

刚体转动惯量测量实验仪的改进*

王俊平

(滨州学院航空工程学院 山东 滨州 256600)

(收稿日期:2017-07-12)

摘要:对FD-IM-II型新型刚体转动惯量测量仪进行了改进,从仪器的摆角控制、周期自动测量两个方面进行改进,用改进后的仪器对圆盘和圆环的转动惯量进行测量,从实验数据分析发现,圆盘和圆环的理论值和实验值的百分误差小于5%,可以有效地减小实验误差。

关键词:三线摆 转动惯量 刚体 误差

1 引言

刚体转动惯量是大学物理和理论力学的重要教学内容,刚体转动惯量的测量也是大学物理实验中力学实验的重要组成部分.转动惯量是刚体转动时惯性大小的量度,测量刚体转动惯量的方法有落球法^[1]和三线摆法^[2]等,其中三线摆法是测量刚体转动惯量的基本方法之一.

我们学校采用的是某公司的FD-IM-II型新型转动惯量测量仪,在学生的实验过程发现了一些问题,操作不方便,计数不准确,从而造成学生的实验误差较大,有的学生的实验误差能达到10%以上,对于三线摆测量刚体转动惯量的误差分析,国内很多高校也做过研究,主要从以下3个方面进行改进,减小误差:

- (1) 三线摆的摆角^[3];
- (2) 三线摆的周期测量^[4];
- (3) 三线摆上圆盘和下圆盘的垂直高度^[5].

本文从摆角和周期两个方面对仪器进行了改进,有效地降低了实验误差.

2 实验装置改进方案

2.1 造成仪器误差的原因分析

用三线摆测量刚体转动惯量产生的误差主要存

在以下几个方面:

(1) 通常情况下用三线摆测两物体的转动惯量,单次测量需测量30个周期的摆动,测量过程费时费力,人为测量容易出错.

(2) 用三线摆测刚体转动惯量的实验条件是转动圆盘角度要小于 10° ,在实验中因仪器没有配置角度的控制装置,因此无法准确控制角度,不能满足实验条件,造成实验结果误差增大.

2.2 实验仪器改进方案

针对实验过程中测量刚体转动惯量产生误差的原因,现从以下几个方面对仪器进行改进.

(1) 针对三线摆测量实验费时费力的情况,设计采用单片机辅助测量,增加周期测量的自动化程度,减少人为造成的误差,从而提高测量准确度.FD-IM-II型新型刚体转动惯量测量仪通过摆线上的红色胶带挡住激光测量摆动周期,三线摆摆动过程中容易造成晃动,摆线上的胶带和激光器的位置不好调节,给学生实验造成难度.本方案设计一个0.5 cm宽,5 cm高的泡沫薄片,将其用胶粘在下圆盘上,调节好激光器和泡沫薄片的位置,使其能够挡住激光器射向光电门的光.AT89c52单片机最小系统包含3个定时器和计数器,通过键盘输入,编程控制,可以自动完成周期的测量,从而减少人为读数带来的误差,单片机计数整体设计方案如图1所示.

* 山东省本科高校教学改革研究项目,项目编号:2015M027;滨州学院实验技术项目,项目编号:BZXYSYXM201607, BZXYSYXM201710;滨州学院专业核心课程建设项目,项目编号:BYZYHX201705

作者简介:王俊平(1981-),女,硕士,讲师,主要研究方向为物理实验教学与管理.

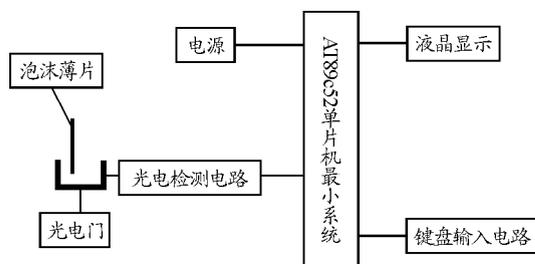


图1 单片机计数整体设计方案

(2) 摆角的控制:由于FD-IM-II型新型刚体转动惯量测量仪的上圆盘是固定的,摆动的是3根摆线,靠近摆线的内侧,制作一个圆形的角度刻度尺,这样,摆线摆动的时候,我们就可以清楚地观察到摆线摆动的角度。圆形的刻度尺位于摆线内侧,用铁片制作即可,可以用胶粘到上圆盘的底部。

3 实验数据分析

由大学物理实验教程^[6]可知:在三线摆测量刚体转动惯量实验中,下圆盘对中心轴的转动惯量公式为

$$J_0 = \frac{m_0 g R r}{4 \pi^2 H} T_0^2 \quad (1)$$

式中 m_0 为下圆盘的质量, r 和 R 分别为上圆盘和下圆盘上线的悬点到各自圆心 O_1 和 O_2 的距离, H 为两盘之间的垂直距离; T_0 为下圆盘扭转的周期。

待测物体对于中心轴的转动惯量公式为

$$J = J_1 - J_0 =$$

$$\frac{g R r}{4 \pi^2 H} [(m + m_0) T_1^2 - m_0 T_0^2] \quad (2)$$

式中 m 为圆环的质量, T_1 为圆环和下圆盘在一起的扭转周期。

圆盘和圆环的理论值公式

$$J = \frac{1}{8} m D^2 \text{ (圆盘)} \quad (3)$$

$$J = \frac{1}{8} m (D_{\text{内}}^2 + D_{\text{外}}^2) \text{ (圆环)} \quad (4)$$

式中 D 为下圆盘的直径, $D_{\text{内}}$ 和 $D_{\text{外}}$ 分别为圆环的内直径和外直径。

用改进后的仪器测量待测圆盘和圆环的转动惯量,式(1)~(4)中物理量的测量结果如表1所示。表2为转动圆盘的角度 $\theta < 5^\circ$ 的周期和转动惯量,

从表中可以看出测量误差较小,小于2%,而改进前的仪器测量误差较大,原来仪器的测量误差达到5%以上,有的学生课上做实验误差达到10%,由此可以看出,新改进的仪器较好地减小了测量误差,提高了测量精度。

表1 转动惯量公式物理量的参数测量

m/g	m_0/g	R/m	r/m	$D_{\text{环内}}/m$
592.54	239.8	8.017×10^{-2}	3.040×10^{-2}	6.024×10^{-2}
$D_{\text{环外}}/m$	D/m	H_0/cm	d/cm	$m_{\text{柱}}/g$
6.024×10^{-2}	0.167 96	53.24	7.42	119.1

表2 转动圆盘的角度 $\theta < 5^\circ$ 时的测量结果

样品	转动角度 $< 5^\circ$	
	周期 T/s	1.753
圆盘	$J_0/(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2)$	2.047
	误差/%	0.8
圆盘和圆环	周期 T/s	1.690
圆环	$J_{\text{环}}/(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2)$	0.539
	误差/%	1.8

测量多个小摆角的周期和转动惯量,在摆角较小的情况下($\theta < 10^\circ$)设定摆角为 5° 和 10° 时,各测量10个周期,数据如表3所示。

表3 三线摆在小摆角($\theta < 10^\circ$)时的测量结果

样品	摆角/ $^\circ$	5	10
		周期 T/s	1.750
圆盘	$J_0/(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2)$	2.063	2.042
	误差/%	1.2	2.2
圆盘和圆环	周期 T/s	1.675	1.676
圆环	$J_{\text{环}}/(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2)$	0.538	0.542
	误差/%	3.7	3.7

由表3知,在 $\theta < 10^\circ$ 时,测出的刚体绕中心轴的转动惯量与理论值的相对误差较小,且速度快,可以大大节省实验时间。

3 结束语

本文针对学生在刚体转动惯量实验过程存在误差较大的问题,对实验仪器进行了改进,从仪器的摆

角控制、单片机自动测量周期两个方面进行改进,并对 $\theta < 5^\circ$ 和 $\theta < 10^\circ$ 小角度摆角进行了实验研究,通过测量实验数据发现,改进后的仪器可以大大地减小误差,和理论值的百分误差小于 5%,误差减小,更贴近测量物体的理论值,增强了学生的实验兴趣.

参考文献

- 王海林,司嵘嵘,李相.落体法测量刚体转动惯量实验中引起测量值偏离的因素分析.物理实验,2012,32(5):25~30
- 秦艳芬.对三线摆测转动惯量实验的系统误差分析.宁

- 波工程学院学报,2016,28(2):5~8
- 庞通,黄艺荣,徐依斓,等.三线摆实验中摆角偏大产生的误差及修正方法.大学物理实验,2015,28(1):96~98
- 范让林,张璐璐,张斌,等.三线扭摆振动周期测量方法及其实现.机械设计与制造,2015(8):259~262
- 朱瑜,邵雪纯.三线摆测转动惯量时高度对测量结果的影响.实验研究与探索,2015,34(8):16~18
- 马国利.大学物理实验教程.西安:西安电子科技大学出版社,2015.23~27

Improvement on Experimental Instrument of Measurement of Rigid Body Rotation Inertia

Wang Junping

(Faculty of aerospace engineering, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256600)

Abstract: In this paper, FD-IM-II new type rigid body rotation inertia measuring instrument is improved. It was improved in two aspects: pendulum angle of instrument, periodic automatic measurement. The rotating inertia of the disc and ring is measured by the improved instrument. From the experimental results, it is found that the percentile error of the theoretical and experimental values of the disk and the ring is less than 5%, the improved instrument can effectively reduce the error of the experiment.

Key words: three-wire pendulum; rotation inertia; rigid body; error

(上接第 75 页)

Measurement and Research on Focal Length of Planoconvex Lens

Chen Zhou Ni Min

(College of Mathematics and Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Abstract: The focal length of planoconvex lens was not only measured by imaging method, but also calculated by equation, which means their radius of curvature and refractive index were measured by Pythagorean theorem, light refraction and other methods, and then the focal length of lens was calculated by focal-length measure equation for thick lens. In analyzing and comparing the results measured by imaging method with those calculated by equation, it can be seen that the starting point for measuring the focal length of thick lens is not at the center or rim of the lens, and the principal point should be determined by calculation; that measurements by imaging method are of higher accuracy; and that as the experimental content of the enrichment curriculum, this experiment from which they can draw inferences will help the students cultivate their abilities to comprehensively design experiments and do scientific research.

Key words: planoconvex lens; focal point; cardinal point