



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 27-В

«ФИЗИКА»

Сложение взаимно перпендикулярных
гармонических колебаний

Авторы
Жданова Т.П.
Кудря А.П.
Лемешко Г.Ф.
Егорова С.И.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Методические указания содержат краткое изложение теории гармонических колебаний, сложению взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты и с отличающимися частотами, а также описание виртуального эксперимента, позволяющего наглядно убедиться в справедливости теоретических выводов.

Указания предназначены для организации самостоятельной работы студентов при подготовке и проведении учебного виртуального эксперимента.

Авторы

Жданова Т.П. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»

Кудря А.П. - старший преподаватель
кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика». –

Егорова С.И. - д.т.н., профессор
кафедры «Физика»



Оглавление

Краткая теория.....	4
Описание установки.....	5
Выполнение работы.....	.6
Задание 1. Получение поляризованных колебаний.....	6
Задание 2. Получение фигур Лиссажу.....	8
Контрольные вопросы.....	10
Список литературы.....	10

Цель работы. Познакомиться: 1) с методом получения поляризованных колебаний; 2) с демонстрацией на ЭВМ фигур Лиссажу.

Оборудование: персональный компьютер с программным обеспечением.

Краткая теория

Под **сложением колебаний** понимают нахождение закона результирующих колебаний системы в тех случаях, когда эта система одновременно участвует в нескольких колебательных процессах.

► Пусть условная точка M одновременно колеблется вдоль осей координат OX и OY по законам:

$$\begin{aligned} x &= A_1 \cos(2\pi\nu_1 t + \varphi_1), \\ y &= A_2 \sin(2\pi\nu_2 t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (1)$$

В уравнениях (1) циклические частоты суммируемых колебаний $\omega_1 = 2\pi\nu_1$ и $\omega_2 = 2\pi\nu_2$. Траектория точки M – замкнутая кривая, форма которой зависит от соотношения амплитуд, частот и начальных фаз складываемых колебаний. Такие замкнутые траектории точки, одновременно совершающей гармонические колебания в двух взаимно перпендикулярных направлениях, называются фигурами Лиссажу (рис.1). Эти фигуры вписывают в прямоугольник, центр которого совпадает с началом координат, а стороны параллельны осям координат OX и OY и расположены по обе стороны от них на расстояниях, соответственно равных A_1 и A_2 . Отношение частот ν_1 и ν_2 складываемых колебаний равно отношению числа касаний соответствующей им фигуры Лиссажу со стороной прямоугольника, параллельной оси OY , и со стороной, параллельной оси OX :

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{n_y}{n_x}. \quad (2)$$

Фигуры Лиссажу используют для определения частоты неизвестных колебаний и прецессионной градуировки генераторов, работающих в любых частотных диапазонах.

► Частным случаем фигур Лиссажу является эллипс, получаемый в случае равенства в уравнениях (1) $\nu_1 = \nu_2$.

В этом случае результирующее движение точки M называют **эллиптически поляризованными колебаниями**, описываемые уравнением эллипса

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (3)$$

в котором $\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$ – разность фаз складываемых колебаний.

Анализ уравнения (3) приводит к следующим результатам:

1) если $\Delta\varphi = (2k+1)\frac{\pi}{2}$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, то оси эллипса

совпадают с осями координат, а размеры полуосей равны амплитудам A_1 и A_2 ;

2) если $\Delta\varphi = 2k\pi$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, а $A_1 = A_2$, то траекторией точки является окружность. Такое результирующее движение называется **циркулярно поляризованными колебаниями**;

3) если $\Delta\varphi = k\pi$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, то эллипс вырождается в отрезок прямой $y = \pm \frac{A_2}{A_1} x$.

Знак «+» соответствует четным значениям k , т.е. сложению синфазных колебаний, а «-» - нечетным значениям k , т.е. колебания происходят в противофазе. Такие результирующие движения называется **линейно поляризованными колебаниями**.

Описание установки

Панель виртуального эксперимента представлена на рисунке 1. В правой части панели расположены регуляторы для установки параметров двух суммируемых гармонических колебаний: амплитуду, в мм; частоту, в 1/с; начальную фазу, в градусах. На активную плоскость панели выводятся уравнения суммируемых гармонических колебаний, представляющие проекции суммируемых векторов на оси OX и OY .

В нижней части панели показаны временные развертки суммируемых колебаний, а в средней части панели – фигура Лиссажу.

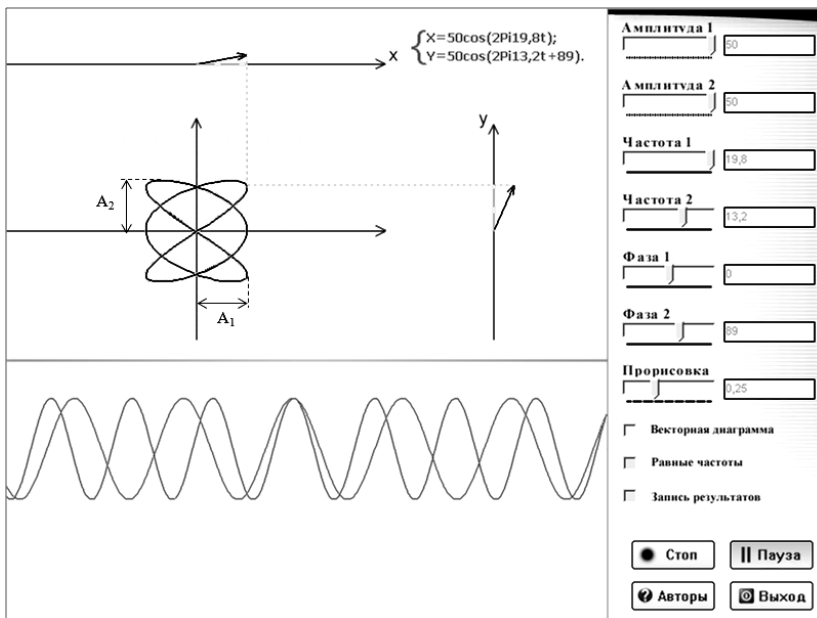


Рис. 1

Предусмотрена опция «Векторная диаграмма», позволяющая наблюдать за радиус-вектором, закрепленным в начале координат, который отслеживает точку пересечений проекций суммируемых векторов на фигуре Лиссажу.

Запуск программы осуществляется клавишей «Старт», а ее кратковременная остановка – клавишей «Пауза». Нажатием клавиши «Авторы» осуществляется вызов информации о краткой теории сложения взаимно перпендикулярных колебаний, а также бегущая строка сообщает об авторах программы. Опция «Демо» переводит работу программы в демонстрационный режим, в котором иллюстрируется влияние на фигуры Лиссажу последовательный перебор ЭВМ параметров суммируемых колебаний.

Выполнение работы

Задание 1. Получение поляризованных колебаний.

1. Открыть папку «Лиссажу» и файл «Project 1. exe».
2. С помощью регуляторов установить: одинаковые частоты $\nu_1 = \nu_2$, например, 20 с^{-1} ; амплитуды A_1 из интервала $10 \div 30 \text{ мм}$, $A_2 = 50 \text{ мм}$; начальные фазы $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$; «Прорисовка»-0,75.

3. Клавишей «Старт» запустить программу и наблюдать за процессом формирования плоско поляризованных колебаний.
4. Вычислить отношение амплитуд A_2 / A_1 .
5. Вычислить угол наклона плоскости поляризации к оси OX ($\alpha = \arctg(A_2 / A_1)$).
6. Повторить пункты 2-5 для $\varphi_1 = 0$ и $\varphi_2 = 180^\circ$.

$$v_1 = v_2 = 20 \text{ с}^{-1}$$

Таблица 1

№	φ_2	A_1	A_2	A_2 / A_1	α	Уравнения суммируемых колебаний и результирующего колебания
п/п	град	мм	мм	-	град	
1	0	20	50			
2	180	30	50			
3	30	30	50			
4	90	30	50			
5	90	50	50			

7. Записать уравнения слагаемых колебаний и уравнение плоско поляризованных колебаний.
8. Результаты вычислений занести в таблицу 1.
9. Повторить пункты 2-4 для фазы φ_2 , из интервала $20-80^\circ$.
10. Вычислить угол наклона большой полуоси эллипса к оси OX ($\alpha = \arctg(A_2 / A_1)$).
11. Повторить пункты 9-10 для $\varphi_2 = 90^\circ$.
12. Записать в таблицу 1 уравнения суммируемых колебаний и уравнения эллиптически поляризованных колебаний.
13. Повторить пункты 9-10 для $\varphi_2 = 90^\circ$ и $A_1 = A_2$, из интервала $20-50$ мм.
14. Записать в таблицу 1 уравнения суммируемых колебаний и

уравнение циркулярно поляризованных колебаний.

15. По выполненному заданию сделать вывод.

Задание 2. Получение фигур Лиссажу.

1. С помощью регуляторов установить: одинаковые амплитуды $A_1 = A_2 = 50$ мм; частоту $\nu_1 = 10$ с⁻¹; начальную фазу $\varphi_1 = 0$. Над табл.2 записать уравнение гармонических колебаний вдоль координаты OX .

2. Регулятором «Частота 2» установить $\nu_2 = 2$ с⁻¹.

3. Клавишей «Старт» запустить программу в работу.

4. Последовательно устанавливая фазу $\varphi_2 = 0, 90^\circ, 180^\circ$ и наблюдать за процессом формирования фигуры Лиссажу.

5. Для фазы $\varphi_2 = 90^\circ$ (см. рис.1) измерить число касаний фигуры Лиссажу к прямым, параллельным относительно осей OX и OY , соответственно.

6. С помощью опции «Векторная диаграмма», наблюдайте за вращением радиус-вектора. Посчитать число N его оборотов за один цикл прорисовки фигуры Лиссажу.

7. Вычислить отношение частот ν_1 / ν_2 и числа касаний n_y / n_x .

8. Данные эксперимента и вычислений занести в таблицу 2, а также записать уравнение гармонических колебаний вдоль координаты OY .

9. Повторить пункты 2, 4-8 для частот $\nu_2 = 4, 8, 12, 16, 20$ с⁻¹.

10. Перейти в режим «Демо» и наблюдать, как влияет на фигуры Лиссажу последовательный перебор ЭВМ параметров суммируемых колебаний.

11. По выполненному заданию сделать вывод.

$x = 50 \cos(20\pi t)$ мм

Таблица 2

№	v_1	v_2	v_1/v_2	n_x	n_y	n_y/n_x	N	Уравнение колебаний вдоль оси OY
п / п	1/c	1/c	-			-		
1	10	2						
2	10	4						
3	10	8						
4	10	12						
5	10	16						
6	10	20						

Контрольные вопросы

1. Как получают фигуры Лиссажу?
2. Какие параметры суммируемых колебаний влияют на фигуру Лиссажу?
3. Как с помощью фигуры Лиссажу определяют частоту неизвестных гармонических колебаний?
4. В каких случаях фигура Лиссажу вырождается в эллипс? Записать уравнение эллипса.
5. Как получают циркулярно-поляризованные колебания? Записать их уравнение.
6. Как получают плоско поляризованные колебания? Записать их уравнение.

Список литературы

1. Савельев И.В. Курс физики. Т 2. М.: Наука. 2008. §§44,50.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа. 2010. §§116,131.