

Общий физический практикум. Задача «Машина Атвуда»

Цель работы: изучение законов равноускоренного движения. Экспериментальное определение ускорения свободного падения.

I. ВВЕДЕНИЕ

Машина Атвуда является классической лабораторной установкой для демонстрации действия законов Ньютона.

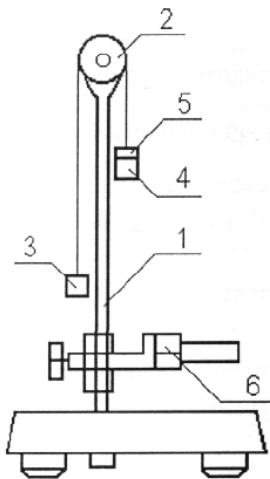
Первый закон Ньютона. Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальная точка при отсутствии внешних воздействий движется равномерно и прямолинейно.

Второй закон Ньютона. В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое получает материальная точка, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе.

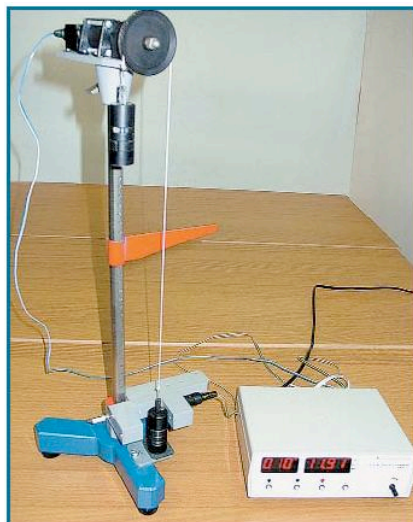
$$ma = \sum_i F_i$$

Третий закон Ньютона. Силы взаимодействия между материальными точками направлены вдоль прямой, соединяющей эти точки, равны по модулю и противоположны по направлению.

$$\vec{F}_{2 \rightarrow 1} = -\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$$



Машина Атвуда состоит из укрепленного на штативе 1 блока 2, через который перекинута нить с подвешенными на ней одинаковыми грузами 3 и 4. Масса этих грузов может быть увеличена добавочными небольшими грузами (разновесами) 5. Если на груз массы M положить разновес с массой m , то вся система начнет двигаться равноускоренно. На штативе закреплен *фотоэлектрический датчик* 6, соединенный с *таймером*. Система грузов удерживается в состоянии покоя специальной фрикционной муфтой, управляемой с помощью электромагнита.



Технические характеристики

Количество наборных грузов, шт.	2
Масса грузов, г	от 50 до 150
Количество разновесов, шт.	8
Масса разновесов, г	от 10 до 50
Максимальное перемещение наборного груза, мм	250
Габаритные размеры, мм	250x210x570
Масса, кг	5

На груз 4 (масса груза M , масса разновеса m) действуют две силы: сила тяжести $g(M + m)$ и сила натяжения правой части нити T_2 . По второму закону Ньютона:

$$(M + m)a_2 = (M + m)g - T_2. \quad (1)$$

Для груза 3 (масса M) по аналогии:

$$Ma_1 = Mg + T_1. \quad (2)$$

В силу нерастяжимости нити

$$a_1 = -a_2 = a. \quad (3)$$

Пренебрегая трением, и поскольку масса блока по сравнению с массой грузов мала, то раскручивание не требует приложения к нему крутящего момента, и силы натяжения нити по обе стороны от блока равны

$$T_1 = T_2 = T. \quad (4)$$

Из (1), (2), (3), (4) получаем:

$$a = \frac{mg}{2M + m}, \quad (5)$$

$$g = \frac{(2M + m)}{m} a. \quad (6)$$

Упражнение 2.

Для равноускоренного движения зависимость координаты тела от времени имеет вид:

$$x = x_0 + \frac{at^2}{2}, \quad (7)$$

где x_0 - координата начального положения тела, а x - текущая координата.

При равноускоренном движении

$$v = v_0 + at, \quad (8)$$

в нашем случае начальная скорость $v_0=0$.

Из (7) и (8) получаем $S = \frac{v^2}{2a}$.

1. Используя данные предыдущего упражнения, для каждого значения S определить значение скорости $v = \frac{S}{\langle t \rangle}$ и квадрата скорости v^2 .

2. Построить график зависимости $v^2(S)$. Убедиться, что эта зависимость близка к пропорциональной зависимости, т.е. движение груза является равноускоренным и выполняется уравнение(8). С помощью метода наименьших квадратов определить наклон прямой. По наклону прямой найти значение ускорения a и погрешность его определения.

Упражнение 3. Проверка второго закона динамики.

Согласно второму закону Ньютона:

$$a_y = \frac{\sum F_{iy}}{\sum M_i},$$

где $\sum F_{iy}$ – сумма проекций всех сил на выбранную ось, $\sum M_i$ – суммарная система грузов.

1-й этап. Проверка справедливости прямой пропорциональности ускорения и равнодействующей всех приложенных сил.

Измерения проводить для двух случаев. Если обозначить сумму проекций всех сил на ось ОУ в первом случае F_1 , а во втором F_2 , тогда должно выполняться равенство

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

1-й случай. На грузе А помещены несколько разновесов (общей массой более 15 г). Если обозначить m массу всех разновесов, тогда сумма проекций всех сил на ось ОУ $F_1=mg$. Разновесы желательно выбрать таким образом, чтобы масса одного из них m_0 была бы значительно меньше суммарной массы остальных, т.е. $m_0 \ll m - m_0$.

После выключения электромагнита система приходит в движение под действием силы $F_1=mg$. Грузы проходят путь S до фотодатчика равноускоренно. Причем ускорение определяется по формуле:

$$a_1 = \frac{2S}{t_{1cp}^2},$$

2-й случай. Переложить из общего числа разновесов, находящихся на грузе А, разновес с наименьшей массой m_0 на груз В. Теперь движение системы будет происходить под действием силы $F_2=(m - 2m_0)g$. Определить время движения системы t_{cp} и найти ускорение

$$a_2 = \frac{2S}{t_{2cp}^2},$$

Вычислить отношение сил $\frac{F_1}{F_2}$ и ускорение $\frac{a_1}{a_2}$

Табл. 2.

№ п/п	ΣM , кг	S, м	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_{cp} , с	$a=2S/t_{cp}^2$, $\frac{м}{с^2}$	a_1/a_2 ,	F_1/F_2 ,
1	0,121	0,32							1,12
2									

2-й этап. Проверка справедливости $a \approx \frac{1}{M}$ при $F = \text{const}$, т.е. должно выполняться равенство

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{\sum M_{i2}}{\sum M_{i1}}$$

при неизменной движущей силе F.

Измерения проводить для двух случаев.

1-й случай. Все разновесы находятся на грузе А. Найти ускорение системы так же, как это делалось на 1-м этапе.

2-й случай. Добавить по одинаковому разновесу m_1 на груз А и на груз В. В результате масса системы увеличится на $2m_1$, а отношение будет иметь вид

$$\frac{\sum M_{i2}}{\sum M_{i1}} = \frac{2M + m + 2m_1}{2M + m},$$

где $M=M_A=M_B$,

m – первоначальная суммарная масса разновесов на грузе А,

$2m_1$ – масса добавленных разновесов

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{2S_1}{t_{cp1}^2} \cdot \frac{2S_2}{t_{cp2}^2}$$

Полученные данные занести в таблицу 3.

Табл. 3.

№ п/п	F=mg	S, м	$\sum M_i$, кг	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_{cp} , с	$a=2S_1/t_{cp}^2$, м/с ²	a_1/a_2 ,	$\sum M_{i2}/\sum M_{i1}$,
1										
2										

Сравнить $\frac{F_1}{F_2}$ и ускорение $\frac{a_1}{a_2}$.

III. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое инерциальные и неинерциальные системы отсчета?
Сформулировать первый закон Ньютона.
2. Что такое масса, как ее измерить?
3. Что такое сила, как ее измерить?
4. Сформулировать второй закон Ньютона.
5. Сформулируйте условия свободного падения.
6. При движении грузов нить действует и на груз 3 и на блок 2. Равны ли эти силы по модулю? почему?
7. Равны ли силы натяжения правой и левой нити? Изменяется ли натяжение нити (при движении грузов), если один разновес заменить другим?
8. Рассчитать силу давления блока на ось.
9. Найти силу давления разновеса 5 на груз 4.
10. Как изменится ускорение системы, если увеличить массу постоянных грузов M (не меняя массы разновесов и сил трения)?