

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО"

Университет ИТМО

Физико-технический факультет

ОБЩАЯ ФИЗИКА ЛЕКЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Методические рекомендации
к проведению лекционных демонстраций по разделам:
механика, термодинамика, электромагнетизм, оптика, атомная физика

Санкт-Петербург, 2020

1 Теорема о движении центра масс системы.

1.1 Маятник на тележке.

1. Описание установки



Рис. 1: Маятник на тележке

Установка состоит из тележки с колесиками и математического маятника, закрепленного на ней. Маятник может свободно колебаться практически без трения.

2. Ход демонстрации

Маятник отводят от положения равновесия, а затем отпускают. Тележка начинает двигаться в противофазе с маятником, однако их центр масс, который был смещен, когда маятник отвели от положения равновесия, не перемещается относительно стола. Для наглядности можно нарисовать линию, где стояла тележка в начале эксперимента со стороны, противоположной той, в которую отводят маятник. Тележка никогда не пересечет эту линию, однако, если трение мало, то будет каждый период подъезжать к ней очень близко.

3. Теория эксперимента

В данной статье будут рассмотрены идеализированные условия для колебаний маятника, т.е. отсутствуют потери импульса и энергии за счет диссипативных сил.

Эксперимент основан на том, что движение центра масс не зависит от процессов происходящих внутри системы, то есть, если изначально центр масс неподвижен относительно стола, то, что бы ни происходило внутри нашей системы (в данном случае происходят могут колебания маятника и тележки), центр масс не будет смещаться. Изначально маятнику придали энергию $E_0 = m_p g h$ (m_p - масса маятника, m_t - масса тележки), когда отвели его от положения равновесия. Заметим, что центр масс также сместился и находится больше не в центре тележки, как это было до отведения маятника. Когда груз отпустили, он начал набирать скорость. Используя закон сохранения импульса в системе центра масс, можно получить, что тележка также начала двигаться, причем в противоположную относительно груза сторону:

$$\vec{p}_t + \vec{p}_p = 0$$
$$\vec{v}_t = -\frac{m_p}{m_t} \vec{v}_p$$

Когда маятник достигнет наивысшей точки, он остановится, как и тележка, так как суммарный импульс по-прежнему нулевой. За половину периода и маятник и тележка переместились, однако центр масс остался неподвижен. Видно, что мы снова получили наше начальное состояние, только теперь груз отведен в другую сторону и тележка немного сдвинулась. Во вторую половину периода наша система вернется в исходное состояние. Таким образом, несмотря на колебания маятника и тележки, целиком система никуда не движется и ее центр масс покоится во все моменты времени.

Можно также рассчитать частные амплитуд колебаний тележки и маятника, используя то, что амплитудное положение в данном случае есть положение с нулевой скоростью, то есть амплитуда колебаний тележки, например, будет расстоянием от ее центра до центра масс системы в начальный момент времени.

$$\vec{r}_c = \frac{\vec{r}_p m_p + \vec{r}_t m_t}{m_p + m_t}$$

$$A_p = |r_p - r_c|$$
$$A_t = |r_t - r_c|$$

$$A_p m_p = A_t m_t$$

Отметим, что данные формулы работают в случае малых колебаний, то есть когда $h \ll A_p$

Список литературы

- [1] Д. В. СИВУХИН, ОБЩИЙ КУРС ФИЗИКИ. Механика. Том I, стр. 68
- [2] Теория и задачи на тему центра масс