

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение зависимости амплитуды вынужденных колебаний от частоты возбуждения при различных степенях демпфирования.
- Наблюдение за фазовым сдвигом между возбуждением и фактическим колебанием при очень малых и очень больших частотах возбуждения.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение и анализ вынужденных гармонических крутильных колебаний

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Колесо Поля, или крутильный (вращательный) маятник, позволяет исследовать вынужденное гармоническое крутильное колебание. Для этого колебательная система подключается к системе возбуждения, которая приводится в действие электродвигателем постоянного тока с регулируемой скоростью, так что возвратная пружина периодически растягивается и сжимается. В этом опыте измеряется зависимость амплитуды от частоты возбуждения при различных степенях демпфирования и наблюдается фазовый сдвиг между возбуждением и фактическим колебанием.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Крутильный маятник Поля	U15040
1	Механический секундомер на 15 мин.	U40801
1	Сетевой адаптер 24 В, 0,7 А (230 В, 50/60 Гц)	U33200-230 или
	Сетевой адаптер 24 В, 0,7 А (115 В, 50/60 Гц)	U33200-115
1	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (230 В, 50/60 Гц)	U33020-230 или
	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (115 В, 50/60 Гц)	U33020-115
2	Универсальный аналоговый измерительный прибор AM50	U17450
1	Набор из 15 безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см	U138021

2

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Колесо Поля, или крутильный (вращательный) маятник, позволяет исследовать вынужденное гармоническое крутильное колебание. Для этого колебательная система подключается к системе возбуждения, которая приводится в действие электродвигателем постоянного тока с регулируемой скоростью, так что возвратная пружина периодически растягивается и сжимается.

Уравнение движения для этой системы выглядит следующим образом

$$(1) \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2 \cdot \delta \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \omega_0^2 \cdot \varphi = A \cdot \cos(\omega_\epsilon \cdot t)$$

где
$$\delta = \frac{k}{2J}, \quad \omega_0^2 = \frac{D}{J}, \quad A = \frac{M_0}{J}$$

J : момент инерции

D : жесткость пружины

k : коэффициент демпфирования

M_0 : амплитуда внешнего крутящего момента

ω_ϵ : угловая частота внешнего крутящего момента

Решение этого уравнения состоит из однородной и неоднородной составляющих. Однородная составляющая эквивалентна движению простого гармонического колебания с демпфированием, которое исследовалось в опыте UE1050500. Оно убывает экспоненциально с течением времени, и по истечении некоторого короткого периода стабилизации им можно пренебречь по сравнению с неоднородной составляющей.

Неоднородная составляющая

$$(2) \quad \varphi(t) = \varphi_\epsilon \cdot \cos(\omega_\epsilon \cdot t - \psi_\epsilon)$$

связана с внешним крутящим моментом, и пренебречь ею нельзя, пока этот момент присутствует: Ее амплитуда выражается следующим образом:

$$(3) \quad \varphi_\epsilon = \frac{A_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_\epsilon^2)^2 + 4 \cdot \delta^2 \cdot \omega_\epsilon^2}}$$

Она становится тем больше, чем ближе частота возбуждения ω_ϵ к собственной резонансной частоте ω_0 крутильного маятника. Резонанс наблюдается при $\omega_\epsilon = \omega_0$.

Фазовый сдвиг показан ниже:

$$(4) \quad \psi_\epsilon = \arctan\left(\frac{2 \cdot \delta \cdot \omega_\epsilon}{\omega_0^2 - \omega_\epsilon^2}\right)$$

Он показывает, что отклонение маятника отстает от возбуждения. При низких частотах он близок к нулю, но по мере увеличения частоты он возрастает, достигая 90° на частоте резонанса. При очень высоких частотах возбуждения частоты возбуждения и колебания в конце концов оказываются в противофазе (сдвинуты на 180°).

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Строится график зависимости амплитуд демпфируемых колебаний от частоты возбуждения. В результате получается набор кривых, которые можно описать уравнением (4), если выбран соответствующий параметр демпфирования δ .

Будут наблюдаться небольшие отклонения от значений демпфирования, полученных в опыте UE1050500. В основном это объясняется тем фактом, что сила трения не строго пропорциональна скорости, как предполагается в данном опыте.

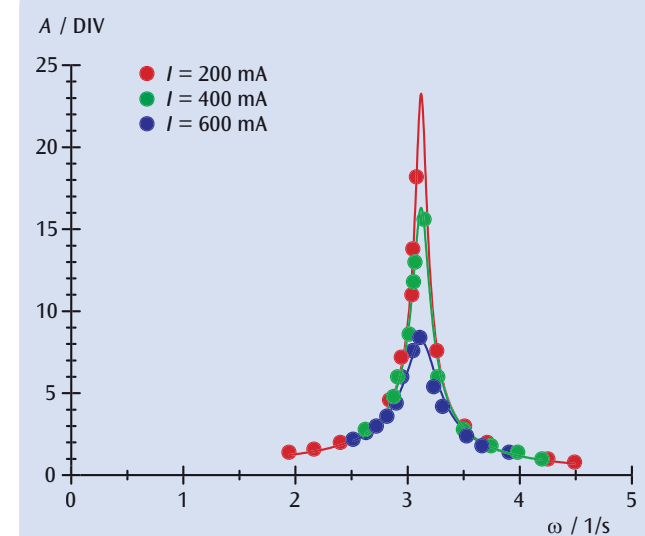


Рис. 1: Кривые резонанса для различных степеней демпфирования