ПЕДАГОГИКА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

УДК 53(076)

В. В. Ларионов, А. Г. Рипп, Э. Б. Шошин

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ НА УРОВНЕ ПРОЕКТОВ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ

Рассмотрена методика обучения студентов физике по проектной схеме. Педагогический эксперимент проводился на основе маятника Окса, состоящего из бруска на горизонтальной поверхности, соединенного с пружиной. Колебания такого маятника характеризуются постоянным периодом, линейным уменьшением амплитуды колебаний, когда за каждую половину периода амплитуда уменьшается на одну и ту же величину. Предъявляемые задачи являются примером организации учебной внедренческой деятельности будущих инженеров на уровне проекта как на практических занятиях, так и во взаимосвязанных с ними проектных заданиях физического практикума.

Ключевые слова: *формирование творческих групп, маятник Окса, устойчивые и неустойчивые колебания, проектные задания.*

Проблемой настоящего исследования является поиск ответа на вопрос: как изменить систему обучения физике в технических университетах, чтобы в подготовке будущего инженера по физике был отражен учебно-внедренческий характер будущей профессиональной деятельности?

Уже в вузе на примере обычных задач по физике [1] студент может учиться внедренческой деятельности. Под внедрением имеется в виду пропедевтическое (учебное) и реальное применение разработок, выполненных по физике студентами уже в стенах вузов. В настоящий момент актуальным становится обучение внедренческой совместной деятельности на основе проектов в контексте стандартных задач и лабораторных работ. В соответствии с европейской концепцией инженерного образования (CDIO) программы подготовки инженеров нацелены на «воспитание» инженера, который способен анализировать, проектировать, внедрять и эксплуатировать комплексные инженерные продукты, процессы и системы в современной среде (понимание и сопровождение продукта на протяжении всего жизненного цикла). Новый подход, в частности, предполагает усиление практической направленности обучения, введение системы проблемного и проектного обучения, отражающих сущность инженерной профессии – анализ и решение проблем [2, 3]. Профильные школы для этих целей ведут планомерное обучение, формируя соответствующее методическое обеспечение и программно-педагогическую среду, базирующуюся на совместной деятельности учащихся. В этой связи приобретает актуальность организация проектных занятий так, чтобы они основывались на выявленных в процессе развития творческих особенностей студентов по имеющимся склонностям к теоретической, экспериментальной, технической, конструкторской, операциональной деятельности. Опора преподавателя на соответствующих студентов имеет решающее значение для успешности освоения дисциплины в плане профессионально ориентированной подготовки будущих специалистов. В качестве примера организации проектного задания рассмотрим маятник Окса, представляющий собой брусок, соединенный пружиной с неподвижной стойкой (рис. 1). Это стандартная задача.

1. Постановка задачи.

Студентам предлагается проанализировать проблемную ситуацию и поставить проблемные вопросы [4]. Последнее, как правило, представляет определенную трудность. Но именно правильная постановка вопросов позволяет изменить стандартный подход к решению задачи и выявить особенности возникающего движения, средств его анализа и реализации на практике.

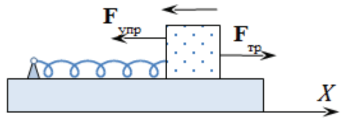

Рис. 1. Брусок, соединенный пружиной с неподвижной стойкой

Вопрос 1. Что произойдет, если брусок оттянуть вправо и отпустить? Ответ. В деформированной (растянутой) пружине возникнет сила упругости $\mathbf{F}_{упр}$.

Вопрос 2. В каком случае брусок начнет двигаться влево? Ответ. Если сила упругости больше, чем сила трения покоя, действующая между бруском и столом.

Вопрос 3. При движении бруска возникает сила трения скольжения $\mathbf{F}_{тр}$, направленная против скорости бруска. В какую сторону направлена сумма сил ($\mathbf{F}_{упр}$ + $\mathbf{F}_{тр}$)? Ответ. Пока сила упругости больше силы трения, суммарная сила направлена в направлении $\mathbf{F}_{упр}$, т. е. влево – вдоль скорости $\boldsymbol{\upsilon}$. Согласно второму закону Ньютона ускорение направлено тоже вдоль скорости $\boldsymbol{\upsilon}$, так что брусок *разгоняется* – его скорость $\boldsymbol{\upsilon}$ растет.

Вопрос 4. Как изменяется сила упругости? Ответ. По мере движения бруска деформация пружины уменьшается и вместе с ней уменьшается сила упругости.

Вопрос 5. Как при таком движении изменяется сила трения скольжения? Ответ. В отличие от силы упругости сила трения скольжения неизменна.

Вопрос 6. Когда ускорение бруска станет равным нулю? Ответ. Когда величина $F_{упр}$ падает до величины $F_{тр}$, ускорение бруска становится равным нулю и его скорость перестает нарастать.

Вопрос 7. Как направлен вектор ускорения бруска? Ответ. Так как брусок продолжает двигаться, то продолжается уменьшение деформации пружины и уменьшение силы упругости. Теперь $\mathbf{F}_{упр} < \mathbf{F}_{тр}$, поэтому суммарная сила направлена вправо, то есть против скорости.

Вопрос 8. Когда брусок остановится? Может ли брусок двигаться по инерции? Ответ. Ускорение направлено против скорости, так что скорость убывает. В итоге в какой-то момент времени брусок остановится. Инерция движения приводит к тому, что замедляющийся брусок может пройти мимо того положения, в котором пружина не деформирована, и к моменту остановки пружина уже оказывается сжатой, а сила упругости направлена не влево, а вправо (рис 2).

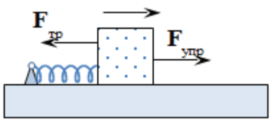

Рис. 2. Движение бруска после остановки

Вопрос 9. Каково соотношение между силой трения скольжения и силой трения покоя? Ответ. Момент остановки – это процесс, протекающий в течение небольшого времени. За это время сила трения скольжения сменяется такой же по величине силой трения покоя. Но затем сила трения покоя падает до нуля, меняет свое направление на противоположное (влево) и растет, чтобы скомпенсировать силу упругости сжатой пружины, которая стремится сдвинуть брусок с места.

Вопрос 10. Сможет ли брусок начать движение в сторону, противоположную начальному направлению движения? Ответ. У силы трения покоя есть предел роста – это сила трения *скольжения*. Поэтому если сила упругости больше силы трения скольжения, то трение не сможет удержать брусок на месте и он *начнет двигаться*, только теперь уже в другую сторону. Силу трения покоя сменяет сила трения скольжения $\mathbf{F}_{тр}$, направленная против скорости бруска.

Вопрос 11. Могут ли в системе возникнуть колебания? Ответ. Движение происходит так же, как оно происходило до остановки: брусок сначала разгоняется, затем замедляется, останавливается и снова начинает движение в противоположную сторону. В системе возникают колебания, то есть периодический процесс, в котором каждый период состоит из двух этапов: движение бруска в одну сторону и движение в другую сторону. Эти этапы в дальнейшем называются *циклами*.

Вопрос 12. Какой тип колебаний характеризует движение бруска? Ответ. Эти колебания – *затухающие*, так как трение приводит к рассеянию (*диссипации*) энергии, которую система получила при первоначальном растяжении пружины какой-то внешней силой. Закончатся колебания в тот момент, когда при очередной остановке бруска сила упругости пружины окажется *меньше силы трения скольжения.* В этом случае сила трения покоя достигнет величины силы упругости и брусок с места не сдвинется.

2. Уравнение движение бруска.

Выберем ось OX вдоль поверхности стола (рис. 1). Пусть x – координата точки бруска в месте прикрепления пружины. Начало координат 0 выберем в положении равновесия, при котором пружина не деформирована. Тогда x – это деформация пружины. При $x > 0$ пружина *растянута* и сила упругости направлена влево, так что ее проекция $F_{упр.x}<0$, при $x < 0$ пружина *сжата* и $F_{упр.x}>0$. Для выяснения характера движения бруска, т. е. определения функции $x(t)$, используем типичный прием: запишем *второй закон Ньютона*, который представляет собой дифференциальное уравнение 2 порядка:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x + (-1)^{n-1}\mu g\,, \tag{1}$$

где: k – коэффициент упругости пружины; μ – коэффициент трения; n – номер цикла. Это уравнение легко приводится к известному *дифференциальному уравнению гармонических колебаний*:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = (-1)^{n-1}\mu g, \tag{2}$$

решением которого является функция

$$x(t) = B\cos(\omega t + \alpha) + C, \tag{3}$$

в которой ω – это частота колебаний, B, α и C – константы.

Для определения константы C надо подставить решение (3) в исходное уравнение (2). В итоге получается:

$$C = (-1)^{n-1}x_C\,,\ x_C = \frac{\mu m g}{k}\,. \tag{4}$$

Константы B и α можно найти из начальных условий:

$$\upsilon_x(0) = 0 \text{ и } x(t_n) = x_{n+1}, \tag{5}$$

где: t_n – момент времени окончания цикла номер n; x_n – начальная координата маятника в цикле номер n. Координату точки остановки x_{n+1} удобно выразить через амплитуду колебаний A_n, которая по определению равна *максимальному смещению* бруска от начала координат. Связь между x_n и A_n описывается формулами:

$$x_n = (-1)^{n-1}A_n,\; x_{n+1} = (-1)^n A_{n+1}. \tag{6}$$

Эти две формулы учитывают то, что в нечетных циклах начальная координата x_n – положительна, а конечная x_{n+1} – отрицательна. В четных циклах наоборот: начальная координата x_n – отрицательна, а конечная x_{n+1} – положительна.

Подстановка (5) и (6) в (3) дает:

$$\alpha = 0,\; B = A_n - x_C. \tag{7}$$

Возникает проблемная ситуация. Движение бруска – это не гармонические колебания, так как константы B и C в уравнении (3) зависят от номера цикла. Необходимо найти способ (средство), с помощью которого можно выяснить, как уменьшается амплитуда колебаний A_n. Для этого можно использовать известный закон физики, состоящий в том, что *сумма работ всех неконсервативных сил, действующих на какой-то механический объект, превращается в изменение энергии этого объекта*.

$$\Delta E = \sum A. \tag{8}$$

На пути от x_n до x_{n+1} на систему брусок-пружина действует одна неконсервативная сила – *сила трения*. Работа этой силы равна:

$$A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}}S = \mu mg(-1)^{n+1}(x_{n+1} - x_n). \tag{9}$$

Изменение энергии системы ΔE равно изменению потенциальной энергии пружины, так как кинетическая энергия бруска в точках остановки равна нулю:

$$\Delta E = E_{p2} - E_{p1} = \frac{kx_{n+1}^2}{2} - \frac{kx_n^2}{2} = \frac{k}{2}(x_{n+1}^2 - x_n^2)\,. \tag{10}$$

Подстановка (9) и (10) в (8) дает:

$$(x_{n+1} + x_n) = (-1)^{n+1}\frac{2\mu mg}{k}\,, \tag{11}$$

откуда следует, что

$$x_{n+1} = -x_n \pm 2(-1)^{n+1}x_C. \tag{12}$$

Эта формула, связывающая координаты двух следующих друг за другом остановок (ее называют *рекуррентной*), позволяет определить координаты всех остановок при известной начальной координате x_1. Из нее следует и рекуррентная формула для амплитуд:

$$A_{n+1} = A_n - 2x_C. \tag{13}$$

Данная формула говорит о том, что в процессе колебаний бруска его амплитуда за каждый цикл периода убывает на одну и ту же величину $2x_c$. Это позволяет получить прямую связь амплитуды колебаний A_n с начальной амплитудой A_1:

$$A_n = A_1 - 2(n-1)x_C. \tag{14}$$

Кроме координат остановок и связанной с ними амплитуды колебаний студентам предлагается самостоятельно определить время движения между остановками, используя условие равенства нулю скорости бруска в момент остановки. В этом случае полезно предварительно сообщить, что искомое время не зависит от начальной координаты x_1. Это значит, что длительность каждого цикла равна π/ω, а период колебаний маятника есть величина постоянная, равная $2\pi/\omega$.

На рис. 3 показан график колебаний с линейной амплитудой затухания. Характер колебаний зависит от двух факторов: свойств колебательной системы, т. е. от массы бруска m, упругости пружины k, коэффициента трения μ и от начального состояния системы A_1.

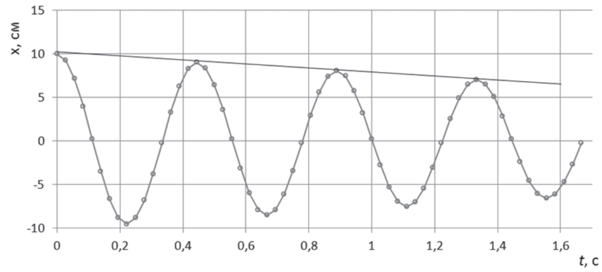

Рис. 3. Изменение амплитуды колебаний бруска
(m = 50 г, k = 10 Н/м, μ = 0,05)

3. Количество циклов и время колебаний.

Уравнение (3) описывает колебания бруска до его последней остановки. Этой последней остановкой завершается последний цикл. Обозначим его номер N и определим этот номер. Пусть n – произвольное целое число. Цикл с номером n возможен при следующем условии. В начале цикла сила упругости, действующая на брусок, больше силы трения скольжения и поэтому брусок, остановившийся после предыдущего цикла на расстоянии A_n от начала координат, снова начинает движение – в направлении силы упругости. Итак:

$$F_{\text{упр}} = kA_n > \mu mg \Rightarrow A_n > \frac{\mu mg}{k} = x_C. \tag{15}$$

Подставим в (15) выражение (14):

$$A_1 - 2(n-1)x_C > x_C \Rightarrow n < \frac{A_1}{2x_C} + \frac{1}{2}. \tag{16}$$

Так как $N = n_{max}$, то из (16) следует:

$$N = \left[\frac{A_1}{2x_C} + \frac{1}{2}\right]. \tag{17}$$

Квадратные скобки в этой формуле означают целую часть числа, т. е. ближайшее меньшее целое число. Число $\dfrac{A_1}{2x_C}+\dfrac{1}{2}$ может оказаться меньше 1, при этом получается, что $N = 0$. Это значит, что колебания вообще не возникают – брусок в его начальном положении недостаточно растягивает пружину, поэтому он с места не стронется. Если формула (14) дает $N = 1$, это тоже означает, что колебания не возникают. Брусок после приведения его в начальное положение начинает движение, но после первой же остановки движение уже не возобновляется – второй цикл не начинается. Такой характер движения бруска называется *апериодическим* режимом.

Зная количество циклов N и длительность цикла τ, можно определить время колебаний T_0, то есть время, проходящее от начала колебаний бруска до его полной (последней) остановки:

$$T_0 = \tau N = \frac{\pi}{\omega} N. \quad (18)$$

При больших N

$$T_0 = \frac{\pi A_1}{2\mu g}\omega = \frac{\pi A_1}{2\mu g}\sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (19)$$

Одной из проблемных ситуаций является изменение частоты колебаний маятника Окса в автоматическом режиме. Например, можно ввести в него дополнительный инерционный элемент. Им может быть, например, массивный маховик или груз, который соединен с бруском шнуром, перекинутым через блок. Наличие груза с массой М меняет исходное дифференциальное уравнение (1). Во-первых, изменяется масса системы, которая равна $(M + m)$. Во-вторых, сила тяжести Mg, действующая на груз, вносит дополнительное слагаемое в правую часть уравнения:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{M+m}x + (-1)^{n-1}\mu\frac{m}{M+m}g + \frac{M}{M+m}g\,. \quad (17)$$

От третьего слагаемого можно избавиться, если перенести начало координат в новое положение равновесия, в котором сила тяжести равна силе упругости в растянутой пружине. В результате получается дифференциальное уравнение, которое отличается от (2) только значениями параметров. Поэтому его решение отличается от (3) только количественно: уменьшается частота колебаний ω и период колебаний T. Это приводит к увеличению времени колебаний T_0. Однако наличие груза не влияет на тот факт, что амплитуда колебаний за каждый цикл уменьшается на одну и ту же величину. Поэтому и на количество колебаний N груз не влияет.

Педагогический эксперимент был организован в двух группах по 21 и 25 студентов. Экспериментальная и контрольная группы подбирались по имеющемуся уровню знаний. Экспериментальная группа прошла обучение по решению задач, где студенты учились выделять проблемные ситуации, связанные с превращением типичных задач в проекты. Учащимся обеих групп последовательно предлагались вопросы № 1–12, после чего оценивалась самостоятельность продвижения к цели, практическая склонность к реализации, конструкторские идеи, теоретические предпосылки к превращению задания в проект на определенном вопросе. Формирование групп – состав и выбор руководителя, экспериментатора, конструктора – определялось количеством правильных ответов на поставленные к задаче вопросы и таблицей личных пожеланий студентов. Студенты экспериментальной группы предложили закрепить на бруске устройство, считывающее частоту и амплитуду колебаний. Это предложение позволило создать эскиз для лабораторной установки.

Представленная модель организации проектного занятия позволяет перейти к моделированию процессов со спонтанным нарушением симметрии при изучении курса физики [5], к нелинейным процессам, колебательным процессам с кластерным характером колебаний [6].

Рассмотренная задача обладает свойством структурной полноты, исключает однотипные задания на подстановку численных значений, предусматривает поэлементный анализ и построение графиков, позволяющих показать, что задачи в своей внутренней структуре содержат элементы прошлых и будущих знаний. Контрольный эксперимент показывает, что формулирование дополнительных вопросов к задаче представляет развивающий пропедевтический этап [4] для реализации проектов внедренческого типа. Изучение физического явления в методе проектов создает своеобразный структурообразующий эффект, объединяющий ряд явлений для их нового практического применения. Оценивание основных компетенций при анализе задачи проводили по методике [7].

Предложенный маятник представляет элемент творческого обучающего подхода при сравнении с традиционным маятником, когда изменение амплитуды происходит по экспоненте. Рассматривая данную модель механического маятника, студенты могут предложить схему его реализации, методику создания аналога электрических затухающих колебаний и т. д. В этой связи полезно предложить разработать элементы лабораторной работы. Таким образом, модель не только обучает частным экспериментам и задачам, но и ведет к формулированию физических идей на уровне проекта, усиливает их предпрофессиональную подготовку и последующую мотивацию к изучению будущих профессиональных дисциплин.

Рассмотренный маятник назван маятником Окса по имени профессора ТУСУРа (Томск) Окса Ефима Михайловича.

Список литературы

1. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие для втузов, изд. 12-е. М.: Наука, 1990. 398 с.
2. Зеличенко В. М., Ларионов В. В., Пак В. В. Совместная деятельность студентов на практических занятиях по физике: формирование физических идей на уровне проекта // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2012. Вып. 2(88). С. 106–110.
3. Румбешта Е. А. Образовательная программа педагога как средство организации деятельности по формированию компетенций у школьников // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2011. Вып. 4. С. 132–138.
4. Ларионов В. В., Писаренко С. Б., Лидер А. М. Лабораторно-проектные работы в системе физического практикума // Физическое образование в вузах. 2007. Т. 13. № 2. С. 69–78.
5. Ляпцев А. В., Сергеева И. В. Моделирование процессов со спонтанным нарушением симметрии при изучении курса физики // Физическое образование в вузах. 2006. № 1. С. 88–102.
6. Югай К. Н. Возбуждение динамического хаоса в бигармоническом поле // Известия вузов. Физика. 1992. № 7. С. 99–103.
7. Скрипко З. А., Бармашова А. С. Использование традиционного и компетентностного подходов в оценивании результатов обучения на уроках физики // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2011. Вып. 6. С. 51–54.

Ларионов В. В., доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры, профессор.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет.
Пр. Ленина, 30, Томск, Россия, 634050.
E-mail: larvv@sibmail.com

Рипп А. Г., кандидат технических наук, профессор кафедры.
Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности.
Ул. Курчатова, 7, Севастополь, Автономная Республика Крым, Украина, 99033.
E-mail: ripp1946@mail.ru

Шошин Э. Б., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет.
Пр. Ленина, 30, Томск, Россия, 634050.
E-mail: shoshin45@mail.ru

Материал поступил в редакцию 14.06.2012.

V. V. Larionov, A. G. Ripp, E. B. Shoshin

FORMATION OF WORK GROUPS TO STUDY PHYSICS AT THE LEVEL OF PROJECTS FOR JOINT ACTIVITIES OF STUDENTS

The method of forming creative groups to teach students the physics of the design scheme. The pedagogical experiment was conducted on the basis of the pendulum Ochs, consisting of bars on a horizontal surface, connected to a spring. The oscillations of the pendulum are characterized by a constant period, a linear decrease in amplitude, when for each half period of the amplitude is reduced by the same amount. The requirements of the problem is an example of educational organizations-term promotional activity for future engineers at the project level, as in practical classes, and in the interrelated tasks of physical design workshop.

Key words: *formation of work groups, pendulum Okhs, stable and unstable oscillations, design jobs*

Larionov V. V.
National Research Tomsk Polytechnic University.
Pr. Lenina, 30, Tomsk, Russia, 634050.
E-mail: larvv@sibmail.com

Ripp A. G.
Sevastopol National University of Nuclear Energy and Industry.
Ul. Kurchatova, 7, Sebastopol, Autonomous Republic of Crimea, Ukraine, 99015.
E-mail: ripp1946@mail.ru

Shoshin E. B.
National Research Tomsk Polytechnic University.
Pr. Lenina, 30, Tomsk, Russia, 634050.
E-mail: shoshin45@mail.ru