

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ  
ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА**

**Методические указания  
к лабораторной работе № 6  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2007**

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ  
ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

Методические указания  
к лабораторной работе № 6  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2007

Составитель М.Т. Хатмуллина

УДК  
ББК

Изучение законов поступательного движения тела:  
Методические указания к лабораторной работе № 6 по дисциплине  
«Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: М.Т. Хатмуллина. –  
Уфа, 2007. – 13 с.

Рассмотрены основные законы кинематики и динамики  
поступательного движения тела теория, описан экспериментальный  
метод (машина Атвуда) проверки этих законов.

Методические указания предназначены для студентов,  
изучающих дисциплину «Физика».

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: Михайлов Г.П.,  
Байков Р.А.

©Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2007

Составитель ХАТМУЛЛИНА Маргарита Талгатовна

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

Методические указания  
к лабораторной работе № 6  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2007. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Суг.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет  
Центр оперативной полиграфии УГАТУ  
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

**СОДЕРЖАНИЕ**  
**Лабораторная работа № 6**  
**Изучение законов поступательного движения тела**

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть .....	4
2.1. Определение ускорения системы тел с помощью прибора Атвуда .....	6
2.2. Проверка второго закона Ньютона .....	8
3. Экспериментальная часть.....	8
3.1 Приборы и принадлежности.....	8
3.2. Конструкция прибора Атвуда.....	9
4. Требование к технике безопасности .....	11
5. Порядок выполнения работы .....	11
5.1. Определение ускорения системы тел .....	11
5.2. Проверка второго закона Ньютона .....	12
6. Контрольные вопросы .....	13
Список литературы.....	13

# Лабораторная работа № 6

## Изучение законов поступательного движения тела

### 1. Цель работы

Проверка основных законов кинематики и динамики поступательного движения тела на машине Атвуда.

### 2. Теоретическая часть

Простейшая форма движения – это механическое движение, которое характеризуется изменением с течением времени взаимного расположения тел или их частей относительно друг друга в пространстве.

Движение тела характеризуется его *скоростью*. При равномерном движении значение скорости определяется просто как путь, проходимый телом за единицу времени. В общем случае, когда движение неравномерно и меняет свое направление, скорость тела следует определить как вектор, равный частному от деления вектора бесконечно малого перемещения тела  $d\vec{s}$  на соответствующий малый интервал времени  $dt$ . Обозначим вектор скорости через  $\vec{v}$ , имеем, следовательно

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}. \quad (2.1)$$

Направление вектора скорости  $\vec{v}$  совпадает с направлением  $d\vec{s}$ , т.е. скорость в каждый момент времени направлена по касательной к траектории тела в сторону движения. Модуль скорости

$$|\vec{v}| = \left| \frac{d\vec{s}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} = s'. \quad (2.2)$$

*Модуль скорости равен первой производной пути по времени.*

Выражение (2.2) можно переписать

$$dS = v dt.$$

Если проинтегрировать выражение по времени в пределах от  $t_1$  до  $t_2$ , то найдем длину пути, пройденного точкой за время  $\Delta t = t_2 - t_1$

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v dt. \quad (2.3)$$

В случае равномерного движения

$$s = v \int_{t_1}^{t_2} dt = v(t_2 - t_1) = v \Delta t.$$

В случае неравномерного движения важно знать, как быстро меняется скорость с течением времени по модулю и направлению. Физической величиной, характеризующей быстроту изменения скорости по модулю и направлению, является *ускорение*

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (2.4)$$

Выражение (2.4) можно переписать

$$d\vec{v} = \vec{a} dt.$$

Если проинтегрировать полученное выражение по времени в пределах от 0 до  $t$ , то получим кинематическое уравнение для скорости:

$$\int_{v_0}^{v_t} d\vec{v} = \int_0^t \vec{a} dt,$$
$$\vec{v}_t = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t.$$

Модуль скорости

$$v_t = v_0 \pm a \cdot t. \quad (2.5)$$

где  $v_0$  – начальная скорость тела,  $v_t$  – скорость в момент времени  $t$ .

При равноускоренном движении знак «+», при равнозамедленном знак «-».

Длина пути при таком движении равна

$$s = \int_0^t v dt = \int_0^t (v_0 \pm at) dt = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}. \quad (2.6)$$

При  $v_0 = 0$  уравнения (2.5) и (2.6) приобретает вид:

$$v = a \cdot t, \quad (2.7)$$

$$S = \frac{at^2}{2}. \quad (2.8)$$

Взаимодействие тел приводит к появлению ускорений и деформаций. Мерой такого взаимодействия является *сила*. Основным законом динамики поступательного движения является второй закон Ньютона, который устанавливает связь между взаимодействием тел и изменением характера движения. *Второй закон Ньютона* записывается и формулируется так: изменение импульса твердого

тела по величине и направлению равно векторной сумме импульсов сил, действующих на это тело

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i dt = d(m \cdot \vec{v}), \quad (2.9)$$

где  $dt$  – такой малый промежуток времени, в течение которого все силы  $F_i$  можно считать постоянными,  $\vec{F}_i dt$  – импульс силы  $F_i$ ,  $m \cdot \vec{v}$  – импульс тела.

Если масса тела постоянна, из формулы (2.9) получаем основное уравнение динамики поступательного движения в следующем виде

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m \frac{d\vec{v}}{dt},$$

где  $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$

или 
$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m \cdot \vec{a}. \quad (2.10)$$

Ускорение, приобретаемое телом прямо пропорционально векторной сумме всех сил, действующих на тело, и обратно пропорционально массе тела (по направлению ускорение совпадает с направлением силы). Основные законы кинематики и динамики могут быть проверены опытным путем на машине Атвуда.

## 2.1. Определение ускорения системы тел с помощью прибора Атвуда

Основной частью машины Атвуда (рис. 2.1) является система движущихся тел, состоящая из блока радиуса  $r$  с перекинутой через него нитью, к концам которой привязаны грузы одинаковой массы  $m$ . Система приводится в движение перегрузком массы  $m_0$ , который накладывается на один из грузов  $m$ . По вертикальной стойке могут перемещаться кольцевая платформа и платформа в виде диска. К машине Атвуда прилагается набор перегрузков различного размера. Небольшие перегрузки могут свободно проходить через внутреннее отверстие кольцевой платформы (верхней). Большой перегрузок (кольцо) массой  $m_0$  снимается кольцевой платформой при движении груза массой  $m$ .



Экспериментально определить ускорение системы можно, проделав следующий эксперимент. Если на правый грузик положить небольшой перегрузок (кольцо) массы  $m_0$ , то система тел начнет двигаться с ускорением под действием силы тяжести и пройдет путь  $h$ . На кольце  $p$  дополнительный грузик отцепляется и дальше грузики  $m$ , пройдут теперь уже равномерно, путь  $L$  (действием силы трения пренебрегаем).

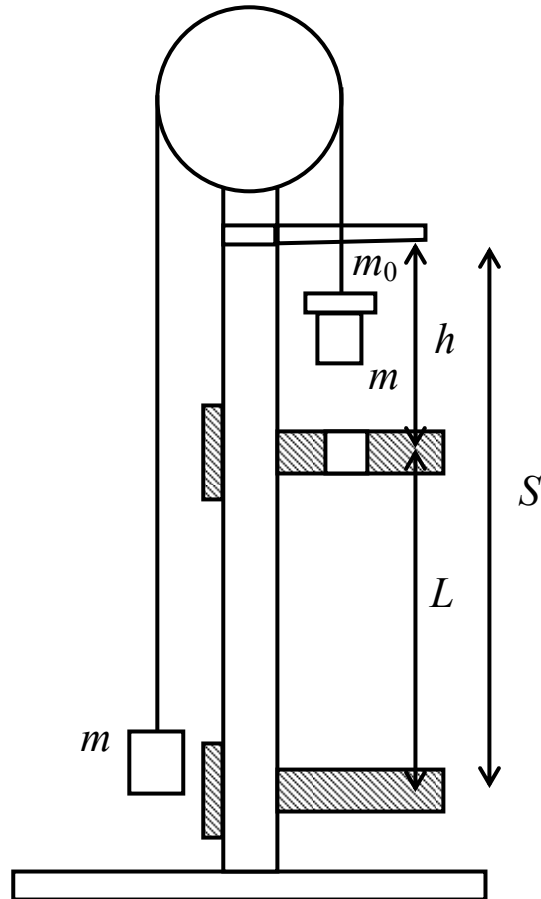


Рис. 2.1

На пути  $h$  система тел движется равноускоренно и у кольца  $p$  будет иметь скорость

$$v = \sqrt{2ah}. \quad (2.11)$$

Если измерить время равномерного движения и его путь, то скорость

$$v = \frac{L}{t}. \quad (2.12)$$

Из уравнений (2.11) и (2.12) получим что

$$a = \frac{L^2}{2ht^2}. \quad (2.13)$$

## 2.2. Проверка второго закона Ньютона

При проверке второго закона Ньютона необходимо, чтобы движущаяся масса была постоянной, а величина действующей силы изменялась. Это можно осуществить, перекладывая перегрузки  $m_1$  и  $m_2$  с одного груза на другой. Сила, приводящая систему в движение равна разности весов правого и левого тел. Если оба перегрузка находятся на правом теле, то

$$F_1 = (m_1 + m_2) g. \quad (2.14)$$

Ускорение  $a_1$ , приобретаемое системой тел прямо пропорционально действующей силе, и обратно пропорционально массе системы тел

$$a_1 = \frac{F_1}{(2m + m_1 + m_2)}.$$

Если меньший перегрузок  $m_2$  переложить на левое тело, то

$$F_1 = (m_1 - m_2) g. \quad (2.15)$$

Ускорение  $a_2$ , приобретаемое системой тел, в этом случае

$$a_2 = \frac{F_2}{(2m + m_1 + m_2)}.$$

Отсюда следует, что

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}. \quad (2.16)$$

Ускорения  $a_1$  и  $a_2$  могут быть найдены из соотношения (2.8)

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (2.17)$$

## 3. Экспериментальная часть

### 3.1 Приборы и принадлежности

- прибор Атвуда
- электросекундомеры
- набор грузов

### 3.2. Конструкция прибора Атвуда

Общий вид прибора Атвуда показан на рис. 3.1 и 3.2.

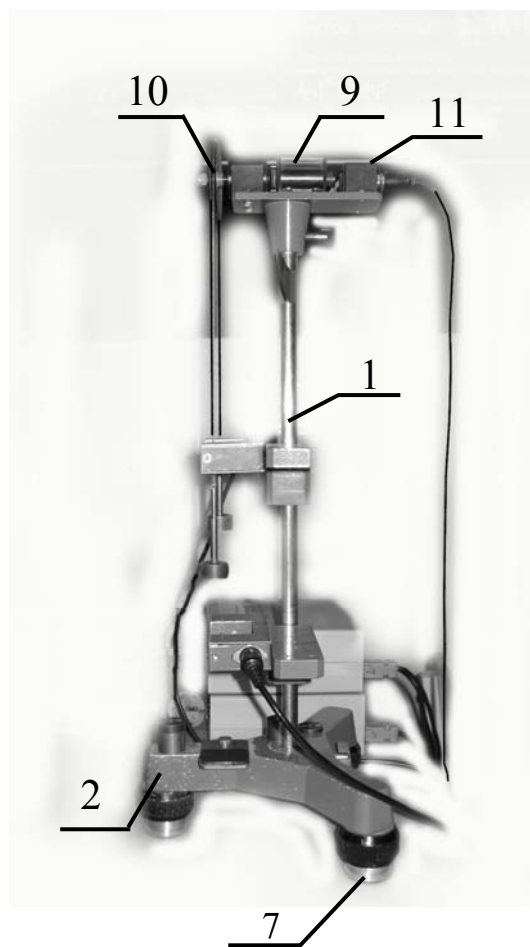


Рис. 3.1

На вертикальной колонке 1, закрепленной в основании 2, установлены верхняя втулка 6 и два подвижных кронштейна с фотоэлектрическими датчиками: нижний кронштейн 3, средний 4. Основание оснащено регулируемыми ножками 7, которые позволяют произвести выравнивание положения прибора. На верхней втулке 6 при помощи верхнего диска 8 закреплен узел подшипника ролика 9, ролик 10 и электромагнит 11, который после подключения к нему напряжения питания от электронного блока ФМ-1/1 16 удерживает систему грузиков в состоянии покоя. Через ролик проходит нить 12 с привязными на ее концах грузиками 13 и 14.

Кронштейны можно перемещать вдоль колонки и фиксировать в любом положении, устанавливая, таким образом, длину пути равномерно-ускоренного  $h$  и равномерного движений  $L$ . Для облегчения определения этих путей на колонке 1 имеется

миллиметровая шкала, все кронштейны имеют указатель положения, а верхний красный указатель 5 – дополнительную черту, облегчающую точное согласование нижней грани верхнего большого грузика с определенным началом пути движения.

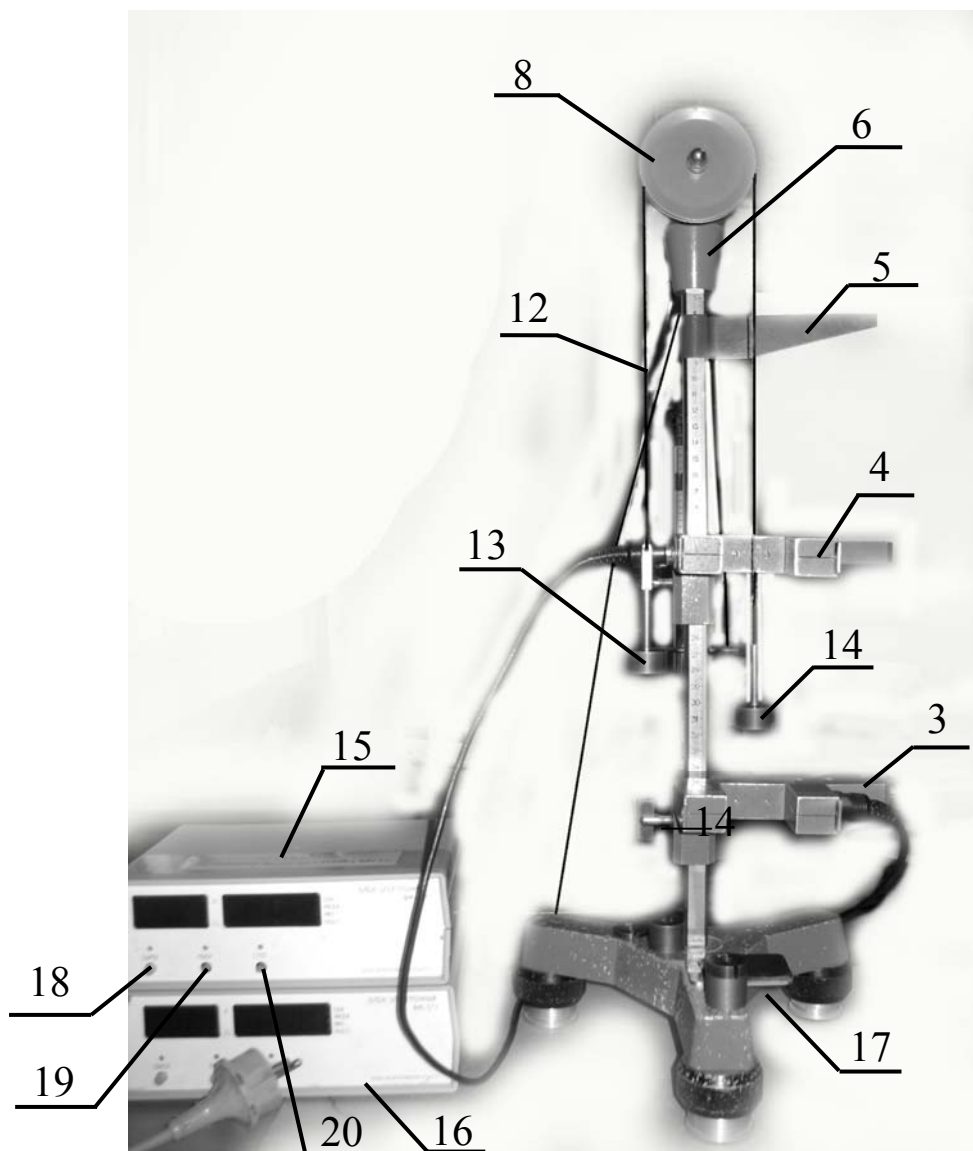


Рис. 3.2

На кронштейне 4 находится разъем для подключения электронного блока ФМ-1/1 15. На кронштейне 3 находится разъем для подключения электронного блока ФМ-1/1 16. Кронштейн 4 снимает с падающего вниз большого грузика 14 дополнительный грузик - кольцо. В основании 2 имеются резиновые амортизаторы 17, в которые ударяют завершающие свое движение грузики.

На лицевой панели миллисекундомера ФМ-1/1 расположены следующие элементы управления:

18 (сброс) – нажатие клавиши вызывает обнуление схем электросекундомера.

19 (пуск) – нажатие клавиши вызывает освобождение электромагнита и генерирование импульса, разрешающего измерение.

20 (стоп) – нажатием клавиши может быть остановлен электросекундомер.

На задней панели кнопка «СЕТЬ», которая включает электромагнит 11, удерживающий систему грузов в покое.

#### **4. Требование к технике безопасности**

4.1. Прежде, чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.

4.2. О замеченных неисправностях немедленно сообщите лаборанту или преподавателю.

4.3. Не загромождайте рабочее место предметами, не относящимся к выполняемой работе.

4.4. Установить оба кронштейна, таким образом, чтобы правый грузик, падая, свободно проходил через них.

4.5. Следите за тем, чтобы нить с грузами не слетала с диска.

4.6. По окончании работы приведите в порядок рабочее место.

#### **5. Порядок выполнения работы**

##### **5.1. Определение ускорения системы тел**

1. На правый большой грузик положить дополнительный грузик (кольцо).

2. Согласовать нижнюю грань правого грузика с чертой, нанесенной на верхнем красном указателе 5.

3. Измерить при помощи шкалы на колонке заданные пути равномерно ускоренного  $h$  и равномерного  $L$  движений большого грузика.

4. Привести систему в движение, нажав одновременно клавиши «Пуск» на секундомерах 15 и 16 .

5. Измерить время движения большого грузика на пути  $h$  по показаниям электросекундомера 15, и  $S=h+L$  по показаниям электросекундомера 16. Найти значение времени на пути  $L$ , как разность показаний времени на пути  $h$  и времени на пути  $S$ .

Измерения времени повторить не менее 5-и раз, найти среднее значение времени  $\bar{t}$ .

В качестве абсолютной погрешности в измерении  $t$  примите среднюю арифметическую погрешность пяти измерений

$$\Delta \bar{t} = \frac{|\bar{t} - t_1| + |\bar{t} - t_2| + \dots + |\bar{t} - t_5|}{5}.$$

7. Определить ускорение системы по формуле

$$a = \frac{L^2}{2 h t^2}. \quad (2.13)$$

8. Определить погрешность измерения ускорения системы.

Таблица

№ изм.	$h$ (м)	$L$ (м)	$t$ (с)	$a$ (м/с <sup>2</sup> )
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Сред. значение				

## 5.2. Проверка второго закона Ньютона

1. На правый большой грузик положить два дополнительных грузика массами  $m_1$  и  $m_2$ .

2. Согласовать нижнюю грань большого правого грузика с чертой нанесенной на верхнем красном указателе 5.

3. Привести систему в движение, нажав клавишу «Пуск» электросекундомера 16.

4. Измерить время движения грузов на пути  $S$ .

5. Измерения повторить не менее 5-и раз. Найти среднее значение времени, рассчитать погрешность.

6. Переместить дополнительный грузик массы  $m_1$  на левый большой грузик  $m$ . Повторить действия пунктов 2, 3, 4, 5, определить

время движения грузов  $t$  на пути  $S$ .

7. Рассчитать ускорения  $a_1$  и  $a_2$  по формуле (1.17)

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

Определить погрешность измерения ускорения системы. Вычислить значения  $F_1$  и  $F_2$  по формулам (1.14) и (1.15)

$$F_1 = (m_1 + m_2)g \text{ и } F_2 = (m_1 + m_2)g$$

и убедиться в справедливости соотношения (1.16)

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}.$$

### 6. Контрольные вопросы

1. Дайте определения основным характеристикам поступательного движения тела.

2. Напишите кинематические уравнения равнопеременного движения.

3. Сформулируйте основной закон динамики поступательного движения.

4. Как определяется ускорение системы тел с помощью прибора Атвуда?

5. Как проверяется 2-ой закон Ньютона в данной работе?

### Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. – М.: Наука, 1998.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 1. – М.: Наука, 1995.
3. Трофимов Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1998.
4. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2002.