

УДК 373; 372.8

**ГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ
МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ УЧАЩИХСЯ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ**

© 2011 г.

С.В. Бубликов¹, М.А. Михайленко^{1,2}¹ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, С.-Петербург² РГПУ им. А.И. Герцена, школы № 411, С.-Петербург

bublikovs@mail.ru

Поступила в редакцию 15.03.2011

Предложен методический подход к использованию графических методов в качестве одного из наглядных и действенных средств развития методологической культуры учащихся при обучении физике на уровне общего образования. Показано, что в области изучения нелинейных колебаний графический метод является доступным для учащихся и позволяющим избежать лобовых решений нелинейных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: поисковое обучение физике, познавательная деятельность учащихся, методология физики, методологическая культура учащихся, графический метод.

Практика организации поискового обучения физике с позиций современной педагогической парадигмы направлена на освоение основ методологии базисной науки. Основы методологии физики, проникающей практически во все сферы современной техники и культуры, учащимся имеет смысл освоить так, чтобы по окончании школы они могли руководствоваться ею в различных видах своей практической деятельности, т.е. проявлять в различных жизненно важных ситуациях методологическую культуру, а не действовать наугад.

Кратко, но выразительно охарактеризовал схему научного познания известный физик-теоретик А.Б. Мигдал: «эксперимент, правдоподобные предположения, гипотезы, теория – эксперимент – уточнение, проверка границ применимости теории, возникновение парадоксов, интуиция, озарение, скачок – новые гипотезы и новая теория и снова эксперимент» [1]. Методические аспекты схемы раскрыты в «цикле научного познания» [2; 3].

При философском рассмотрении методологической культуры как результата деятельности на личностном уровне она выступает как механизм саморазвития человека в ходе освоения различных элементов культуры цивилизации. Например, в советской литературе за образец методологической культуры принимали применение материалистической диалектики при исследовании капиталистического способа производства [4].

При педагогическом рассмотрении методологическая культура учащихся выступает ха-

рактеристикой учащихся как субъектов учебной деятельности, при которой они осознают себя (свои ценности, цели и смыслы) и на этой основе способны вырабатывать программы действий, основанные на различных принципах, способах и средствах построения теоретической и практической деятельности [5].

Рассмотрение методологической культуры в процессе обучения физике приводит Ю.А. Саурова к необходимости вскрытия «сущностей методологической культуры» на уровне различных субъектов образовательного процесса: школьников, учителей, методистов [6].

В условиях подготовки учащихся к решению сложных проблем жизненного самоопределения, подготовки к различным видам итоговой аттестации необходимо максимально оперативно помочь учащимся ориентироваться в анализе реальных явлений. В связи с этим представляется важным при обучении физике на уровне общего образования уделить основное внимание становлению методологической культуры учащихся. Методологическая культура учащихся отчетливо проявляется в практических умениях:

– подмечать проблемную физическую ситуацию в окружающей действительности, в учебной и научно-популярной литературе;

– анализировать любую субъективно новую и непонятную физическую ситуацию реального мира или проблемную ситуацию, поставленную учителем на учебном материале физики;

– относить подмеченную проблемную физическую ситуацию к отраслям научных знаний и

конкретным их разделам и подбирать понятийный аппарат («язык») описания, принятый в соответствующей учебной литературе;

- выявлять фундаментальные количественные характеристики и качественные аспекты проблемной ситуации;

- вводить для разрешения проблемы модельные представления о проблеме в целом или об отдельных ее элементах на основе предыдущих действий;

- доводить уровень понимания проблемной ситуации до возможности теоретического предсказания характера и результатов ее развития во времени, т.е. руководствоваться в практической деятельности научным прогнозированием;

- использовать результаты анализа разобранной проблемной ситуации для анализа сходных проблем и применять их на практике (в быту, технике и т.д.) [8–10].

Остановимся на выборе «языка» описания на примере изучения нелинейных колебаний. В качестве «языка» описания выберем графический «язык», традиционно называемый графическим методом [11; 12]. Наряду с другими [13; 10], графический метод может выступать в качестве одного из наглядных и действенных средств развития методологической культуры учащихся при обучении физике на уровне общего образования. При этом сбалансированно сочетаются содержание и методика изучения материала [14].

Использование наглядных графических методов дает возможность на качественном уровне изучить некоторые особенности нелинейных систем, расширяя тем самым содержание учебно-познавательной деятельности учащихся и способствуя усвоению и применению различных языков описания.

Эмпирическое знакомство с изучаемой колебательной системой проведем на следующем опыте.

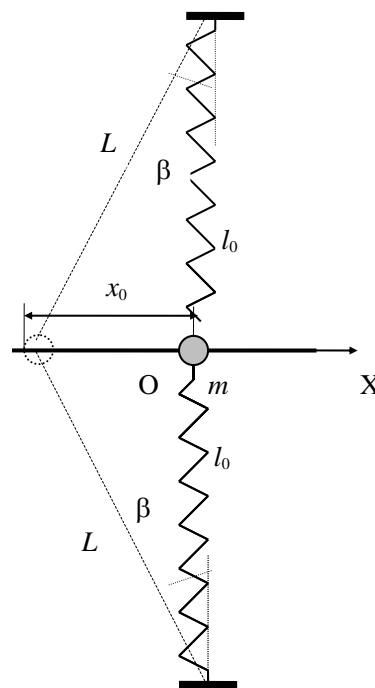
Используем тележку на магнитной подушке. Тележку по кинематике и динамике выведем на середину магнитного желоба. К серединам противоположных боковых сторон тележки прикрепим перпендикулярно стержню две одинаковых не очень жестких и насколько возможно легких (для уменьшения стрелы прогиба) пружины. Противоположные концы пружин закрепим в штативах, удаленных на одинаковые расстояния от желоба так, чтобы в состоянии равновесия пружины были не деформированы и находились в одной горизонтальной плоскости с желобом. К тележке вертикально прикрепим скотчем небольшую капельницу с раствором

марганцево-кислого калия. Под желобом перпендикулярно ему пропустим развернутый тетрадный лист. Простейший самописец готов. Отклонив тележку от положения равновесия на небольшое по сравнению с длиной пружины расстояние, отпустим ее и одновременно приведем в движение с постоянной скоростью бумажную ленту. Капли обозначат на бумаге линию, представляющую собой временную развертку колебаний, но явно не похожую на синусоиду, характерную для гармонических колебаний. Регулируя массу тележки и экспериментируя с пружинами различной жесткости, можно наблюдать несколько полных колебаний.

Для объяснения опыта разработаем следующую физическую модель.

Материальная точка массы m совершает малые колебания без трения вдоль горизонтального стержня под действием двух одинаковых пружин жесткостью k каждая, направленных перпендикулярно стержню и расположенных в горизонтальной плоскости. В состоянии равновесия пружины не деформированы. Длина недеформированных пружин равна l_0 (рис. 1).

В принятой физической модели силы трения



Вид сверху

Рис. 1. Модель пружинного маятника, совершающего малые нелинейные колебания

отсутствуют, сила тяжести уравновешена нормальной силой реакции стержня. Перпендикулярные стержню составляющие сил упругости одинаковых пружин, равные по величине и

направленные противоположно друг другу, взаимно компенсируются. Сумма составляющих сил упругости двух пружин, параллельных стержню (направлению движения материальной точки), является возвращающей силой $F = 2F_{\text{упр.}X} = 2F_{\text{упр.}X} \sin \beta$.

При малых колебаниях амплитуда x_0 много меньше длины l_0 каждой недеформированной пружины ($x_0 \ll l_0$). Поэтому можно использовать закон Гука, согласно которому сила упругости пружины $F_{\text{упр}} = k\Delta l$ прямо пропорциональна ее удлинению $\Delta l = l - l_0 = \sqrt{l_0^2 + x^2} - l_0$ (рис. 1). Возвращающая сила, согласно рис. 1 и формуле приближенных вычислений

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{x^2}{l_0^2}}} \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{x^2}{l_0^2} \text{ при } 0 \ll \frac{x^2}{l_0^2} \ll 1, \text{ равна}$$

$$F = 2k(\Delta l) \sin \beta = 2k \left(\sqrt{l_0^2 + x^2} - l_0 \right) \times \left(\frac{x}{\sqrt{l_0^2 + x^2}} \right) \approx \frac{kx^3}{l_0^2}. \quad (1)$$

Обозначим ускорение материальной точки массой m через \ddot{x} . Применяя второй закон Ньютона, с учетом (1), можно записать:

$$\ddot{x} = \frac{F}{m} = \frac{kx^3}{m l_0^2}. \quad (2)$$

Перепишем (2) в виде

$$\ddot{x} + \frac{kx^3}{m l_0^2} = 0. \quad (3)$$

Вид (3) удобен для сравнения с уравнением

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0, \quad (4)$$

описывающим колебания линейного (гармонического) осциллятора.

В отличие от уравнения (4), уравнение (3) является нелинейным относительно x . Это и объясняет принципиальное отличие малых колебаний изготовленного осциллятора от гармонических колебаний линейного осциллятора, описываемого уравнением (4). Уравнения типа (3) решают методами нелинейной теории [15] или численно с помощью компьютеров [16]. Тем не менее на качественном уровне можно графически оценить нелинейное поведение маятника в принятой физической модели.

Анализируя рис. 1, выберем нулевой уровень потенциальной энергии в положении равновесия, соответствующем ненапряженному состоянию пружин. Потенциальная энергия пружин

при небольших отклонениях материальной точки от положения равновесия равна

$$U = \frac{k \cdot (\Delta l)^2}{2} + \frac{k \cdot (\Delta l)^2}{2} = k \cdot (\Delta l)^2. \quad (5)$$

Преобразуем выражение для удлинения пружины (Δl) с помощью формул приближенных вычислений квадратных корней (при $\frac{x_0}{l_0} \ll 1$) следующим образом:

$$\Delta l = l - l_0 = \sqrt{l_0^2 + x_0^2} - l_0 \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{x_0^2}{l_0}.$$

Для $(\Delta l)^2$ получим следующее выражение:

$$(\Delta l)^2 = \frac{x_0^4}{4l_0^2}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5), получим выражение потенциальной энергии в принятой модели осциллятора

$$U = \frac{k \cdot x^4}{4l_0^2}. \quad (7)$$

При амплитудном отклонении $x = x_0$ системы от положения равновесия потенциальная энергия $U(x) = U_0$ выражается через амплитуду x_0 малых колебаний следующим образом:

$$U_0 = \frac{k \cdot x_0^4}{4l_0^2}. \quad (8)$$

Иначе говоря, потенциальная энергия является функцией координаты

$$U(x) = \alpha \cdot x^4, \quad (9)$$

где

$$\alpha \equiv \frac{k}{4l_0^2}. \quad (10)$$

График функции (9) имеет вид, приближенно показанный на рис. 2.

В рассматриваемой модели трение отсутствует. Поэтому полная механическая энергия, сообщенная системе в момент выведения ее из положения равновесия, определяется выражением (8). Кинетическая энергия системы равна

$$T = \frac{m v_x^2}{2}. \quad (11)$$

Закон сохранения полной механической энергии $U + T = E$ можно записать в виде

$$\frac{kx^4}{4l_0^2} + \frac{m v_x^2}{2} = E. \quad (12)$$

Поделив почленно обе части выражения (12) на постоянную величину E , получим уравнение фазовой траектории

$$\frac{x^4}{4l_0^2(E/k)} + \frac{v_x^2}{2(E/m)} = 1. \quad (13)$$

Выражение (13) представляет собой уравнение бигиркулярной плоской кривой четвертого порядка общего типа [17], которая в простейшем случае имеет вид, представленный на рис. 2.

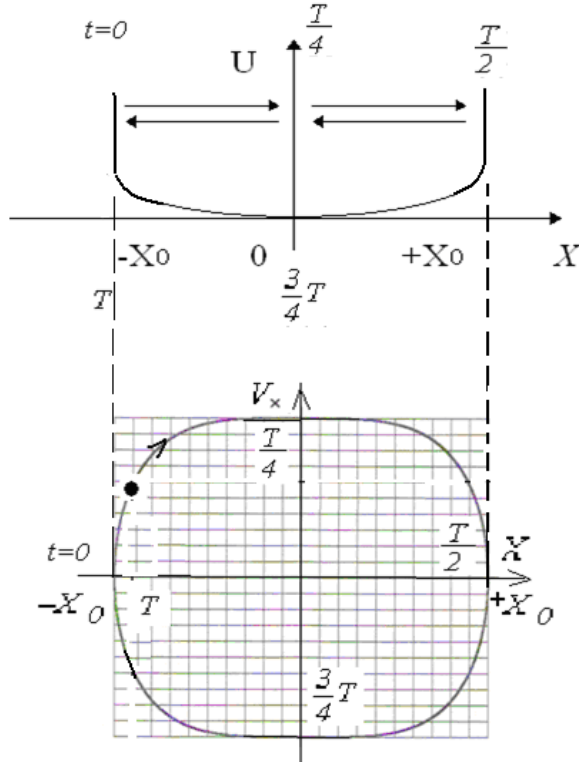


Рис. 2. Потенциальная энергия нелинейного пружинного маятника и его фазовая траектория

Перейдем от фазовой траектории $v = v(x)$, заданной уравнением (13), к графикам зависимостей кинематических величин от времени $v_x = v_x(t)$, $x = x(t)$. Для этого разобьем фазовую траекторию, соответствующую какому-либо конкретному значению энергии, на небольшие отрезки. Пусть (x_1, v_{x1}) и (x_2, v_{x2}) – значения координат и скоростей частицы на концах этого отрезка. Чтобы найти время $\Delta t = t_2 - t_1$, за которое система переходит из одного состояния в другое, достаточно заметить, что среднюю скорость \bar{v}_{x1-2} между моментами времени t_1 и t_2 можно вычислить двумя способами:

$$\bar{v}_{x1-2} = (x_2 - x_1) / \Delta t \text{ и } \bar{v}_{x1-2} = (v_{x1} + v_{x2}) / 2.$$

Приравняв эти выражения, получаем

$$t_2 - t_1 \approx 2 \frac{x_2 - x_1}{v_{x2} + v_{x1}}. \quad (14)$$

Далее, используя (14), установим соответствие между отрезками на графиках $v = v(x)$, $v_x = v_x(t)$ и $x = x(t)$ (рис. 3).

По графику скорости построим график ускорения $a_x = a_x(t)$ (рис. 4).

При анализе графика $U(x)$ напрашивается сравнение изучаемых малых колебаний нелинейного осциллятора с движением частицы в потенциальной яме с вертикальными стенками.

Для оценки периода колебаний осциллятора примем, что между амплитудными точками

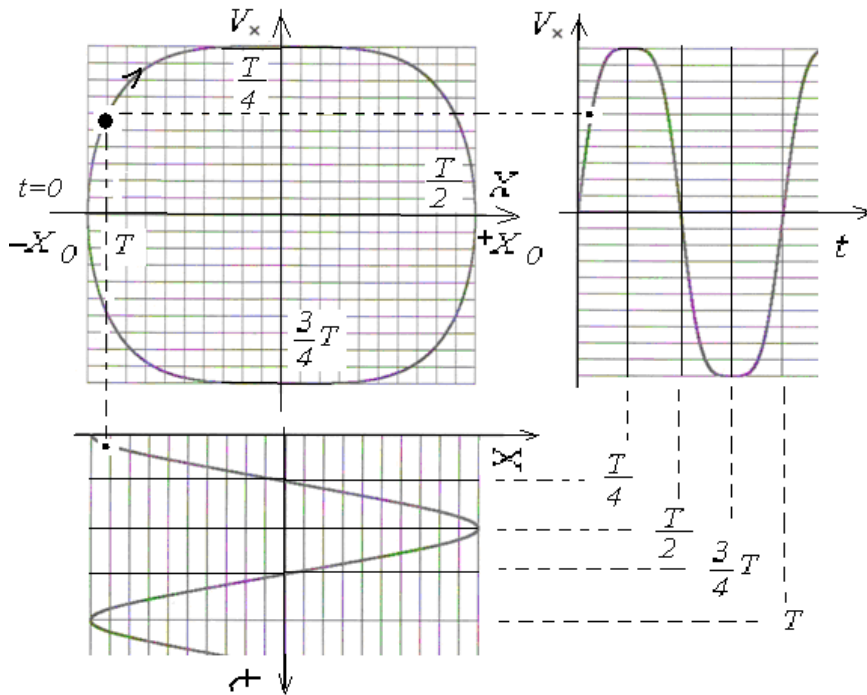


Рис. 3. Связь фазовой траектории нелинейного маятника с графиками зависимости координаты и скорости от времени

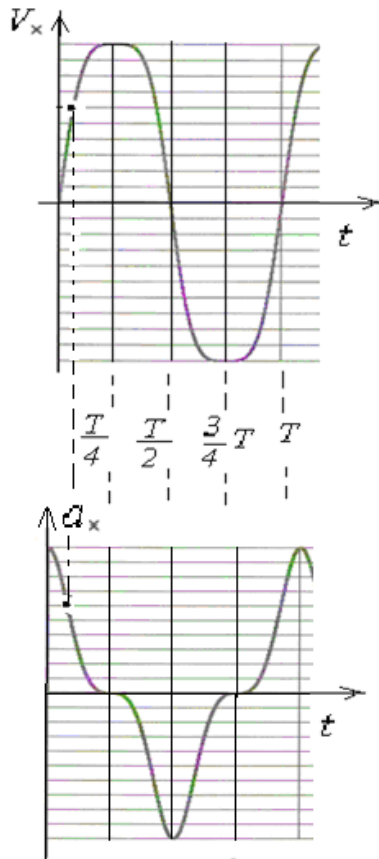


Рис. 4. Связь графиков скорости и ускорения

$]-x_0, +x_0[$ он движется равномерно с постоянной скоростью V_x , а в амплитудных точках в движении осциллятора мгновенно происходит поворот на π рад.

Четверть периода колебаний можно найти как отношение амплитуды колебаний x_0 к постоянной скорости V_x движения $\frac{1}{4}T \cong \frac{x_0}{V_x}$.

Весь период равен $T \cong 4 \frac{x_0}{V}$. Скорость V , согласно закону сохранения механической энергии $\frac{mV_x^2}{2} = \alpha \cdot x_0^4$, равна $V = \sqrt{\frac{2\alpha}{m}} x_0^2$. Для периода получим выражение

$$T \cong 4 \cdot \sqrt{\frac{m}{2\alpha}} \cdot \frac{l_0}{x_0}.$$

Учитывая обозначение (10) для α , получим следующее выражение для оценки периода малых колебаний нелинейного осциллятора:

$$T \cong 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \cdot \frac{l_0}{x_0}. \quad (15)$$

Для устранения «необычности» анализа поведения нелинейного осциллятора на основании

(15) найдем частоту ν колебаний как величину обратную периоду

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \frac{x_0}{l_0}. \quad (16)$$

Формула (15) удобна для сравнения найденного ответа как с результатом, полученным ранее [15] аналитически, так и с результатом учебного опыта. Полученная оценка принципиально совпадает с точным значением, которое можно найти в [15, 16] с различием (на ~20%) в числовом коэффициенте.

Таким образом, приведенная оценка (16) показывает, что в рассматриваемой колебательной системе, несмотря на малость колебаний, даже при отсутствии трения принципиально присутствует характерный нелинейный эффект *неизохронности* – зависимости частоты колебаний от начальных условий (а не только от собственных свойств системы); например, в данном случае от начальной амплитуды.

Анализ уравнения (16) показывает, что при больших амплитудах порядка $(x_0/l_0) \approx 1$ пружинный маятник (рис. 1) все более становится похожим на гармонический осциллятор.

Анализ результатов полученной оценки дает основания для предложения по использованию рассмотренной системы в демпферах – успокоителях колебаний внутри цистерн (танков) судов для перевозки жидкостей. В этих устройствах нужна большая сила, пропорциональная не первой, а высшим степеням величины деформации в демпферном устройстве – для скорейшего гашения колебаний, возникающих внутри жидкости.

Таким образом, принятая в статье трактовка методологической культуры учащихся, иллюстрированная примером применения графических методов к анализу нелинейных колебаний, не только расширяет содержание познавательной деятельности учащихся, но и способствует развитию их методологической культуры.

Список литературы

1. Мигдал А.Б. Поиски истины. М.: Молодая гвардия, 1983. 238 с.
2. Разумовский В.Г., Майер В.В. Физика в школе. Научный метод познания и обучение. М.: Гуманитар. изд. центр «ВЛАДОС», 2004. 463 с.
3. Сауров Ю.А. Принцип цикличности в методике обучения физике: Историко-методологический анализ: Монография. Киров: Изд-во КИПК и ПРО, 2008. 224 с.
4. Дармограй В.М. Методологическая культура творчества: Автореферат дисс. ... д-ра философ. наук. Саратов: СГУ, 2006. 38 с.

5. Глаголева Ю.И. Педагогические условия становления методологической культуры учащихся: Автореферат дисс. ... к.п.н. Псков: ПГПУ, 2002. 20 с.
6. Сауров Ю.А. Идеи и программа формирования методологической культуры в процессах обучения физике // Учебная физика: Научно-практический журнал РАО. 2004. № 3. С. 39–48.
8. Кондратьев А.С., Лаптев В.В., Трофимова С.Ю. Физические задачи и индивидуальные пути образования: научно-методическая разработка. СПб.: Образование, 1996. 87 с.
9. Бубликов С.В., Кондратьев А.С., Молеваник С.П., Филиппов М.Э. Ориентиры развития методологической культуры учащихся при обучении физике // Повышение эффективности подготовки учителей физики и информатики в современных условиях: Материалы международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 13–14 апреля 2002 г.: В 2 ч. Ч. 1. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. пед. ун-та, 2002. С. 29–31.
10. Бубликов С.В., Баширова И.А., Бойкова А.Е., Красин М.С. Методологическая культура учащихся и возможности ее развития при обучении решению экспериментальных задач на уроках физики // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 6(1). С. 31–36.
11. Полищук В.В. Графические методы отображения информации в физике и технике: Учеб. пособие. М.: Изд-во МИФИ, 1983. 64 с.
12. Резников Л.И. Графический метод в преподавании физики. М.: Учпедгиз, 1960. 348 с.
13. Молеваник С.П. Физические оценки как средство развития методологической культуры учащихся: Автореферат дисс. ... к.п.н. СПб.: РГПУ, 2004. 16 с.
14. Гребенев И.В. Дидактика физики как основа конструирования учебного процесса: Монография / Науч. ред. Е.В. Чупрунов. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. 247 с.
15. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы. М.: Наука, 1979. 384 с.
16. Бубликов С.В. Методика изучения колебаний пружинных маятников (с пакетом прикладных программ компьютерной поддержки): Пособие для учителей. СПб.: Изд-во ЛОИРО, 1998. 56 с.
17. Савелов А.А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применение: Справочное руководство. М.: Физматлит, 2002. 292 с.

GRAPHICS-BASED MEANS OF STUDENTS' METHODOLOGICAL CULTURE DEVELOPMENT IN TEACHING PHYSICS

S.V. Bublikov, M.A. Mikhailenko

An instructional approach to using graphics-based means of students' methodological culture development is proposed as an illustrative and efficient method for teaching physics in secondary school. It is shown that in the study of nonlinear oscillations the graphics-based method is a tool that students can use to avoid straightforward attempts of solving nonlinear differential equations.

Keywords: search teaching of physics, students' cognitive activity, physics methodology, students' methodological culture, graphics-based method.