

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
ВОПРОС ПО ВЫБОРУ, 3 СЕМЕСТР

Связанные колебания магнитных стрелок

Студент
Ришат ИСХАКОВ
513 группа

Преподаватель
Валерий Алексеевич
ДАНИЛИН



13 января 2017 г.

Цель работы: Изучение характера связанных колебаний магнитных стрелок двух расположенных рядом компасов.

В работе используются: неокуб, линейка, штатив, нитки, секундомер.

1. Описание установки

Две стрелки, собранные из шести магнитных шариков неокуба, подвесим на нити за середину на некотором расстоянии l друг от друга так, чтобы их оси совпадали. Под осью понимается прямая соединяющая Северный и Южный конец стрелки. Стрелки будут направлены по магнитному полю земли. Отклоним одну из стрелок из положения равновесия, придерживая вторую. Будем наблюдать за колебаниями подобной системы.

Если в начальный момент времени ($t = 0$) мы отклоним первую стрелку, вторую при этом придерживая в состоянии равновесия, а затем одновременно отпустим обе стрелки, мы будем наблюдать уменьшение амплитуды колебаний первой стрелки, в то время как для второй стрелки угол отклонения от оси будет расти. В некоторый момент первая стрелка остановится, при этом вторая стрелка будет иметь амплитуду и энергию колебания первой стрелки в начальный момент. Из-за наличия сил трения колебания будут постепенно затухать, но заметно это становится после 4-5 колебаний, следовательно трение пренебрежимо мало.

Подобная перекачка энергии от одной стрелки к другой называется биением. Система ведет себя как связанные маятники, но в данном случае в роли соединения выступает магнитное взаимодействие между двумя намагниченными стрелками.

Если отклонить стрелки одновременно в одном направлении, будем наблюдать так называемые синфазные колебания. Если отклонить стрелки в разных направлениях одновременно, будем наблюдать противофазные колебания.

Для объяснения природы таких колебания слегка изменим условия эксперимента: поместим стрелки так, чтобы их оси были параллельны. Так биения видно еще лучше, в связи с природой распределения магнитного поля стрелки. На конце стрелки поле более неоднородно, чем на перпендикуляре к оси стрелки в плоскости стрелки.

2. Теория

2.1. Уравнение движения

$$\mathcal{I} \cdot \ddot{\varepsilon} = \vec{M}, \quad (1)$$

где \mathcal{I} - момент инерции стрелки относительно центра масс, M - момент внешних сил.

$$M = [\vec{p}_m, \vec{B}], \quad (2)$$

где $\vec{p}_m = \vec{I} \cdot V$ - магнитный момент, который зависит от намагниченности I и объема V стрелки, B - вектор магнитной индукции внешнего поля (горизонтальная компонента магнитного поля Земли)

Для малых углов φ отклонения:

$$M = -p_m \cdot B \cdot \sin \varphi \approx -p_m \cdot B \cdot \varphi \quad (3)$$

Дополнительный момент сил:

$$M_1 = p_m \cdot B_1 \cdot (\varphi_2 - \varphi_1), \quad (4)$$

где \vec{B}_1 - вектор магнитной индукции, созданной второй стрелкой.

Так как стрелки одинаковы, то p_m и \mathfrak{I} для них будем считать равными. При таких условиях запишем уравнения движения обеих стрелок.

$$\begin{aligned} \mathfrak{I}\ddot{\varphi}_1 + p_m B \varphi_1 - p_m B_1 (\varphi_2 - \varphi_1) &= 0, \\ \mathfrak{I}\ddot{\varphi}_2 + p_m B \varphi_2 - p_m B_1 (\varphi_1 - \varphi_2) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

3. Вывод

- При определенных расстояниях между магнитными стрелками их можно рассматривать как связанные маятники и наблюдать явление биения, $\omega_b \sim \frac{1}{r^2}$.
- На очень близких расстояниях не выполняется условие слабой связи и биения отсутствуют. Но из-за сильной неоднородности поля на концах стрелки мы видим нелинейные колебания.