

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

## ИЗУЧЕНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МАШИНЫ АТВУДА

*Практикум*

Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета  
для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки  
010800 «Радиофизика», 010700 «Физика», 010400 «Информационные технологии»

Нижний Новгород  
2010

ИЗ9 ИЗУЧЕНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ  
МАШИНЫ АТВУДА. Составители: М.И. Бакунов, С.Б. Бирагов.  
Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет,  
2010. – 7 с.

Рецензент: доктор физ.-мат. наук, профессор А.М. Фейгин

В лабораторной работе исследуется движение грузов в классической экспериментальной установке – машине Атвуда. Анализируется влияние силы трения на характер движения грузов.

Практикум предназначен для студентов 1-го курса радиофизического факультета, выполняющих работы в лабораториях общего практикума кафедры общей физики.

Ответственный за выпуск  
Председатель методической комиссии радиофизического факультета  
ННГУ, доктор ф.-м.н., профессор В.Н. Мануилов

В работе исследуется движение грузов в классической экспериментальной установке – машине Атвуда (Geor. Atwood, 1784). Машина Атвуда представляет собой закрепленный блок, через который переброшена нить с двумя грузами на концах. При равной массе грузов система находится в безразличном равновесии, если массы не равны – система приходит в равноускоренное движение.

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В данной лабораторной установке блок закреплен на вертикальной шкале, для удержания грузов используется электромагнит, время движения грузов регистрируется электросекундомером (рис. 1). Для приведения грузов в движение служит набор перегрузов двух видов А и В (рис. 2). По шкале можно перемещать платформы  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  (рис. 1), одна из которых ( $\Pi_1$ ) служит для размыкания цепи электросекундомера, а другая ( $\Pi_2$ ) – для съема с движущегося правого груза перегрузов типа В.

Первоначально левый груз находится в нижнем положении и удерживается электромагнитом – тумблер на блоке управления в положении «магнит». При переключении тумблера в положение «секундомер» размыкается цепь питания электромагнита (освобождается система грузов) и включается электросекундомер. Выключение секундомера происходит при размыкании правым грузом контакта на платформе  $\Pi_1$ .

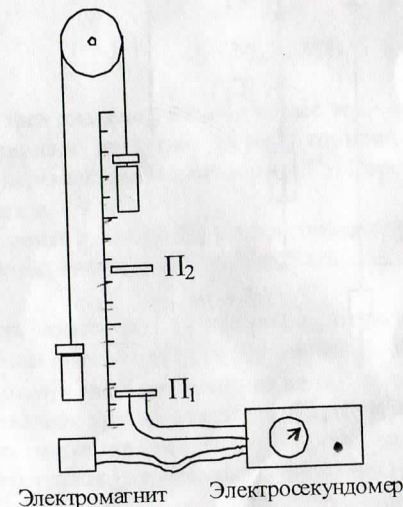


Рис. 1.

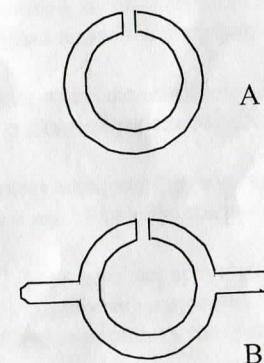


Рис. 2.



## АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ

Расставим действующие в системе силы (рис. 3) и напишем второй закон Ньютона для каждого из грузов в проекции на направленную вниз ось  $x$ :

$$\begin{cases} (M + m_1)a_{1x} = (M + m_1)g - T_1 \\ (M + m_2)a_{2x} = (M + m_2)g - T_2 \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $M$  – масса основных грузов,  $m_1$  и  $m_2$  – массы левого и правого перегрузов ( $m_2 > m_1$ ), а  $T_1$  и  $T_2$  – силы, с которыми нить действует на левый и правый грузы соответственно. Из условия нерастяжимости нити следует соотношение между ускорениями грузов

$$a_{1x} = -a_{2x}, \quad (2)$$

а из ее невесомости – соотношение между действующими на нить силами

$$T_2' - T_1' = F_{\text{тр}}. \quad (3)$$

В соотношении (3)  $F_{\text{тр}}$  – сила трения со стороны блока, а  $T_1'$  и  $T_2'$  – силы со стороны грузов, которые по 3-му закону Ньютона равны соответственно силам  $T_1$  и  $T_2$ .

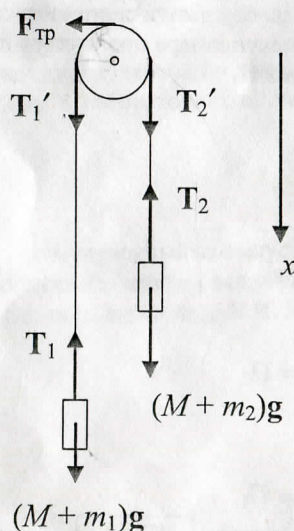


Рис. 3.

Решая систему уравнений (1)-(3), находим

$$a_{2x} = \frac{(m_2 - m_1)g - F_{\text{тр}}}{2M + m_1 + m_2}. \quad (4)$$

Выражение (4) содержит неизвестную силу трения  $F_{\text{тр}}$ . Физической причиной появления этой силы является инерционность блока и наличие трения в его оси. Если трение в оси блока является вязким, то сила  $F_{\text{тр}}$  зависит от скорости грузов (скорости вращения блока) и, как можно понять из (4), ускорение грузов не остается постоянным во время движения. Если трение в оси сухое и нить не проскальзывает по блоку, то  $F_{\text{тр}}$  можно представить в виде

$$F_{\text{тр}} = F_0 + \lambda a_{2x}, \quad (5)$$

где  $F_0$  и  $\lambda$  – положительные константы, характеризующие, соответственно, сухое (постоянное) трение в оси и инерционные свойства блока. Для блока в виде сплошного диска константа  $\lambda$  равна половине его массы (это можно получить, дополнив систему (1)-(3) уравнением вращательного движения блока). Подставляя выражение (5) в формулу (4), получаем

$$a_{2x} = \frac{(m_2 - m_1)g - F_0}{2M + m_1 + m_2 + \lambda}. \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что в модели (5) ускорение грузов остается постоянным в ходе движения и зависит не только от масс грузов, но и от величин  $F_0$  и  $\lambda$ . Правильность модели (5) можно проверить, исследуя зависимость  $a_{2x}$  от разности масс перегрузов  $m_2 - m_1$  при сохранении неизменной суммарной массы  $m_1 + m_2$ .

## ЗАДАНИЕ

1. Для трех значений разности масс  $m_2 - m_1$  перегрузов вида А снять зависимость времени движения грузов  $t$  от пройденного пути  $S$ . Изменение  $S$  достигается перемещением платформы  $\Pi_1$ . Перегрузы вида В и платформа  $\Pi_2$  не используются.

Построить графики  $S(t^2)$  для использованных трех значений  $m_2 - m_1$ . В случае линейной зависимости  $S(t^2)$  сделать вывод о равноускоренности движения.

2. Снять зависимость ускорения  $a_{2x}$  от разности масс перегрузов  $m_2 - m_1$  при сохранении неизменной суммарной массы  $m_1 + m_2$ . Построив график зависимости  $a_{2x}$  от  $m_2 - m_1$ , определить из него  $F_0$  и  $\lambda$ .

3. Проверить правильность определения  $F_0$ . Для этого перегрузами вида А обеспечить равенство  $(m_2 - m_1)g = F_0$ , разогнать систему перегрузами В и после съема перегрузов В платформой  $\Pi_2$  проверить равномерность движения на участке от  $\Pi_2$  до  $\Pi_1$ .



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Получить соотношения (2) и (3) из условий нерастяжимости и невесомости нити.
2. Каким будет ускорение грузов при  $(m_2 - m_1)g < F_0$ ? Чему при этом будет равна  $F_{тр}$ ? Рассмотреть случаи нулевой и ненулевой начальной скорости грузов.
3. Может ли  $F_{тр}$  равняться нулю при  $F_0 \neq 0$ ?
4. Оценить интервал изменения  $F_0$  для используемых в установке грузов и перегрузов в зависимости от распределения перегрузов (суммарную массу перегрузов  $m_1 + m_2$  считать фиксированной).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 1. Механика. - М.: Наука, 1989. - 576 с.
2. Емелин В.В. Изучение законов движения при помощи машины Атвуда (описание к лабораторной работе). - Горький: ГГУ, 1984. - 11 с.

**ИЗУЧЕНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ  
ПРИ ПОМОЩИ МАШИНЫ АТВУДА**

Составители:  
**Михаил Иванович Бакунов**  
**Сергей Борисович Бирагов**

*Практикум*

Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского».  
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 0,5. Заказ № 7. Тираж 100 экз.

Отпечатано в ЦДП Нижегородского госуниверситета  
им. Н.И. Лобачевского  
603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23