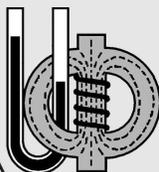


ISSN 2307-5457

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ

*Primum
inter pares*



**УЧЕБНАЯ
ФИЗИКА**

Материалы XXX Всероссийской
научно-практической конференции

Январь - март 2025 №1

„Учебный физический эксперимент:
Актуальные проблемы. Современные
решения“

Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Хроника

XXX ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ «УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ. СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ» 3

Основная школа

В. В. Майер ПРЕПАРАТЫ ИЗ ЛИКОПОДИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО
Е. И. Вараксина НАБЛЮДЕНИЯ И ДЕМОСТРАЦИИ ДИФРАКЦИИ
И. А. Васильев СВЕТА В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ 15
Е. А. Широкова

Старшая школа

С. И. Официн МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ
О. В. Кирьяков С КАТУШКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ 28

И. Ю. Зворыкин УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ ПО СОЗДАНИЮ
М. Р. Каткова ВЫСОКООМНОЙ ПРИСТАВКИ К ВОЛЬТМЕТРУ 34

Высшая школа

Е. И. Вараксина УЧЕБНЫЕ ОПЫТЫ ПО ДИФфуЗИИ НА УРОЧНЫХ
В. В. Майер И ВНЕУРОЧНЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО ХИМИИ И ФИЗИКЕ 39
Л. В. Шиляева

И. В. Гребенев ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ 56
П. В. Казарин
Е. В. Чупрунов

Исследования

А. П. Усольцев РАЗВИТИЕ МЫШЛЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ СРЕДСТВАМИ
Т. Н. Шамало УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА 66
Б. М. Игошев

От редакции

АКТИВНЫЙ ДЕЯТЕЛЬ ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
(в память о Геннадии Григорьевиче Никифорове) 74

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 76

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

С. В. Барышников	д.ф.-м.н., профессор, Благовещенск
И. В. Гребенев	д.п.н., профессор, Нижний Новгород
М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
О. В. Лебедева	д.п.н., доцент, Нижний Новгород
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
А. П. Усольцев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
А. А. Шаповалов	д.п.н., профессор, Барнаул

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская–Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Перечень ВАК: Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.
E-mail: uch-fiz@mail.ru, kropach@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77–69506.

Подписной индекс: 79876.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 03.03.25. Подписано в печать 27.03.25.

Дата выхода в свет: 31.03.25.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,75.

Заказ 169. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Демонстрация натурной модели сердца доцентом А. В. Долженко на XXX Всероссийской научно-практической конференции «Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения».

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853

И. В. Гребенев, П. В. Казарин, Е. В. Чупрунов

ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Описан новый подход к интегрированному учебному процессу в методическом триединстве «модель — эксперимент — задача». Показана необходимость учета поведения реальных систем при анализе полученных ответов при решении задач курса общей физики. Описана экспериментальная установка для изучения вынужденных колебаний.

Ключевые слова: эксперимент, модель, задача, обучение физике как исследование.

I. V. Grebenev, P. V. Kazarin, E. V. Chuprunov

EXPERIMENT FOR SOLVING PROBLEM IN PHYSICS

A new approach to the integrated training session of the methodological trinity «model — experiment — task» is described. The necessity of taking into account the behavior of real systems in the analysis of the obtained answers to the solution of problems is shown. An experimental setup for the study of forced oscillations is described.

Ключевые слова: experiment, model, task, teaching physics as research.

DOI: 10.62957/2307-5457-2025-1-56-65

Введение

Учебный физический эксперимент и решение задач по физике — две важные формы учебной деятельности, два ведущих способа получения и применения физического знания. Демонстрационный эксперимент служит в первую очередь источником нового содержания, основой для организации и мотивации познавательной деятельности обучаемых. Лабораторный эксперимент переводит знания в умения пользоваться ими для решения практически важных предметных задач с приобретением соответствующих инструментальных умений. Аналогичную функцию применения знаний для решения практических, а иногда и псевдопрактических заданий выполняют и занятия по решению задач. Эти формы должны образовывать единый учебный процесс, дополняя преимущества и компенсируя неизбежные

методические недостатки каждого из них. Для этого в ходе решения физической задачи предлагается рассматривать заданные условия с точки зрения реалистичности описанной ситуации, модельности ее представления и соответствия возможности постановки реального эксперимента и его результатам [1]. Нам близка следующая точка зрения: «задача как абстрактный конструктивный элемент, присутствующий и науке, и мышлению, и образованию, и повседневной жизни, может быть реализована как базовый дидактический концепт» [2]. Мы видим в этой мысли академика А. А. Ляпунова возможность организации цельного учебного процесса на основе учебной задачи, в рамках методического триединства «*модель — эксперимент — задача*» [3].

Хорошо известна фраза Э. Ферми, что знать физику — означает уметь решать задачи. Однако отсюда не следует делать вывод, что все владение физикой ограничено лишь умением решать абстрактные текстовые задачи, как это случилось в средней школе под влиянием ЕГЭ. Физика — наука о природе и, если мы попытаемся подойти к природным объектам с результатом решения идеализированной текстовой задачи, нас ждет серьезное разочарование, а то и большие неприятности, как показал в своем примере В. В. Майер [4]. И наоборот, сочетание экспериментальной компоненты учебного процесса с решением задач «...повышает качество решения теоретических задач, приводит к уменьшению ошибок в уравнениях и формулах, так как связь физических величин устанавливается экспериментально» [5].

Для средней школы, при преобладании комбинированных уроков, техника совмещения в одном занятии решения задач и какого-либо варианта эксперимента не представляет трудности и легко может быть освоена, хотя бы для уроков определенных типов [6]. К сожалению, в практике обучения в высшей школе эти элементы учебного процесса достаточно сильно разнесены во времени, пространстве и в логике образовательного процесса. В результате формально поставленная задача может терять связь с реальной физикой. При этом студенты, как правило, не видят, что это лишь предельно формализованная модель реального объекта, процесса, поэтому не всегда выделяют существенные признаки физических явлений. Кроме того, при решении предельно формализованных задач без обращения к реальным экспериментам учащимся психологически трудно убедиться в том, что физические модели описывают реальные природные процессы.

Экспериментальная поддержка решения задач по физике

Рассмотрим в качестве примера задачу одного из разделов курса общей физики — вынужденные колебания, где математические методы решения дифференциальных уравнений приводят к формальным

ответам, физический смысл которых требует обсуждения и экспериментального подтверждения. Вот две задачи из сборника [7, с. 165].

3.90. Шарик массы m может совершать незатухающие гармонические колебания около точки $x = 0$ с собственной частотой ω_0 . В момент $t = 0$, когда шарик находился в состоянии равновесия, к нему приложили вынуждающую силу $F_x = F_0 \cos \omega t$, совпадающую по направлению с осью X . Найти закон вынужденных колебаний шарика $x(t)$.

3.91. Установить в условиях предыдущей задачи закон движения шарика $x(t)$, если частота вынуждающей силы равна собственной частоте ω_0 колебаний шарика.

Рассмотрим эти задачи не просто как объект применения теории для получения формального ответа, но как центральный элемент, основу коллективного учебного исследования.

Условие задачи отражает физическую ситуацию, описываемую моделью вынужденных колебаний в идеальной системе без затухания. Эта модель описывается дифференциальным уравнением

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t. \quad (1)$$

Это частный случай дифференциального уравнения, которым описываются вынужденные гармонические колебания:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t. \quad (2)$$

Решения уравнений (1) и (2) являются суммой общего решения соответствующих однородного и какого-либо частного решения неоднородного дифференциальных уравнений. В качестве решения задачи 3.90 [7, с. 367] получаются колебания, формально описываемые следующей функцией:

$$x(t) = \frac{F_0}{m} \cdot \frac{\cos \omega_0 t - \cos \omega t}{\omega^2 - \omega_0^2}. \quad (3)$$

При достаточно близких частотах ω и ω_0 то есть при $|\omega - \omega_0| < \omega_0$ выражение (3) описывает биения колеблющейся системы, причем их глубина максимальна, а амплитуда и период должны возрастать при $\omega \rightarrow \omega_0$. Покажем студентам графически полученный результат для последующего сравнения с экспериментом (рис. 1).

Обсудим ограничения, накладываемые используемой моделью, на реальность полученного ответа. Приводимое решение, в соответствии с условием задачи, не содержит элементов, соответствующих затуханию собственных колебаний, как и переходных процессов начальной стадии установления вынужденных колебаний. Однако и то

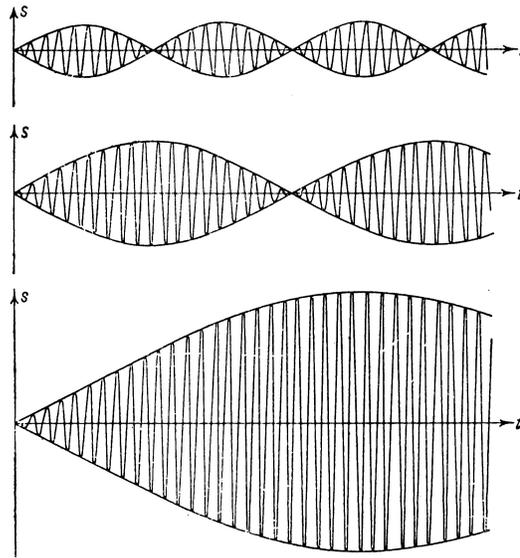


Рис. 1. Графическая иллюстрация решения уравнения (1) при $\omega \rightarrow \omega_0$ [8, с. 106]

и другое студенты уже наблюдали в лекции при изучении теории собственных и вынужденных колебаний, и, возможно, проводили соответствующие исследования в учебной лаборатории! Поэтому им должно быть ясно, что ответ задачи (3) описывает упрощенную физическую ситуацию, что является следствием идеализации (1), и вызывает сомнения с точки зрения экспериментальной достоверности.

Реализуем физическую ситуацию задачи для *экспериментального исследования* в виде колебательной системы на электрических аналогах (рис. 2.1). Вынуждающую силу представляет левая половина схемы, генерирующая пакеты электрических колебаний изменяемой частоты ν , установленное значение которой отражено на индикаторе. Правая половина схемы представляет собой колебательный контур фиксированной частоты $\nu_0 = 6,5$ кГц. Между контурами — индуктивная связь. На осциллограф подается напряжение с конденсатора, то есть исследуется поведение заряда $q(t)$, который и является аналогом координаты (смещения) при едином подходе к изучению колебательных процессов (рис. 2).

Хорошо видно наличие биений, глубина которых, однако, уменьшается со временем из-за затухания, то есть уменьшения амплитуды собственных колебаний. Это обстоятельство возвращает нас к необходимости учета диссипативных свойств системы, то есть решению уравнения (2). Наблюдается также этап установления вынуж-

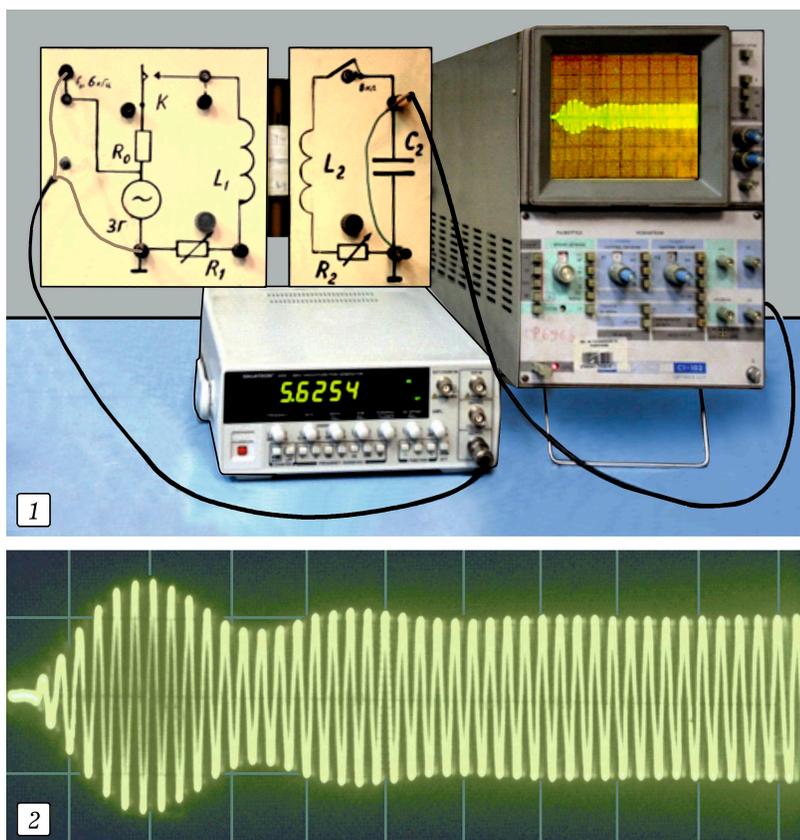


Рис. 2. Биения в процессе установления вынужденных колебаний: 1 — экспериментальная установка; 2 — осциллограмма процесса

денных колебаний, постепенного увеличения амплитуды (рис. 2.2) на начальной стадии развития процесса. Заметим, что процесс установления вынужденных колебаний практически не рассматривается на лекции, от общего вида решения сразу переходят к установившимся колебаниям. В этом отношении результат эксперимента дает новую информацию о поведении колебательной системы (2). Все эти отличия результата эксперимента (рис. 2.2) от идеализированного результата (3) и рис. 1 есть следствие наличия диссипативных элементов в реальной колебательной системе. Можно определить декремент затухания колебаний в данном эксперименте. Глядя на рис. 2.2, оценим уменьшение амплитуды собственных колебаний в e раз за период. Таким образом, оценочное значение логарифмического декремента затухания равно $d \sim 1$, а добротности — $Q \sim 3$. Зная

частоту колебаний $\nu = 5,6$ кГц, можно оценить коэффициент затухания $\beta = \nu d$, выразить его через параметры колебательной системы $\beta = R/2L$ и произвести другие оценки.

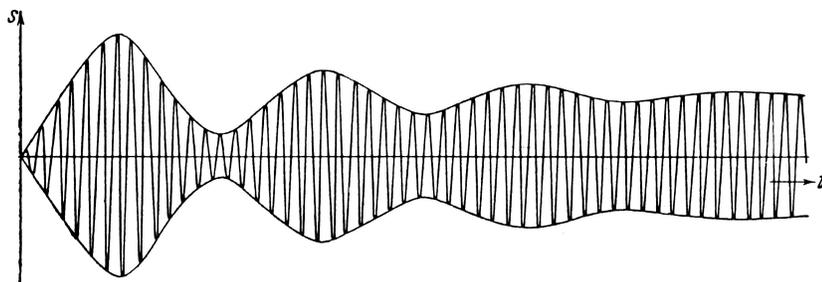


Рис. 3. Из учебника Г. С. Горелика [8, с. 117]

Теперь следует сопоставить график на рис. 2.2 с результатом точного решения уравнения (2), приведенным на рис. 3. Практически полное совпадение графиков показывает нам, что чем полнее теоретическая модель отражает реальность, тем лучше результаты эксперимента согласуются с ее выводами.

На рис. 4 показаны результаты продолжения экспериментального исследования при приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте колебательного контура. Видим, что период и амплитуда биений увеличивается, как и следует из результата анализа решения задачи 3.90 (сравним рис. 2.2 и рис. 4.2 с рис. 1). Это важно подчеркнуть как элемент частичной справедливости используемой модели. Одновременно возрастание периода биений T в сравнении с характерным временем затухания $\tau = 1/\beta$ приводит к уменьшению числа наблюдаемых биений.

Переходному процессу установления вынужденных колебаний посвящена следующая задача 3.91.

Переходя к пределу при $\omega \rightarrow \omega_0$ в выражении (3) и, используя правило Лопитала, получаем решение задачи 3.91:

$$x(t) = \frac{F_0 t}{2m\omega_0} \cdot \sin \omega_0 t. \quad (4)$$

Это уравнение описывает вынужденные колебания с линейно возрастающей амплитудой при $\beta = 0$ и $\omega = \omega_0$.

Посмотрим, что покажет эксперимент при условии совпадения частот $\omega = \omega_0$ в соответствии с условием задачи 3.91 для реальной системы (рис. 5).

Мы видим, что в первые моменты действия вынуждающей силы амплитуда колебаний действительно возрастает линейно со временем, это придает частичную обоснованность полученному решению

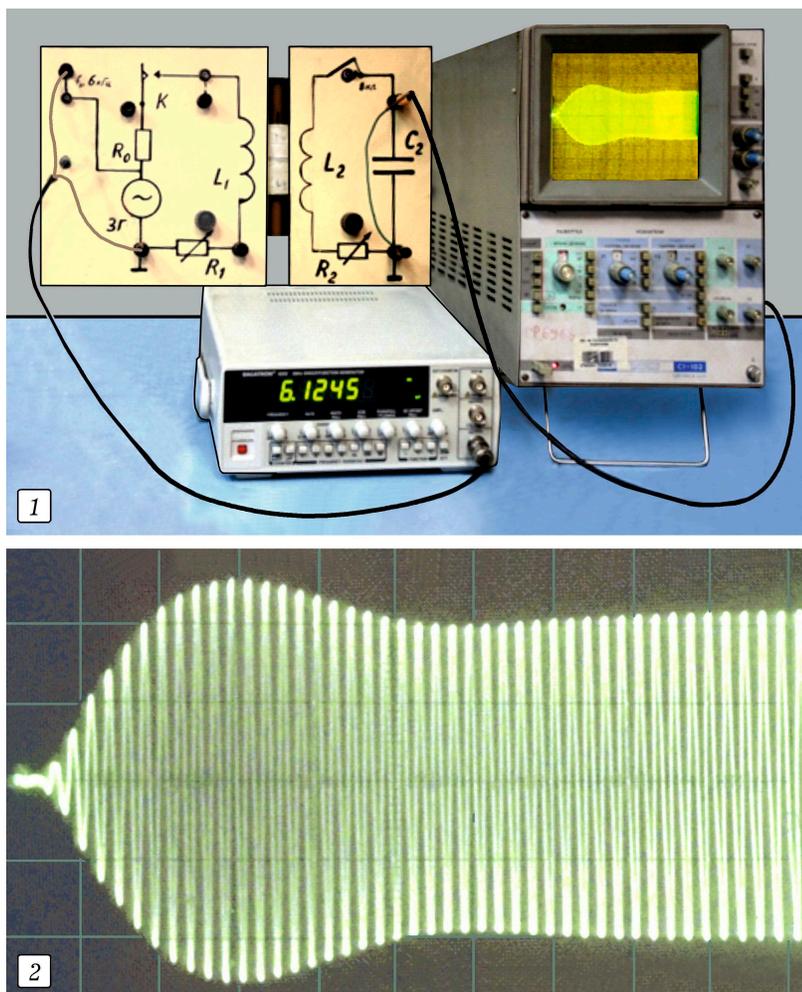


Рис. 4. Биения при приближении частоты вынуждающей силы к частоте собственных колебаний: 1 — экспериментальная установка; 2 — осциллограмма процесса

(4). Естественно, что с течением времени мы получаем установившиеся вынужденные колебания, как и описывает теория в системе с затуханием (2) при $\omega = \omega_0$ и аналогичных 3.90 начальных условиях [8, с. 110]:

$$x(t) = \frac{F_0(1 - e^{-\beta t})}{2m\beta\omega_0} \cdot \sin \omega_0 t. \quad (5)$$

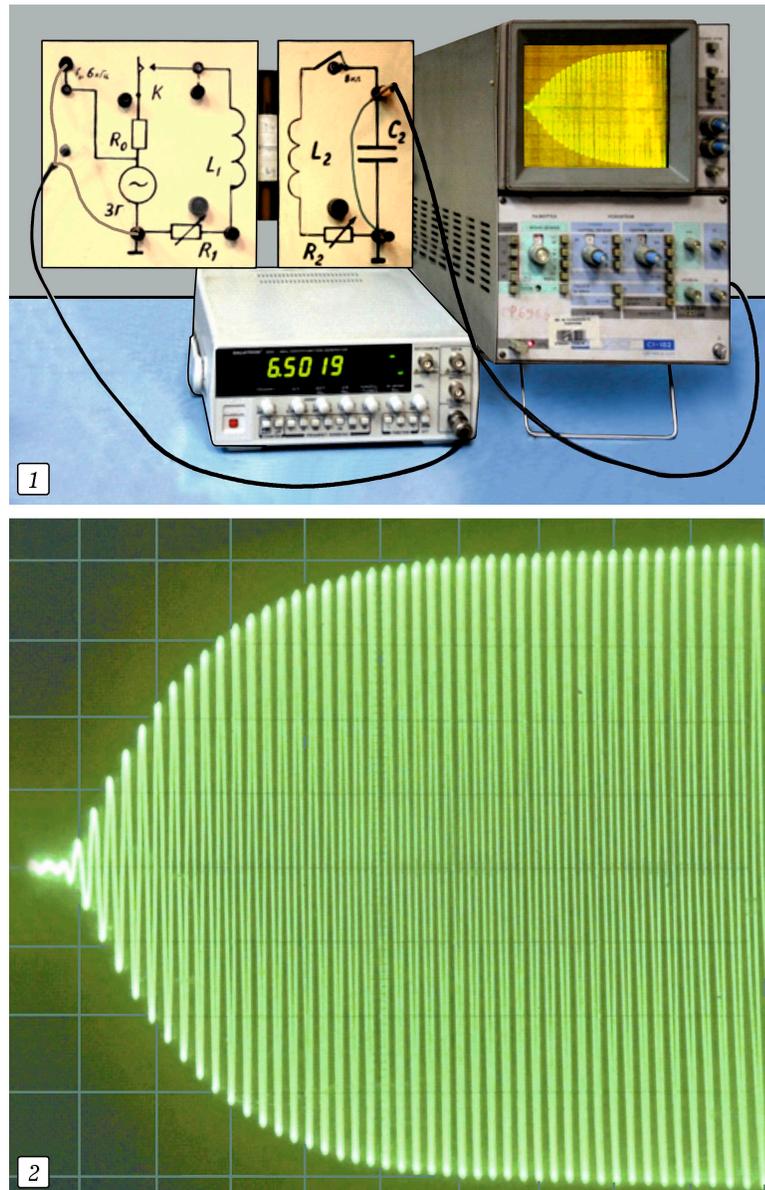


Рис. 5. Установление вынужденных колебаний при $\omega = \omega_0$: 1 — экспериментальная установка; 2 — осциллограмма процесса

График функции (5) мы и наблюдаем в эксперименте (рис. 5). Вновь уточненная теория хорошо согласуется с экспериментом.

Далее мы обращаем внимание студентов на полученное ранее в лекциях значение максимального смещения колеблющегося тела в резонансе при наличии затухания:

$$X_m = \frac{F_0}{2m\beta\omega_0}. \quad (6)$$

Это смещение конечно для реальной системы, и обратно пропорционально диссипативным свойствам системы, выраженным коэффициентом затухания β . На последнем этапе экспериментального исследования результата решения задач на глазах студентов изменяется величина сопротивления R_2 (схема на рис. 5.1), определяющего коэффициент затухания β ($\beta = R/2L$), что приводит к изменению амплитуды резонансного смещения (рис. 5.1 и рис. 6). Еще одно *экспериментальное подтверждение* правильности результатов модели вынужденных колебаний, но уже (2). Можно продолжить исследование, например, рассмотреть изменение времени установления вынужденных колебаний (рис. 5.1 и рис. 6), что также редко рассматривается на лекциях и существенно развивает изученную теорию: «процесс установления длится тем дольше, чем меньше β » [8, с. 110].

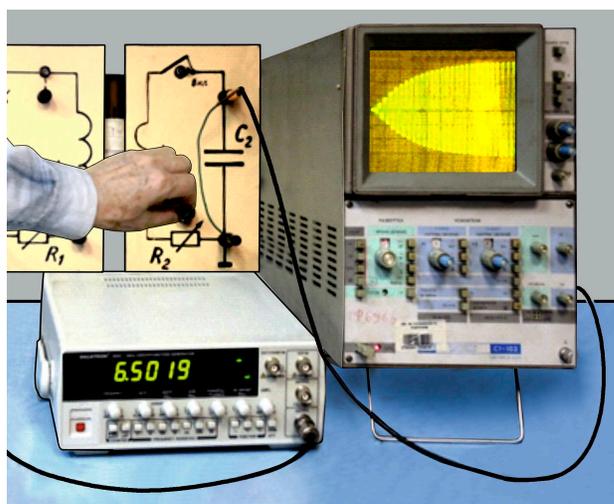


Рис. 6. Влияние диссипативного элемента на амплитуду колебаний системы при резонансе

Так правильно решена задача или нет? Правильно, если оставаться в рамках модели (1). А модель верна? Нет, это приближенная

идеализация ради получения простых решений (3) и (4). Поэтому частично результаты применения модели (1) подтверждаются в эксперименте, но есть и совершенно новые аспекты — затухание биеений, наличие раскачки колебаний, в том числе вне резонанса, выход на плато амплитуды колебаний при резонансе, для объяснения которых надо обращаться к более строгой модели (2).

Заключение

Нами описан новый подход к организации процесса решения задач в интегрированном учебном занятии. В основе его лежит необходимость экспериментального исследования адекватности полученных решений, выявления условий применимости используемых при решении простейших моделей к поведению реальных систем. Показана ограниченность применения используемой простейшей модели на примере вынужденных колебаний, и возможность получения новой важной учебной информации при экспериментальном исследовании в развитие известной студентам теории.

Все эти предложения укладываются в насущное требование времени — привносить в аудитории вузов элементы проектного и исследовательского обучения, обращаясь к задачам, связанным с реальными объектами, и в силу этого требующими экспериментального компонента учебного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долженко Е. В., Кондратьев А. С., Ларченкова Л. А. Проблема формулировки условия физической задачи в современной парадигме образования // Физика в школе и вузе: Международный сборник научных статей. Вып. 9. СПб.: БАН, 2008. — С. 65–71.
2. Ляпунов А. А. Онтодидактика в математике // За науку в Сибири. — 1972. — Вып. 37 (568). — 20 сент.
3. Гребенев И. В. Методическое значение экспериментирующего мышления // Учебная физика. — 2023. — № 1. — С. 45–54.
4. Майер В. В., Данилов И. Н. Экспериментальная проверка решения физической задачи // Учебная физика. — 2021. — № 3. — С. 11–19.
5. Тищенко Л. В. Экспериментальный практикум по физике как средство обучения старшеклассников решению задач (углубленный уровень) // Азимут научных исследований: педагогика и психология. — 2018. — Т. 7. — №2(23).
6. Лебедева О. В., Белова О. В. Еремичева Н. И. Практикум по физике: взаимосвязь решения задачи и экспериментальной деятельности // Школа будущего. — 2023. — № 1. — С. 60–70.
7. Иродов И. Е. Задачи по общей физике: учебное пособие для вузов. — М.: Лаборатория знаний, 2018. — 431 с.
8. Горелик Г. С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. — М.: Физматлит, 2007. — 656 с.

Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского

Поступила в редакцию 30.11.24.