

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра физики**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №7**  
**по дисциплине «Физика»**  
**Тема: Маятник Обербека**

Студентка гр. 1302

\_\_\_\_\_

Новиков Г.В.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Попов Ю.И.

Санкт-Петербург

2021

## Цель работы

Экспериментальное исследование законов динамики вращательного движения твердого тела на примере маятника Обербека, определение постоянной части момента инерции маятника Обербека.

**Приборы и принадлежности:** Маятник Обербека (рис. 1) представляет собой крестовину 1 с грузами 2, на вращающейся оси 3. На шкив на оси намотана нить с грузиком 5, которая, разматываясь, вызывает вращательное движение крестовины. На четырех взаимно перпендикулярных стержнях крестовины располагаются четыре подвижных груза 2 массой  $m$  каждый, положение которых относительно оси вращения маятника определяется по измерительной линейке 6. В опыте положения грузов на крестовине меняют с помощью их перемещения по резьбовым спицам крестовины. Фиксация грузов в каждой серии измерений осуществляется путем законтривания двух резьбовых половин каждого груза в выбранном положении. На оси крестовины располагается датчик 4 угловой скорости вращения маятника, подключенный через концентратор к измерительному блоку 7.

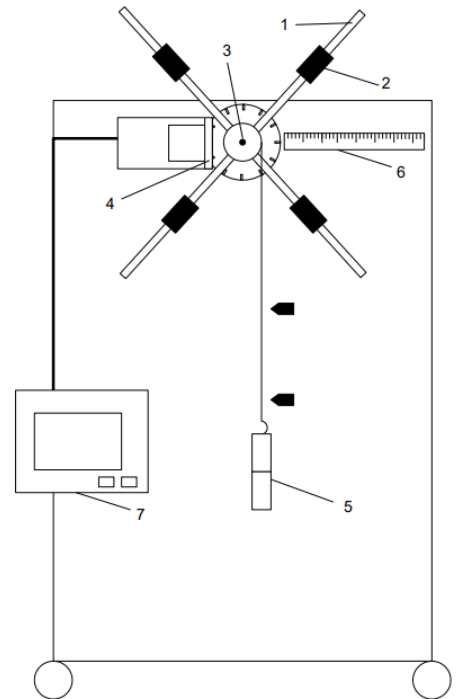


Рис. 1

## Исследуемые закономерности

Вращение маятника описывается основным уравнением динамики вращательного движения

$$M = I \varepsilon, \quad (1)$$

где  $M$  – момент сил, действующих на маятник,  $I$  – его момент инерции.

Вращательный момент  $M$  сил, действующих на маятник, определяется выражением:

$$M = TR - M_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где  $T$  – сила, действующая на шкив маятника со стороны нити,  $M_{\text{тр}}$  – момент сил трения в оси маятника,  $R$  – радиус шкива, на который намотана нить с прикрепленным к ней грузом  $m_0$ .

Движение груза  $m_0$  на нити описывается вторым законом Ньютона

$$m_0 a = m_0 g - T. \quad (3)$$

С учетом этого уравнения момент сил, действующих на маятник, можно записать в виде:

$$M = m_0(g - a) R - M_{\text{тр}}. \quad (4)$$

Если подставить (4) в (1), то уравнение вращательного движения маятника примет вид

$$I \varepsilon = m_0(g - a) R - M_{\text{тр}}.$$

С учетом, что угловое ускорение  $\varepsilon$  вращения маятника связано с ускорением  $a$  движения груза  $m_0$  соотношением

$$a = \varepsilon R, \quad (5)$$

это уравнение можно привести к виду:

$$(I + m_0 R^2) \varepsilon = m_0 g R - M_{\text{тр}}. \quad (6)$$

В этой формуле правая часть равенства есть постоянная величина. Отсюда следует, что вращение маятника для выбранного в опыте положения грузов является равноускоренным. Кроме того, из формулы (6) следует, что увеличение момента инерции  $I$  системы должно приводить в данной работе к уменьшению углового ускорения  $\varepsilon$  ее вращения, и наоборот.

Если  $m$  – масса одного из грузов на крестовине,  $r$  – его расстояние до оси вращения маятника, то момент инерции крестовины с 4-мя грузами в формуле (6) равен

$$I = I_0 + 4(I_m + mr^2) = I_C + 4mr^2, \quad (7)$$

где  $I_0$  – суммарный момент инерции крестовины без грузов,  $I_m + mr^2$  – момент инерции одного из подвижных грузов, рассчитанный по теореме Гюйгенса-Штейнера,  $I_m$  его собственный момент инерции,  $I_C = I_0 + 4I_m$  – постоянная часть момента инерции маятника Обербека.

Момент инерции  $I_C$  в данной работе является экспериментально определяемой величиной. Для его нахождения запишем (6) для двух различных положений  $r_i$  и  $r_j$  грузов  $m$  относительно оси вращения маятника:

$$(I_C + 4mr_i^2 + m_0R^2)\varepsilon_i = m_0gR - M_{тр}, \quad (8)$$

$$(I_C + 4mr_j^2 + m_0R^2)\varepsilon_j = m_0gR - M_{тр}. \quad (9)$$

Равенство правых частей этих равенств означает и равенство их левых частей:

$$(I_C + 4mr_i^2 + m_0R^2)\varepsilon_i = (I_C + 4mr_j^2 + m_0R^2)\varepsilon_j \quad (10)$$

Отсюда можно найти искомую величину  $I_C$ :

$$I_C = 4m \frac{r_j^2\varepsilon_j - r_i^2\varepsilon_i}{\varepsilon_i - \varepsilon_j} - m_0R^2, \quad (11)$$

где  $j \neq i$ , и при  $r_i < r_j$  должно быть  $\varepsilon_i > \varepsilon_j$ . В этой формуле величины  $I_C$ ,  $R$ ,  $m$ ,  $m_0$  – константы, поэтому множитель

$$b_{ij} = \frac{r_j^2\varepsilon_j - r_i^2\varepsilon_i}{\varepsilon_i - \varepsilon_j} = const$$

при различной геометрии постановки эксперимента.

Для выполнения работы необходимо выполнить три серии измерений угловых ускорений  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$  маятника при трех различных удаленностях  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  грузов на крестовине от оси ее вращения.

Угловое ускорение вращения маятника определяется по формуле  $\varepsilon = 2\varphi / t^2 = 2h / Rt^2$ , где  $\varphi = h / R$  – угол поворота шкива при прохождении грузом на нити расстояния  $h$  между двумя метками на установке за время  $t$ . Операцию определения времени  $t$  и вычисления  $\varepsilon$  в работе выполняет измерительный блок установки. При этом средние значения  $t$  и  $\varepsilon$  по четырем измерениям в одном опыте высвечиваются на ЖК дисплее установки.

# Una Mattina

Ludovico Einaudi

♩ = 80 *leggero*

The first system of musical notation for 'Una Mattina' is in 4/4 time. It begins with a treble clef and a key signature of one flat (B-flat). The melody is written in the treble clef, starting with a quarter rest followed by a series of eighth and sixteenth notes. The bass line is written in the bass clef, starting with a half note chord (F2 and B1) and then following the melody with eighth and sixteenth notes. The first measure is marked with a piano (*p*) dynamic and the word 'legato'. The system ends with a repeat sign.

The second system of musical notation continues the piece. It starts with a measure rest of 3 measures. The melody continues with eighth and sixteenth notes. The bass line follows the melody with eighth and sixteenth notes. The system ends with a repeat sign.

The third system of musical notation continues the piece. It starts with a measure rest of 6 measures. The melody continues with eighth and sixteenth notes. The bass line follows the melody with eighth and sixteenth notes. The system ends with a repeat sign.

The fourth system of musical notation continues the piece. It starts with a measure rest of 9 measures. The melody continues with eighth and sixteenth notes. The bass line follows the melody with eighth and sixteenth notes. The system ends with a repeat sign.

The fifth system of musical notation continues the piece. It starts with a measure rest of 12 measures. The melody continues with eighth and sixteenth notes. The bass line follows the melody with eighth and sixteenth notes. The system ends with a repeat sign.

15

18

21

*p*

len.

24

27

poco cresc.

30

33

*mp dim.*

36

*pp*

39

42

45

*ten.*

48

*Ad.*

