

转动惯量（三线摆）实验仪

NS1121 型 （含实验讲义）



使用说明书

深圳摩世达科技有限公司

使用前，请务必详细阅读本说明书，并按规范操作。

NS1121 型 三线摆实验仪使用说明

转动惯量是刚体转动惯性的量度，它与刚体的质量分布和转轴的位置有关。对于形状简单的均匀刚体，测出其外形尺寸和质量，就可以计算其转动惯量。对于形状复杂、质量分布不均匀的刚体，通常利用转动实验来测定其转动惯量。三线摆法是其中的常用办法。为了便于与理论计算值比较，实验中的被测刚体均采用形状规则的刚体。

一、实验内容：

- 1、学会用三线摆测定物体的转动惯量。
- 2、学会用累积放大法测量周期运动的周期。
- 3、验证转动惯量的平行轴定理。

二、主要技术参数：

- 1、摆线长度可调，最大长度大于 500mm
- 2、实验样品圆盘圆环各一个，小圆柱体两个
- 3、每套设备包含水平仪一个
- 4、具有可调节底脚。
- 5、秒表计时范围 $0 \sim 999.999\text{s}$ ，分辨率 0.001s
- 6、单片机计数范围 $1 \sim 99$ 次，实验时带次数显示，有效防止误记数。

三、仪器使用

- 1、打开电源，程序显示预置周期，即：小球来回经过光电门的次数为 $T=2n+1$ 次。
- 2、据具体要求，若要设置 50 次，先按“置数”，再按上调（或下调）改变周期 T ，再按“置数”锁定，此时，即可按执行键开始计时，信号灯不停闪烁，即为计时状态，当物体经过光电门的周期次数达到设定值，数显将显示具体时间，单位“秒”。须再执行“50”周期时，无须重设置，只要按“返回”即可回到上次刚执行的周期数“50”，再按“执行”键，便可以第二次计时。

四、注意事项：

- 1、仪器使用光电门计时，故实验时不能让仪器置于阳光直射的位置；
- 2、摆动摆盘时动作要轻、稳，严禁大幅度摆动或耍弄摆盘；
- 3、调节摆线时要小心，旋钮要及时拧紧；
- 4、仪器的保修期为 12 个月，有特殊要求的除外。

三线摆法测试物体的转动惯量

转动惯量是刚体转动惯性大小的量度，是表征刚体特性的一个物理量。转动惯量的大小除与物体质量有关外，还与转轴的位置和质量分布（即形状、大小和密度）有关。如果刚体形状简单，且质量分布均匀，可直接计算出它绕特定轴的转动惯量。但在工程实践中，我们常碰到大量形状复杂，且质量分布不均匀刚体，理论计算将极为复杂，通常采用实验方法来测定。

转动惯量的测量，一般都是使刚体以一定的形式运动。通过表征这种运动特征的物理量与转动惯量之间的关系，进行转换测量。测量刚体转动惯量的方法有多种，三线摆法是具有较好物理思想的实验方法，

它具有设备简单、直观、测试方便等优点。

【实验目的】

1. 学会用三线摆测定物体的转动惯量。
2. 学会用累积放大法测量周期运动的周期。
3. 验证转动惯量的平行轴定理。

【实验器具】

- | | |
|------------------------|-----|
| 1. NS1121 转动惯量测试仪（三线摆） | 1 台 |
| 2. 实验机架 | 1 套 |
| 3. 圆环 | 1 块 |
| 4. 圆柱体 | 2 个 |

【实验原理】

图 1 是三线摆实验装置的示意图。上、下圆盘均处于水平，悬挂在横梁上。三个对称分布的等长悬线将两圆盘相连。上圆盘固定，下圆盘可绕中心轴 OO' 作扭摆运动。当下盘转动角度很小，且略去空气阻力时，扭摆的运动可近似看作简谐运动。根据能量守恒定律和刚体转动定律均可以导出物体绕中心轴 OO' 的转动惯量（推导过程见本实验附录）。

$$I_0 = \frac{m_0 g R r}{4\pi^2 H_0} T_0^2 \quad (1)$$

式中各物理量的意义如下： m_0 为下盘的质量； r 、 R 分别为上下悬点离各自圆盘中心的距离； H_0 为平衡时上下盘间的垂直距离； T_0 为下盘作简谐运动的周期， g 为重力加速度（在杭州地区 $g = 9.793 \text{ m/s}^2$ ）。

将质量为 m 的待测物体放在下盘上，并使待测刚体的转轴与 OO' 轴重合。测出此时摆动周期 T_1 和上下圆盘间的垂直距离 H 。同理可求得待测刚体和下圆盘对中心转轴 OO' 轴的总转动惯量为：

$$I_1 = \frac{(m_0 + m) g R r}{4\pi^2 H} T_1^2 \quad (2)$$

如不计因重量变化而引起悬线伸长，则有 $H \approx H_0$ 。那么，待测物体绕中心轴的转动惯量为：

$$I = I_1 - I_0 = \frac{g R r}{4\pi^2 H} [(m + m_0) T_1^2 - m_0 T_0^2] \quad (3)$$

因此，通过长度、质量和时间的测量，便可求出刚体绕某轴的转动惯量。

用三线摆法还可以验证平行轴定理。若质量为 m 的物体绕通过其质心轴的转动惯量为 I_c ，当转轴平行移动距离 x 时（如图 2 所示），则此物体对新轴 OO' 的转动惯量为 $I_{oo'} = I_c + m x^2$ 。这一结论称为转动惯量的平行轴定理。

实验时将质量均为 m' ，形状和质量分布完全相同的两个圆柱体对称地放置在下圆盘上（下盘有对称的两个小孔）。按同样的方法，测出两小圆柱体和下盘绕中心轴 OO' 的转动周期 T_x ，则可求出每个柱体对中心转轴 OO' 的转动惯量：

$$I_x = \frac{(m_0 + 2m') g R r}{4\pi^2 H} T_x^2 - I_0 \quad (4-4)$$

如果测出小圆柱中心与下圆盘中心之间的距离 x 以及小圆柱体的半径 R_x ，则由平行轴定理可求得

$$I'_x = m' x^2 + \frac{1}{2} m' R_x^2 \quad (4-5)$$

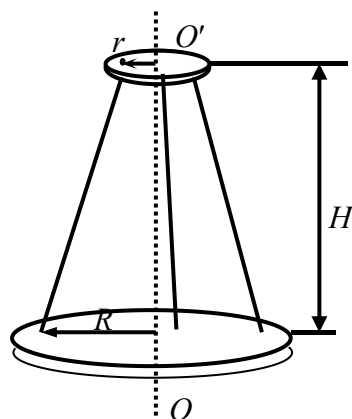


图 1 三线摆实验装置图

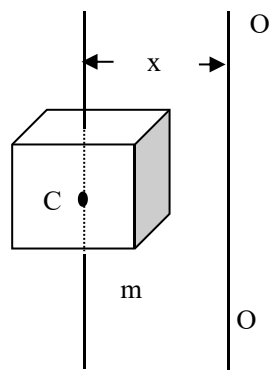


图 2 平行轴定理

比较 I_x 与 I'_x 的大小, 可验证平行轴定理.

【实验仪器】

三线摆、水准仪、停表、米尺、游标卡尺、天平以及待测物体等。

【仪器操作】

- 1、打开电源，程序预置周期为 $T=9$ （数显）；
- 2、据具体要求，若要设置 50 次，先按“置数”，再按上调（或下调）改变周期 T ，再按“置数”锁定，此时，即可按执行键开始计时，信号灯不停闪烁，即为计时状态，当物体经过光电门的周期次数达到设定值，数显将显示具体时间，单位“秒”。须再执行“50”周期时，无须重设置，只要按“返回”即可回到上次刚执行的周期数“50”，再按“执行”键，便可以第二次计时。
（当断电再开机时，程序从头预置 9 次周期，须重复上述步骤）

【实验内容】

- 1、用三线摆测定圆环对通过其质心且垂直于环面轴的转动惯量。
- 2、用三线摆验证平行轴定理。
- 3、实验步骤要点如下：
 - (1) 调整下盘水平：将水准仪置于下盘任意两悬线之间，调整小圆盘上的三个旋扭，改变三悬线的长度，直至下盘水平。
 - (2) 测量空盘绕中心轴 OO' 转动的运动周期 T_0 ：轻轻转动上盘，带动下盘转动，这样可以避免三线摆在作扭摆运动时发生晃动。注意扭摆的转角控制在 5° 以内。用累积放大法测出扭摆运动的周期（用秒表测量累积 30 至 50 次的时间，然后求出其运动周期，为什么不直接测量一个周期？）。测量时间时，应在下盘通过平衡位置时开始计数，并默读 5、4、3、2、1、0，当数到“0”时启动停表，这样既有一个计数的准备过程，又不致于少数一个周期。
 - (3) 测出待测圆环与下盘共同转动的周期 T_l ：将待测圆环置于下盘上，注意使两者中心重合，按同样的方法测出它们一起运动的周期 T_l 。
 - (4) 测出二小圆柱体（对称放置）与下盘共同转动的周期 T_x 。
 - (5) 测出上下圆盘三悬点之间的距离 a 和 b ，然后算出悬点到中心的距离 r 和 R （等边三角形外接圆半径）
 - (6) 其它物理量的测量：用米尺测出两圆盘之间的垂直距离 H_0 和放置两小圆柱体小孔间距 $2x$ ；用游标卡尺测出待测圆环的内、外直径 $2R_1$ 、 $2R_2$ 和小圆柱体的直径 $2R_x$ 。
 - (7) 记录各刚体的质量。
- 3、测量圆球的转动惯量。
测量方法同前。注意要将三线摆下圆盘换成不锈钢半圆球，只要将下圆盘下面的固定绳抽结打开，就可替换成不锈钢半圆球。先测出不锈钢半圆球的转动惯量，再将空心圆球（篮球和排球）放置于不锈钢半圆球内，便可测量出空心圆球的转动惯量。

【数据与结果】

1. 实验数据记录

$$r = \frac{\sqrt{3}}{3}a = \quad \quad \quad R = \frac{\sqrt{3}}{3}b = \quad \quad \quad H_0 =$$

$$\text{下盘质量 } m_0 = \quad \quad \quad \text{待测圆环质量 } m = \quad \quad \quad \text{圆柱体质量 } m' =$$

注：本实验的上摆悬线孔的半径 $r=44.0\text{mm}$ ，下摆悬线孔的半径 $R=90.0\text{mm}$

表 4-1：累积法测周期数据记录参考表格

摆动 50 次	下盘		下盘加圆环		下盘加两圆柱	
	1		1		1	

(或 30 次) 所需 时间 单位 (秒)	2		2		2	
	3		3		3	
	4		4		4	
	5		5		5	
	平均		平均		平均	
周 期	$T_0 = S$		$T_l = S$		$T_x = S$	

表 4-2：有关长度多次测量数据记录参考表

项目 次数	上盘悬孔 间 距 $a(cm)$	上盘悬孔 间 距 $b(cm)$	待测圆环		小圆柱体直 径 $2R_x(cm)$	放置小圆柱 体两小孔间 距 $2x(cm)$
			外直径 $2R_1(cm)$	内直径 $2R_2(cm)$		
1						
2						
3						
4						
5						
平均						

2. 待测圆环测量结果的计算，并与理论值计算值比较，求相对误差并进行讨论。已知理想圆环绕中心轴转动惯量的计算公式为 $I_{\text{理论}} = \frac{m}{2}(R_1^2 + R_2^2)$ 。

3. 求出圆柱体绕自身轴的转动惯量，并与理论计算值 $\{I_{\text{理}} = \frac{m'}{2}R_x'^2\}$ 比较，验证平行轴定理。

【思考题】

1. 用三线摆测刚体转动惯量时，为什么必须保持下盘水平？
2. 在测量过程中，如下盘出现晃动，对周期有测量有影响吗？如有影响，应如何避免之？
3. 三线摆放上待测物后，其摆动周期是否一定比空盘的转动周期大？为什么？
4. 测量圆环的转动惯量时，若圆环的转轴与下盘转轴不重合，对实验结果有何影响？
5. 如何利用三线摆测定任意形状的物体绕某轴的转动惯量？
6. 三线摆在摆动中受空气阻尼，振幅越来越小，它的周期是否会变化？对测量结果影响大吗？为什么？

深圳摩世达科技有限公司
地址：深圳市光明区马田街道合水口社区松白路 5055 号
电话：18688924799
网址：www.szmostar.com