

## 周期运动观测实验仪

何 越, 刘 震, 郭山河

(吉林大学 物理学院, 吉林 长春 130025)

**摘 要:**当周期运动超出视觉停留范围时,直接观测周期运动(如转动、振动)就较为困难.利用计算机进行图像采集处理,既不直观,价格又不菲.为此,设计了周期运动观测实验仪.该仪器利用锁相成像观测法观测周期运动的物体,设置光源闪烁频率与周期运动频率一致,当光源开启时间足够短时,即可获得锁相状态下物体的准静态图像.

**关键词:**锁相成像;视觉停留;静态观测

中图分类号:O311.1

文献标识码:A

文章编号:1005-4642(2016)09-0023-03

### 1 实验原理

电子检测技术中的锁相检测技术,是利用被测信号的信息控制提取该信号的方式,使两者达到某种相关,这样与之不相关的噪声信号将会被有效地减少,从而达到检测的目的.该方法同样可用于检测光学成像信息.静止物体表面任一点在空间各点的相位是不随时间变化的,因此很容易对其进行观测.但当物体作周期运动时,其表面各点在空间的相位迅速变化,此时能看到的空间某点的像是物体沿运动方向上各点在该处成像的叠加,而人眼的视觉滞留现象将使得我们无法看清该物体,其原因恰恰是照亮物体成像的光源,与周期运动物体运动规律不相关的结果.

当所用照明成像光源以闪烁的形式照亮物体,且闪烁频率与运动物体相位变化频率近似相等,使两者相关时,就会使物体某点在空间成像的位置(相位)不变,这个过程称为锁相.以这种方式对周期运动物体进行观测的方法称为光学锁相成像观测法,简称为锁相成像观测法.光源的开启与关闭是有一段时间的,这个时间的长短将影响着视觉成像的观测效果.视觉成像是物体被外界光源照亮后其反射光在人眼视网膜上产生的刺激效应,当物体处于运动状态时,由于人眼具有视觉停留现象(在物体处于一般光照的条件下时,约在  $1/20 \sim 1/5$  s 的范围内)会使运动物体不同部

位的视觉形成重叠,而无法看清物体的各个细节.因此,实现锁相成像观测的条件是保证不同时间内物体各部位成像在同一空间位置.以作圆周运动物体为例,如图 1 所示:设物体圆周长为  $L$ ,其上相邻两点 A 与 B 间隔为  $\Delta L$ .照明光源闪烁周期为  $T$ ,照明持续的时间为  $\Delta T$ .如果在持续发光的时间  $\Delta T$  内,A 点运动到原来 B 点所在空间位置,则由于视觉停留,会看到的 A 和 B 两点是重叠的.如果把能分辨出 A 和 B 为分离两点视为清晰成像条件,该条件为: $\Delta T/T < \Delta L/L$ .

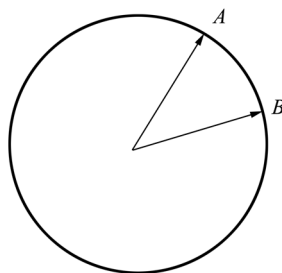


图 1 圆周运动的物体

类比于照相机快门功能,在快门开启时间相对于物体移动很短时,可得到此时物体的准静态图像,用锁相成像观测法观测周期运动物体时,光源闪烁频率与周期运动频率一致,且光源开启时间足够短时,可获得锁相状态下物体的准静态图像,实现对其观测.

“第 9 届全国高等学校物理实验研讨会”论文

收稿日期:2016-06-25

资助项目:吉林大学 2014 年“大学生科技创新实验项目”

作者简介:何 越(1963—),女,吉林辽源人,吉林大学物理学院高级工程师,硕士,从事物理实验教学与实验技术研究工作.



## 2 实验仪器简介

周期运动观测实验仪的实物图如图 2 所示, 结构框图如图 3 所示.



图 2 周期运动观测实验仪

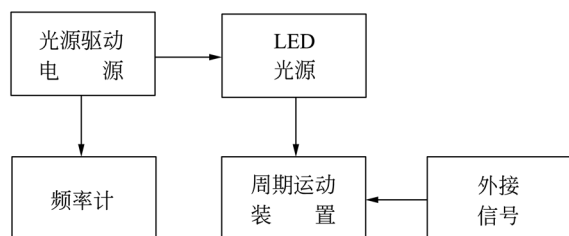


图 3 周期运动观测实验仪的结构框图

1) 光源驱动电源: 采用单片机控制, 具有频率可调、信号占空比可调、输出电压可调的功能.

2) 光源: 采用时间特性较好的 LED 发光管, 驱动电路在满足光源自身功率需求的前提下, 具有闪烁频率可调、占空比可调的功能, 使其具有较大的实验观测范围.

3) 频率计(机内自带): 显示光源的闪烁频率, 以达到对周期运动物体频率的测量.

4) 周期运动装置: a. 做圆周运动的物体. 由直流调速电机和随之转动的观测圆盘组成, 转动频率可通过对电机调速来实现. b. 振动物体的观测. 由扬声器及弹性细弦组成, 由外接信号发生器驱动后, 可观测面振动、弦振动(固有频率、驻波)等.

## 3 实验内容

该仪器的基本目的是实现对高速周期运动的物体实施静态观测, 因此实验内容可以分成基本内容与设计内容(供参考)两部分.

### 3.1 基本内容

1) 在正确获得静态成像的基础上, 测得周期运动的频率, 并了解物体表面观测的清晰度与光

源占空比之间的关联.

2) 利用闪烁频率与周期运动频率的微小差别(差频), 实现对高速运动物体的“慢速”观察.

3) 面振动的观察.

4) 弦振动中固有频率的现象, 驻波的获得, 利用分频获得的准静态图像, 测驻波的频率, 并与信号发生器的示值进行比较(属于对实验仪器的标定过程), 分析误差来源.

### 3.2 设计内容(供参考)

1) 选一弹性物体, 其上有标记(裂痕等), 观察不同转速下其变化情况, 找出基本规律.

2) 利用扬声器发声激励水槽中的水, 观察表面波的运动与分布, 找出基本规律.

3) 观察盛有悬浮物的液体在高速转动时在离心力作用下的分离情况, 了解分离时间与转速的关系.

4) 倍频、差频在测量过程中的利用.

## 4 实验步骤

### 4.1 转动的观测

1) 为观察转动对视觉成像的影响而专门设计了标识, 在圆盘上的分布规律是: 黑白各占一半且对称, 由里到外共 3 层, 转 1 圈时最里层变化 1 次; 中间层变化 2 次; 最外层变化 4 次. 这样随着转动加快, 人眼依次分辨不出最外层、中间层、最里层的闪烁. 利用人眼的视觉停留现象改变电机转速让其逐步变慢(由于需要启动电流较大, 当电压较低时电机不易转动, 所以电机转动调整应由快到慢为宜), 会看到圆盘中心有闪烁现象, 用倍频相位同步的方式, 测得此时的转速, 体会人眼视觉停留的时间范围. 用 2 倍频或 4 倍频实现相位同步, 得到的准静态图像得知其转动频率(如果用 1 倍频方式调到准静态图像, 因此时频率很低, 灯的闪烁会使人眼感到不舒服).

2) 将电机转速调至中等(感觉不到圆盘上有黑白分布为宜), 将闪烁频率由 10 Hz 左右开始增加, 可以依次得到多个(圆盘转速越快, 得到的个数越多)准静态的圆盘图像. 这些图像分别是  $1/n, \dots, 1/3, 1/2, 1$ . 继续增加闪烁频率将出现 2 倍频图像(这时圆心不再是半黑半白), 测量即可停止. 由此可得知转动频率.

### 4.2 扬声器的面振动与弦驻波运动形式的获得

1) 用外接信号发生器的正弦波驱动扬声器,

可用闪烁频率与振动频率同步,获得扬声器振动面准静态图像来进行观察与测量.当稍微调整闪烁频率使两者差频很小时,可看到被慢化的振动面运动的具体过程.

2)调整输入的正弦波的频率,可从最小开始缓慢增加,会发现能使弦产生明显振幅振动的频率不是任意的(频率为该弦的固有频率),调到看到1~2个波腹而且振幅明显时即可(多于2个波腹时振幅会变小,不易观测).

3)将闪烁频率由10 Hz左右开始增加,会依次看到弦的静止状态的图像,直至得到最大值为止(再增加频率只能依次看见2倍频、3倍频...),将各分频频率值依次填入表1中.实验条件:弦长 $L_1$ 为13 cm,扬声器驱动频率为49.11 Hz.  $n$ 为倍频; $f_{1/n}$ 为闪烁频率; $f_2/f_{1/n}$ 为振动频率/闪烁频率; $\epsilon = \frac{n - f_2/f_{1/n}}{n} \times 100\%$ .

表1 实验数据

$n$	$f_{1/n}$	$f_2/f_{1/n}$	$\epsilon$
1	49.10	1.000	0.00%
2	24.54	2.001	0.05%
3	16.38	2.998	0.07%
4	12.26	4.006	0.15%
5	9.86	4.981	0.40%

分析测量结果可知,如果频率计为测定频率的计量仪器,那么周期运动观测实验仪在观测频率方面的误差将小于0.5%.

## 5 结束语

物理实验要跟上时代发展与社会的需求,就必须不断改进现有的实验方法与手段.在人才培养的方法上要逐步加大设计性、研究性实验的比例与深度,以缩小所学知识与实际应用之间的差距.实验结构本身也应该朝着较好的组合性、较多的操作性和较强的直观性方向发展,所以新实验的研究、改进与开发,成为一件很紧迫、很有意义的事情.

## 参考文献:

- [1] 郑光平,李锐锋,张泽宏.声源作圆周运动时的多普勒效应[J].物理实验,2004,24(3):39-40.
- [2] 刘洪滢,宋杏茹.物体在竖直圆上运动的演示[J].物理实验,2003,23(11):35-37,48.
- [3] 黄军,代伟,谢春茂,等.用传感器探究影响向心力大小的因素[J].物理实验,2015,35(2):25-27,31.
- [4] 张前军.向心力演示仪的改进[J].物理实验,2010,30(12):18-20.
- [5] 王自鑫,陈泽宁,王健豪,等.基于数字锁相放大技术的强噪声背景下检测微弱信号教学实验[J].物理实验,2016,36(3):1-4.

# Experimental instrument for the observation of periodic motion

HE Yue, LIU Zhen, GUO Shan-he

(Physics College, Jilin University, Changchun 130025, China)

**Abstract:** It is hard to observe directly when periodic motion (such as rotation, vibration) is stay beyond visual retention range. The method that uses computer to obtain and process the image of periodic motion is not intuitive and costs more money. Aiming at these problems, a new experimental instrument was designed to observe periodic motions. The instrument adopted phase-locking imaging method to observe periodic motions. The flicker frequency of light source was in consistent with that of the periodic motion. When the flash time was short enough, quasi-static image of the object could be obtained.

**Key words:** phase-locking imaging; visual retention; static observation

[责任编辑:尹冬梅]