



玻尔共振

物理实验中心
理学院
廖飞
2021年春

实验目的



1. 观察测量自由振动中振幅与周期的关系
2. 研究阻尼振动并测量阻尼系数
3. 研究受迫振动的幅频特性和相频特性
4. 用频闪法测定动态物理量——相位差

实验原理



1. 强迫力及受迫振动

- 周期性外力
- 振动因强迫力而起

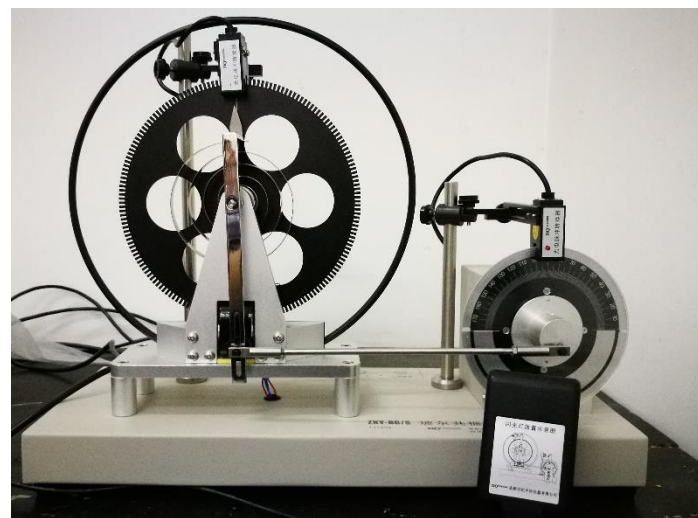
2. 受迫振动的运动方程

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -k\theta - b \frac{d\theta}{dt} + M_0 \cos \omega t$$

外力的力矩

阻尼力力矩

J 是摆轮的转动惯量,
 $-k\theta$ 是弹性力矩,
 M_0 是策动力力矩的幅值
 ω 是策动力的角频率.



3. 受迫振动方程的通解

$$\theta = \theta_1 e^{-\beta t} \cos(\omega_f t + \alpha) + \theta_2 \cos(\omega t + \varphi_0)$$

与初始条件有关
一定时间后衰减为零

强迫力矩对摆轮做功
向振动体传送能量
最后达到稳定振动态

■ 当稳定时:

$$\theta_2 = \frac{m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\beta T_0^2 T}{\pi(T^2 - T_0^2)}$$

振幅与初状态无关

ω -角频率

T_0 -系统固有周期

ω_0 -系统固有角频率

T -振动周期

β -阻尼系数

m -外力力矩

4. 受迫振动的幅频响应及相频响应曲线

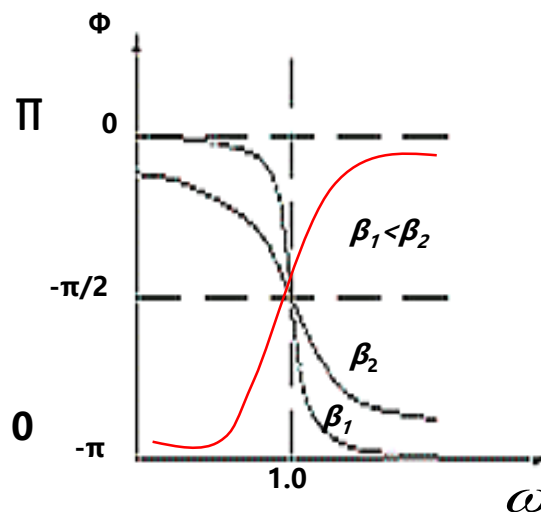
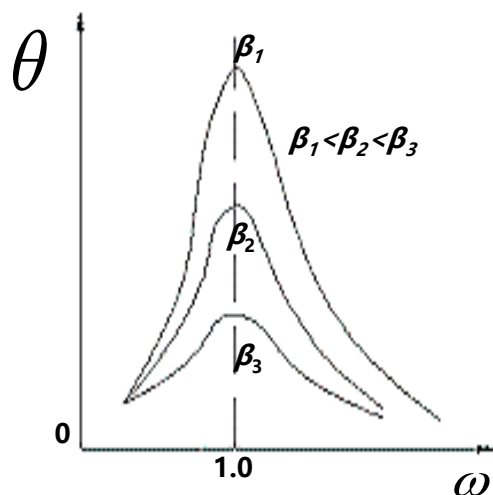
$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$$\theta_r = \frac{m}{2\beta\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}$$

共振时:

$$\left(\frac{\theta}{\theta_r}\right)^2 = \frac{4\beta^2\omega_r^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial \omega} [(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2] = 0 \quad \text{极值条件}$$



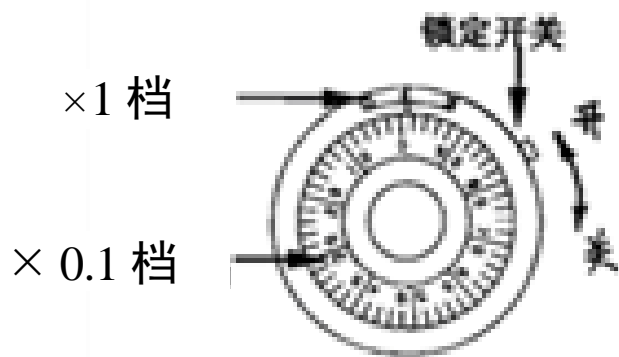
需测量的参数:

1. ω_0 or T:
2. β :
3. ϕ :
4. θ :

实验仪器



1. ZKY-BG 玻尔共振实验仪
2. 玻尔共振测试仪



实验步骤



搭建实验平台：

1. 实验连线，调整模式

自由振动实验：

2. 选择实验模式
3. 转动摆轮，测量并记录数据

$$\ln \frac{\theta_i}{\theta_j} = \ln \frac{\theta_0 e^{-\beta(iT)}}{\theta_0 e^{-\beta(jT)}} = (i - j) \beta T$$

阻尼振动实验

4. 选择阻尼振动模式
5. 测量并记录数据

测绘幅频响应及相频响应曲线

6. 选择受迫振动模式
7. 测量幅值, 周期, 相位差

表1 固有频率测量

	1	2	3	4	5	6
幅值 θ						
周期T						

表2 阻尼系数测量

阻尼档：阻尼2

No.	幅值 θ ($^{\circ}$)	No.	幅值 θ ($^{\circ}$)	$\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$
θ_1		θ_6		
θ_2		θ_7		
θ_3		θ_8		
θ_4		θ_9		
θ_5		θ_{10}		
$\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$ 平均值				

$$10T = \underline{\hspace{2cm}} \text{sec.}$$

$$\bar{T} = \underline{\hspace{2cm}} \text{sec.}$$

$$\beta = \underline{\hspace{2cm}} \text{sec.}^{-1}$$

$$5\beta T = \ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$$

实验步骤及数据记录



表3 受迫振动及其幅频和相频特性曲线测量

序号	调速旋钮 刻度	强迫力 周期T(s)	相位差 ϕ (度)	振幅 θ (度)	ω
1	2.5				
2	3.5				
3	4.5				
4	5.5				
5	6.5				
6	7.0				
7	8.5				

1. 核磁共振中的共振概念.
2. 实验误差分析
3. 超材料单元结构的谐振特性/磁共振无线充电中的共振理论

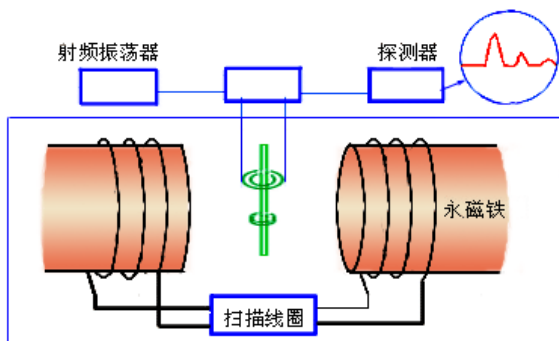
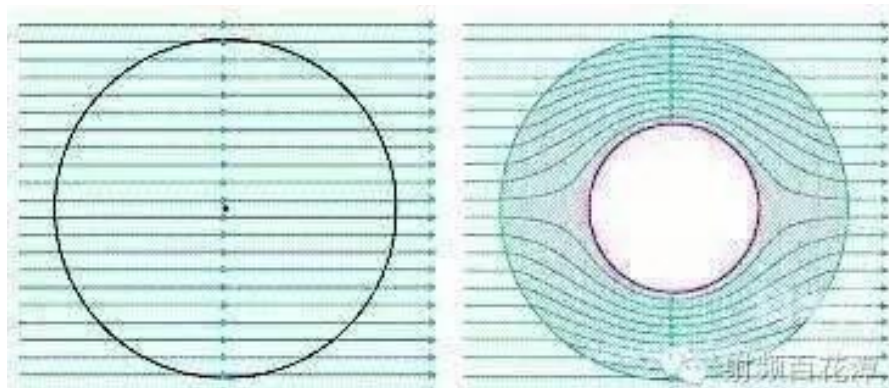


图 5 调磁场核磁共振实验示意图



metamaterials

