

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики

Величко Т.И., Паутова Л.В.



# **МАШИНА АТВУДА**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

### **К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

по дисциплине «Физика»

для студентов, обучающихся по направлению 230400.62  
«Информационные системы и технологии» очной формы обучения

Тюмень, 2011

УДК 531  
В-27

Величко Т.И., Паутова Л.В. Машина Атвуда: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Физика» для студентов направления 230400.62 «Информационные системы и технологии» очной формы обучения. - Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», 2011. – 10 с.

*Методические указания разработаны на основании рабочих программ ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ дисциплины «Физика» для студентов направления 230400.62 «Информационные системы и технологии» очной формы обучения. Указания включают описание лабораторной установки, метода измерений, порядок выполнения измерений и расчетов по теме «Механика поступательного и вращательного движения твердого тела».*

Рецензент: Михеева О.Б.

Тираж 50 экз.

© ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет »

© Величко Т.И., Паутова Л.В.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

## Содержание

Введение . . . . .	4
1 Краткая теория к работе . . . . .	5
2 Лабораторная работа №7. Машина Атвуда . . . . .	7
2.1 Описание установки . . . . .	7
2.2 Порядок выполнения работы . . . . .	9
3 Контрольные вопросы . . . . .	10
Библиографический список . . . . .	10

## Введение

Методические указания разработаны на основании рабочих программ ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ дисциплины «Физика» для студентов направления 230400.62 «Информационные системы и технологии» очной формы обучения. Указания включают описание лабораторной установки, метода измерений, порядок выполнения измерений и расчетов по теме «Механика поступательного и вращательного движения твердого тела».

Настоящие методические указания нацелены на приобретение студентами следующих компетенций:

*- общекультурных:*

ОК-1 – владение культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;

ОК- 11 – владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использование компьютера как средства работы с информацией;

*- профессиональных:*

ПК-1 – использование основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

ПК-2 –выявление естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечение для их решения соответствующего физико-математического аппарата;

ПК-5 – владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией;

ПК-18 – способность к проведению экспериментов по заданной методике и анализу результатов с привлечением соответствующего математического аппарата.

Цель работы – проверка законов поступательного движения с помощью машины Атвуда.

Оборудованием служит машина Атвуда, электромагнит, миллисекундомер, линейка, набор перегрузов.

# 1. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ К РАБОТЕ

Поступательным называется движение тела, при котором любая прямая, проведённая в теле, движется параллельно самой себе. При таком движении траектории, скорости и ускорения всех точек тела совпадают. Основное уравнение динамики поступательного движения (II закон Ньютона):

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

где  $m$  - масса и  $a$  - ускорение тела,  $\sum_i \vec{F}_i$  - сумма сил, действующих на тело.

Вращательным называется движение, при котором точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения. Основное уравнение динамики вращательного движения:

$$I_z \cdot \varepsilon = \sum_i M_{zi}, \quad (2)$$

где  $I_z$  - момент инерции тела относительно оси вращения  $z$ ,  $\varepsilon$  - его угловое ускорение,  $\sum_i M_{zi}$  - сумма моментов сил, приложенных к телу, рассчитанных относительно оси вращения  $z$ .

Численно момент  $M_z$  силы  $F$  равен произведению силы на плечо  $\ell$ ,

$$M_z = F \cdot \ell,$$

плечо  $\ell$  - кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения, если сила расположена в плоскости, перпендикулярной этой оси.

Момент инерции  $I_z$  тела определяется как сумма произведений масс  $m_i$  точек тела на квадраты  $r_i^2$  их расстояний до оси  $z$ ,

$$I_z = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_n r_n^2 = \sum_i m_i r_i^2.$$

Машина Атвуда (рисунок 1) представляет собой блок радиуса  $R$ , через который перекинута нить с грузами массой  $m_1$  и  $m_2$ .

Предположим, что  $m_1 > m_2$ . Учитывая, что нить нерастяжима, а значит, ускорения  $a$  грузов одинаковы, запишем, в соответствии с формулами (1) и (2), уравнения движения грузов и блока:

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

$$m_2 a = T_2 - m_2 g, \quad (4)$$

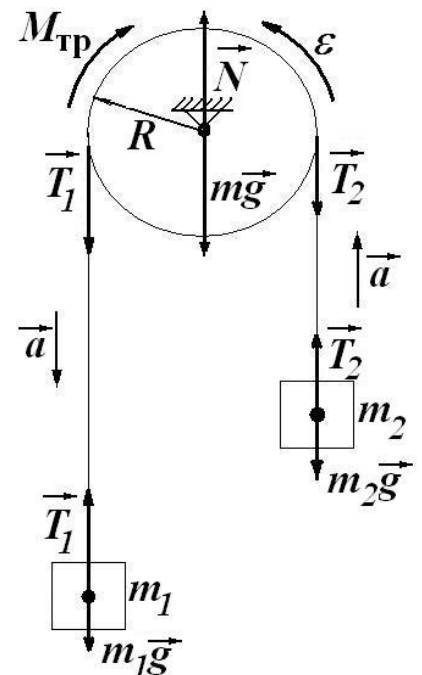


Рисунок 1- машина Атвуда.

$$I \cdot \varepsilon = T_1 \cdot R - T_2 \cdot R - M_{\text{тр}}, \quad (5)$$

$M_{\text{тр}}$  - момент силы трения, возникающей между блоком и его осью,  $I$  - момент инерции блока относительно оси вращения,  $T_1$  и  $T_2$  - силы натяжения нити.

Момент силы трения  $M_{\text{тр}} = r \cdot F_{\text{тр}}$ , где  $r$  - радиус оси блока. Сила трения  $F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$ , где  $\mu$  - коэффициент трения, зависящий от свойств соприкасающихся поверхностей, смазки и т.д.,  $N$  - сила давления на ось блока. Т.к.  $r$  и  $\mu$  малы ( $r \sim 3$  мм,  $\mu \sim 10^{-2} \div 10^{-1}$ ), моментом сил трения можно пренебречь,  $M_{\text{тр}} \approx 0$ , и уравнение (5) запишется

$$I \cdot \varepsilon = T_1 \cdot R - T_2 \cdot R. \quad (6)$$

Определим из уравнения (3), (4) и (6) ускорение  $a$  грузов. Сложим, левые и правые части уравнений (3) и (4):

$$a(m_1 + m_2) = g(m_1 - m_2) - (T_1 - T_2), \quad (7)$$

Из уравнения (6)

$$T_1 - T_2 = \frac{I \cdot \varepsilon}{R}.$$

Если нет проскальзывания нити по блоку, то угловое ускорение  $\varepsilon$  блока и ускорение  $a$  грузов связаны соотношением

$$\varepsilon = \frac{a}{R}.$$

Тогда

$$T_1 - T_2 = \frac{I \cdot a}{R^2}.$$

Подставим в уравнение (7) разность  $T_1 - T_2$ :

$$a(m_1 + m_2) = g(m_1 - m_2) - \frac{I \cdot a}{R^2}.$$

Отсюда

$$a = \frac{g(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2) + \frac{I}{R^2}}. \quad (8)$$

## 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7-механика. МАШИНА АТВУДА

Цель работы: проверка законов поступательного движения с помощью машины Атвуда.

Оборудование: машина Атвуда, электромагнит, миллисекундомер, линейка, набор перегрузов.

### 2.1 Описание установки, вывод расчетных формул

Общий вид установки приведён на рисунке 2. На вертикальной стойке 1 расположены три кронштейна: нижний 2, средний 3, верхний 4.

На верхнем кронштейне 4 крепится блок, через который перекинута нить с грузами 5, одинаковой массы. Здесь же находится электромагнит 6, который при подаче на него напряжения удерживает систему с грузами в неподвижном состоянии.

На среднем кронштейне 3 крепится фотодатчик 7, который, при пересечении грузом его оптической оси, выдаёт электрический сигнал окончания счёта времени на миллисекундомер.

На вертикальной стойке 1 укреплена миллиметровая линейка 8, по которой определяют начальное и конечное положение грузов, а, следовательно, и пройденный путь. Начальное положение определяют визуально по нижнему срезу груза, конечное - по индексу (красная метка) среднего кронштейна. Положение индекса совпадает с оптической осью фотодатчика.

Миллисекундомер 9 с цифровой индикацией времени закреплён на основании прибора и соединён кабелем с фотоэлектрическим датчиком.

Принцип работы прибора заключается в следующем. Когда на концах нити висят грузы одинаковой массы  $M$ , система находится в равновесии. Если на один из грузов положить перегрузок массой  $m$ , система выходит из равновесия и движется равноускоренно. Масса блока пренебрежимо мала по сравнению с массами грузов, поэтому момент инерции блока  $I \approx 0$ . Учитывая также, что  $m_1 = M + m$ , а  $m_2 = M$ , из формулы (8) получаем теоретическое значение ускорения грузов:

$$a_T = \frac{g \cdot m}{2M + m} \quad (9)$$

С другой стороны при равноускоренном движении ускорение можно найти из известного соотношения

$$S = \frac{a \cdot t^2}{2},$$

$S$  - путь, пройденный грузами,  $t$  - время их движения.

Экспериментальное значение ускорения через известный путь и время

$$a_{\text{э}} = \frac{2 \cdot S}{t^2}. \quad (10)$$

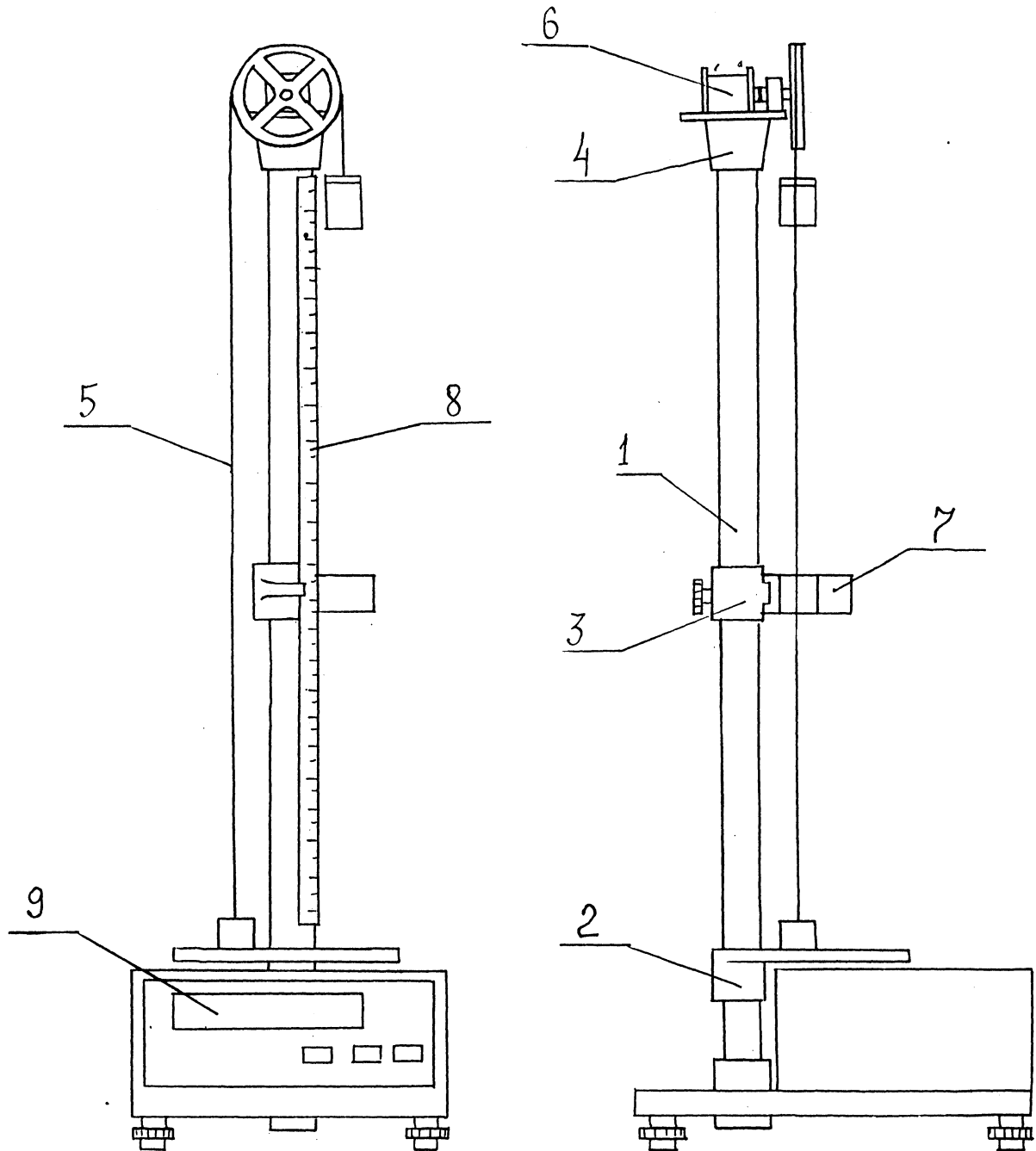


Рисунок 2 - общий вид экспериментальной установки.



## 2.2 Порядок выполнения работы

1. Включить в сеть шнур питания прибора.
  2. Переместить нить с грузами так, чтобы правый груз занял верхнее положение.
  3. Нажать на кнопку “СЕТЬ” миллисекундомера, при этом включается электромагнит, удерживающий систему в положении покоя.
  4. Положить на правый груз один из перегрузков.
  5. Определить пройденный грузами путь по шкале, как расстояние от нижнего основания правого груза до индекса среднего кронштейна.
  6. Нажать на кнопку “СБРОС” миллисекундомера.
  7. Нажать на кнопку “ПУСК” и удерживать её до пересечения правым грузом оси фотодатчика.
  8. Записать по показаниям миллисекундомера время движения груза.
  9. Повторить с выбранным перегрузком опыт не менее трёх раз.
- Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3.

№	$t$ , с	$S$ , м	$m$ , кг
1			
2			
3			
Ср. зн.			

10. Определить по результатам опыта среднее значение времени  $t_{cp}$  и рассчитать по формуле (10) экспериментальное значение ускорения.
11. Вычислить теоретическое значение ускорения  $a_T$  по формуле (9). Сравнить теоретическое и экспериментальное значения ускорения, рассчитав относительную погрешность

$$\varepsilon = \frac{|a_{\text{э}} - a_T|}{a_T} \cdot 100\%.$$

12. Провести измерения и расчёт по пунктам 2-11 для всех перегрузков.

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как зависят скорость и путь, пройденный точкой, от времени, при её прямолинейном равноускоренном движении?
2. Запишите основные уравнения динамики поступательного и вращательного движения.
3. Поясните понятие момента силы, момента инерции тела.
4. Выведите формулу (8) для ускорения грузов.
5. Почему можно пренебречь моментом сил трения при выводе формулы (8)?
6. Какие причины влияют на расхождение теоретического и экспериментального значений ускорения?
7. Тело движется прямолинейно из состояния покоя с постоянным по величине ускорением. Пройдя расстояние  $S = 10$  м, оно приобретает скорость  $v = 15$  м/с. Определить время движения и ускорение тела.
8. На барабан радиусом  $R = 0,5$  м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой  $m = 10$  кг. Найдите момент инерции  $I$  барабана, если известно, что груз опускается с ускорением  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>.

### Библиографический список

#### *Основная литература:*

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М: Академия, 2007. - 560 с.

#### *Дополнительная литература:*

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. / Курс физики. - М: Наука, 1989г. - 942с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А./ Справочник по физике. - М: Наука, 1989г. - 942с.