

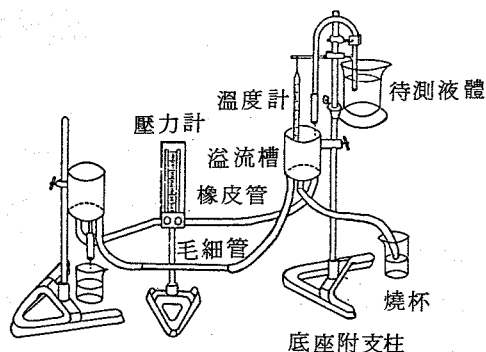
# 利用光電管測量黏滯係數的實驗設計

陳汕塘  
國立中興大學物理系

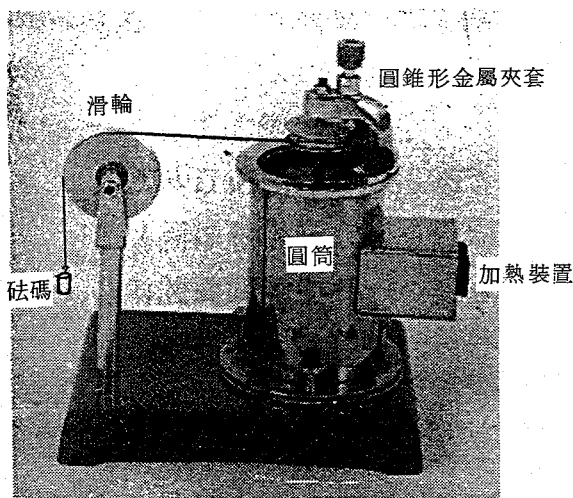
## 壹、前言

目前全國大一普通物理實驗課程中所見到的幾種測量黏滯係數實驗裝置皆有其缺點。

一、是根據泊肅葉定律 ( Poiseuille's Law ) 所設計的實驗，其理論基礎參見 Joos ( 1950 )，其實驗裝置如圖一所示。使用此裝置的缺點有：(一)黏滯係數 $\eta$ 與毛細管半徑的四次方成正比，故毛細管管徑在測量時的微小誤差，即對結果造成很大的影響。(二)毛細管的內徑需均勻的，若有粗細不均勻或輕微堵塞很不容易察覺，但此變因却對實驗的精確性影響很大。(三)對各種不同黏滯性的流體，須採用何種管徑的毛細管，方不致有湍流產生，無法預先得知。( Heavers and Medeiros, 1990 ) (四)此裝置中玻璃管過多不易保管，且用過的毛細管內部清洗不易，使得許多學校教師不太願意將此實驗裝置安排讓學生實驗。第二種方法是將一實心圓柱放入一空心圓柱管中，並將液體注入圓柱管與圓柱間，當圓柱以等速率 $V$ 旋轉時，測量其所需力矩的大小，即可求出該流體的黏滯係數。其理論基礎參見 Feynman (1965)，其實驗裝置如圖二所示。使用此方法的缺點有：(一)無法清楚的解釋物體運動在

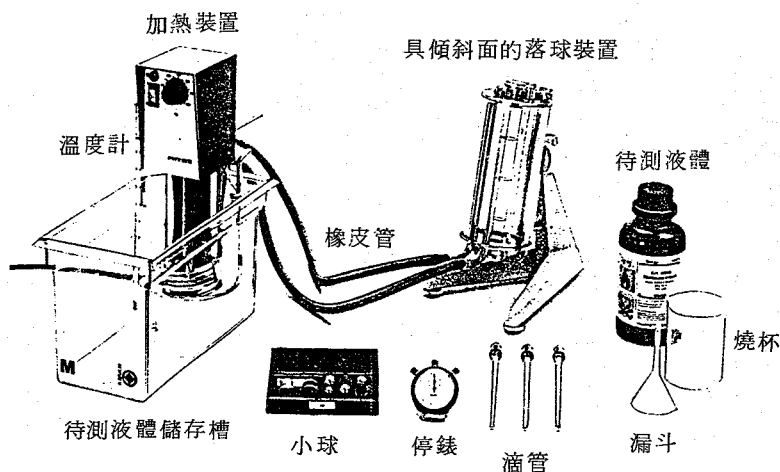


圖一 利用泊肅葉定律的黏滯係數測定裝置



圖二 利用圓柱旋轉法的黏滯係數測定裝置

什麼條件下會達到終端速度。(二)本實驗裝置太過簡陋且誤差太大，根據作者在中興大學教導普通物理實驗的經驗，其誤差約15%左右。三、是根據斯托克定律所設計的實驗，實驗裝置如圖三所示（德國PHYWE儀器公司實驗手冊）。此裝置的缺點是黏滯係數的

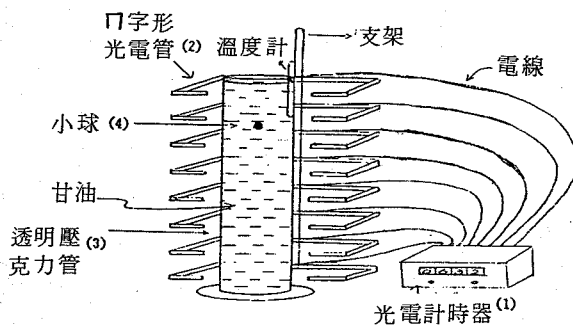


圖三 利用斯托克定律的黏滯係數測定裝置

大小直接由停錶測得時間計算，無法培養學生作圖及分析數據的能力，且此裝置價錢昂貴學校無法負擔。鑑於以上各種實驗的缺點，作者想出一套利用光電管測量黏滯係數的實驗設計希望能提供作為大一普通物理實驗，甚至高中物理或化學實驗的參考。其優點是：(一)根據作者實驗的結果，本設計不但操作簡便，且精確度亦高。(二)本實驗所用到的光電計時器高中以上的學校幾乎都有，且費用低廉。

## 貳、實驗裝置及實驗的進行

利用光電管測量黏滯係數的實驗設計，如圖四所示。其重要程序如下：(一)首先將壓克力的圓柱管內裝滿甘油，並將8組光電管以等距固定於支架上，然後將圓柱管置於光電管的中央，使光電管射出的紅外線通過圓柱管的中心。(二)小球靜置於圓柱管中心並完全浸入甘油中，然後使其自由落下（小球距第一支光電管約2公分）。(三)當小球落下後，八支光電管會記錄小球通過各



圖四 測量黏滯係數的光電管裝置

個光電管的時間。(四)記錄位置、時間和溫度。(五)在相同溫度下重複以上步驟十次。注意的是為了讓管內的液體平靜，在每投下一個小球後需間隔約四分鐘再投入另一個小球。(六)利用  $X-t$  圖及最小平方法求出小球的終端速度  $V_t$ 。(七)利用所求得的  $V_t$  代入公式

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho - \rho_0) g}{V_t (1 + 2.1 \frac{r}{R})} \text{ 就可求得該液體的黏滯係數。}$$

### 叁、理論之根據

斯托克 (Stokes) 對於球形物體在廣大流體中運動所受的阻力之研究貢獻卓著，他首先推導出當小球在高黏滯性流體中均勻運動且滿足低雷諾耳數 (Reynolds Number) 的條件時小球所受的阻力等於  $6\pi r \eta V$  (Joos, 1950)。但當小球在一長度與管徑皆有限的圓柱管中均勻運動時，則此式必須加以修正。Happel 和 Brenner (1957) 認為一半徑為  $r$  的小球在管徑有限且充滿液體的圓柱管中心以均勻速度  $V$  運動時，小球所受的阻力應修正為  $f_r \doteq 6\pi r \eta V (1 + 2.1 \frac{r}{R})$ 。因此當小球以終端速度運動時，由牛頓

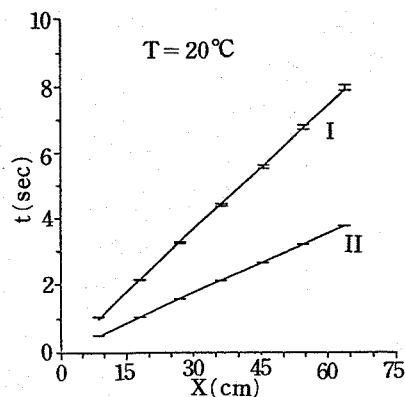
$$\text{第二運動定律可知 } \rho V g - \rho_0 V g - 6\pi r \eta V_t (1 + 2.1 \frac{r}{R}) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

其中  $\rho$  表小球的密度， $\rho_0$  表流體的密度， $V$  為小球的體積， $R$  為圓柱管半徑， $\eta$  為液體的黏滯係數， $g$  為重力加速度。即液體的黏滯係數  $\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho - \rho_0) g}{V_t (1 + 2.1 \frac{r}{R})} \dots\dots\dots (2)$

因此當  $V_t$  已知，則黏滯係數  $\eta$  就可求得。

### 肆、結果與討論

將小鋼球 I ( $r = \frac{0.635}{2}$  cm,  $m = 1.081$  克) 及鋼球 II ( $r = \frac{0.945}{2}$  cm,  $m = 3.550$  克)，在  $T = 20^\circ\text{C}$  時，使其分別在直徑 6.970 cm 且充滿甘油的圓柱管中心自由落下，則小球的位置對時間的關係如圖五所示。由  $X-t$  圖為一直線可知，小鋼球在抵達第一支光電管時已經達到終端速度，並



圖五 鋼球 I、II 的位置—時間圖

由圖中的斜率的倒數可知，兩小球在管中運動的終端速度分別為  $V_t = 7.894 \text{ cm/sec}$  及  $V_t = 16.747 \text{ cm/sec}$ 。代入公式(2)可求得甘油在  $T = 20^\circ\text{C}$  時，其黏滯係數的實驗值分別為  $\eta = 15.67 \text{ poise}$  及  $\eta = 15.17 \text{ poise}$ ，與公認值相比較其百分誤差分別為 5.2%、1.8% (上述計算所用數據為：彰化  $g = 976.52 \text{ cm/s}^2$ ，甘油在  $20^\circ\text{C}$  時公認值  $\rho_0 = 1.264 \text{ g/cm}^3$ ， $\eta = 14.90 \text{ poise}$ )。由以上結果可知，利用光電管測量黏滯係數的實驗設計，其精確度尚佳，確實是一個可行的實驗設計。

## 伍、結 語

利用光電管測量黏滯係數的裝置是一個良好的設計且費用低廉，應可推廣於大一及高中的物理實驗上。尤其在學校的經費允許的情況下，光電管實驗裝置亦可與微電腦相結合——即可將光電計時器再與個人電腦相連接，然後直接由電腦讀取數據及分析資料，如此亦符合了將微電腦與大學物理實驗相結合的新趨勢 (鄭伯昆，民 79)。更具體地說本光電管裝置具有下列幾項優點：(1)對測量黏滯係數而言，它是一個創新的設計，而且其精確性比目前現有的實驗裝置還高。(2)對科學教育而言，光電管裝置操作簡單且價位低廉，它不但適合大一學生實驗更可推廣於高中的實驗教學。(3)從實驗教學角度而言，此光電管裝置可教導學生學習利用  $X - t$  圖及最小平方法去求終端速度。因為作者曾經將本裝置提供作為中部地區高中實驗競賽的題目，結果沒有一位高中生會利用  $X - t$  圖及最小平方法去求終端速度。(4)從大學實驗應微電腦化而言，本裝置亦可與個人電腦連接，符合大學實驗教學的新趨勢。

## 參考文獻

1. 鄭伯昆 (民 79)：對大學物理系實驗課本的一些意見。物理教育月刊，一卷四、五期，151-156。
2. Bevington, P. R. (1969). Data reduction and error analysis for the physical science. McGRAW-Hill Book Company, New York.
3. Feynman, R. P. (1964). Lecture on physics. Copyright by California Institute of Technology. 41-1-41-3.
4. Happel, J. and Bremmer, H. (1957). Slow viscous flow past a sphere in a cylindrical tube. J. Fluid. Mech. 4, 195-213.
5. Heavers, R. M. and Medeiros, M. G. (1990). Laminar and turbulent flow in a glass tube. The Physics Teacher, 28, 297-299.
6. Joos, G. (1950). Theoretical physics. Third edition. 218-222.