

Лабораторная установка

Машина Атвуда

Методическое пособие

Лабораторная работа 6А Машина Атвуда.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

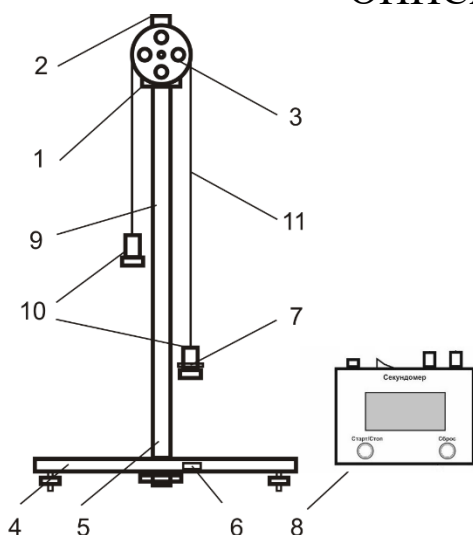
Получить экспериментальное значение ускорения свободного падения с помощью машины Атвуда,

2. ЗАДАЧИ

1. Закрепление студентами основных понятий и законов кинематики и динамики.
2. Экспериментальное определение ускорения свободного падения

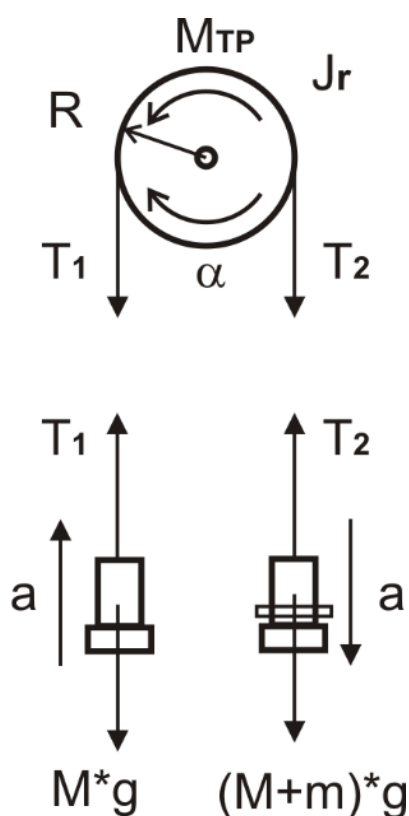
3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ



Основной частью установки является юстируемая станина 4 с закрепленной на ней трубой 9. В вершине трубы установлена основа 1 с неподвижной осью, электромагнитный стопор 2 (с кнопкой включения ЭС) и ролик 3. Ролик 3 относительно оси основы закреплен на двух подшипниках, позволяющих ему свободно вращаться вокруг оси. Через ролик 3 переброшена нить 11 (условно не растяжимая и невесомая) с подвешенными на ее концах грузами 10 одинаковой массы. Если на правый груз поместить перегрузок 7, на ролике 3 возникнет момент вращения. При включенном стопоре 2 система ролик - грузы будет неподвижна. Нажав кнопку «СТАРТ» на секундомере 8 мы выключим электромагнитный стопор 2 и, одновременно, запустим отсчет секундомера 8. Грузы 10 придут в движение и, когда груз с перегрузком 7 коснется поверхности станины 4, сработает датчик 6, что приведет к остановке отсчета секундомера 8.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ



Если на инерциальную систему воздействуют нескомпенсированные силы, она приходит в ускоренное движение. На рис. 2 схематично приведена машина Атвуда с приложенными к ее элементам силами. Здесь J_r и R – момент инерции вращения и радиус ролика соответственно, $M_{тр}$ – момент трения, возникающий при вращении ролика, α – угловое ускорение ролика, M – масса груза, m – масса перегрузка, T_1 и T_2 – сила натяжения левой и правой нитей соответственно, a – ускорение движения грузов, g – ускорение свободного падения.

Записав уравнения равновесия для каждого из трех элементов, представленных на рис. 2, мы получим систему из трех уравнений, полностью описывающих движение машины Атвуда при условии нерастяжимости нити и отсутствии ее проскальзывания в ролике:

$$\begin{cases} M \cdot a = T_1 - M \cdot g \\ (M + m) \cdot a = (M + m) \cdot g - T_2 \\ J_r \cdot \alpha = (T_2 - T_1) \cdot R - M_{тр} \end{cases} \quad (1)$$

Решая эту систему уравнений, мы получим формулу для определения ускорения грузов:

$$a = \frac{m \cdot g - \frac{M_{тр}}{R}}{2 \cdot M + m + \frac{J_r}{R^2}} \quad (2)$$

Экспериментально получив значение a , можно оценить значение g . Преобразуем (2), разделив числитель на знаменатель:

$$a = \frac{g}{2 \cdot M + m + \frac{J_r}{R^2}} \cdot m - \frac{M_{тр}}{R \cdot (2 \cdot M + m + \frac{J_r}{R^2})} \quad (3)$$

Так как в нашем случае $2 \cdot M \gg m$, можно записать

$$a = \frac{g}{2 \cdot M + \frac{J_r}{R^2}} \cdot m - \frac{M_{TP}}{R \cdot (2 \cdot M + \frac{J_r}{R^2})} \quad (4)$$

Тогда, ускорение грузов системы a линейно зависит от массы перегрузка m , т.е. (4) – уравнение прямой линии

$$a = k \cdot m + b. \quad (5)$$

Экспериментально получив зависимость времени прохождения груза S от общей массы перегрузков и используя уравнение движения материальной точки

$$S = \frac{a \cdot t^2}{2}, \quad (6)$$

необходимо построить график

$$a = f(m)$$

Построив эту зависимость и определив угловой коэффициент прямой, из (4) можно найти ускорение свободного падения g .

$$g = \left(2 \cdot M + \frac{J_r}{R^2} \right) \cdot k \quad (7)$$

Из (4), также, можно определить момент трения, возникающий в узле вращения ролика

$$M_{TP} = -b \cdot \left(2 \cdot M + \frac{J_r}{R^2} \right) \cdot R \quad (8)$$

Зная g можно перейти к оценке выполнения второго закона Ньютона.

Следует отметить, что для данной установки $M = 98 \pm 0,5 \text{ г}$, $m = 2,5 \pm 0,01 \text{ г}$, $J_r = 0,86 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $R = 33 \text{ мм}$.

ОБОРУДОВАНИЕ: машина Атвуда, электронный секундомер, линейка.

З а д а н и е 1. Определение ускорения свободного падения. Определение момента трения ролика.

1. Подвесьте на ролик два груза. Убедитесь, что система находится в равновесии.
2. Опустите левый груз на станину и включите секундомер. Кнопкой «СБРОС» включите электромагнитный стопор.

3. Линейкой измерьте расстояние от нижней кромки правого груза до станины S. Занесите значение в таблицу 1 в метрах.
4. Поскольку имеется трение в подшипнике ролика, сначала поместите на правый груз сразу два перегрузка.
5. Нажмите (уверенно) кнопку «СТАРТ» на секундомере, измерьте время опускания груза до станины. Запишите результат в таблицу 1. Повторите измерение 3-4 раза. Кнопка «СБРОС» заново включит электромагнитный стопор.
6. Повторите измерения для другого количества перегрузков -3, 4, 5 (см. таблицу 1).
7. Вычислите среднее время

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \text{для каждого столбца.} \quad (11)$$

Таблица

№	Перегрузок, m_i г	$m_1=5$	$m_2=7,5$	$m_3=10,0$	$m_4=12,5$
1	Время, с.				
2					
3					
4					
5					
S= м	среднее				
$a_i=2 \cdot S/t^2$ м/с	-	$a_1=$	$a_2=$	$a_3=$	$a_4=$

8. Вычислите ускорение системы

$$a = \frac{2 \cdot S}{t^2} \quad (12)$$

для каждого столбца.

9. Постройте график зависимости $a=a(m)$. Определите угловой коэффициент k и постоянную b (см. 5) графически. При расчетах не забудьте перевести все значения в систему «СИ» (граммы в килограммы, миллиметры в метры).

Для более точного определения k и b можно воспользоваться Методом наименьших квадратов (МНК). Для прямой используются следующие формулы, определим среднее

$$m_C = \sum_1^n \frac{m_i}{n} \quad a_C = \sum_1^n \frac{a_i}{n} \quad (13)$$

тогда

$$k = \frac{\sum_1^n (m_i - m_C) \cdot a_i}{\sum_1^n (m_i - m_C)^2} \quad (14)$$

и

$$b = a_C - k \cdot m_C \quad (15)$$

10. По формуле (7) определите ускорение свободного падения

$$g_{\text{exp}} = \left(2 \cdot M + \frac{J_r}{R^2} \right) \cdot k.$$

11. По формуле (8) определите момент трения узла ролика

$$M_{\text{тр}} = -b \cdot \left(2 \cdot M + \frac{J_r}{R^2} \right) \cdot R$$

12. Вычислите абсолютную погрешность

13. Запишите полученный результат в виде

$$g = g_{\text{exp}} \pm \Delta g$$

14. Вычислите относительную погрешность в процентах

15. Сравните с известным значением ускорения свободного падения. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Что называется материальной точкой? Системой отсчета?
2. Что называется траекторией? Как подразделяются движения по виду траектории?
3. Что такое перемещение? Что такое путь? При каких движениях путь и модуль перемещения совпадают?

4. Что называют радиус-вектором, мгновенной и средней скоростью, ускорением?
5. Как формулируется основной закон динамики поступательного движения?
6. Как определяется ускорение тела на машине Атвуда?
7. Как проверяется второй закон Ньютона в данной работе?
8. Какие причины влияют на расхождение теоретического и экспериментального значений ускорения?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Теоретические основы использования машины Атвуда для определения кинематических характеристик движущихся тел и проверки второго закона Ньютона.
3. Таблицы с данными измерений и результатами расчетов.
4. Расчет погрешностей измерений скорости и ускорения системы логарифмическим или дифференциальным методами.
5. Выводы по работе.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- усвоил понятия тела отсчета, системы отсчета, материальной точки, радиус-вектора, траектории, перемещения, пути, скорости, ускорения;
- овладел знанием методики определения кинематических характеристик поступательного движения, проверки второго закона Ньютона с помощью машины Атвуда;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- оформил отчет в соответствии с предъявляемыми требованиями;
- дал исчерпывающие ответы на контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Савельев И. В.* Курс физики. Т. 1. – СПб.: Издательство «Лань», 2018.
2. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Академия, 2016.
3. *Детлаф А. Н., Яворский Б. М.* Курс физики. – М.: Academia, 2015