

О. Г. Ревинская, Н. С. Кравченко

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ СЛОЖЕНИЯ ВЗАИМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Проанализирована традиционная методика экспериментального изучения сложения перпендикулярных электрических колебаний в курсе общей физики. При исследовании фигур Лиссажу на осциллографе основной трудностью для студентов младших курсов является умозрительное представление физической модели изучаемого явления, которое скрыто от непосредственного наблюдения внутри экспериментальной установки. Для преодоления этих трудностей предложено натурные исследования сложения электрических колебаний дополнить исследованиями теоретической модели сложения легко визуализируемых на компьютере механических колебаний, выполняемыми в виде компьютерной лабораторной работы перед натурным экспериментом.

Ключевые слова: физическая модель, сложение взаимно перпендикулярных колебаний, фигуры Лиссажу, компьютерная лабораторная работа, натурная лабораторная работа.

Сложение взаимно перпендикулярных колебаний является одной из фундаментальных тем курса общей физики. Траектории тела (объекта), движущегося одновременно по гармоническому закону в двух взаимно перпендикулярных направлениях, называют фигурами Лиссажу. Если отношение частот складываемых перпендикулярных колебаний равно отношению целых чисел, то спустя определенное время фигуры Лиссажу полностью повторятся. Такие фигуры Лиссажу называют замкнутыми, устойчивыми или стационарными. По количеству пересечений стационарной фигуры Лиссажу с прямыми, параллельными направлениям складываемых гармонических колебаний, можно определить отношение частот и разность фаз складываемых колебаний. Поэтому получение стационарных фигур Лиссажу широко используется в науке и технике, например, для юстировки приборов, а также при изучении частотных характеристик различных процессов и явлений.

Эффективность практического применения данного метода научных исследований существенным образом зависит от понимания исследователем физической сущности сложения взаимно перпендикулярных колебаний. Поэтому в курсе общей физики традицион-

но изучение сложения перпендикулярных колебаний происходит не только на лекциях, но и в лабораторном практикуме. При этом в лекционных демонстрационных экспериментах студенты непосредственно наблюдают колебательные движения маятника в перпендикулярных направлениях, а не только результат сложения этих колебаний. Традиционная методика изучения фигур Лиссажу в лабораторном практикуме предполагает использование осциллографа [1, 2, 4, 8], на пластины которого, отклоняющие луч осциллографа в двух взаимно перпендикулярных направлениях, подается переменное напряжение. В результате конец луча описывает на экране осциллографа фигуру Лиссажу. Но при этом студенты наблюдают только результирующую траекторию движения луча, и лишены возможности наблюдать источники колебаний. Практически они наблюдают результат, не видя его причины, так как изменение частоты подключенного к осциллографу генератора не ассоциируется у них с каким-либо физическим объектом, совершающим колебания. Таким образом, несмотря на самостоятельное проведение лабораторных экспериментов на натурном оборудовании, изучение сложения перпендикулярных колебаний традиционно происходит без опоры на непосредственные действия с материальными объектами, являющимися причиной наблюдаемого феномена. Это настолько затрудняет освоение материала, что у многих студентов так и не выстраивается связь между фигурами Лиссажу и колебаниями.

При невозможности действий с материальными объектами в процессе обучения, как правило, переходят к аналогичным действиям с материализованными объектами, например, моделями. Развитие компьютерной техники и методов визуального компьютерного моделирования стимулировало появление педагогических разработок по изучению сложения перпендикулярных колебаний в курсе общей физики на основе компьютерных моделей [3, 4, 9]. Однако большинство компьютерных моделей, используемых в аналогичных разработках, воспроизводит с различной долей условности внешний вид осциллографа, а также его элементы управления и методику натурального эксперимента. В этом случае физическая причина появления на экране виртуального осциллографа фигур Лиссажу по-прежнему остается скрытой от выполняющего исследования студента. Он вынужден домысливать, где и какие колебания происходят, почему получается наблюдаемый результат. Компьютерная имитация натуральных приборов позволяет только отработать навыки управления этими приборами, запомнить последовательность выполнения эксперимента, но не вносит изменения в процесс понимания физической сути явления, если само явление скрыто внутри прибора и недоступно для непосредственного наблюдения студентом. Следует отметить также, что в связи с услож-

нением изучаемых физической явлений и процессов и используемых для этого экспериментальных установок возрастает разрыв между операциями по управлению научными приборами и ненаблюдаемым невооруженным глазом воздействием этих приборов на объект исследования. Для корректного проведения исследований в подобных условиях у экспериментатора должны быть хорошо развиты навыки представления физической модели исследуемого явления и результатов его воздействия на модель. Развитие таких навыков необходимо начинать в курсе общей физики, в частности, на примере сложения перпендикулярных колебаний. Но развитие этих навыков в процессе умозрительного представления модели студентом затруднительно, так как практически не может контролироваться преподавателем.

Формирование устойчивых навыков переноса реальной деятельности на идеальную физическую модель и обратно согласно теории поэтапного формирования умственной деятельности необходимо начинать с явных действий с материализованным представлением (визуализацией) модели [5]. Компьютерная визуализация электрических колебаний, которые используются для изучения фигур Лиссажу в традиционном натурном эксперименте, возможна только на уровне отображения графиков функциональных зависимостей напряжения на отклоняющих луч пластинах от времени. Корректная визуализация физической сути изучаемой модели в данном случае затруднительна и поэтому не реализована в виртуальных лабораторных работах по изучению сложения перпендикулярных колебаний [3, 4, 9].

Для визуального отображения физической сути изучаемого явления корректнее использовать механические колебания. Например, колебания пружинного маятника вдоль горизонтальной направляющей, которая тоже движется по гармоническому закону, но в вертикальном направлении (рис. 1). Противоположный от тела конец пружины закреплен на той же направляющей. Вертикальное движение направляющей можно обеспечить, например, с помощью крутильного маятника или каких-либо других механизмов. Поскольку для понимания сути изучаемого физического явления не принципиально, каким образом приводится в движение направляющая, соответствующий механизм в компьютерной модели не визуализирован. В разработанной авторами компьютерной модели кроме физической схемы явления визуализированы характерные для него функциональные зависимости координат тела от времени и траектория (рис. 1).

Горизонтальные колебания тело совершает с фиксированной частотой (частотой собственных колебаний пружинного маятника). Частоту вертикальных колебаний направляющей можно изменять в пределах от 1 до 6 рад/с. Каждый опыт выполняется с фик-

сированным значением частоты и начальной фазы вертикальных колебаний направляющей.

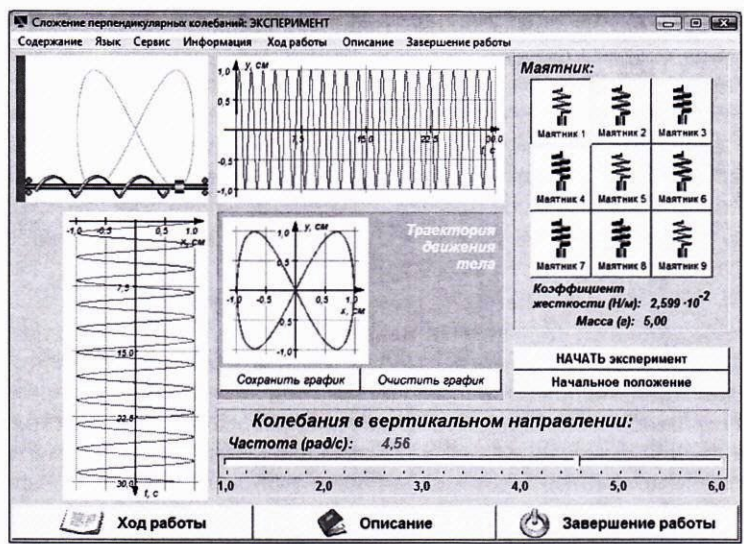


Рис. 1. Компьютерная лабораторная работа «Сложение перпендикулярных колебаний»

Такая структура компьютерной модели позволяет реализовать методику изучения физической модели сложения взаимно перпендикулярных колебаний, отличную от традиционной методики их изучения на осциллографе.

Методика исследования модели построена таким образом, чтобы студенты научились обосновано различать замкнутые (стационарные) и незамкнутые фигуры Лиссажу, а также научились определять отношение частот складываемых колебаний по количеству пересечений замкнутой фигуры Лиссажу с горизонтальной и вертикальной прямыми. Для реализации первой задачи студентам предложено, изменяя частоту вертикальных колебаний направляющей в интервале от 1 до 1,5 рад/с, найти одну замкнутую (стационарную) фигуру Лиссажу. Для каждого из имеющихся в работе маятников в указанном диапазоне есть одна или две замкнутые фигуры. Следует отметить, что частоты собственных колебаний всех используемых в работе пружинных маятников лежат вне указанного интервала (больше 1,5 рад/с). Поэтому первая найденная студентами замкнутая фигура Лиссажу отлична от круга (эллипса). Например, для маятника № 1, частота собственных колебаний которого равна 2,28 рад/с, эта фигура имеет форму параболы (первая фигура на рис. 2). Для разных маятников на интервале от 1 до

1,5 рад/с получают замкнутые фигуры разной формы. Это позволяет студентам освоить обобщенный вариант использования фигур Лиссажу в отличие от случая, когда в качестве первой (опорной) стационарной фигуры рекомендуется получить только круг (эллипс), который практикуется при традиционном выполнении работы на осциллографе.

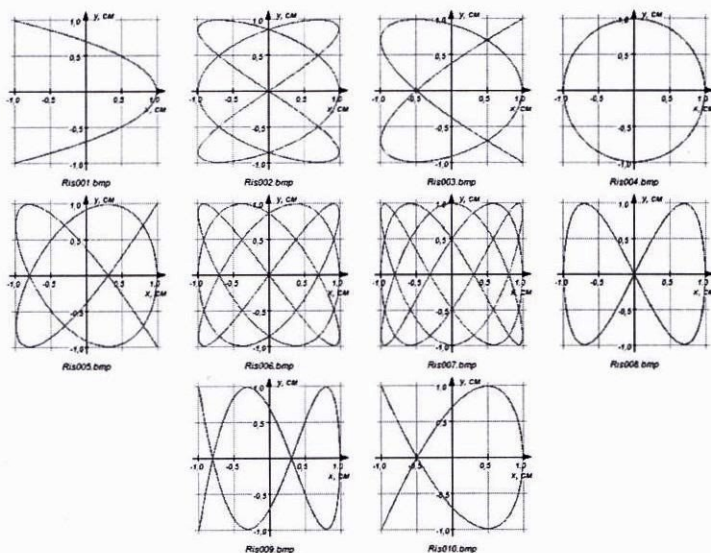


Рис. 2. Замкнутые (стационарные) фигуры Лиссажу для пружинного маятника, частота собственных колебаний которого равна 2,28 рад/с, соответствующие отношениям частот складываемых перпендикулярных колебаний: 1/2, 2/3, 3/4, 1/1, 5/4, 5/3, 5/3, 2/1, 5/2, 3/2

Далее на основе найденной на первом этапе частоты вертикальных колебаний и количеству пересечений траектории движения тела с вертикальной и горизонтальной прямыми студенты определяют неизвестную им ранее частоту горизонтальных колебаний. А затем предсказывают, для каких еще значений частоты вертикальных колебаний будут наблюдаться замкнутые (стационарные) фигуры Лиссажу. Эти частоты рассчитываются для фиксированной частоты горизонтальных колебаний и отношений частот складываемых колебаний, соответствующих отношениям следующих целых чисел: 1/5; 1/4; 1/3; 2/5; 1/2; 3/5; 2/3; 3/4; 4/5; 1/1; 6/5; 5/4; 4/3; 3/2; 5/3; 2/1; 5/2; 3/1.

Несмотря на то, что для всех рассчитанных студентами значений частоты вертикальных колебаний существуют стационарные фигуры Лиссажу, не все из них (рис. 2) можно наблюдать на раз-

работанной авторами компьютерной модели потому, что в этой модели частоту вертикальных колебаний направляющей можно изменять только с точностью 0,01 рад/с. Такие ограничения внесены в компьютерную модель для того, чтобы подвести студентов к осознанию роли точности отстройки частотных генераторов, используемых при выполнении натурального эксперимента на осциллографе. Для каждой замкнутой (стационарной) фигуры Лиссажу, полученной при изучении сложения перпендикулярных колебаний с помощью компьютерной модели, студенты определяют количество пересечений траектории движения тела с горизонтальной и вертикальной прямыми и сравнивают эти значения с отношением частот складываемых колебаний. Завершается исследование модели анализом свойств симметрии полученных студентами фигур Лиссажу, которые сохраняются в виде графических файлов и после распечатки включаются в отчет о выполненном исследовании. Аналогичный анализ проводится многими авторами (например, [7]), но, как правило, на основе теоретических рассуждений. В предложенной авторами методике анализ свойств симметрии выполняется студентами после наблюдения за идеальной материализованной на компьютере колебательной системой. Это создает основания для анализа не столько с точки зрения математических особенностей параметрически заданной функции, сколько с точки зрения физики.

На основе описанной методики студенты выполняют компьютерную лабораторную работу «Сложение перпендикулярных колебаний» (рис. 1). Компьютерная работа «Сложение перпендикулярных колебаний» входит в комплекс лабораторных работ по изучению моделей физических процессов и явлений на компьютере, который разрабатывается на кафедре теоретической и экспериментальной физики Национального исследовательского Томского политехнического университета с 2002 г. [6]. В настоящее время комплекс включает 27 лабораторных работ.

Выполнение компьютерной лабораторной работы «Сложение перпендикулярных колебаний» в курсе общей физики позволяет студентам подготовиться к выполнению натурального эксперимента на осциллографе. Эта подготовка состоит не в заучивании последовательности действий с прибором на виртуальном тренажере, а в понимании сути изучаемого физического явления на основе действий с идеальными материализованными объектами компьютерной модели, а также в освоении метода определения отношения частот складываемых колебаний с помощью фигур Лиссажу. Полученный при исследовании идеальной физической модели на компьютере опыт является опорой для умозрительного представления студентами складываемых перпендикулярных колебаний при дальнейшем выполнении натурального эксперимента, и выступает как теоретическое обоснование методики его проведения.

Таким образом, выполнение разработанной авторами компьютерной лабораторной работы «Сложение перпендикулярных колебаний» перед натурным экспериментом на осциллографе способствует не только углублению теоретических знаний студентов по курсу общей физики, но и является необходимым этапом в комплексе развития их экспериментальных навыков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринкруг М. С., Вакулюк А. А. Лабораторный практикум по физике: Учеб. пособие. — СПб.: Лань, 2012. — 480 с.
2. Кортнев А. В., Рублев Ю. В., Куценко А. Н. Практикум по физике. — М.: Высшая школа, 1965. — 568 с.
3. Нестерова Ж. Ю., Никитин М. А., Федотов В. В. Виртуальные приборы как средство организации междисциплинарных связей // Вестник Балтийского Федерального университета им. И. Канта. — 2011. — Вып. 10. — С. 151–154.
4. Пушкарева Н. Б. Роль натурального и виртуального эксперимента в лекционном курсе физики [Электронный ресурс] / Н. Б. Пушкарева, К. А. Шумихина, В. А. Оськина // Материалы XI международной научно-методической конференции «Новые образовательные технологии в вузе» (Екатеринбург, 18–20 февраля 2014). — Екатеринбург, 2014. Режим доступа: <http://hdl.handle.net/10995/24682>.
5. Ревинская О. Г. Методика использования визуальных представлений теоретических моделей физических явлений и процессов в преподавании курса общей физики // Материалы Международной научно-практической конференции «Системно-деятельностный подход в преподавании дисциплин естественнонаучного цикла» (Самара, 29–30 ноября 2014 г.). — Самара: ПГСГА, 2014. — С. 172–182.
6. Ревинская О. Г., Кравченко Н. С. Концепция развития лабораторного практикума по общей физике на основе дидактической модели научных экспериментальных исследований // Инновации в образовании. — 2014. — № 1. — С. 93–106.
7. Рыбин Б. С., Сергеева А. Е. Кривые Лиссажу и симметрия // Физическое образование в ВУЗах. — 2014. — Т. 20. — № 2. — С. 46–56.
8. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний (фигуры Лиссажу): методические указания к работе 2–32а по курсу «Общей физики» для студентов всех специальностей / сост. Д. Н. Краснов; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — 18 с.
9. Сложение взаимно-перпендикулярных колебания. Гармонические колебания. Фигуры Лиссажу: методические указания / Сост. А. А. Клопотов, Л. И. Тришкина, Н. О. Солоницина. — Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2006. — 15 с.