

## Лабораторная работа №8

# Изучение законов падения на машине Атвуда

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определить ускорение тела;
2. Проверить второй закон Ньютона;
3. Определение ускорения свободного падения.

### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Машина Атвуда (основные элементы):

1. Вертикальная колонка с миллиметровой шкалой;
2. Легкий блок;
3. Два груза, скрепленные нитью, перекинутой через блок;
4. Верхний кронштейн с горизонтальной отметкой;
5. Средний и нижний кронштейны с фотоэлектрическими датчиками;
6. Дополнительный перегруз;
7. Электромагнит;
8. Секундомер.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Для проведения опытов по свободному падению тел требуется большая высота экспериментальной установки, вследствие большого ускорения свободного падения.

Машина Атвуда позволяет избежать этой трудности и замедлить движение до удобных скоростей (**рис.1**).

Легкий блок свободно вращается на оси, укрепленной в верхней части стойки. Через блок перекинута нить, на концах которой висят грузы А и

В одинаковой массы  $M$ . На груз  $B$  могут одеваться один или несколько перегрузов  $C$  массой  $m$  (рис. 1). В таком случае система грузов  $A, B, C$  выходит из равновесия и начинает двигаться равноускоренно.

В начале опыта груз  $B$  с перегрузом  $C$  удерживается неподвижно в верхней части стойки при помощи электромагнита. После нажатия клавиши «ПУСК» электромагнит освобождает груз  $B$  с перегрузом  $C$  и система грузов  $A, B, C$  приходит в движение (рис. 2).

При этом груз  $B$  с перегрузом  $C$  при *равноускоренном* движении проходит расстояние  $h_1$  за время  $t_1$ .

На кольце  $D$  перегруз  $C$  отцепляется от груза  $B$ , а система грузов  $A$  и  $B$  совершает теперь *равномерное* движение. Груз  $B$  пройдет расстояние  $h_2$  при *равномерном* движении за промежуток времени  $t_2$ .

Измерение промежутков времени производится по секундомеру.

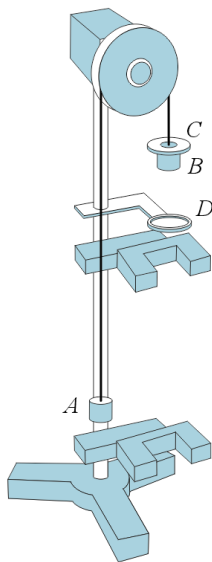
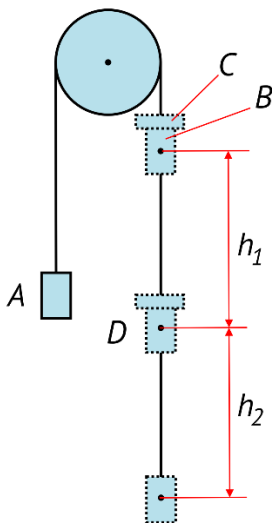


Рис. 1. Схема машины Атвуда

На машине Атвуда можно проверить законы равноускоренного движения и второй закон Ньютона, что и является целью работы. Эта проверка носит, однако, приближенный характер из-за наличия сил трения.



**Рис. 2.** Определение ускорения тела

### Определение ускорения тела

На участке ускоренного движения расстояние, пройденное телом, выражается уравнением:

$$h_1 = \frac{at^2}{2} \quad (1)$$

Ускорение тела может быть выражено:

$$a = \frac{V}{t_1} \quad (2)$$

где  $V$  – конечная скорость ускоренного движения.

Из уравнения (1) и (2) получим:

$$h_1 = \frac{V^2}{2a} \quad (3)$$

Рассмотрим теперь участок равномерного движения. Груз  $B$  проходит этот участок равномерно со скоростью  $V$ . Пройденное расстояние может быть записано следующим образом:

$$h_2 = Vt_2 \quad (4)$$

Из соотношений (3) и (4) определим:

$$h_1 = \frac{h_2^2}{2at_2^2} \quad (5)$$

Из последнего соотношения определим ускорение:

$$a = \frac{h_2^2}{2h_1t_2^2} \quad (6)$$

Итак, для определения ускорения тела надо измерить:

1.  $h_1$  – расстояние, пройденное при равноускоренном движении;
2.  $h_2$  – расстояние, пройденное телом при равномерном движении;
3.  $t_2$  – время прохождения телом участка равномерного движения.

### Проверка второго закона Ньютона

Напишем закон движения груза  $B$  с перегрузом  $C$ . При расчетах будем пользоваться неподвижной системой координат, центр которой совмещен с осью блока (рис. 3).

Обозначим  $M$  – масса одного из грузов  $A$  и  $B$ ,  $m$  – масса перегруза  $C$ .

На груз  $B$  с перегрузом  $C$  действует сила, направленная вниз:

$$P + P_1 = (M + m) \cdot g \quad (7)$$

и сила натяжения нити  $T$ , направленная вверх.

Поскольку груз  $B$  с перегрузом  $C$  движется вниз, можно предположить, что  $(P + P_1) > T$  и результирующая сила имеет вид:

$$(P + P_1) - T = (M + m) \cdot a \quad (8)$$

Она сообщает массе  $(M + m)$  ускорение  $a$ .

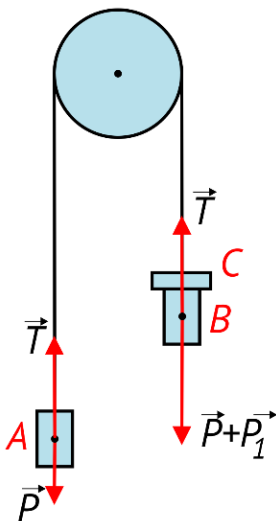


Рис. 3. Проверка второго закона Ньютона

Аналогично, результирующая сила, действующая на груз А:

$$T - P = M \cdot a \quad (9)$$

Решая систему уравнений (8) и (9) методом сложения, получим:

$$P_{1Э} = (2M + m) \cdot a \quad (10)$$

Последнее выражение является записью второго закона Ньютона, объясняющее движение системы грузов с ускорением  $a$ , под действием силы  $P_1$ .

Значение  $P_{1Э}$ , вычисленное по формуле (10) после подстановки значений  $M$ ,  $m$  и  $a$  (см. (6)), должно быть близким к весу перегрузка  $P_{1Т}$ .

$$P_{1Т} = mg \quad (11)$$

Это и есть **проверка второго закона Ньютона**.

### **Определение ускорения свободного падения**

Если переписать уравнение (11), заменив  $P_1 = mg$

$$mg = (2M + m) \cdot a \quad (12)$$

то можно получить:

$$g = \frac{2M + m}{m} a \quad (13)$$

Подставим в это выражение значение ускорения  $a$  из формулы (6), тогда:

$$g_{Э} = \frac{2M + m}{m} \frac{h_2^2}{2h_1 t_2^2} \quad (14)$$

*Экспериментальное* значение земного ускорения получится, если подставить в формулу (14) значения  $M$ ,  $m$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $t_2$ .

В качестве *теоретического* значения ускорения свободного падения будем использовать табличное значение  $g_T = 9,8 \text{ м/с}^2$

### ХОД РАБОТЫ

1. Измерить расстояние  $h_1$  между верхним и средним кронштейнами;
2. Измерить расстояние  $h_2$  между средним и нижним кронштейнами с датчиками;
3. Поместить груз  $B$  в верхнее исходное положение так, чтобы нижний конец его совпал с горизонтальной отметкой на верхнем кронштейне;
4. Нажать клавишу «СБРОС», приведя показания секундомера к нулевому значению;
5. Нажать клавишу «ПУСК», чтобы отключить электромагнит, стопорящий блок. При прохождении груза  $B$  мимо датчиков секундомер автоматически срабатывает.
6. Записать измеренное по секундомеру время равномерного движения  $t_2$ ;
7. Эксперимент **повторить 5 раз** (п.3–6).
8. Определить значения  $a$ ,  $P_{1Э}$ ,  $P_{1Г}$ ,  $g_{Э}$ , по формулам (6), (10), (11), (14).

9. Определить погрешности  $\frac{\Delta g}{g}$  и  $\Delta g$  по формуле

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{2\Delta M + \Delta m}{2M + m} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta h_2}{h_2} + \frac{\Delta h_1}{h_1} + \frac{2\Delta t_2}{t_2}$$

10. Сделать выводы.

**Таблица**

| №                | $h_1$ ,<br>м | $h_2$ ,<br>м | $t_2$ ,<br>с | $a$ ,<br>м/с | $P_{1Э}$ ,<br>Н | $P_{1Т}$ ,<br>Н | $g_{Э}$ ,<br>м/с <sup>2</sup> | $g_{Т}$ ,<br>м/с <sup>2</sup> | $\frac{\Delta g}{g}$ | $\Delta g$ ,<br>м/с <sup>2</sup> |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| 1                |              |              |              |              |                 |                 |                               |                               |                      |                                  |
| 2                |              |              |              |              |                 |                 |                               |                               |                      |                                  |
| 3                |              |              |              |              |                 |                 |                               |                               |                      |                                  |
| 4                |              |              |              |              |                 |                 |                               |                               |                      |                                  |
| 5                |              |              |              |              |                 |                 |                               |                               |                      |                                  |
| Среднее значение |              |              |              |              |                 |                 |                               |                               |                      |                                  |

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение скорости, средней скорости и мгновенной скорости.
2. Какое движение называется равноускоренным?
3. Ускорение (определение, основная формула).
4. Что называется свободным падением?
5. Путь при равномерном движении (формула).
6. Путь при равноускоренном движении (формула).
7. Что такое сила? (определение, формула).
8. Масса – это мера инертности. Объясните смысл данного выражения.
9. Выведите уравнение ускорения земного тяготения.
10. Почему машина Атвуда позволяет измерять ускорение свободного падения  $g$  при малых расстояниях, проходимых падающим телом?