

Лаб. работа 2М1

Самар. гос. аэрокосм. ун-т
им. С.П.Королева

Изучение законов
поступательного движения
на приборе Амбуда

[Самара, 1996]

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
ПО МАШИНЕ АТВУДА.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Определение ускорения при равноускоренном движении. Оценка величины сил трения покоя и скольжения.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: Машина Атвуда, набор перегрузков.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ.

Классической установкой для изучения законов кинематики и динамики поступательного движения является машина Атвуда, общий вид которой приведен на рис. 1.

На вертикальной стойке (1) основания (2) расположены три кронштейна: нижний (3), средний (4) и верхний (5).

На верхнем кронштейне (5) крепится легкий алюминиевый блок, вращающийся с малым сопротивлением в подшипниках. Через блок перекинута тонкая эластичная нить (6) с грузами одинаковой массы M . На верхнем же кронштейне находится электромагнит (7), который при подаче на него напряжения, удерживает систему с грузами в неподвижном состоянии.

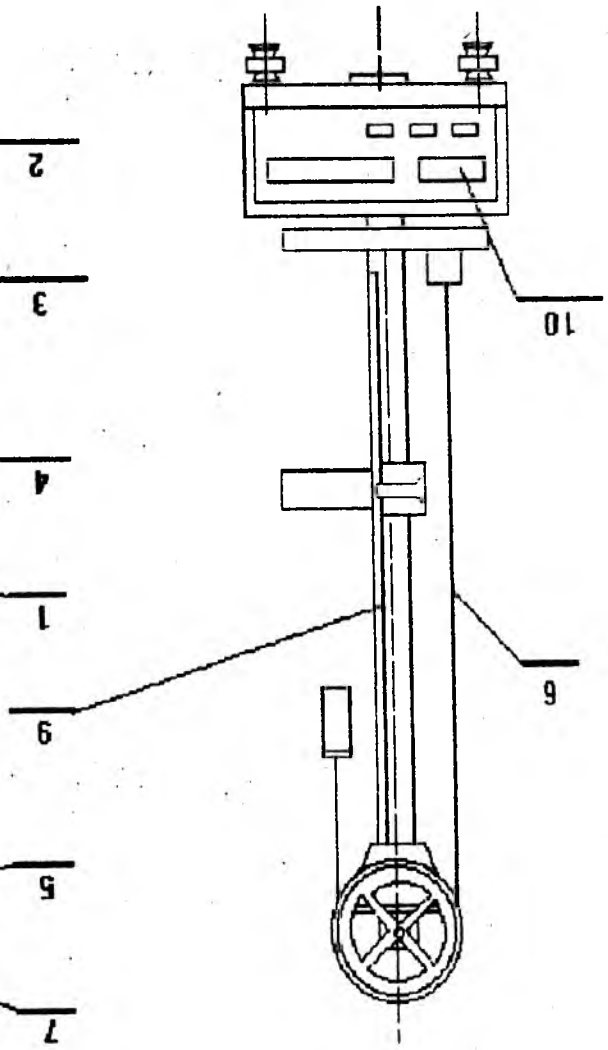
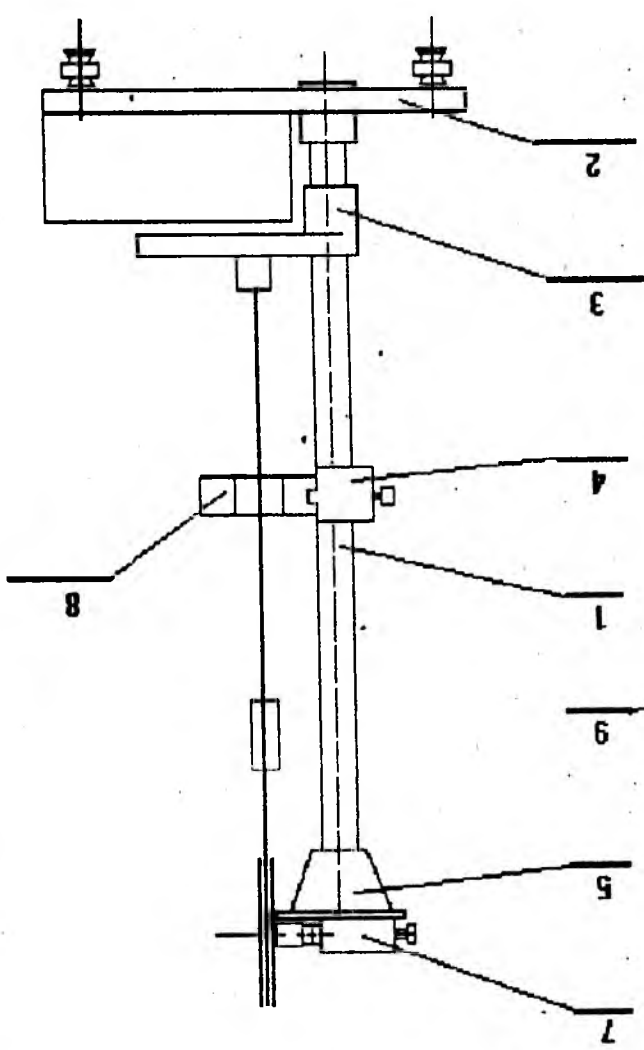
На среднем кронштейне (4) находится фотодатчик (8), который выдает электрический сигнал окончания счета времени равноускоренного движения грузов. Оптическая ось фотодатчика совпадает с риской на корпусе среднего кронштейна.

Нижний кронштейн (3) представляет собой площадку с резиновым амортизатором, о который ударяется груз при его остановке.

Средний и нижний кронштейны имеют возможность свободно перемещаться и фиксироваться на вертикальной стойке 1 по всей её свободной длине. На вертикальной стойке (1) укреплена миллиметровая линейка (9), по которой определяется начальное и конечное положение грузов, а следовательно и пройденный путь. Начальное положение определяют по нижнему срезу груза, конечное по риске на среднем кронштейне.

Миллисекундомер (10) с цифровым индикатором времени жестко закреплен на основании и соединен кабелем с фотоэлектрическим датчиком (8). На лицевой панели секундомера имеются 3 кнопки: "сброс", "пуск" и "сеть". Если на концах нити висят грузы одинаковой массы M , система находится в состоянии безразличного равновесия. Когда на один из грузов положен перегрузок массой m , система выходит из равновесия и начинает двигаться равноускоренно под действием силы тяжести перегрузка и т.д. При этом, если масса перегрузка m много меньше массы груза M : $m \ll M$, то движение будет происходить с ускорением a , много меньшим ускорения свободного падения g ; $a \ll g$ (см. ниже), что существенно увеличивает время измерений, позволяя получить результаты, не используя специальных методов.

В комплект дополнительных грузов входит несколько перегрузков, что позволяет исследовать движение с разными ускорениями. На каждый груз (рис.2) действуют две силы: сила тяжести и натяжения нити, под действием которых грузы движутся. Предполагая, что блок невесом, нить невесома и не растяжима, а сила трения в блоке мала, получим, что ускорения a обоих



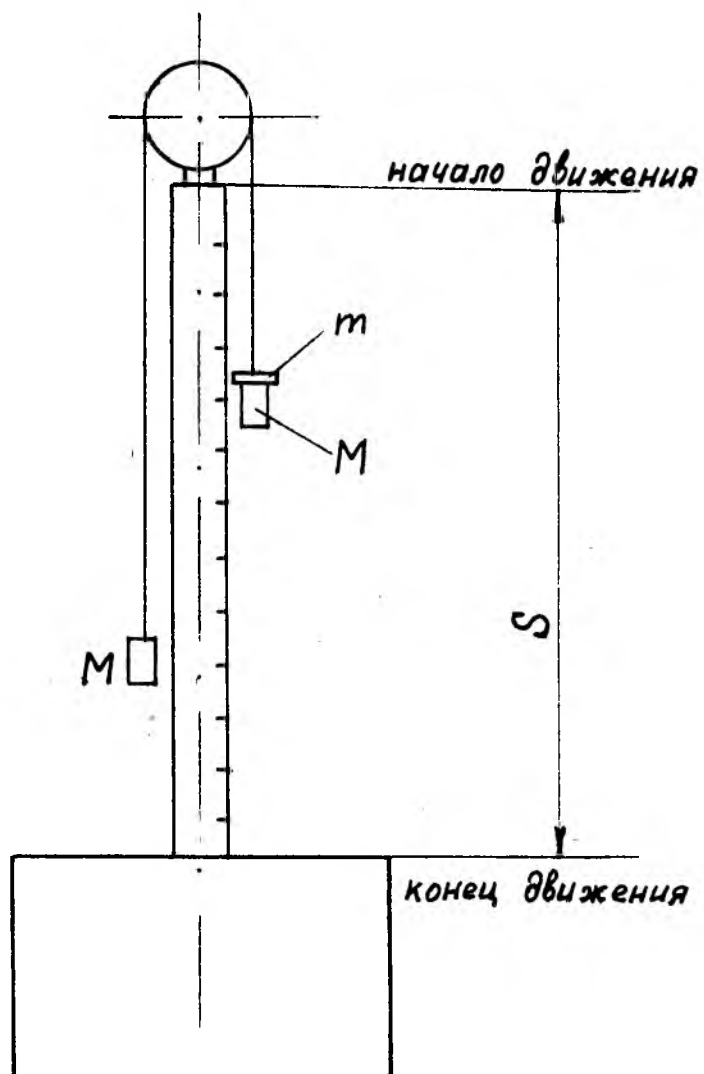


Рис. 2

грузов будут одинаковыми по модулю и противоположными по направлениям, а натяжение нити T справа и слева одинаково.

На основании второго закона Ньютона можно записать в проекции на ось y : для груза с перегрузком

$$(M+m)g - T = (M+m)a \quad (1),$$

для груза без перегрузка

$$Mg - T = Ma \quad (2),$$

Из уравнений (1) и (2) получим теоретические значения ускорения

$$a_T = \frac{mg}{2M+m} \quad (3).$$

Экспериментальное значение ускорения можно найти, используя соотношение

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (4),$$

где S - путь, пройденный грузами,
 t - время движения грузов,

$$a_3 = \frac{2S}{t^2} \quad (5).$$

Из условия (3) действительно видно, что при $m \ll M$ ускорение $at \ll g$, что, как говорилось, увеличивает время падения. Во времена Атвуда, когда используемое здесь оборудование не существовало, возможность использовать обычный секундомер была принципиальной.

Реальное значение ускорения a_3 будет меньше найденного a_T по формуле (3), т.к. в уравнениях движения не учитывалась сила трения в подшипниках оси блока и сила трения скольжения нити по блоку.

Значение силы трения скольжения можно оценить учтя её в уравнениях (1), и сравнивая результат с экспериментальным значением (5):

$$a_3 = \frac{mg - F_{тр ск}}{2M+m} \quad (6),$$

откуда

$$F_{тр ск} = mg - a_3(2M+m)$$

Это выражение с учетом значения at , определенного формулой (3) удобно переписать в виде:

$$F_{тр ск} = (2M+m)(a_T - a_3)$$

При $m \ll M$ приходим к окончательному выражению:

$$F_{тр ск} = 2M(a_T - a_3) \quad (7)$$

Данный эксперимент, кроме силы трения скольжения, позволяет определить максимальную силу трения покоя, а значит и минималь-

ную массу перегрузки, необходимую для того, чтобы привести систему в движение.

Для этого следует построить график зависимости $a = f(m)$. При этом на оси абсцисс отложим значения массы перегрузка, а на оси ординат значения ускорения a , рассчитанные по формуле (5), и a_T , вычисленные при данном значении массы перегрузка по формуле (3). Через полученные точки проведем две прямые.

Проведенную через экспериментальные точки прямую продолжают до пересечения с осью абсцисс и получают значение минимальной величины перегрузка m_{min} , не вызывающего движения грузов ($a = 0$). Это позволяет оценить значение силы трения покоя

$$F_{трск} = m_{min} \cdot g \quad (8).$$

Из графика также видно, что сила трения скольжения вызывает систематическую погрешность в экспериментально найденном значении ускорения.

ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ.

1. Ознакомиться с установкой.
2. Одеть на блок нить с большими грузами равной массы, проверить, находится ли система в состоянии безразличного равновесия.
3. При помощи регулируемых кнопок основания привести колонну прибора к вертикальному положению, используя при этом нить с грузиками как отвес.
4. Установить средний кронштейн с фотодатчиком на высоте, указанной в упражнении, так, чтобы правый груз при движении проходил посередине рабочего окна фотодатчика.
5. Включить в сеть шнур питания миллисекундомера.
6. Нажать на кнопку "Сеть", при этом должна загореться лампочка с цифровой индикацией и лампочка фотодатчика.
7. Нажать на кнопку "Пуск", переместить правый грузик в верхнее положение и отжать кнопку "Пуск". Проверить, произошла ли блокировка блока. Положить на грузик перегрузок и убедиться, что система находится в состоянии покоя.
8. Нажать на кнопку "Сброс" миллисекундомера, убедиться, что на цифровых индикаторах произошло обнуление показаний.
9. Нажать кнопку "Пуск" миллисекундомера и, удерживая её, убедиться, что система пришла в движение, миллисекундомер отсчитывает время и при пересечении правым грузом оптической оси фотоэлектрического датчика счет времени прекращается.
10. Отжать кнопку "Пуск" миллисекундомера.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Привести подвижную систему в исходное состояние, установив правый груз в крайнем верхнем положении.
2. Нажать на кнопку "Сеть" миллисекундомера, при этом должен сработать электромагнит.
3. Положить на правый груз один из перегрузков.
4. Установить средний кронштейн на расстоянии 40 см от нижнего края правого груза.
5. Нажать на кнопку "Пуск" миллисекундомера.
6. Записать показания миллисекундомера времени равноускоренного движения грузов.
7. Опыт повторить 3 раза. Результаты записать в таблицу 1.
8. Не меняя положения среднего кронштейна опыты 1 - 7 проделать с другими перегрузками.
9. Изменить положение среднего кронштейна. Рекомендуемые значения высот: 40, 30, 20 см.
10. Опыт 1 - 8 проделать в той же последовательности перегрузков с другими высотами.

ТАБЛИЦА N 1.

Определение экспериментальных значений времени движения грузов.

h = 40 см

h = 30 см

h = 20 см

NN опыта	Масса перегрузка m, г	Время движения грузов t, с
1 2 3	$m_1 =$	
4 5 6	$m_2 =$	
7 8 9	$m_3 =$	

NN опыта	Масса перегрузка m, г	Время движения грузов t, с
1 2 3	$m_1 =$	
4 5 6	$m_2 =$	
7 8 9	$m_3 =$	

NN опыта	Масса перегрузка m, г	Время движения грузов t, с
1 2 3	$m_1 =$	
4 5 6	$m_2 =$	
7 8 9	$m_3 =$	

ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

1. Вычислить путь, проходимый грузами в трех сериях опытов по формуле $S = h - h_0$, где h - координата нижнего края груза в верхнем (исходном) положении. Результаты расчета записать в таблицы 2 для каждого значения перегрузка.
2. Рассчитать среднее время прохождения пути S и записать результаты в соответствующие строчки таблицы 2.
3. По среднему значению времени равноускоренного движения вычислить ускорение a_z по формуле (5), занести в таблицу N 1.
4. Вычислить ускорение a_T по формуле (3), и записать в таблицу N 1.
5. На один график нанести $a_z = f(m)$ и $a_T = f(m)$, которые должны представлять собой линейные функции. Прямые следует проводить так, чтобы они лежали возможно ближе к точкам и чтобы по обе стороны прямых оказалось примерно равное количество точек.
6. Полученный график $a_z = f(m)$ продолжить до пересечения с осью абсцисс. Найти по графику значение минимальной массы перегрузка m_{\min} , при котором не будет движения, т.е. $a = 0$. Оценить величину силы трения покоя $F_{\text{тр пок}}$ по формуле (8).

ТАБЛИЦА N 2.

Определение экспериментальных и теоретических значений ускорения подвижной системы.

m 1 =

Путь пройденный грузами	Среднее время прохождения пути S	Экспериментальное значение ускорения	Теоретическое значение ускорения
S, см	t, с	$a_{\text{э}}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$a_{\text{т}}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

m 2 =

Путь пройденный грузами	Среднее время прохождения пути S	Экспериментальное значение ускорения	Теоретическое значение ускорения
S, см	t, с	$a_{\text{э}}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$a_{\text{т}}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

m 3 =

Путь пройденный грузами	Среднее время прохождения пути S	Экспериментальное значение ускорения	Теоретическое значение ускорения
S, см	t, с	$a_{\text{э}}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$a_{\text{т}}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

7. Определить по графикам $a_{\text{Э}}(t)$ и $a_{\text{T}}(t)$ значения $a_{\text{Э}}$ и a_{T} , соответствующие одному значению массы перегрузка m , взятому произвольно на оси абсцисс. Рассчитать по формуле (9) значения силы трения скольжения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Чему равна угловая скорость вращения блока ?
2. Как связаны друг с другом сила трения покоя и сила трения скольжения тела ?
3. Найти погрешность измерения ускорения (3), возникающую из-за пренебрежения массой блока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука. 1977. т. 1.
2. Сивухин Д.В. Механика. т. 1. М.: Наука. 1988.