

第 106 學年度清華大學普通物理實驗(五)

預報 或 結報 課程編號：10610PHYS101011

實驗名稱：轉動慣量

系 級：材料 21

組 別：4

學 號：106031209-106031204

姓 名：彭慧文

組 員：林昭憲

實驗日期：106年11月22日

補作日期：___年___月___日

◎ 以下為助教記錄區

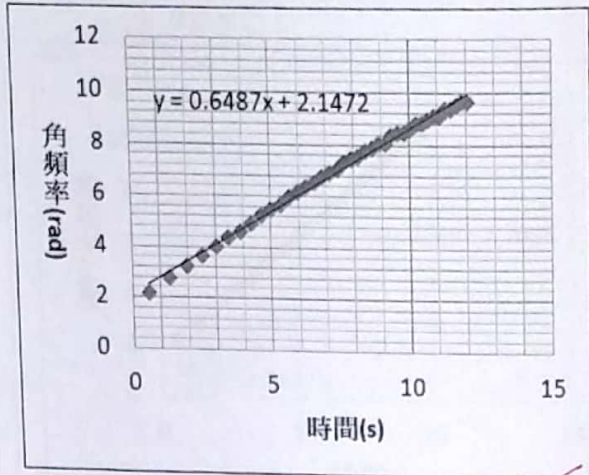
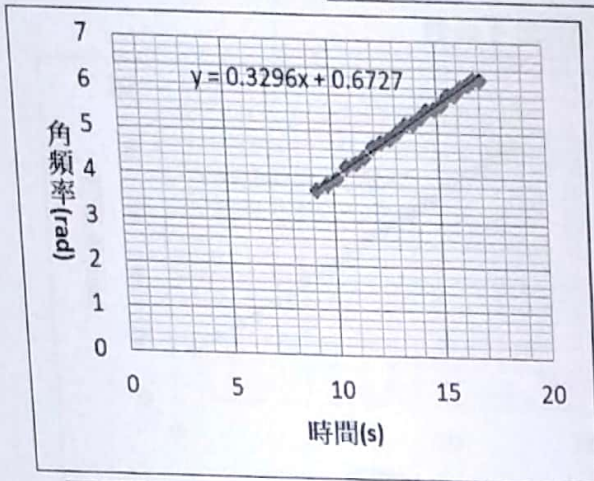
預報繳交日期	報告成績	助教簽名欄
結報繳交日期	91	
報告缺失紀錄		

24

一、結果與分析

(一) 質點式剛體之轉動慣量測量

剛體質量 M(kg)	0.2764
掛物質量 m(kg)	0.0991
剛體與中心轉軸距離 R(m)	0.2050
轉軸半徑 r(m)	0.0085



剛體 + 裝置角加速度 (rad/s ²)	0.3296
剛體 + 裝置加速度 (m/s ²)	0.0028

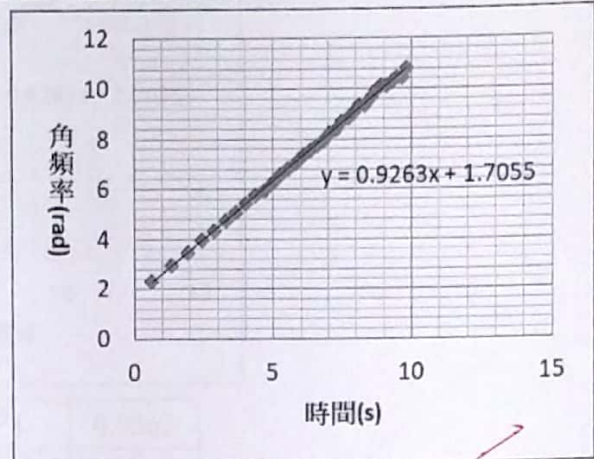
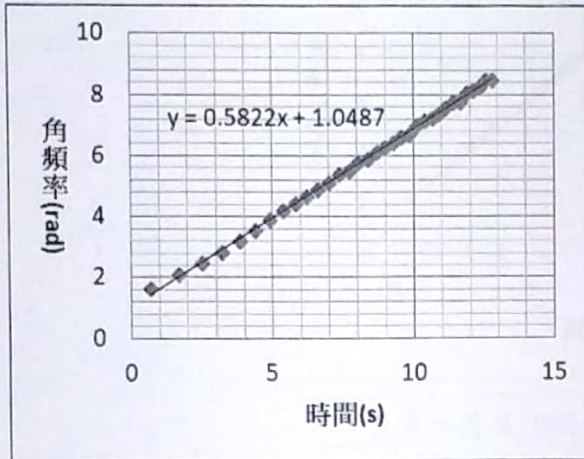
裝置角加速度 (rad/s ²)	0.6487
裝置加速度 (m/s ²)	0.0055

剛體轉動慣量理論值 (kg·m ²)	
0.01161	$I = MR^2$
剛體轉動慣量實驗值 (kg·m ²)	
0.01225	$\tau = I\alpha$ $\Sigma F = mg - T = ma$ $T = m(g - a)$ $\tau = rT = mr(g - a)$ $I = \frac{mr(g - a)}{\alpha}$ <p>(剛體 + 裝置轉動慣量) - 裝置轉動慣量 = 剛體轉動慣量</p>
誤差 (%)	
5.4	$\frac{ \text{轉動慣量理論值} - \text{轉動慣量實驗值} }{\text{轉動慣量實驗值}} \times 100\%$

(二) 盤與環的轉動慣量

1. 環的轉動慣量

環質量 M(kg)	1.4301
環外徑 R1(m)	0.0630
環內徑 R2(m)	0.0577
掛物質量 m(kg)	0.0991
轉軸半徑 r(m)	0.0085



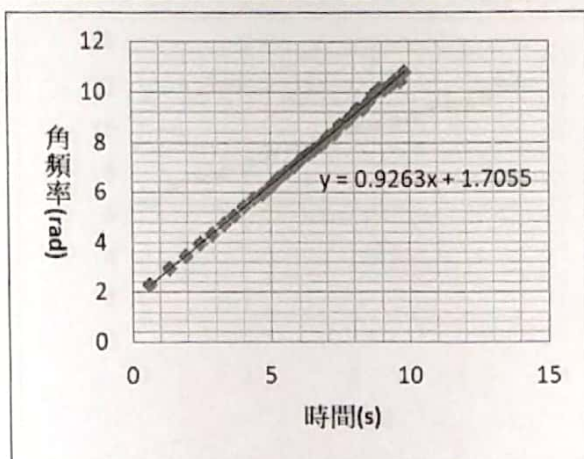
盤 + 環角加速度 (rad/s ²)	0.5822
盤 + 環加速度 (m/s ²)	0.0049

盤角加速度 (rad/s ²)	0.9263
盤加速度 (m/s ²)	0.0078

環轉動慣量理論值(kg·m ²)	
0.00522	$I = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$
環轉動慣量實驗值(kg·m ²)	
0.00524	$\tau = I\alpha$ $\Sigma F = mg - T = ma$ $T = m(g - a)$ $\tau = rT = mr(g - a)$ $I = \frac{mr(g - a)}{\alpha}$ (盤 + 環轉動慣量) - 盤轉動慣量 = 環轉動慣量
誤差(%)	
0.5	$\frac{ \text{轉動慣量理論值} - \text{轉動慣量實驗值} }{\text{轉動慣量實驗值}} \times 100\%$

2. 盤的轉動慣量

盤質量 M(kg)	1.4564
盤半徑 R(m)	0.1060
掛物質量 m(kg)	0.0991
轉軸半徑 r(m)	0.0085

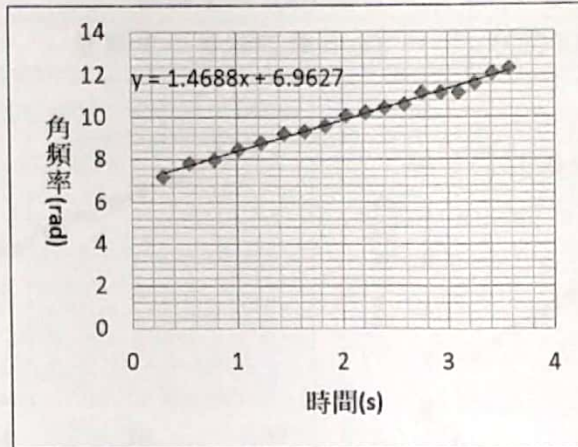


盤角加速度 (rad/s ²)	0.9263
盤加速度 (m/s ²)	0.0078

盤轉動慣量理論值(kg·m ²)	
0.00818	$I = \frac{1}{2}MR^2$
盤轉動慣量實驗值(kg·m ²)	
0.00885	$\tau = I\alpha$ $\Sigma F = mg - T = ma$ $T = m(g - a)$ $\tau = rT = mr(g - a)$ $I = \frac{mr(g - a)}{\alpha}$
誤差(%)	
8.1	$\frac{ \text{轉動慣量理論值} - \text{轉動慣量實驗值} }{\text{轉動慣量實驗值}} \times 100\%$

3. 直立盤的轉動慣量

盤質量 M(kg)	1.4564
盤半徑 R(m)	0.1060
掛物質量 m(kg)	0.0991
轉軸半徑 r(m)	0.0085



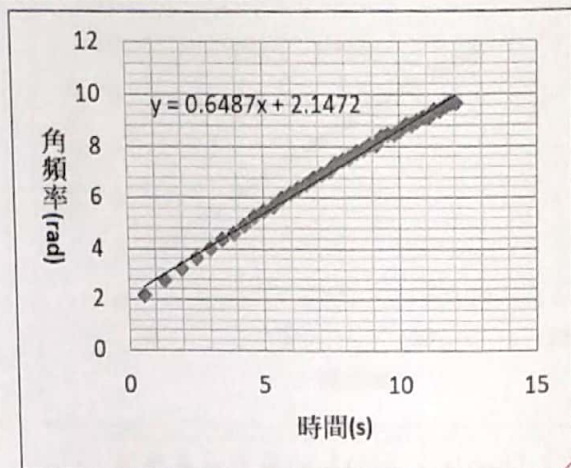
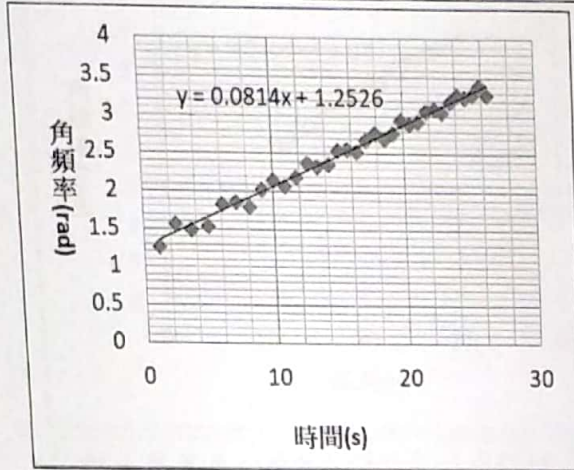
盤角加速度(rad/s ²)	1.4688
盤加速度(m/s ²)	0.0124

直立盤轉動慣量理論值(kg·m ²)	
0.00409	$I = \frac{1}{4} MR^2$
直立盤轉動慣量實驗值(kg·m ²)	
0.00558	$\tau = I\alpha$ $\Sigma F = mg - T = ma$ $T = m(g - a)$ $\tau = rT = mr(g - a)$ $I = \frac{mr(g - a)}{\alpha}$
誤差(%)	
36.4	$\frac{ \text{轉動慣量理論值} - \text{轉動慣量實驗值} }{\text{轉動慣量實驗值}} \times 100\%$

(三) 盤的偏離軸心轉動慣量

1. 盤固定

盤質量 M(kg)	1.4564
盤半徑 R(m)	0.1060
掛物質量 m(kg)	0.0991
轉軸半徑 r(m)	0.0085
盤與中心轉軸距離 d(m)	0.2000



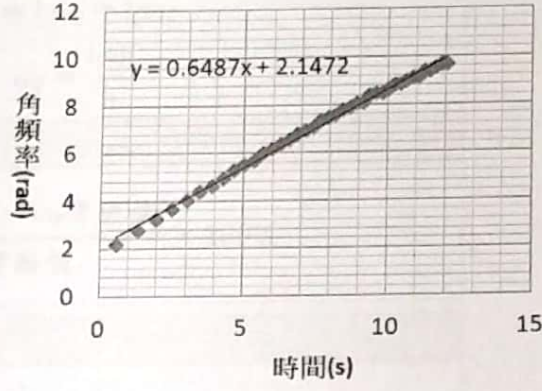
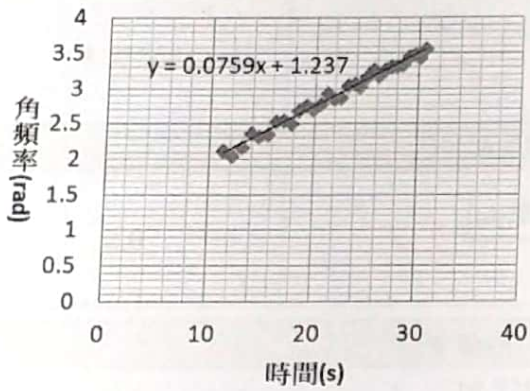
盤 + 裝置角加速度 (rad/s ²)	0.0814
盤 + 裝置加速度 (m/s ²)	0.0007

裝置角加速度 (rad/s ²)	0.6487
裝置加速度 (m/s ²)	0.0055

盤固定轉動慣量理論值 (kg·m ²)	
0.066437	$I = \frac{1}{2}MR^2 + Md^2$
盤固定轉動慣量實驗值 (kg·m ²)	
0.088157	$\tau = I\alpha$ $\Sigma F = mg - T = ma$ $T = m(g - a)$ $\tau = rT = mr(g - a)$ $I = \frac{mr(g - a)}{\alpha}$ <p>(盤 + 裝置轉動慣量) - 裝置轉動慣量 = 盤轉動慣量</p>
誤差 (%)	
32.7	$\frac{ \text{轉動慣量理論值} - \text{轉動慣量實驗值} }{\text{轉動慣量實驗值}} \times 100\%$

2. 盤自由

盤質量 M(kg)	1.4564
盤半徑 R(m)	0.1060
掛物質量 m(kg)	0.0991
轉軸半徑 r(m)	0.0085
盤與中心轉軸距離 d(m)	0.2000



盤 + 裝置角加速度 (rad/s ²)	0.0759
盤 + 裝置加速度 (m/s ²)	0.0006

裝置角加速度 (rad/s ²)	0.6487
裝置加速度 (m/s ²)	0.0055

盤自由轉動慣量理論值(kg·m ²)	
0.058255	$I = Md^2$
盤自由轉動慣量實驗值(kg·m ²)	
0.095462	$\tau = I\alpha$ $\Sigma F = mg - T = ma$ $T = m(g - a)$ $\tau = rT = mr(g - a)$ $I = \frac{mr(g - a)}{\alpha}$ <p style="text-align: center;">(盤 + 裝置轉動慣量) - 裝置轉動慣量 = 盤轉動慣量</p>
誤差(%)	
63.9	$\frac{ \text{轉動慣量理論值} - \text{轉動慣量實驗值} }{\text{轉動慣量實驗值}} \times 100\%$

(四) 角動量守恆

ω _i 實驗值(rad/s ²)	
13.58992	
ω _f 實驗值(rad/s ²)	
8.36661	
ω _f 理論值(rad/s ²)	
8.53565	$L = I_i \omega_i = I_f \omega_f$ $\omega_f = \frac{I_i \omega_i}{I_f}$
誤差(%)	
2.0	$\frac{ \omega_f \text{理論值} - \omega_f \text{實驗值} }{\omega_f \text{實驗值}} \times 100\%$
ω _i 實驗值(rad/s ²)	
14.77998	
ω _f 實驗值(rad/s ²)	
9.41323	
ω _f 理論值(rad/s ²)	
9.28311	$L = I_i \omega_i = I_f \omega_f$ $\omega_f = \frac{I_i \omega_i}{I_f}$
誤差(%)	
1.4	$\frac{ \omega_f \text{理論值} - \omega_f \text{實驗值} }{\omega_f \text{實驗值}} \times 100\%$
ω _i 實驗值(rad/s ²)	
15.48277	
ω _f 實驗值(rad/s ²)	
9.41324	
ω _f 理論值(rad/s ²)	
9.72452	$L = I_i \omega_i = I_f \omega_f$ $\omega_f = \frac{I_i \omega_i}{I_f}$
誤差(%)	
3.3	$\frac{ \omega_f \text{理論值} - \omega_f \text{實驗值} }{\omega_f \text{實驗值}} \times 100\%$

二、結果與討論

實驗 A：質點式剛體之轉動慣量測量

本實驗可能造成誤差的因素(1)未考慮摩擦力

- (2)旋轉平台未調成水平
- (3)連接砝碼的細線未達到水平
- (4)細線未纏繞好，導致摩擦力過大
- (5)待測物未固定
- (6)砝碼下滑時左右晃動
- (7)光電閘感應不靈敏

這個實驗我們的誤差為 5.4%，尚在可以接受的範圍。如果將摩擦力考量進去，或許誤差會更小。在讀取光電閘數據時，我們刪除了頭尾較不精確的數據，這也許是誤差較小的原因。

實驗 C：盤與環的轉動慣量

本實驗可能造成誤差的因素(1)盤與環之間的摩擦力

- (2)連接砝碼的細線未達到水平
- (3)圓盤未固定好
- (4)細線未纏繞好，導致摩擦力過大
- (5)砝碼下滑時左右晃動
- (6)光電閘感應不靈敏
- (7)半徑的測量

環的誤差為 0.5%，盤的誤差為 8.1%，直立盤的誤差為 36.4%。此實驗中，半徑的測量會決定實驗的精確度。如果在測量時，直尺或游標尺未通過圓心，所得到的數據不準確，帶入公式計算後誤差會因平方而放大。

實驗 D：盤的偏離軸心轉動慣量

本實驗可能造成誤差的因素(1)未考慮摩擦力

- (2)圓盤未固定好
- (3)旋轉平台未調成水平
- (4)連接砝碼的細線未達到水平
- (5)細線未纏繞好，導致摩擦力過大
- (6)光電閘感應不靈敏

盤固定的誤差為 32.7%，盤自由的誤差為 63.9%。在進行盤自由轉動的實驗時，我們的盤轉動的幅度很小，也許測到的轉動慣量並不是盤自由的轉動慣量。這有可能是誤差飆到 63.9%的原因。

實驗 E：角動量守恆

本實驗可能造成誤差的因素(1)空氣阻力使轉速越來越慢

(2)放置圓環時施力不均

(3)光電閘感應不靈敏

三組數據的誤差皆在 5% 以下，還算準確。實驗一開始用手轉圓盤產生初角速度，因為空氣阻力的關係，轉動速度越來越慢。選取光電閘數據時，應選取靠近圓環放置時間點的數據，會較準確。另外，在放置圓環時，施力不均會對圓盤產生額外力矩，導致角動量不守恆。若因落下的高度過高，環落至盤的衝擊力過大，會產生摩擦，使轉速下降過多。

三、問題與討論

1. 質點式剛體之轉動慣量測量：

(1) 為什麼調水平時，要在轉動平台鎖定一方塊剛體？

答：若先調至水平狀態再加上剛體，可能會破壞先前的水平狀態，所以在調整前要先鎖好剛體。

2. 角動量守恆：

(1) 實驗得到的角速度數據是否與理論值相符？

答：否。角動量守恆是建立在淨力矩為零的前提下。但此實驗在放置環到轉動中的圓盤時，容易因施力不均或是摩擦而產生力矩，因此角動量不守恆，有誤差產生。

(2) 碰撞過程中喪失多少百分比的轉動動能？計算之。0.01409

答：依公式 $\frac{\frac{1}{2}I_1\omega_1^2 - \frac{1}{2}I_f\omega_f^2}{\frac{1}{2}I_1\omega_1^2}$ ，得到 $\frac{\frac{1}{2} \times 0.00885 \times 13.58992^2 - \frac{1}{2} \times 0.01409 \times 8.36661^2}{\frac{1}{2} \times 0.00885 \times 13.58992^2}$ ，

答案為 39.7%。

(3) 比較[B]部分(點質量的角動量守恆)與[E]部分(角動量守恆)的異同。

答：在實驗 B 中，轉動慣量的改變是因為旋轉半徑的改變；在實驗 E 中則是因為質量的改變。

四、心得

16. 老實說我們這次很害怕要在實驗室過夜，因為第一次做向心力實驗做太久，害我們對要一直轉的實驗有點心理陰影。還好助教很仁慈，幾乎把實驗減半。但我們在計算數據時遇到了一些麻煩，跑去向助教求救後，才發現是自己太不小心了，把數據帶錯。之後的過程就越來越順利，很快就做完。真的要謝謝助教的幫忙，不然我們就要浪費超多時間去重做，做到崩潰為止了！

五、參考資料

清大普物實驗室：轉動慣量講義

A

剛體質量 M (kg) = 0.27638 剛體+裝置質量 = 0.85, 裝置 = 0.57362

剛體 & 中心距離 R (m) = 0.205 掛物質量 = 0.09909

轉軸半徑 (m) = 0.00895

理論值: $MR^2 = 0.01161487$ α $a (=r\alpha)$

實際值 = 0.024889 (剛體+裝置) 0.3296 0.00278512

→ 0.012246 (裝置) 0.6487 0.00548152

0.012246 (剛體)

誤差 = 0.054372

C

環質量 = 1430.06

盤質量 = 1456.38

環外半徑(半徑) 63.025

內半徑(半徑) 57.65

理論值 = $\frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2) = 0.005216625$ α $a (=r\alpha)$

實際值 = 0.014092 (環+盤) 0.582 0.0049179

→ 0.008851 (盤) 0.9263 0.00782724

0.005241 (環)

誤差 = 0.004582

盤半徑 = 106.00

理論值 = $\frac{1}{2}MR^2 = 0.008181943$

實際值 = 0.008851 (盤)

誤差 = 0.081826

理論值 = $\frac{1}{4}MR^2 = 0.004090971$ α $a (=r\alpha)$

實際值 = 0.00558 (直立盤) 1.4688 0.01291136

誤差 = 0.363871

err

err