

Лабораторная работа В1.02

ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ

Цель работы

Исследование движения тела с постоянным ускорением.

Задачи

1. Получить зависимости расстояния, скорости и ускорения тележки от времени.
2. Определить ускорение тележки.

Введение

Равноускоренным называют движение, при котором ускорение тела $\vec{a}$ остается неизменным по величине и направлению. Согласно второму закону Ньютона, такое движение является результатом действия на систему постоянной ускоряющей силы $\vec{F}$:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (1)$$

где m – масса тела.

Кинематические уравнения тела, движущегося с постоянным ускорением, имеют вид:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (2)$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \quad (3)$$

где $\vec{r}$ и $\vec{v}$ – радиус-вектор и скорость тела в некоторый момент времени t ,
 $\vec{r}_0$ и $\vec{v}_0$ – радиус-вектор и скорость тела в момент времени $t = 0$.

Рассмотрим систему, состоящую из груза массой m_1 , движущегося по

вертикали, и тела массой m_2 , движущегося по горизонтали. Тела соединены нитью, которая перекинута через блок (рис. 1).

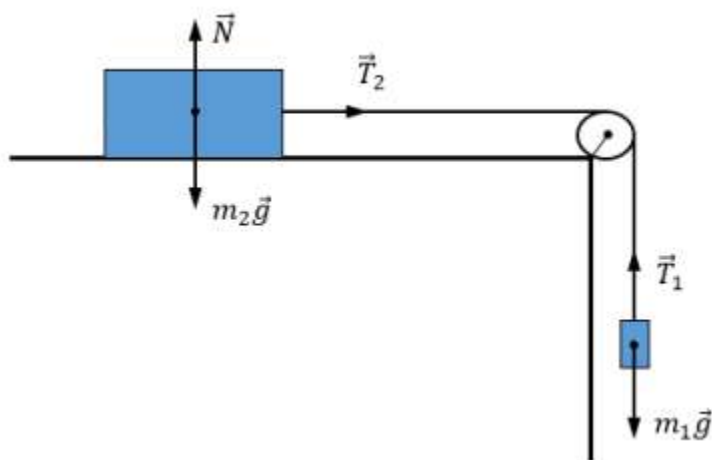


Рис. 1. Силы, действующие на систему тел, связанных нитью

Груз массой m_1 опускается под действием силы тяжести $m_1\vec{g}$. Согласно II закону Ньютона в проекции на вертикальное направление:

$$m_1 a_1 = m_1 g - T_1, \quad (4)$$

где T_1 – сила натяжения нити, a_1 – ускорение груза.

На второе тело массой m_2 действует сила натяжения нити T_2 , сила тяжести $m_2 g$ и сила реакция опоры N (силой трения между телом и горизонтальной поверхностью и сопротивлением воздуха в условиях лабораторной работы можно пренебречь). II закон Ньютона для второго тела в проекции на горизонтальную ось примет вид:

$$T_2 = m_2 a_2, \quad (5)$$

где a_2 – ускорение второго тела.

Если нить нерастяжима, то ускорения обоих тел будут одинаковы по

величине

$$a_1 = a_2 = a.$$

Так как масса блока и нити малы по сравнению с массами движущихся тел, и сила трения в блоке пренебрежимо мала, модули сил натяжения нити также будут одинаковы

$$T_1 = T_2 = T.$$

Исходя из этого, уравнения (4) и (5) примут вид:

$$m_1 g - T = m_1 a, \quad (6)$$

$$T = m_2 a.$$

Решая систему уравнений (6), получим

$$a = \frac{m_1 g}{m_1 + m_2}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что ускорение a не зависит от времени, то есть рассматриваемая система движется равноускорено. Если тела начинают движение из состояния покоя $v_0 = 0$, то кинематические уравнения (2) и (3) примут вид:

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

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (9)$$

где S – пройденный путь.

Качественный вид зависимостей скорости тел и пройденного пути от времени представлен на рисунках 2 и 3.

Соотношение (9) можно проверить экспериментально, изучив зависимость пути S , пройденного одним из тел, от времени t . Как следует из (9), зависимость $S(t)$ нелинейная. Поэтому для удобства экспериментальной проверки эту зависимость следует линеаризовать, т.е. использовать новые переменные, зависимость между которыми была бы линейной. В нашем случае такими переменными являются S и t^2 . Зная угловой коэффициент зависимости $S(t^2)$, можно определить ускорение грузов.

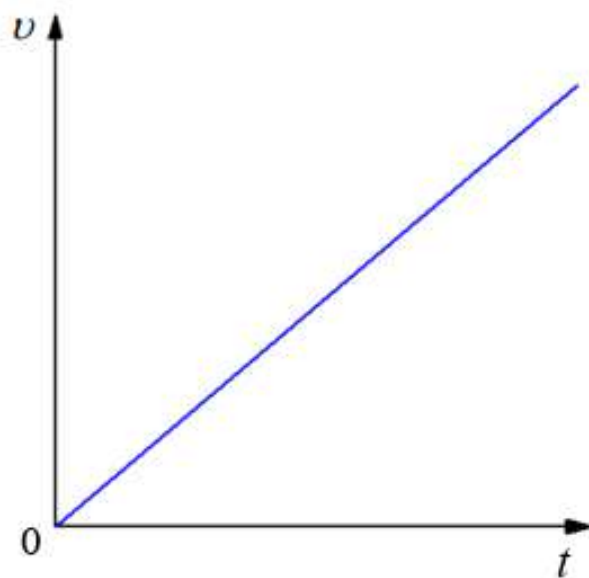


Рис. 2. Качественный вид зависимости скорости тел от времени при равноускоренном движении

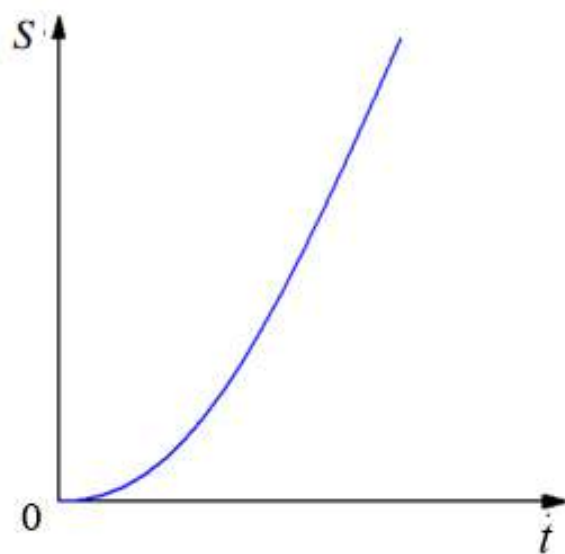


Рис. 3. Качественный вид зависимости пройденного пути от времени при равноускоренном движении

Экспериментальная установка

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 4.

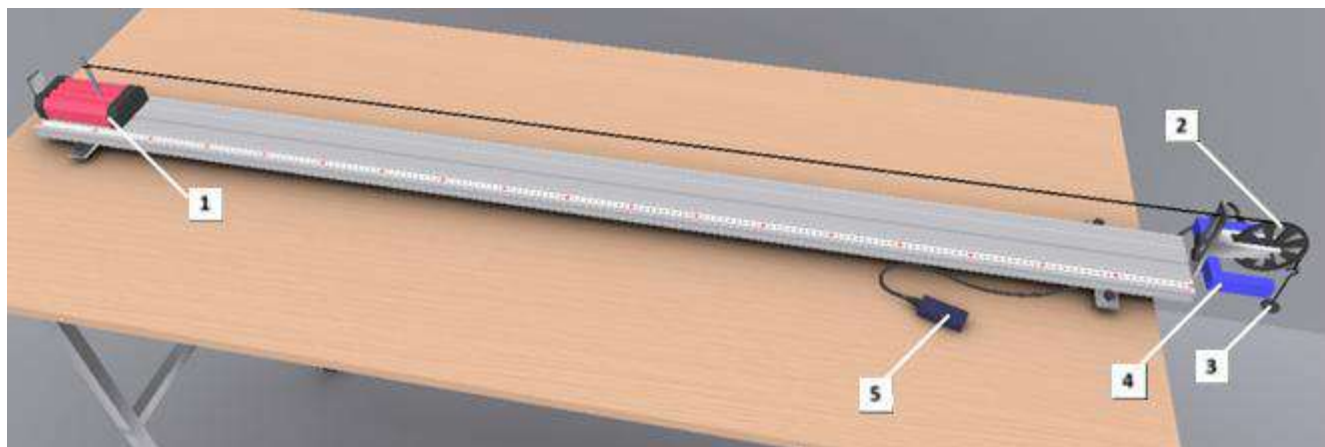


Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки. 1 – тележка, 2 – блок, 3 – груз, 4 – фотоэлектрический датчик, 5 – счетчик импульсов

По горизонтальным направляющим может перемещаться тележка 1, к которой прикреплена нить, перекинутая через блок 2. К свободному концу нити подвешен груз 3. Массу тележки m_2 и массу груза m_1 можно менять.

При вращении блока его спицы прерывают луч фотоэлектрического датчика 4, что позволяет с помощью счетчика импульсов 5 определять пройденный тележкой путь в любой момент времени.

В процессе эксперимента на экране можно отобразить зависимости расстояния S , скорости v и ускорения a тележки от времени t .

Порядок проведения эксперимента

1. Занесите в таблицу 1 предложенные преподавателем исходные данные: массу груза m_1 и массу тележки m_2 .
1. Запустите программу виртуальной лабораторной работы «Движение с постоянным ускорением». Нажмите кнопку «Начать эксперимент». Выполните пробный запуск с любыми параметрами.
2. С помощью кнопки «Отобразить график» получите на экране зависимости

$S(t)$, $v(t)$ и $a(t)$. Убедитесь, что вид зависимостей соответствует равноускоренному движению.

Таблица 1. Зависимости пройденного пути S , скорости v и ускорения a тележки от времени t

$m_1 =$ кг, $m_2 =$ кг					
№	t , с	t^2 , с ²	S , м	v , м/с	a , м/с ²
1					
2					
...					

2. На панели параметров эксперимента (рис. 5) установите заданные преподавателем значения массы груза m_1 и массы тележки m_2 .

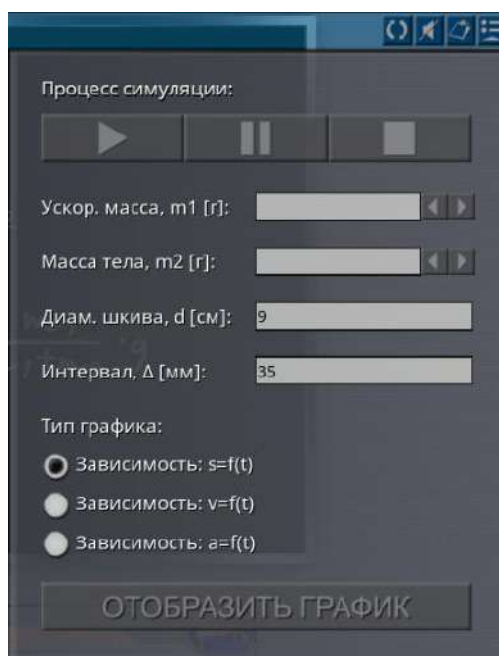


Рис. 5. Панель параметров эксперимента

3. Запустите процесс симуляции и после его завершения получите файл результатов измерений *data_sheet.csv*, в котором отображаются пройденное

расстояние, скорость и ускорение, соответствующие определенному моменту времени движения тележки.

4. Сохраните Excel-таблицу с экспериментальными данными.

Обработка результатов

1. Добавьте в сохранённую Excel-таблицу столбец с t^2 , (как это сделано в таблице 1). Заполните этот столбец, возводя в квадрат время.

2. По данным таблицы 1 постройте зависимость $S(t^2)$. Убедитесь, что зависимость линейная.

3. Для зависимости $S(t^2)$ методом парных точек вычислите угловой коэффициент k :

$$k = \frac{\Delta S}{\Delta(t^2)}.$$

Используйте для вычислений 5-6 пар точек из таблицы 1 так, чтобы значения в парах отстояли друг от друга на одинаковое расстояние. примерно равное половине пройденного пути. Результаты вычислений занесите в таблицу 2.

Таблица 2.Вычисление углового коэффициента зависимости $S(t^2)$

Пары точек i-j	$S_{ij},$ м	$\Delta(t_{ij}^2),$ с ²	$k_{ij},$ м/с ²	$k_{ij} - \langle k \rangle,$ м/с ²	$(k_{ij} - \langle k \rangle)^2,$ (м/с ²) ²
			$\langle k \rangle =$		$\sum_{ij} (k_{ij} - \langle k \rangle)^2 =$

4. Вычислите среднее значение, среднеквадратичное отклонение и случайную погрешность углового коэффициента Δk .

5. Вычислите ускорение движения тележки

$$a = 2 k.$$

6. Найдите погрешность ускорения

$$\Delta a = 2\Delta k.$$

7. Зная массы грузов m_1 и m_2 , определите теоретическое значение ускорения с помощью соотношения (7).
8. Сравните экспериментальное и теоретическое значения ускорения.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте второй закон Ньютона
2. Какие силы действуют на тела в эксперименте?
3. Меняется ли во время движения скорость и ускорение грузов? Почему?
4. Как изменится характер движения тел, если через некоторое время после начала движения нить оборвется?

Литература

1. Иванов В. К. Физика. Механика. Колебания: учеб. пособие/ В. К. Иванов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 224 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах / И. В. Савельев. — 17-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2021 — Том 1: Механика. Молекулярная физика — 2020. — 436 с.
3. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания / сост.: Б. Д. Агапьев, В. В. Козловский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – 61 с.