

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 172. ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТОРСИОННОГО МАЯТНИКА

---

## Введение

При небольших моментах сил трения колебания торсионного маятника описываются уравнением

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cos(\omega_D t) e^{-\beta t}, \quad (1)$$

где  $\varphi_0$  – начальная амплитуда колебаний,  $\omega_D = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  – циклическая частота затухающих колебаний,  $\omega_0$  – собственная циклическая частота маятника,  $\beta$  – коэффициент затухания. В отсутствие сил трения ( $\beta = 0$ ) колебания называются свободными.

Коэффициент затухания  $\beta$  можно определить, зная декремент затухания  $D$ , который определяется отношением амплитуд:

$$D = \frac{\varphi(t)}{\varphi(t + T_D)} = e^{\beta T_D}, \quad (2)$$

отличающихся на период колебаний  $T_D = 2\pi/\omega_D$ .

Логарифмируя выражение (2), получим логарифмический декремент затухания

$$\lambda = \ln D = \beta T_D = 1/N_e. \quad (3)$$

$N_e$  – число колебаний, за которое угловая амплитуда убывает в  $e$  раз. Если через  $N$  колебаний угловая амплитуда уменьшается в  $k$ , то коэффициент затухания  $\beta$  можно определить из формулы

$$\beta = \frac{\ln k}{NT_D}. \quad (4)$$

Таким образом, измерив  $T_D$  и определив число  $N$ , когда угловая амплитуда уменьшилась в  $k$  раз, по формуле (4), можно вычислить  $\beta$ , а используя связь

$$\omega_D^2 = \omega_0^2 - \beta^2, \quad (5)$$

– определить собственную частоту  $\omega_0$ .

---

*Приступая к работе необходимо*

### Знать определения

гармонического осциллятора и осциллятора с затуханием;  
амплитуды, частоты, фазы, начальной фазы, периода колебаний;  
декремента затухания, логарифмического декремента затухания.

### Знать

- вид динамического и кинематического уравнений осциллятора и осциллятора с затуханием;
- границы использования моделей гармонического осциллятора и осциллятора с затуханием;
- определение и физическую суть явления резонанса.

### Уметь

- записывать уравнение движения твёрдого тела под действием момента силы упругости и сводить его к уравнению осциллятора с затуханием;
- решать уравнения гармонического осциллятора и осциллятора с затуханием;
- оценивать случайные погрешности прямых и косвенных измерений.

---

### Цели работы

Исследование свободных, затухающих и вынужденных колебаний торсионного маятника.

---

### Решаемые задачи

- ✓ Знакомство с основными понятиями физики колебаний;
- ✓ Измерение собственной частоты торсионного маятника;
- ✓ Определение коэффициента затухания торсионного маятника;
- ✓ Построение графика зависимости частоты затухающих колебаний от логарифмического декремента затухания.

---

### Экспериментальная установка

#### Приборы и принадлежности

- ✓ торсионный маятник (1) с электромагнитом в виде катушки (5) и мотором, создающий вынуждающую осциллирующую силу;
- ✓ источник постоянного тока электромагнитной катушки торсионного маятника (2);
- ✓ источник постоянного тока мотора маятника (4);
- ✓ секундомер,

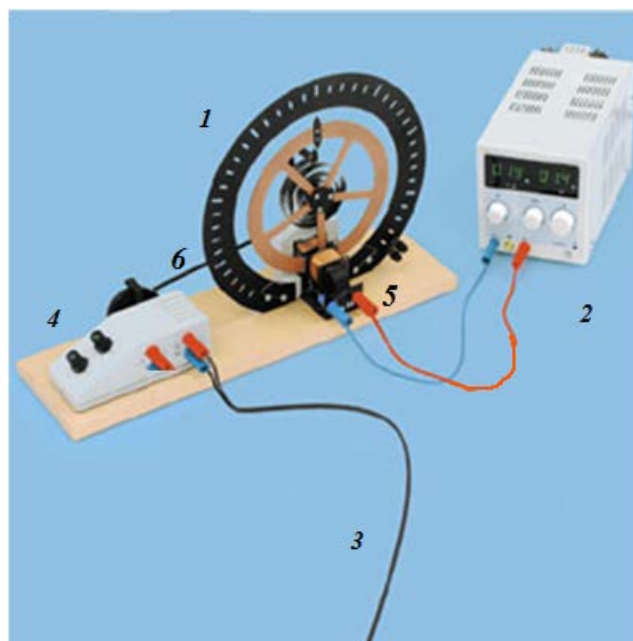


Рис.1. Торсионный маятник.  
(Без источника постоянного тока мотора (4))

- ✓ кабели красный и синий 100 см.

Торсионный маятник может использоваться для изучения свободных, и вынужденных вращательных гармонических колебаний. Электромагнитная катушка с током (5) тормозит (демпфирует) эти колебания. Тормозное воздействие будет тем больше, чем больший ток течёт по катушке. Кроме того, торсионный маятник может возбуждаться осциллирующей силой посредством эксцентрической тяги (6), (см. также, рис. 2) управляемой мотором. Число оборотов эксцентрической тяги мотора может меняться двумя ручками: грубой и точной настройки (4).

## **Порядок выполнения работы**

### **Подготовка к эксперименту**

1. В тетради, или в программе по обработке электронных таблиц создайте таблицу для записи данных эксперимента и результатов проведённых расчетов. Для этого прочитайте все описание до конца, и решите, какие данные необходимо внести в таблицу. Один из возможных вариантов такой:

$I, \text{A}$	$\varphi_0$	$\varphi_{10}$	$t_{10}, \text{c}$	$\beta = \frac{\ln \varphi_0 / \varphi_{10}}{t_{10}}, \text{c}^{-1}$	$\omega_D = 20\pi / t_{10}, \text{c}^{-1}$
$I_1$					
$I_2$					

При проведении экспериментов заполняются первые 4 столбца, остальные – при проведении статистической обработки.

2. Включите источник постоянного тока (2) в сеть переменного тока 220 В. Дайте прибору прогреться 2-3 минуты.
3. Ручку А на источнике тока (2) установите в крайне правое положение.

### **Проведение эксперимента**

4. Вращая ручку V на источнике тока (2), установите ток, подаваемый на электромагнит демпфирующей катушки, например, 0,2 А. При этом ручку А надо установить в крайне правое положение.
5. Отклоните белый указатель на маятнике на некоторый угол. Запишите угловую амплитуду  $\varphi_0$ . Отпустите указатель и измерьте время десяти полных колебаний  $t_{10}$ . В конце десятого колебания измерьте угловую амплитуду  $\varphi_{10}$ .
6. Повторите пункты 3-4 несколько раз. По окончании всех измерений проведите статистическую обработку данных.

7. Увеличивая несколько раз ток в демпфирующей катушке, для каждого его значения повторите пункты 3-5. (**Внимание!** Величина тока на демпфирующей катушке не должна превышать 2 А)

**Завершение эксперимента**

8. Отключите электропитание приборов.

---

**Обработка и представление результатов**

9. Рассчитайте частоты затухающих колебаний  $\omega_D$ , и коэффициенты затухания  $\beta$ , и их погрешности.
10. Постройте график зависимости  $\omega_D^2 (\beta^2)$ . Экстраполируя его к  $\beta = 0$  (см. формулу (5)) найдите  $\omega_0$ .

**Казанский (Поволжский) федеральный университет**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО МЕХАНИКЕ**

**КАЗАНЬ 2014**

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ

(Учебно-методическое пособие  
для студентов естественнонаучных направлений обучения)

авторы пособия:

доцент кафедры общей физики *Скворцов А.И.*  
доцент кафедры общей физики *Налётов В.В.*  
доцент кафедры общей физики *Мухамедшин И.Р.*  
доцент кафедры общей физики *Недопекин О.В.*  
ассистент кафедры общей физики *Лысогогорский Ю.В.*  
ассистент кафедры общей физики *Ирисова И.А.*  
инженер кафедры общей физики *Староверов А.Е.*

Рецензент:

профессор кафедры общей физики КФУ *Фишман А.И.*,

В пособии описана методика постановки работ общего физического практикума по разделу механика курса общей физики. Пособие предназначено для студентов всех естественнонаучных направлений обучения.

© Институт физики Казанского университета.