

**Лабораторная работа № 1.21**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАВНОУСКОРЕННОГО**  
**ДВИЖЕНИЯ**

**Цель работы**

Исследование движения тела под действием постоянной силы.

**Задачи**

1. Исследовать зависимость пройденного телом пути от времени.
2. Исследовать зависимость ускорения от массы груза.
3. Определить ускорение свободного падения.

**Введение**

При поступательном движении все точки тела движутся одинаково, и его движение задается и изучается так же, как движение одной точки. В соответствии со вторым законом Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}, \quad (1)$$

где  $\vec{F}$  – результирующая всех сил, действующих на тело массой  $m$ ,  
 $\vec{a}$  – ускорение тела.

В случае, если  $\vec{F}$  постоянна, кинематические уравнения движения тела имеют вид:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}, \quad (2)$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t,$$

где  $\vec{r}$  и  $\vec{v}$  – радиус-вектор и скорость тела в некоторый момент времени  $t$ ,

$\vec{r}_0$  и  $\vec{v}_0$  – радиус-вектор и скорость тела в момент времени  $t = 0$ .

Рассмотрим движение системы тел, связанных нитью, перекинутой через блок: тела массой  $m_2$ , движущегося по горизонтальной поверхности, и груза массой  $m_1$ , движущегося вертикально (рис.1).

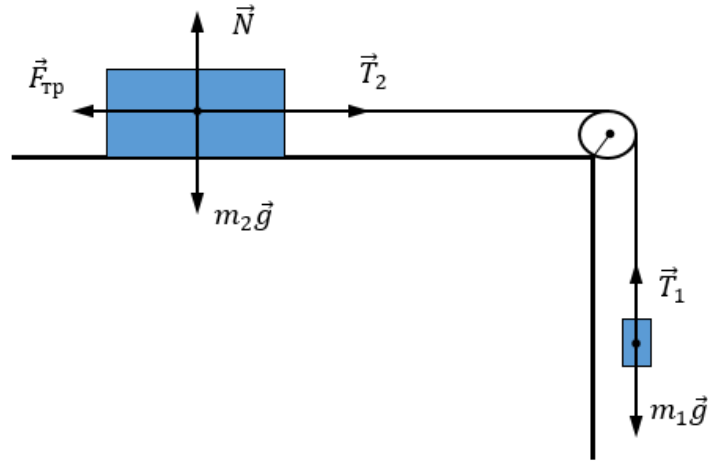


Рис.1. Силы, действующие на систему тел, связанных нитью

Причиной поступательного движения груза массой  $m_1$  является действие на него силы тяжести  $m_1\vec{g}$ . Согласно II закону Ньютона в проекции на вертикальное направление:

$$m_1 a_1 = m_1 g - T_1, \quad (3)$$

где  $T_1$  – сила натяжения нити, действующая на груз,  $a_1$  - ускорение груза.

На тело массой  $m_2$  действует сила тяжести  $m_2\vec{g}$ , сила реакции опоры  $\vec{N}$ , сила натяжения нити  $\vec{T}_2$  и сила трения скольжения  $\vec{F}_{тр}$ . Если силой трения скольжения, как и силой сопротивления воздуха, можно пренебречь по сравнению с другими силами, то II закон Ньютона для этого тела в проекции на горизонтальное направление примет вид:

$$T_2 = m_2 a_2, \quad (4)$$

где  $a_2$  – ускорение тела.

Если учесть, что нить нерастяжима, то ускорения обоих тел будут одинаковы по величине

$$a_1 = a_2 = a.$$

Так как масса блока и нити малы по сравнению с массами движущихся тел, и сила трения пренебрежимо мала, модули сил натяжения нити будут одинаковы:

$$T_1 = T_2 = T.$$

Тогда уравнения (3) и (4) примут вид:

$$m_1 g - T = m_1 a, \quad (5)$$

$$T = m_2 a.$$

Решая систему уравнений (5), получим

$$a = \frac{m_1 g}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 g}{M} \quad (6)$$

где  $M = m_1 + m_2$ .

Из выражения (6) следует, что ускорение  $a$  не зависит от времени, то есть рассматриваемая система грузов движется равноускоренно. Если система движется из состояния покоя, то  $v_0 = 0$  и уравнения (2) примут вид:

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (7)$$

$$v = at. \quad (8)$$

Соотношение (7) можно проверить экспериментально, изучив зависимость пути  $S$ , пройденного одним из тел, от времени  $t$ . Как следует из (7), зависимость  $S(t)$  нелинейная. Поэтому для удобства экспериментальной проверки эту зависимость следует линеаризовать, т.е. использовать новые переменные, зависимость между которыми была бы линейной. В нашем случае такими переменными являются  $S$  и  $t^2$ . Зная угловой коэффициент зависимости  $S(t^2)$ , можно определить ускорение грузов.

Соотношение (6) также может быть проверено экспериментально. Если суммарную массу системы  $M = m_1 + m_2$  поддерживать постоянной и при этом увеличивать массу свешивающегося груза  $m_1$ , то зависимость  $a(m_1)$  должна быть линейной. При этом наклон прямой, как следует из (6), определяется выражением  $g/M$ . Поэтому, определив угловой коэффициент линейной зависимости  $a(m_1)$  и зная массу системы  $M$ , можно определить ускорение свободного падения.

## Экспериментальная установка

Устройство экспериментальной установки показано на рисунке 2.

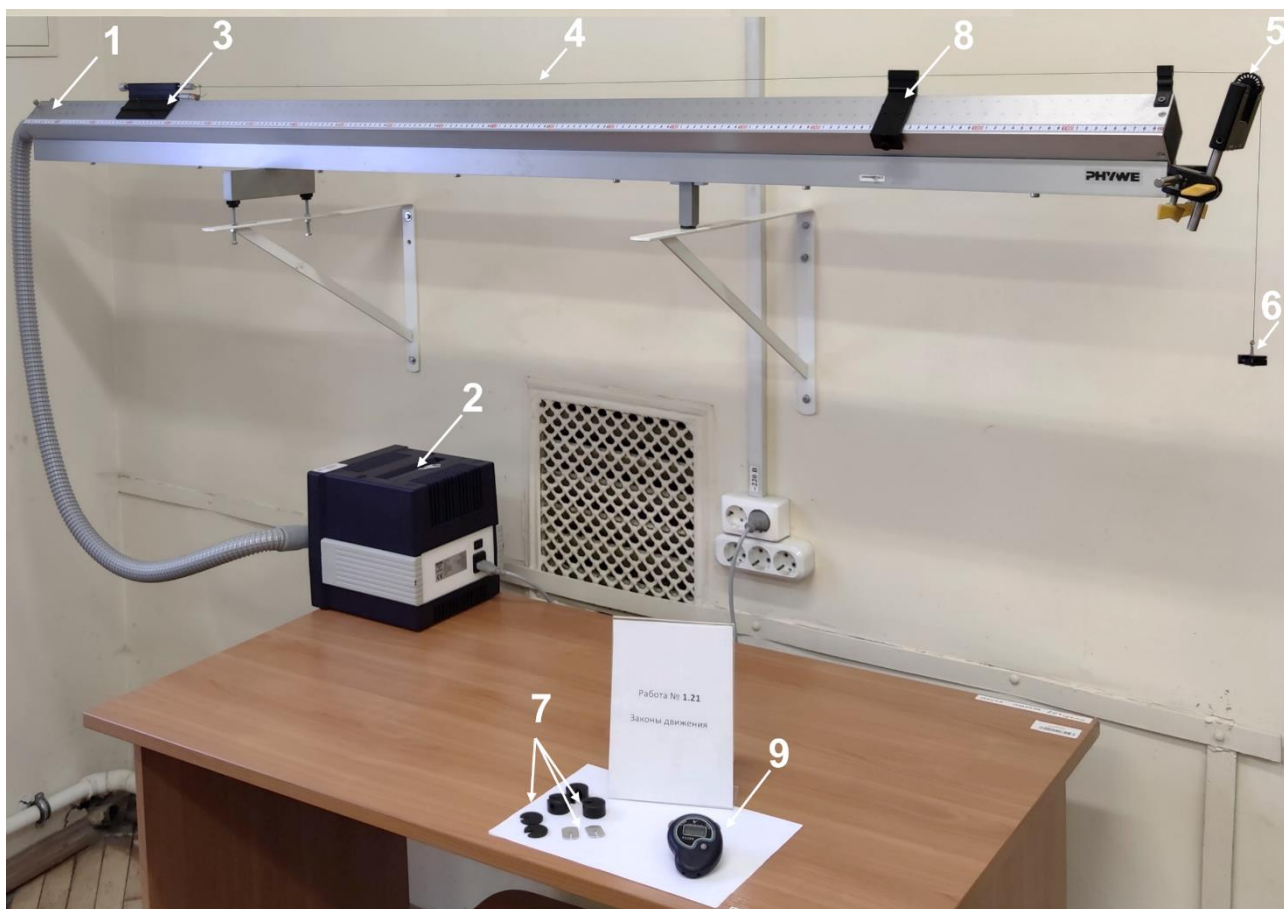


Рис.2. Общий вид экспериментальной установки

Установка представляет собой горизонтальный трек 1 с перфорацией по всей длине, в который подается поток воздуха с помощью компрессора 2. На треке свободно помещается планер 3, к которому прикреплена нить 4, проходящая через блок (колесо) 5. К нити подвешена платформа 6 массой 1 грамм. Массу планера и опускающегося груза можно менять, используя набор грузиков-разновесов 7.

Для ограничения движения планера на треке установлен передвижной фиксирующий упор 8. С помощью миллиметровой шкалы, нанесённой на трек, можно измерить путь, пройденный планером и, соответственно, платформой.

Для минимизации сил трения между треком и планером с помощью компрессора создаётся воздушная подушка. Регистрации временного промежутка движения планера и груза производится цифровым секундомером 9.

## Порядок проведения эксперимента

### Опыт 1. Исследование зависимости пройденного пути от времени

1. Установите фиксирующий упор на необходимом расстоянии, обеспечивающем прохождение пути  $S$  планером (рекомендуется  $S = 30$  см - 130 см).
2. Установите разновесы на платформу.
3. Занесите в таблицу 1 значения пути  $S$ , массу планера  $m_2$  (указана на установке) и массу падающего груза  $m_1$  (суммарную массу платформы и разновесов). Масса груза  $m_1$  должна быть не меньше 10 г.
4. Включите компрессор. Для стабилизации равномерной подачи воздуха по всей длине перфорированного трека необходимо удерживать планер в начальном положении 3-5 секунд. Затем отпустите планер, одновременно нажав на секундомере «ПУСК», а по достижении им фиксирующего упора нажмите «СТОП».
5. Для уменьшения случайной погрешности для каждого значения  $S$  проведите измерение времени опускания груза 3 раза. Результаты измерений времени движения  $t$  занесите в таблицу 1.
6. Выключите компрессор.
7. Произведите измерения по пп.1-6 времени опускания груза для различных значений  $S$  (не менее 6 значений).

**Таблица 1.** Измерение времени движения для различных отрезков пути планера

$m_1 = \Gamma, m_2 = \Gamma.$						
№	$S, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$\langle t \rangle, \text{ с}$	$(\langle t \rangle)^2, \text{ с}^2$
1						
2						
...						
$n$						

**Опыт 2. Исследование зависимости ускорения планера от массы груза  $m_1$  при постоянной суммарной массе системы  $M$**

1. Установите фиксирующий упор на необходимом расстоянии, обеспечивающем прохождение пути  $S$  планером (рекомендуется  $S = 100 - 150$  см).
2. Установите равновесы по обеим сторонам планера с двух сторон равномерно. Желательно использовать равновесы малых масс по 1 г и 10 г.
3. Установите равновесы на платформу.
4. Занесите в таблицу 2 значения пути  $S$ , массу планера  $m_2$  (вместе с равновесами на нём) и суммарную массу падающего груза  $m_1$ .
5. Включите компрессор. С помощью секундомера произведите отсчет времени опускания груза  $t$ .
6. Выключите компрессор.
7. Запишите полученные данные в таблицу 2.
8. Произведите измерения времени по пп.1-7, изменяя массу грузов  $m_1$  и  $m_2$ . При этом каждый раз нужно переносить грузики с планера на платформу свисающего груза  $m_1$ , так чтобы суммарная масса системы  $M = m_1 + m_2$  оставалась неизменной (не менее 6 раз).

**Таблица 2.** Измерение времени движения планера при разных массах тел  $m_1$  и  $m_2$

$S =$					
$N\bar{o}$	$m_1, \Gamma$	$m_2, \Gamma$	$t, \text{с}$	$t^2, \text{с}^2$	$a, \text{м/с}^2$
1					
2					
...					
$n$					

## Обработка результатов

### Опыт 1

1. По полученным данным таблицы 1 постройте график зависимости  $S(t^2)$ . Убедитесь, что график представляет собой линейную зависимость.
2. Методом парных точек определите угловой коэффициент линейной зависимости  $\gamma$ , используйте для вычислений таблицу 3.

**Таблица 3.** Определение углового коэффициента  $\gamma$  зависимости  $S(t^2)$  методом парных точек

Пары точек $i-j$	$S_i, \text{ м}$	$S_j, \text{ м}$	$t_i^2, \text{ с}^2$	$t_j^2, \text{ с}^2$	$\gamma = \frac{\Delta S_{ij}}{\Delta t_{ij}^2},$ $\text{ м/с}^2$	$\gamma_i - \langle \gamma \rangle,$ $\text{ м/с}^2$	$(\gamma_i - \langle \gamma \rangle)^2,$ $(\text{ м/с}^2)^2$
					$\langle \gamma \rangle =$		$\sum (\gamma_i - \langle \gamma \rangle)^2 =$

3. Вычислите среднее значение, среднеквадратичное отклонение и случайную погрешность углового коэффициента  $\Delta\gamma$ .
4. Вычислите ускорение движения планера
 
$$a = 2 \gamma.$$
5. Найдите погрешность ускорения  $\Delta a = 2\Delta\gamma$ .
6. Зная массы грузов  $m_1$  и  $m_2$ , определите теоретическое значение ускорения с помощью соотношения (6).
7. Сравните экспериментальное и теоретическое значения ускорения.

## Опыт 2

1. Для каждого значения массы грузов  $m_1$  и  $m_2$  рассчитайте значения ускорения, результаты занесите в таблицу 2

$$a = \frac{2S}{t^2}.$$

2. Пользуясь данными таблицы 2 постройте график зависимости  $a$  ( $m_1$ ).

3. Убедитесь, что график представляет собой линейную зависимость, сделайте соответствующий вывод.

4. Методом парных точек определите угловой коэффициент линейной зависимости  $k$ , используйте для вычислений таблицу 4.

**Таблица 4.** Определение углового коэффициента  $k$  зависимости  $a$  ( $m_1$ ) методом парных точек

Пары точек $i-j$	$a_i$ м/с <sup>2</sup>	$a_j$ м/с <sup>2</sup>	$m_{1i}$ кг	$m_{1j}$ кг	$k = \frac{\Delta a_{ij}}{\Delta m_{ij}}$ , м/(с <sup>2</sup> ·кг)	$k_i - \langle k \rangle$ , м/(с <sup>2</sup> ·кг)	$(k_i - \langle k \rangle)^2$ , (м/(с <sup>2</sup> ·кг)) <sup>2</sup>
					$\langle k \rangle =$		$\sum (k_i - \langle k \rangle)^2 =$

5. Вычислите среднее значение, среднеквадратичное отклонение и случайную погрешность углового коэффициента  $\Delta k$ .

6. Вычислите ускорение свободного падения

$$g = M k.$$

7. Найдите погрешность ускорения свободного падения.

8. Сравните экспериментальное и табличное значения ускорения свободного падения.



## Контрольные вопросы

1. Сформулируйте второй закон Ньютона.
2. Какие силы действуют на тела в опыте?
3. Меняются ли во время движения скорость и ускорение грузов? Почему?
4. О чем свидетельствует линейность экспериментальной зависимости  $S(t^2)$ ?
5. Как изменится график экспериментальной зависимости  $S(t^2)$ , если увеличить массу груза  $m_1$ , не изменяя общей массы  $M$ ?
6. Как изменится характер движения грузов, если через некоторое время после начала движения оборвется нить?

## Литература

1. Савельев, И. В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах / И. В. Савельев. — 17-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2021 — Том 1: Механика. Молекулярная физика — 2020. — 436 с.
2. Иродов, И. Е. Механика. Основные законы / И. Е. Иродов. — М.: Лаборатория знаний, 2014. — 309 с.
3. Иванов, В. К. Физика. Механика. Колебания: учеб. пособие/ В. К. Иванов. — СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 224 с.
4. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: методические указания / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Кафедра экспериментальной физики; составители: Б. Д. Агапьев, В. В. Козловский. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.