

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N 4-К

### ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ

#### Цель работы

Изучить влияние параметров системы на колебательный процесс.

#### Вопросы для допуска

1. Какие колебательные системы вы знаете?
2. Назовите возможные причины возникновения колебаний в механических и электрических системах.
3. Перечислите, какие физические величины изменяются в процессе колебаний и какие остаются постоянными в различных системах.
4. Запишите дифференциальные уравнения, описывающие затухающие и незатухающие колебания.
5. Получите формулы для критического сопротивления  $R_{кр}$  электрического контура и критических значений коэффициентов сопротивления среды  $\gamma_{кр}$  для математического и пружинного маятников.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Свободные затухающие колебания в различных системах описываются одинаковыми уравнениями:

Дифференциальное уравнение колебаний:

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + 2\beta \frac{d\xi}{dt} + \omega_0^2 \xi = 0,$$

его решение:  $\xi = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$ , где

$\xi$  - колеблющаяся величина,

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  - частота затухающих колебаний.

Коэффициент затухания  $\beta$  и собственная частота незатухающих колебаний  $\omega_0$  зависят от конкретного вида системы и определяются ее параметрами (  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ,  $M$ ,  $k$ ,  $g$  и т.д. ).

Для математического маятника

$$\beta = r/2M, \quad \omega_0 = \sqrt{g/l},$$

где  $M$  - масса маятника;

$l$  - длина нити;

$g$  - ускорение свободного падения;

$r$  - коэффициент сопротивления среды .

Для пружинного маятника

$$\beta = r/2M, \quad \omega_0 = \sqrt{k/M},$$

где  $M$  - масса груза,

$k$  - жесткость пружины,

$r$  - коэффициент сопротивления среды.

Для LC - контура

$$\beta = R/2L, \quad \omega_0 = \sqrt{1/LC},$$

где  $L$  - индуктивность катушки,

$C$  - емкость конденсатора,

$R$  - активное сопротивление контура.

Амплитуда  $A_0$  и начальная фаза  $\alpha$  зависят от условий возникновения колебаний. Возможны варианты:

а) маятник в начальный момент времени был отклонен на некоторый угол  $\Phi_0$ ;

б) маятник находился в положении равновесия и ему была сообщена некоторая скорость;

в) маятник был отклонен и получил некоторую скорость одновременно.

Колебания в системе с частотой  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  возможны только тогда, когда подкоренное выражение  $(\omega_0^2 - \beta^2)$  положительно, т.е.  $\omega_0^2 > \beta^2$ . Если выражение  $(\omega_0^2 - \beta^2)$  отрицательно или равно нулю, то колебания не возникают - система возвращается в состояние равновесия в результате апериодического процесса.

Из условия  $\omega_0^2 - \beta^2 = 0$  можно найти критический коэффициент сопротивления.

Для математического маятника  $r_{кр} = 2M\sqrt{g/l}$  .

Для пружинного маятника  $r_{кр} = 2\sqrt{Mk}$  .

Для LC-контура  $R_{кр} = 2\sqrt{L/C}$  .

По графику колебаний можно найти значение логарифмического декремента затухания  $\lambda = \ln A_1 / A_2$  и

коэффициента затухания  $\beta = \frac{\lambda}{T}$  .

$A_1$  и  $A_2$  - это амплитуды первого и второго колебания .



Возможен и другой метод определения  $\lambda$  и  $\beta$ :



$\lambda = \frac{1}{N_e}$  и  $\beta = \frac{1}{\tau}$  , где  $\tau$  - время релаксации.

Время релаксации  $\tau$  определяется как время, в течении которого амплитуда колебаний уменьшается в  $e$  раз ( $e = 2,7\dots$ ).  $N_e$  - это число колебаний, совершаемых за время релаксации  $\tau$ .

Для удобства определения  $\tau$  и  $N_e$  на экране проведена пунктирная линия, соответствующая значению амплитуды, уменьшенной в  $e$  раз. Метод определения  $\lambda$  и  $\beta$  выберите сами или посоветуйтесь с преподавателем.

#### ПОЯСНЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ

Изменения параметров производится нажатием клавиш, на которых нарисованы стрелки  и  .

Пределы изменения значений параметров можно посмотреть с помощью клавиш  и  , называемых PgUp и PgDn.

Выбор каждого параметра заканчивается нажатием клавиши "Ввод".

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**ЗАДАНИЕ 1.** Изучить процесс колебания математического маятника.

1. Нарисуйте таблицу 1.

Таблица 1

N	M	l	r	$\Phi_1$	$\Phi_2$	T	$\tau$	N	$\beta$	$\lambda$	$\Gamma_{кр}$
1											
2											
3											

2. Изменяя M, l, r, получите такой график затухающих колебаний, у которого амплитуда колебаний в пределах экрана уменьшается примерно в 5-10 раз.

3. Определите для этого графика амплитуды угла отклонения  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , период колебаний T,  $\tau$ , N. Запишите полученные данные в таблицу.

4. Изменяя только M (3 значения), повторите п. 2 и п. 3.

5. Изменяя только l (3 значения), повторите п. 2 и п. 3.

6. Изменяя только r (3 значения), повторите п. 2 и п. 3.

7. Вычислите для любого набора значений M, l и r критическое сопротивление  $\Gamma_{кр}$ . Проверьте ваш результат с помощью графиков колебаний на экране монитора, полученных для

$$\Gamma = \Gamma_{кр} - 0,2\Gamma_{кр};$$

$$\Gamma = \Gamma - 0,1\Gamma_{кр};$$

$$\Gamma = \Gamma_{кр}.$$

**ЗАДАНИЕ 2.** Изучите процесс колебаний пружинного маятника.

1. Нарисуйте таблицу 2.



2. Изменяя  $L$ ,  $C$  и  $R$ , получите такой график затухающих колебаний, у которого амплитуда колебаний в пределах экрана уменьшается примерно в 5-10 раз.

3. Определите для этого графика амплитуды заряда  $Q_1$  и  $Q_2$ , период колебаний  $T$ ,  $\tau$  и  $N_e$ . Запишите полученные данные в таблицу.

4. Изменяя только  $L$  (3 значения), повторите п. 2 и п. 3.

5. Изменяя только  $C$  (3 значения), повторите п. 2 и п. 3.

6. Изменяя только  $R$  (3 значения), повторите п. 2 и п. 3.

7. Вычислите для любого набора значений  $L$  и  $C$  критическое сопротивление  $R_{кр}$ . Проверьте ваш результат с помощью графиков колебаний на экране монитора, полученных для  $R = R_{кр} - 0,2R_{кр}$ ,  $R = R_{кр} - 0,1R_{кр}$ ,  $R = R_{кр}$ .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое логарифмический декремент затухания и как его можно определить с помощью графика колебаний? Покажите аналитически, что формулы  $\lambda = \ln A_1/A_2$  и  $\lambda = 1/N_e$  эквивалентны.

2. Что называется коэффициентом затухания  $\beta$  и как его можно определить графически?

3. Проанализируйте влияние параметров системы на процесс затухания колебаний.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чиненкова С.В., Лузин А.Н., Чесноков В.В. Колебания и волны: Методические указания для лабораторных работ по физике. - Новосибирск: НИИГАиК. - 1988.

2. Савельев И.В. Курс общей физики, - М.: Наука, 1986. - т. 1. - С. 190-197.

3. Савельев И.В. Курс общей физики, - М.: Наука, 1988. - т. 2. - С. 259-265.

4. Савельев И.В. Курс физики, - М.: Наука, 1989. - т. 2. С. 239-256, 264-272.