

УДК 621.385

## ВЛИЯНИЕ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ НА КОЛЕБАНИЯ КРУТИЛЬНОГО МАЯТНИКА

В. И. ЛЕБЕДЕВ, А. Б. СОТСКИЙ, Е. О. КОТЯШЕВ  
УО «МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А.А. Кулешова»  
Могилев, Беларусь

Крутильные маятники широко используют в различных измерительных системах. Они использовались, в частности, в классических экспериментах Кулона и Кавендиша. Обычно влияние вращения Земли на колебания маятника не учитывается, что, например, в случае опыта Кавендиша по измерению гравитационной постоянной может приводить к ошибкам в измерениях.

Колебания маятника относятся к самым древним физическим явлениям, его исследуют экспериментально и теоретически уже более 400 лет. Колебания маятника рассматривают во всех учебниках механики [1, 2]. Тем не менее, сведения о самопроизвольных (без использования источников внешней энергии) автоколебаниях маятника в литературе не обнаруживаются.

Маятник Фуко (1851 г.) использовался для наглядной демонстрации суточного вращения Земли и производит большое впечатление на зрителей до настоящего времени. Такие маятники установлены в некоторых учреждениях образования.

Маятник Фуко является обычным математическим маятником. После возбуждения внешним толчком плоскость его колебаний постепенно поворачивается относительно земной поверхности в сторону, противоположную направлению вращения Земли.

Малые крутильные автоколебания тела авторами были обнаружены случайно для зеркала на бифилярном подвесе. Для увеличения амплитуды автоколебаний потребовалось использование тела с более высокими значениями массы и момента инерции. В конечном варианте установки в качестве колеблющегося тела использовалась дюралевая пластина массой 72 г длиной 78 см и сечением 12x5 мм, иногда с дополнительными грузами, устанавливаемыми на ее концах. Пластина подвешивалась двумя нитями длиной 1,2 м на штативе. Расстояния между точками крепления нитей на опоре и на пластине можно изменять, регулируя тем самым период колебаний.

Штатив устанавливался на оптической скамье, развязанной от механических колебаний пола лаборатории. При определенном наборе параметров маятника максимальный угол отклонения пластины от положения равновесия может достигать 30 градусов. В этом случае флуктуации из-за

движения воздуха и колебаний пола в лаборатории не оказывают существенного влияния на автоколебания.

Количественно временная картина автоколебаний регистрировалась путем видеосъемки движения луча лазера на экране. Луч лазера отражался от вспомогательного зеркала, закрепленного в центре пластины. Построение графика временной зависимости амплитуды автоколебаний от времени осуществлялось с помощью специальной компьютерной программы.

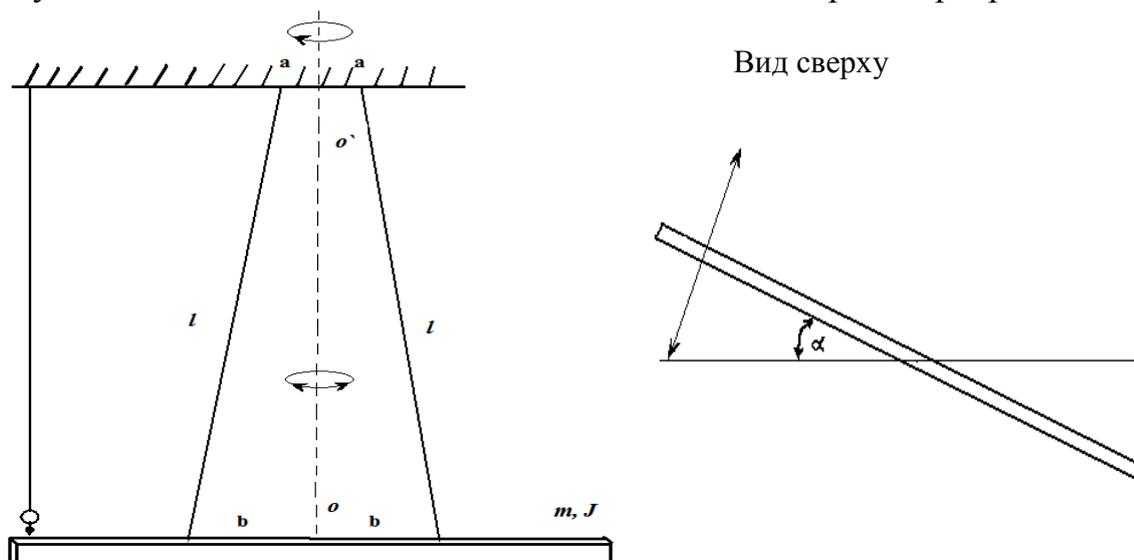


Рис. 1. Бифилярный маятник:  $\alpha$  – определяет угол динамического равновесия маятника относительно положения статического равновесия

Период колебаний можно было изменять в пределах 10 ... 180 с, причем, измеренное значение периода соответствовало стандартной формуле, приведенной в учебнике [3].

В отличие от свободных колебаний маятника, симметричных относительно положения равновесия, автоколебания всегда несимметричны. Угол отклонения пластины  $\alpha$  всегда оказывается смещенным относительно положения статического равновесия по часовой стрелке противоположно направлению вращения Земли. Это непосредственно можно наблюдать по смещению тела маятника относительно отвеса, закрепленного на опорной поверхности на прямой линии, содержащей точки подвеса маятника.

За время наблюдений, составляющих многие часы, автоколебания не затухают и не выходят на режим стационарных колебаний, а испытывают нерегулярные биения. Период биений в зависимости от параметров маятника составляет десятки периодов его собственных резонансных колебаний. Это означает, что фазы периода колебаний маятника и периода вращения подвеса периодически рассогласовываются. Для колебаний малой мощности на их амплитуду накладываются шумовые колебания, связанные с воздушными потоками в лаборатории и паразитными механическими колебаниями установки.

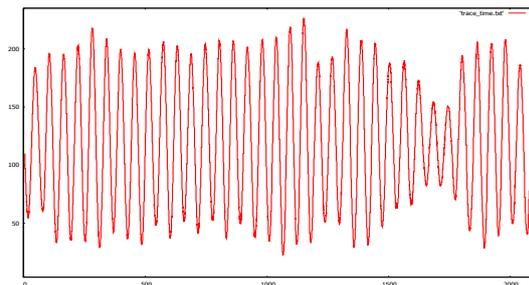


Рис. 2. Зависимость амплитуды автоколебаний бифилярного маятника (отн. ед.) в установившемся режиме от времени (сек). Период колебаний 66 сек

Чтобы убедиться, что автоколебания действительно связаны с вращением Земли, был проведен дополнительный эксперимент. Штатив с маятником помещали на вращающуюся платформу с компенсацией угловой скорости вращения Земли ( $12^\circ$  в час на широте Могилева). Автоколебания в этом случае становились затухающими и постепенно исчезали.

Для периода колебаний, равного 66 секундам измеренное значение угла динамического равновесия  $\alpha$  для бифилярного маятника с параметрами, приведенными выше, равно  $+12^\circ$  (положение центра колебаний повернуто по часовой стрелке). Изменение периода колебаний за счет изменения расстояния  $b$ , дает значения угла  $\alpha$  для периодов колебаний 45 и 20 секунд  $8^\circ$  и  $3,6^\circ$ .

Расчеты динамики автоколебаний во вращающейся системе отсчета, требует использования достаточно сложной нелинейной компьютерной математической модели, которая описывает приведенные выше особенности маятника.

При использовании крутильных маятников в измерительных системах необходим учет влияния вращения Земли на их свойства.

Таким образом, исследовано новое механическое явление - автоколебания бифилярного маятника, возникающие вследствие вращения Земного шара.

Автоколебания бифилярного маятника и отклонение его положения равновесия от плоскости подвеса, наряду с маятником Фуко, можно рассматривать как еще одно наглядное подтверждение абсолютного вращения системы отсчета, связанной с Земным шаром.

Бифилярный маятник в режиме автоколебаний является своеобразным «вечным двигателем», извлекающим энергию из энергии вращения земного шара.

Такой маятник может устанавливаться в учреждениях образования для использования в лабораторных работах и для наглядной демонстрации эффекта вращения земного шара.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронов, А. А. Теория колебаний / А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. – М. : Наука, 1937.
2. Харкевич, А. А. Автоколебания / А. А. Харкевич. – М. : ГИТТЛ, 1954.
3. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. Механика / Д. В. Сивухин. – М. : 1979. – с. 213.