

# 三线摆测转动惯量实验探索与研究

杨涛 齐轩 毕春梦 李嘉仪

桂林电子科技大学材料科学与工程学院

**[摘要]**转动惯量是表征刚体转动时惯性大小的物理量,其地位相当于物体在平动运动中的质量,是物体在转动体系中角动量、角加速度、角动量守恒的桥梁,在科学实验、工程技术、航天、电力、机械、仪表等工业领域都是重要的物理参量,因此,转动惯量的测量成为大学物理实验中的基本实验。

**[关键词]**转动惯量;实验设计

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.586

## 1. 引言

测量刚体转动惯量在理工科物理实验中是一个常见且很重要的实验项目,常用的实验仪器是三线摆转动惯量测定仪,完成的实验内容一般为刚体转动惯量的测量和平行轴定理的验证,内容相对单一、简单。本文重点研究三线摆实验中研究两盘间距与周期的关系、扭转角度对周期的影响以及质量分布对周期的影响,从而丰富本实验的实验设计。

## 2. 实验原理与方法

### 2.1 三线摆测物体转动惯量的基本方法

如图1是三线摆实验公式推导示意图:根据示意图,当悬盘扭转满足角度小于5度情况下,悬盘的扭转可以近似看出简谐振动,扭转过程中机械能近似守恒,所以三线摆测刚体转动惯量的实验公式为:

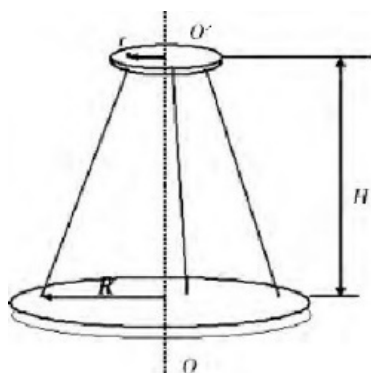


图 1

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

其中:  $m_0$ 是悬盘质量,  $R$ 是悬盘悬点到轴心的距离,  $r$ 是启动盘悬点到轴心的距离,  $H$ 是悬盘与启动盘之间的距离,  $T_0$ 是悬盘空载时的周期;当测其他刚体转动惯量时,把被测物体放在悬盘上,其质量通过悬盘的中心,扭转悬盘,被测物体与悬盘一起扭转,此时系统总的转动惯量为:

$$J_{总} = \frac{(m_0 + m_1) g R r}{4\pi H} \cdot T_1^2 \quad (2)$$

其中  $m_1$ 是被测物体质量,  $T_1$ 是被测物体与悬盘一起扭转的周期。

则被测物体的转动惯量:  $J_{被} = J_{总} - J_0$ 。

### 2.2 研究扭转角度对周期的影响

在利用三线摆测刚体转动惯量时,要求悬盘扭转角度小于  $5^\circ$ ,为了研究悬盘扭转角度对物体扭转周期的影响,采用悬盘从较大角度 ( $30^\circ$ ) 开始扭转,每10个周期记录一次数据,连续记录至霍尔开关不能分辨为止,获得相关实验数据,则可以通过作图法分析数据,研究扭转角度对周期的影响;分析实验要求扭转角度小于  $5^\circ$  的合理性;并通过数据拟合,外推极限周期。

### 2.3 研究两盘之间距离与周期的关系

调节上摆盘的三个调节螺丝使三悬线等长,用米尺测量上下两圆盘中心之间的距离,并记录线长高度为  $H$  (如  $H$  为  $20\text{cm}$ )。利用水准仪,通过调节连接下圆盘的三线长度,使得下圆盘水平。待下摆盘静止时,轻轻转动上摆盘 ( $5^\circ$  以内),使下摆盘作往返扭摆,并利用多功能毫秒仪记录悬盘扭转周期。改变上下摆盘之间的距离  $H$ ,每次上升  $2.0\text{cm}$ ,并依次记录悬盘扭转周期,并做出  $H-T^2$  曲线,并研究距离  $H$  与悬盘扭转周期的关系,验证并对比实验公式中  $H-T^2$  的关系。

## 3. 实验数据及分析

### 3.1 扭转角度对周期的影响

采用ML型三线摆实验仪和多功能毫秒仪进行研究,多功能毫秒仪设置次数为20,即10个周期,旋转启动盘,带动悬盘以较大角度 ( $20^\circ$ 左右) 扭转,在毫秒仪记录停止时迅速记录数据并按reset复位键进行下一次测量,连续记录数据直至霍尔开关不能分辨小磁铁位置为止。

通过对分析实验数据以及图示可知:从角度较大开始扭转一次,随着时间的推移,悬盘能量逐渐衰减,悬盘扭转的角度越来越小,记录的时间越来越小,因此可推断,当摆

盘扭 转角度发生变化时，摆盘转动周期也会相应的发生变化，且二者大小关系呈正相关。

### 3.2 三线摆实验中两盘之间距离与周期的关系

根据公式(1)变形可得：

$$H = \frac{m_0 g R r}{4\pi J_0} \cdot T_0^2 \quad (3)$$

我们发现悬盘与启动盘间的距离H与悬盘扭转的周期的平方 $T_0^2$ 成正比。因此，多功能毫秒仪预置为20次，即10个周期记录一次数据，改变两盘间的距离，每次升高2.0cm，测量悬盘扭转的最小分辨周期。

表1 两盘间距离与周期变化数据表

次数	1	2	3	4	5
H (cm)	49.90	47.90	45.24	43.35	41.80
10T <sub>0</sub> (s)	14.150	13.897	13.524	13.245	13.010
T <sub>0</sub> (s)	1.415	1.390	1.352	1.324	1.301
T <sub>0</sub> <sup>2</sup>	2.002	1.932	1.828	1.753	1.693

根据表1数据，以高度为横坐标，分别以 $T_0$ 和 $T_0^2$ 为纵坐标，分别做出 $H-T$ 和 $H-T_0^2$ 曲线，发现高度H与周期T，高度H与周期平方的关系没有很大的区别，基本上都是线性的，这与公式不相符，因此，用对应的高度H与周期 $T_0$ 、周期平方 $T_0^2$ 相比获得数据表3。

表2 高度H与周期 $T_0$ 、周期平方 $T_0^2$ 对比数据表

次数	1	2	3	4	5
$H/T_0$	35.36	34.46	33.46	32.74	32.13
$H/T_0^2$	24.92	24.79	24.75	24.73	24.69

根据表2的数据，实验数据结果基本与实验公式分析结论吻合，高度H与周期T不是线性，而高度H与周期平方是成线性关系的。

### 3.3 三线摆实验中质量分布对周期的影响

调节上摆盘的三个调节螺丝使三悬线等长，利用水准仪，通过调节连接下圆盘的三线长度，使得下圆盘水平，取两匀质砝码，用游标卡尺测出其直径，将其对称放置于三线摆下摆盘两侧，测量两砝码间距离（两砝码中心间距离）并记录。调整摆线长度使下摆盘保持水平，转动上摆盘使下摆盘作往返运动，由霍尔开关测量出扭转周期。改变砝码到下摆盘中心的距离，重复上述步骤，并依次记录两砝码间的距离以及三线摆扭转周期，获得表3数据：

表 3

次数	1	2	3	4	5
d(cm)	13.928	11.910	9.956	8.020	5.966
10T	14.642	13.752	13.160	12.620	12.223

实验中，每次都选取一次扭转的最小时间，即霍尔开关最小分辨角的时间，做出质量分布与周期变化曲线，如图2。

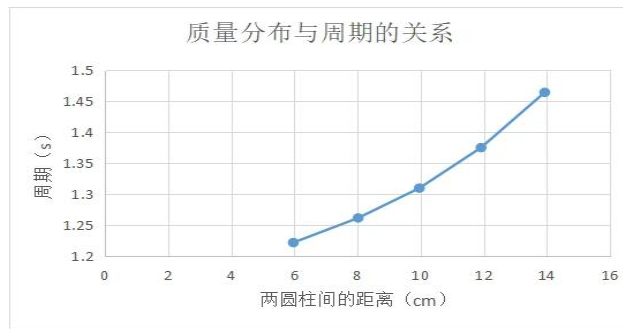


图2 质量分布与周期变化曲线图

由该曲线可知，三线摆在小角度（小于5°）扭转时，角动量近似守恒，因此随着两个圆柱向悬盘中心靠近，质量距转动轴的距离就减小，周期也就变小，转动加快。因此，就能解释花样滑冰运动员、芭蕾舞演员在直立旋转时表演出忽快忽慢的旋转表演。

## 4. 结论

根据上面的实验，我们发现利用三线摆刚体转动惯量测量仪可以获得下列结论：

- 1) 研究扭转角度与周期的关系，即：扭转角度越小，周期越小，且周期测量越准确；
- 2) 研究盘间距与周期的关系，即：盘间距与周期平方成正比；
- 3) 物体质量分布与周期的关系，即：质量分布向中心收缩，悬盘扭转周期越小，物体转动越快。

通过上面的实验，丰富了三线摆测刚体转动惯量仪的实验研究内容，使传统转动惯量测定实验变成了一个探究性的综合性实验，在培养学生实验兴趣，动手能力，创新思维能力上起到一定作用，也为改革传统实验开拓了新思路，找到了新方法。

## 参考文献

[1]朱瑜, 邵雪纯. 三线摆测转动惯量时高度对测量结果的影响[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(08): 16-18+31.

## 作者简介:

杨涛(1970-), 男, 四川大竹人, 硕士, 高级实验师, 大学物理实验中心主任, 研究方向: 吸波材料与陶瓷材料。