fiziki : monografija. – Belgorod, 2004. – 54 s.
2. Demonstracionnyj variant EGJe–2015. Fizika, 11 klass // URL: http://new.fipi.ru/ege-i-gve-11/demoversii-specifikacii-kodifikatory/FI_DEMO_2015.pdf (data obrashhenija: 20.01.2015).
3. Ergin Ju. V. Fizicheskie zadachi s reshenijami. Vypusk 6. Mehanicheskie kolebanija. – Ufa, 1999. – S. 3–5.
4. Zelevich E. P., Zudkov P. I. «Otec radio» Aleksandr Stepanovich Popov (k 150-letiju izobretatelja radio) // T-comm : Telekommunikacii i transport. – M., 2009. – № 56. – S. 4–8.
5. Kabardin O. F. Fizika. Spravochnye materialy : uchebnoe posobie dlja uchashhihsja. – M. : Prosveshhenie, 1991. – S. 214–215.
6. Mjakishev G. Ja., Buhovcev B. B. Fizika. 11 klass. – M. : Prosveshhenie, 2008. – S. 62.
7. Rymkevich A. P. Fizika. Zadachnik. 10–11 klassy : posobie dlja obshheobrazovatelnyh uchrezhdenij. – M. : Drofa, 2013. – 188 s.
8. Saurov Ju. A. Fizika v 11 klasse. Modeli urokov. Kniga dlja uchitelja. – M. : Prosveshhenie, 2005. – S. 2–3.
9. Specifikacija kontrolno-izmeritelnyh materialov dlja provedenija v 2015 godu edinogo gosudarstvennogo jekzamena po fizike. URL: http://new.fipi.ru/ege-i-gve-11/demoversii-specifikacii-kodifikatory/FI_SPECIF_2015.pdf (data obrashhenija: 20.01.2015).
10. Stepanova G. N. Sbornik zadach po fizike dlja 9–11 klassov obshheobrazovatelnyh uchrezhdenij : uchebnoe izdanie. – M. : Prosveshhenie, AO «Moskovskie uchebniki», 1997. – 256 s.
11. Janina N. M., Maksimova O. G. Primenenie novyh tehnologij pri izlozhenii teme «Kolebatelnye processy» v kurse obshhej fiziki // Fizicheskoe obrazovanie v vuzah. – Cherepovec, 2006. – T. 12. – № 4. – S. 98–109.

© Минахметов А. А., Хакимова Ф. М., 2015