

实验题目：扭摆法测定物体的转动惯量

[实验目的]

1. 学习扭摆的构造和转动惯量测试仪的使用方法。
2. 学会用扭摆法测定不同形状物体的转动惯量。
3. 理解平行轴定理。

[实验仪器设备]

扭摆装置, 转动惯量测试仪, YP1200型数字式电子秤, 游标卡尺, 高度尺等。

[实验原理]

将物体在水平面内转过 θ 角. 在弹簧恢复力矩作用下, 物体就开始绕垂直轴做往返扭转运动. 根据胡克定律, 弹簧受扭转而产生的恢复力矩 M 与所转过的角度 θ 成正比, 即

$$M = -k\theta \quad ①$$

式中 k 为弹簧的扭转常量。

根据转动定律 $M = I\beta$, 得

$$\beta = M/I \quad ②$$

令 $\omega^2 = k/I$, 忽略轴承摩擦阻力矩, 由式①②得

$$\beta = \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{k}{I}\theta = -\omega^2\theta$$

上述方程表示扭摆运动为简谐振动，角加速度与角位移成正比，且方向相反。此方程的解

$$\theta = A \cos(\omega t + \varphi)$$

式中， A 为简谐振动的角振幅， φ 为初相位角， ω 为圆频率。此简谐振动的周期

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}} \quad (3)$$

由式③可知，只要实验测得物体扭摆运动的摆动周期 T ，其转动惯量为

$$I = \frac{k}{4\pi^2} T^2 \quad (4)$$

理论证明，若质量为 m 的物体绕通过质心轴的转动惯量为 I_0 时，当转轴平行移动距离 x 时，则此物体对新轴的转动惯量变为 $I_0 + mx^2$ 。这就是转动惯量的平行轴定理。

[实验步骤]

- (1) “十”字调节法，使水平仪中气泡居中。
- (2) 测出塑料圆柱体的外径，金属圆筒的内外径，^木球直径，均各测三次。
- (3) 测出(2)中物体的质量，各测一次。
- (4) 装上金属载物盘，并调整光电探头的位置，使载物盘上的挡光杆处于其缺口中央且能遮住发射红外线的小孔。使用(转动惯量)测试仪测定摆动周期 T 。

实验题目:扭摆法测定物体的转动惯量

- (5) 将塑料圆柱体垂直放置在载物盘上,测定摆动周期 T_1 .
- (6) 取下塑料圆柱体,放上金属圆筒,测定摆动周期 T_2 .
- (7) 取下载物盘和金属圆筒,装上木球,测定摆动周期 T_3 .
- (8) 取下木球,装上金属细杆,保证金属细杆中心与转轴重合,测定摆动周期 T_4 . (T_1, T_2, T_3, T_4 均需测3次)
- (9) 将砝码滑块对称放置在细杆两边凹槽内,分别测定滑块质心距转轴 5.00 cm, 10.00 cm, 15.00 cm, 20.00 cm, 25.00 cm 时的摆动周期,验证平行轴定理.

[数据表格和数据处理]

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{T}_0
$T_0(s)$	0.691	0.692	0.673	0.695	0.692	0.669	0.694	0.692	0.669	0.694	0.6861

求 T_0 的不确定度

$$u_A = S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (T_{0i} - \bar{T}_0)^2}{10-9}} = 0.0035 \text{ s}$$

$$u_B = \Delta/L = 0.0012 \text{ s}$$

$$U_{0.95} = 2 u_{0.68} = 2 \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.0074 \text{ s}$$

$$T_0 = \bar{T}_0 \pm U_{0.95} = (0.6861 \pm 0.0074) \text{ s}$$

($p=95\%$)

天津大学物理实验报告

附 页

	几何尺寸 ($10^{-2}m$)	质量 (kg)	周期 (s)	理论值 (kgm^2)	实验值 (kgm^2)	百分差
塑料圆柱体	9.890	0.881	1.2275	$I_1' = \frac{1}{8}m\bar{D}_1^2$ $= 10.76 \times 10^{-4}$		
	9.870		1.2273			
	9.892		1.2275			
	9.898		1.2275			
金属圆筒	9.402	0.669	1.3970	$I_2' = \frac{1}{8}m(\bar{D}_1^2 + \bar{D}_2^2)$ $= 15.57 \times 10^{-4}$	$I_2 = \frac{k\bar{T}_2^2}{4\pi^2} - I_0$ $= 15.35 \times 10^{-4}$	1.41%
	9.400		1.3960			
	9.400		1.3960			
	9.890		1.3948			
	9.898		1.3961			
	9.890		1.3961			
木球	12.328	1.230	1.3309	$I_3' = \frac{1}{10}m\bar{D}^2$ $= 18.71 \times 10^{-4}$	$I_3 = \frac{k\bar{T}_3^2}{4\pi^2} - I_2$ $= 18.17 \times 10^{-4}$	2.89%
	12.332		1.3251			
	12.330		1.3306			

球支座转动惯量实验值 $I_2 = 0.179 \times 10^{-4} kgm^2$

(1) 塑料圆柱体的转动惯量 $I_1' = \frac{1}{8}m\bar{D}_1^2 = \frac{1}{8} \times 0.881 \times (9.884 \times 10^{-2})^2 = 10.76 \times 10^{-4} kgm^2$

扭转常数 $k = \frac{4\pi^2 I_1'}{T_1^2 - T_0^2} = 4.101 \times 10^{-2} kgm^2/s^2$

载物盘转动惯量 $I_0 = \frac{I_1' T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} = 4.890 \times 10^{-4} kgm^2$ ✓

(2) 金属圆筒转动惯量

理论计算值 $I_2' = \frac{1}{8}m(\bar{D}_1^2 + \bar{D}_2^2) = 15.57 \times 10^{-4} kgm^2$

实验值 $I_2 = \frac{k\bar{T}_2^2}{4\pi^2} - I_0 = 15.35 \times 10^{-4} kgm^2$

百分差 $B_2 = \frac{|I_2' - I_2|}{I_2'} = \frac{|15.57 \times 10^{-4} - 15.35 \times 10^{-4}|}{15.57 \times 10^{-4}} = 1.41\%$

(3) 木球转动惯量

理论计算值 $I_3' = \frac{1}{10}m\bar{D}^2 = 18.71 \times 10^{-4} kgm^2$

实验值 $I_3 = \frac{k\bar{T}_3^2}{4\pi^2} - I_2 = 18.17 \times 10^{-4} kgm^2$

百分差 $B_3 = \frac{|I_3' - I_3|}{I_3'} = \frac{|18.71 \times 10^{-4} - 18.17 \times 10^{-4}|}{18.71 \times 10^{-4}} = 2.89\%$

实验题目: 扭摆法测定物体的转动惯量

金属杆及支座转动惯量实验值 $I_4 = \frac{k}{4\pi^2} \overline{T_4}^2 = 0.4132$
(10^{-2} kg m^2)

1.9944 s
1.9944 s
1.9944 s
 $\overline{T_4} = 1.9944 \text{ s}$

$x (10^{-2} \text{ m})$	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00
摆动周期 $T(\text{s})$	2.2877	2.9515	3.8060	4.7408	5.6694
实验值 (10^{-2} kg m^2) $I = \frac{k}{4\pi^2} T^2 - I_4$	0.1305	0.4917	1.092	1.922	2.926
理论值 (10^{-2} kg m^2) $I' = I'_5 + 2mx^2$	0.1253	0.4771	1.063	1.884	2.939
百分差	4.15%	3.06%	2.73%	2.02%	0.44%

二滑块质心转轴转动惯量理论值 $I'_5 = 0.809 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$, $2m = 0.469 \text{ kg}$

(4) 金属杆及其支座转动惯量实验值 $I_4 = \frac{k}{4\pi^2} \overline{T_4}^2 = 4.132 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$

当 $x = 5.00 \times 10^{-2} \text{ m}$ 时

$$\begin{aligned} \text{实验值 } I &= \frac{k}{4\pi^2} T^2 - I_4 = \frac{4.101 \times 10^{-2}}{4\pi^2} \times 2.2877^2 - 4.132 \times 10^{-3} \\ &= 1.305 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

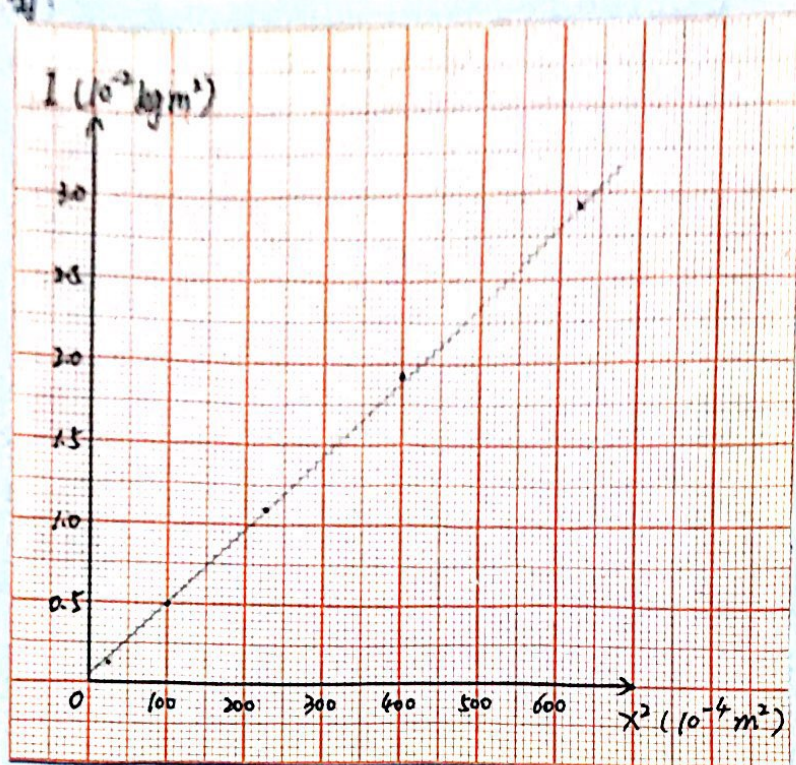
$$\begin{aligned} \text{理论值 } I' &= I'_5 + 2mx^2 = 0.809 \times 10^{-4} + 0.469 \times (5.00 \times 10^{-2})^2 \\ &= 1.253 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{百分差 } B = \frac{|I - I'|}{I'} = \frac{|1.305 \times 10^{-3} - 1.253 \times 10^{-3}|}{1.253 \times 10^{-3}} = 4.15\%$$

同理, 可求出 $x = 10.00, 15.00, 20.00, 25.00, (10^{-2} \text{ m})$ 时的

实验值、理论值及百分差, 填入上表。

作出 $I - x^2$ 图线如图。



[结果分析和讨论]

- (1) 底座务必保持水平状态, 否则误差很大。
- (2) 在安装待测物体时, 其支架必须全部套入扭摆主轴并将螺钉旋紧, 否则扭摆不能正常工作。
- (3) 光电探头宜放置在挡光杆的平衡位置处, 不能直接接触, 以免摩擦影响实验结果。
- (4) 弹簧扭转常数 k 并不是固定的, 与摆角有一定关系, 故实验时尽量保证摆角初始相同。
- (5) 验证平行轴定理时, 随着 x 增大, 百分差越来越小, 猜想: 金属杆的影响越来越小, 更加符合公式的理想条件。

李臣

	几何尺寸 ($10^{-2}m$)		质量 (kg)	周期 (s)	
金属 圆筒	9.398			1.3970	$\overline{T_2}$
	9.402	内径 D_1			
	9.400		0.669	1.3948	
	9.890		0.669		
	9.898	外径 D_2		1.3961	
木球	9.890			1.3309	$\overline{T_3}$
	12.328				
	12.332	直径 \overline{D}	1.230	1.3251	
	12.330			1.3306	

$\overline{T_4}$	1.9941	1.9944	连着四次 1.9944...
	1.9942	1.9944	
	1.9939	1.9944	

$x (10^{-2}m)$	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00
摆动周期 $T(s)$	2.2877	2.9515	3.8060	4.7408	5.6694

两个砝码质量 $2m = 0.464kg$ $0.469kg$

[Signature] 27#
2017.10.30

塑料圆柱体质量 $m = 0.881$ ~~0.881~~ kg

直径 D_1
($10^{-3}m$)

98.90
98.70
98.92

$T_1 (s)$

1.2275
1.2273
1.2275

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{T_0}$
$T_0 (s)$	0.691	0.692	0.673	0.695	0.692	0.669	0.694	0.692	0.669	0.694	0.6861