

# Отчет о выполнении лабораторной работы 1.1.7

## Экспериментальное исследование равноускоренного ДВИЖЕНИЯ

Шубин Владислав, Байбулатов Амир

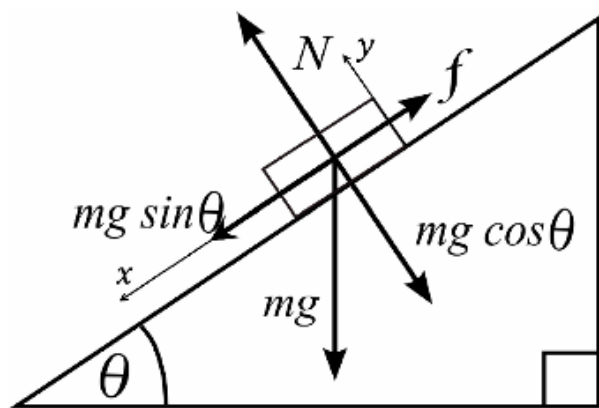
4 октября 2023 г.

### 1 Аннотация

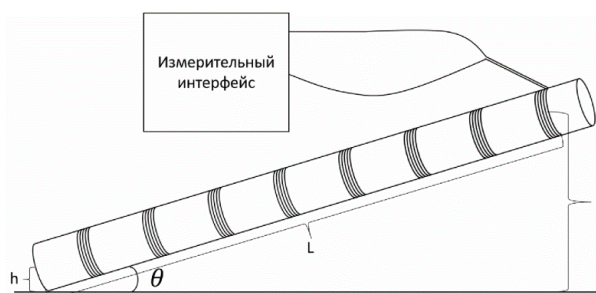
В данной работе исследуется равноускоренное движение на примере магнита, скользящего по внутренней поверхности наклонной пластиковой трубы (1b). Регистрация положения магнита в зависимости от времени осуществляется электромагнитными датчиками (система катушек). Все катушки соединены последовательно. Прохождение магнита через каждую катушку приводит, ввиду явления электромагнитной индукции, к генерации импульса напряжения во всей цепи, который замеряется блоком регистрации сигнала. Масса груза измеряется весами, координаты катушек измеряются линейкой. Детально исследуются систематические и случайные погрешности проводимых измерений.

### 2 Теоретические сведения

#### 2.1 Метод самоиндукции



(a) К выводу закона движения по наклонной плоскости



(b) Экспериментальная установка

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на наклонную плоскость ( $Ox$ ) и перпендикуляр к ней ( $Oy$ ), см. 1a:

$$Ox : ma = mg \sin \theta - f, \quad (1)$$

$$Oy : N = mg \cos \theta. \quad (2)$$

Здесь  $\theta$  — угол наклона плоскости к горизонту,  $f$  — сила трения,  $a$  — ускорение тела,  $N$  — сила реакции опоры,  $g$  — ускорение свободного падения. Сила трения  $f$  состоит из сопротивления воздуха и силы трения о плоскость. Можно предположить, что основной вклад в силу трения вносит сухое трение, пропорциональное силе реакции опоры. Тогда  $f = \mu N$ , где  $\mu$  — коэффициент трения скольжения, зависящий только от свойств материалов.

Решая систему 1 и 2, получим выражение для ускорения:

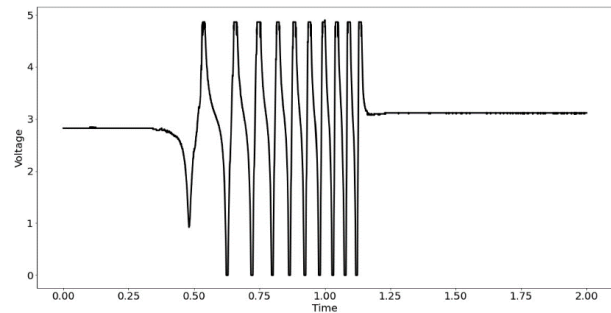
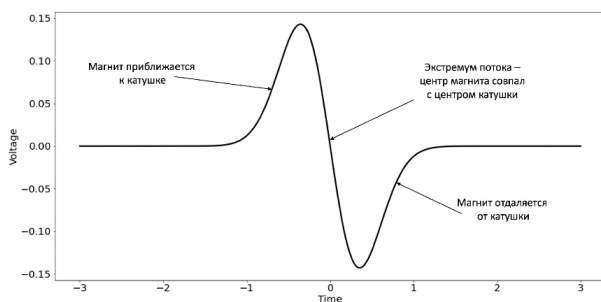
$$a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \quad (3)$$

Закон прямолинейного равноускоренного движения вдоль оси Ох, как известно, имеет вид:

$$x = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (4)$$

где  $x$  — координата тела,  $v_0$  — начальная скорость (скорость в точке  $x = 0$ ).

При приближении магнита к катушке поле вблизи катушки (а значит и его поток) сначала нарастает (по модулю), достигает максимума в средней точке, и затем, по мере удаления магнита, убывает до нуля. Исследуемый сигнал имеет два экстремума: последовательные максимум и минимум с прохождением через 0 (см 2a) Зависимость напряжения в цепи катушек от времени представляет собой набор пиков (см. 2b)



(a) Зависимость напряжения от времени при пролёте магнита через одну катушку (b) Пример сигнала при пролёте магнитом 10 катушек

Далее определяются параметры  $v_0$  и  $a$ , при которых зависимость (2b) наилучшим образом накладывается на экспериментальные точки.

Используется численный метод наименьших квадратов:

$$S = \sum_n \left( x_n - v_0 t_n - \frac{at_n^2}{2} \right)^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

По результатам серии экспериментов при разных углах из пар значений  $a$ ,  $\theta$  тем же методом наименьших квадратов для теоретической зависимости (2a) определяются параметры ускорение свободного падения  $g$  и коэффициент трения  $\mu$ . Для линейаризации зависимости (2a) можно использовать, например, замену

$$a' = \frac{a}{\cos \theta} \quad (6)$$

$$\tau = \tan \theta \quad (7)$$

Тогда

$$a' = g(\tau - \mu) \quad (8)$$

### 3 Оборудование и инструментальные погрешности

**Оборудование:** труба с намотанными катушками, фиксируемая на штативе; неодимовые магниты; линейка; блок регистрации сигнала (усилитель + микроконтроллер с АЦП), соединённый с компьютером.

- **Линейка:**  $\Delta \text{лин} = \pm 0.1$  см (по цене деления)
- **Весы:**  $\Delta m = \pm 5$  мг (маркировка производителя)
- **Угломер электронный:**  $\Delta \varphi = \pm 0.1$  град (маркировка производителя)

## 4 Результаты измерений и обработка данных

### 4.1 Характеристики системы:

$$m = 3.589 \pm 0,005 \text{ г},$$

N катушки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x, см	0.0	10.2	20.1	30.1	40.1	50.1	60.1	70.1	80.2	90.0

Таблица 1: Результаты измерений координат катушек.

### 4.2 Измерения:

№	$\theta$ , град	$a_{\min}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$	$\sigma_{\min}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$	$a_{\max}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$	$\sigma_{\max}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$
1	14.9	0.794	0.011	0.774	0.012
2	14.9	0.771	0.013	0.752	0.012
3	14.9	0.731	0.010	0.745	0.011
4	25.1	2.507	0.011	2.489	0.007
5	25.1	2.410	0.009	2.436	0.07
6	25.1	2.422	0.013	2.380	0.018
7	35.0	3.741	0.014	3.737	0.027
8	35.0	3.834	0.015	3.778	0.025
9	35.0	3.993	0.007	3.959	0.013
10	45.8	6.241	0.041	6.192	0.039
11	45.8	6.253	0.025	6.257	0.033
12	45.8	6.232	0.049	6.223	0.037
13	55.4	6.881	0.027	6.854	0.044
14	55.4	6.836	0.049	6.941	0.028
15	55.4	7.011	0.040	6.851	0.035
16	65.0	8.117	0.057	8.173	0.070
17	65.0	8.200	0.033	8.170	0.028
18	65.0	8.220	0.050	8.127	0.038

Таблица 2: Результаты измерений ускорений при различных углах.

$\theta$ , град	$a_{\text{ср}}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$	$\sigma_{\text{ср}}$
14.9	0.756	0.012
25.1	2.440	0.011
35.0	3.857	0.017
45.8	6.233	0.037
55.4	6.896	0.037
65.0	8.168	0.046

Таблица 3: Усредненные результаты измерений ускорений при различных углах.

Наконец, по результатам серии экспериментов при разных углах из пар значений  $a$ ,  $\theta$  тем же методом наименьших квадратов для теоретической зависимости (2а) определим параметры ускорения свободного падения  $g$  и коэффициент трения  $\mu$ :

$$\mu = 0.190 \pm 0.018; \quad g = 9.689 \pm 0.330 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \quad (9)$$

Ниже на Рис.3 представлен график зависимости ускорения от угла наклона трубы

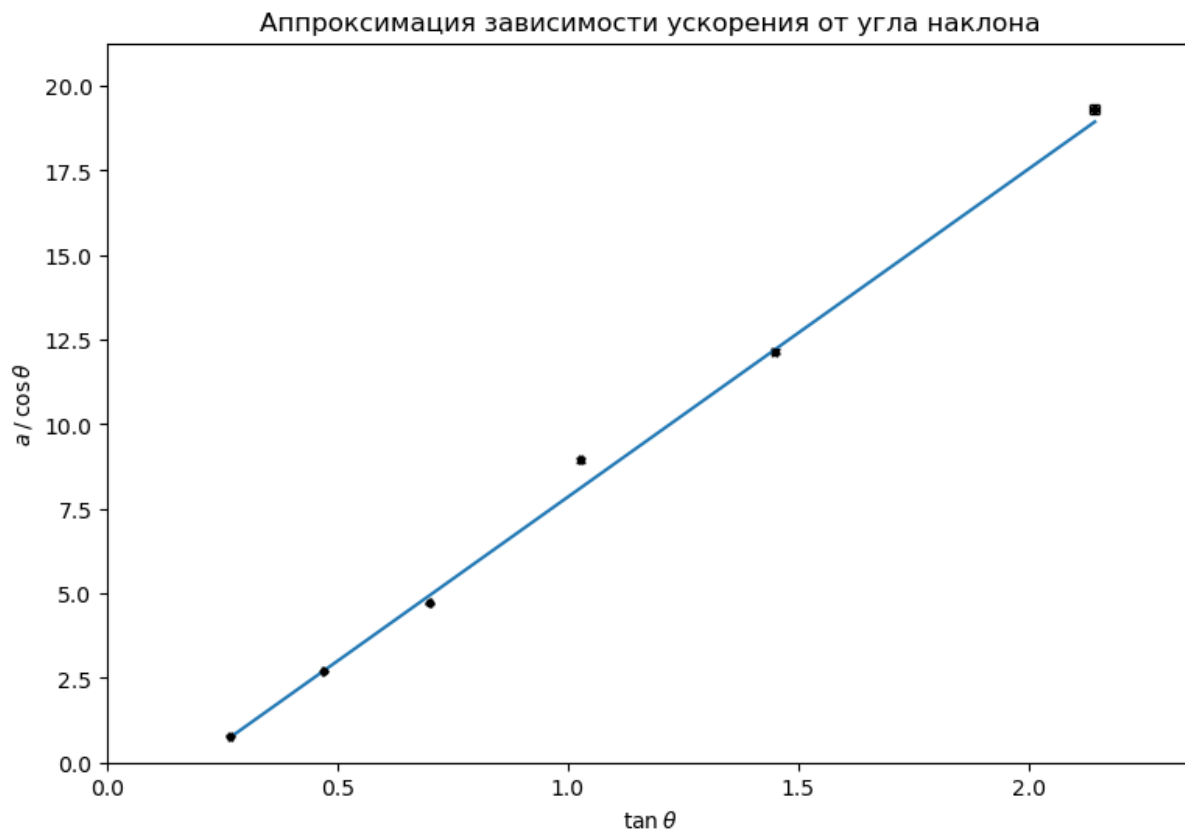


Рис. 3: Зависимость ускорения от угла наклона трубы

## 5 Заключение

В ходе эксперимента получены величины ускорения свободного падения  $g$  и коэффициент трения скольжения  $\mu$  трубы. Получилось, что ускорение свободного падения с точность до погрешности равна  $g = 9.69$ , что подтверждает применимость законов Ньютона на практике.