

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени акад. С. П. Королева

УДК 531.011

Лабораторная работа № 2-М

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО  
ДВИЖЕНИЯ НА ПРИБОРЕ АТВУДА

Утверждено редакционным  
советом института в ка-  
честве методических ука-  
заний к лабораторной ра-  
боте № 2-М для студентов

Куйбышев 1988

Цель работы: изучение законов прямолинейного равномерного и равноускоренного движений, определение ускорения свободного падения и силы трения покоя.

Приборы и принадлежности: прибор ФРМ-02 (машина Атвуда), набор перегрузков.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Принцип работы прибора основан на использовании законов свободного падения тела в воздухе.

На блок, вращающийся с малым сопротивлением в подшипниках, одета нить с двумя грузиками одинаковой массы  $M$  (рис. I). При этом система находится в равновесии.

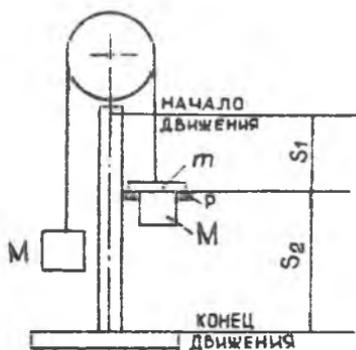


Рис. I

Если на один из грузиков одеть перегрузок массой  $m$ , то система придет в равноускоренное движение под действием силы тяжести  $F = mg$  и пройдет путь  $S_1$ .

На кольце  $P$  перегрузок будет отцеплен и грузики пройдут, двигаясь уже равномерно путь  $S_2$ .

Согласно закону сохранения энергии можно записать

$$mgS_1 = \frac{J\omega^2}{2} + \frac{(M+m)v^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} + A_{тр} \quad (1)$$

Пренебрегая трением и считая, что массы блока и нити пренебрежимо малы, а нить нерастяжимая, можно записать

$$mgS_1 = \frac{(M+m)v^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} \quad (2)$$

Здесь  $v = \alpha t_1$  - линейная скорость грузов в момент времени  $t_1$ ;  $t_1$  - время от начала движения до момента, когда груз опустился на расстояние  $S_1$ ;  $\omega = v/R$  - угловая скорость вращения блока;  $\alpha$  - ускорение системы грузов;  $J = m_B R^2/2$  - момент инерции блока;  $R$  - его радиус;  $m_B$  - масса блока;  $S_1$  - путь, пройденный грузами при равноускоренном движении. Скорость на участке пути  $S_2$  можно определять по формуле

$$v = \frac{S_2}{t_2}, \quad (3)$$

где  $S_2$  - путь, пройденный грузами массы  $M$  при равномерном движении;  $t_2$  - время равномерного движения.

После подстановки (3) в (2) получим

$$2mgS_1 = (2M+m) \frac{S_2^2}{t_2^2} \quad (4)$$

Отсюда ускорение свободного падения определится выражением

$$g = \frac{(2M+m)}{m} \frac{S_2^2}{2S_1 t_2^2} \quad (5)$$

В выражение (I) входит работа сил трения  $A_{тр}$ , которая включает два слагаемых: работу трения покоя и работу сил трения скольжения. Представляет интерес оценить работу сил трения покоя. Оценку проводят по следующей схеме. Находят зависимость ускорения  $\alpha$  системы грузов от массы перегрузки  $m$ . Затем строят график, в котором по оси абсцисс откладывают значение  $m$ , и по оси ординат - соответствующее ускорение  $\alpha$ . Проведенную через экспериментальные точки прямую продолжают до пересечения с осью абсцисс. Значение  $m_{min}$  при  $\alpha = 0$  определяют силу трения покоя

$$F_{тр} = m_{min} g \quad (6)$$

Отметим, что ускорение  $\alpha$  системы грузов можно вычислить по очевидному выражению

$$\alpha = \frac{V^2}{2S_1} = \frac{S_2^2}{2S_1 t_2^2} \quad (7)$$

#### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение законов кинематики и динамики поступательного движения производят на приборе Атвуда. Прибор Атвуда изображен на рис.2

На вертикальной колонне I, установленной на основании 2, закреплены три кронштейна: неподвижный нижний кронштейн 3 и два подвижных кронштейна: средний 4 и верхний 5, а так же верхняя втулка 6.

Основание оснащено регулируемыми ножками 7, которые позволяют произвести выравнивание положения прибора

На верхней втулке 6 при помощи верхнего диска 8 закреплен узел подшипника блока 9, блок 10 и электромагнит II. На блок одета нить 12 с привязанными на ее концах грузиками 13 и 14.

Электромагнит II после подведения к нему питающего напряжения при помощи фрикционной муфты удерживает в состоянии покоя систему шкив - нить с грузиками.

Верхний 5 и средний 4 кронштейны можно перемещать вдоль колонны I и фиксировать в любом положении. Таким образом устанавливаем длину пути равномерно-ускоренного и равномерного движений.

Для определения этих путей на колонне I имеется миллиметровая шкала 15. Все кронштейны имеют указатель положения, а верхний кронштейн 5 - дополнительную черту, облегчающую точное согласование нижней грани верхнего, большого грузика с определенным началом пути движения.

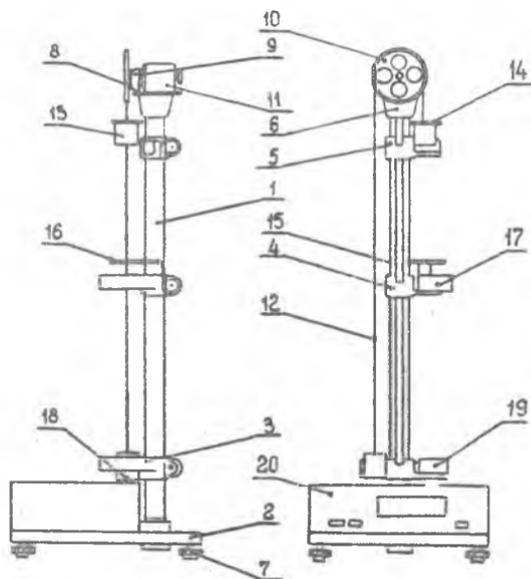


Рис.2

На среднем кронштейне 4 закреплен кронштейн 16 и фотоэлектрический датчик 17. Кронштейн 16 снимает с падающего вниз большого грузика 23 перегрузок. В это время фотоэлектрический датчик 17 выдает электрический импульс, сигнализирующий о начале равномерного движения большого грузика 13.

В нижнем кронштейне 3 установлен резиновый амортизатор и фотоэлектрический датчик 19. Амортизатор служит для демпфирования удара грузика в конце его движения, а фотоэлектрический датчик 19 выдает сигнал, соответствующий моменту окончания движения грузика.

На основании 2 прибора находится миллисекундомер 20, на лицевой панели которого имеются три кнопки: "Сброс", "Пуск" и "Сеть".

### ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

- I. Ознакомиться с установкой.
2. Установить средний подвижный кронштейн на высоте, рекомендованной в упражнении.
3. Одеть на блок нить с большими грузиками и проверить, находится ли система в состоянии равновесия.
4. При помощи регулируемых ножек основания привести колонну прибора к вертикальному положению, используя при этом нить с грузиками как отвес.
5. Подключить сетевой кабель измерителя к сети питания.
6. Нажать на клавишу "Сеть" проверяя, всели индикаторы измерителя высвечивают ноль и светят ли лампочки обоих фотоэлектрических датчиков.
7. Переместить правый грузик в верхнее положение, положить на него перегрузок и проверить, находится ли система в состоянии покоя.
8. Нажать клавишу "Пуск" и проверить, возникло ли движение системы, был ли на среднем кронштейне задержан дополнительный грузик, измерил ли миллисекундомер время прохождения правым грузом пути между средним и нижним кронштейнами и была ли система после прохождения этого пути заторможена.
9. Отжать клавишу "Сброс" и проверить, возникло ли обнуление показаний измерителя и освобождение электромагнитом блокировки блока.
10. Переместить правый грузик в верхнее положение и отжать клавишу "Пуск", а также проверить, возникла ли повторная блокировка блока.
- II. Установить средний кронштейн на высоте  $S_2 = 35$  см.
12. На правый большой грузик положить один из трех дополнительных перегрузков.
13. Согласовать нижнюю грань правого грузика с чертой, нанесенной на верхнем кронштейне.
14. Измерить при помощи шкалы на колонне заданные пути равноускоренного  $S_1$  и равномерного  $S_2$  движений.

15. Нажать клавишу "Пуск".
16. Прочитать измеренное значение времени движения большого грузика на пути  $S_2$ .
17. Опыт повторить 3 раза. Результаты записать в таблицу.
18. Те же опыты проделать с другими перегрузками. Рекомендуемые значения высот:  $S_2 = 35, 28, 21$  (см.)

Таблица

$N$	$m$	$S_1$	$S_2$	$t_2$	$g_i$	$\bar{g}$	$(\Delta g_i)$	$(\Delta g_i)^2$	$\alpha$
$n/n$	г	м	м	с	м/с <sup>2</sup>	-	-	-	-

#### ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Выбрать перегрузок наибольшей массы  $m$  и для серии значений  $S_2$  и  $t_2$  по формуле (5) вычислить ускорение свободного падения  $g_i$ . Масса грузиков  $M = 60$ г.
2. Выбрать одно из значений параметра  $S_2$  и для серии значений  $S_1$ ,  $m$ ,  $t_2$  по формуле (7) вычислить ускорение  $a_i$  системы грузов.
3. Вычислить среднее значение ускорения свободного падения  $\bar{g}$  и определить доверительный интервал  $\Delta g$ . Значение доверительной вероятности принять  $\alpha = 0,95$ .
4. Вычислить относительную погрешности  $\delta$  измерения ускорения свободного падения

$$\delta = \frac{\Delta g}{\bar{g}} \cdot 100\%$$

и оценить относительное отклонение экспериментального значения от теоретического  $g_T$

$$\xi_0 = \frac{\bar{g} - g_T}{g_T} 100\%$$

5. Построить график зависимости ускорения  $a$  от массы перегрузков  $m$  и определить точку пересечения с осью абсцисс  $m_{\text{миз}}$  и оценить по формуле (6) силу трения  $F_{\text{тр}}$ .

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Вывести формулу для определения ускорения свободного падения.
2. Какое движение мы называем равноускоренным, равномерным?
3. Какая скорость называется мгновенной? средней?
4. Как изменяется мгновенная скорость:
  - а) при равноускоренном движении?
  - б) при равномерном движении?
5. Как устроен прибор Атвуда?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики.-М.: Наука, 1977, т. I, §§ 3-8.
2. Гольдин А.А. и др. Руководство к лабораторным занятиям по физике.-М.: Наука, 1973.

Подписано в печать 16.01.89 г. . Формат 60x84 1/16. Бумага белая офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 0,5 Уч-изд.л. 0,5 . Тираж 100 экз. Заказ № 61 . Бесплатно.  
Участок оперативной полиграфии КуАИ, Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.