

# 物體在液中之運動探討終端速度可能嗎？

## 國中組物理科第一名

臺南市立中山國民中學

作 者：林偉棻、陳怡如

陳怡潾、于嵐華

指導教師：涂泰山、林錦屏

### 一、研究動機

在運動學中經常看到物體在水中的運動，總是忽略阻力；不然就當成理想情形打算。但是，加上阻力小球將如何運動？物體在液體中終端速度究竟有多大？以下就是我們的研究。

### 二、研究目的

利用課本探討運動的方式，求得位置（ $s$ ）與時間（ $t$ ）之關係，進而求平均速度（ $v$ ）及平均加速度（ $a$ ）：

時間( $t$ )	位置( $s$ )	速度( $v$ )	加速度( $a$ )
$t_1$	$s_1$		$\times \times \times \times \times \times \times \times \times$
		$v_1$	
$t_2$	$s_2$		$a_1$
		$v_2$	
$t_3$	$s_3$		$a_2$
		$v_3$	
$t_4$	$s_4$		$\times \times \times \times \times \times \times \times \times$

※電腦時序短暫，能精確測量時間，

因此利用電腦為探測工具。

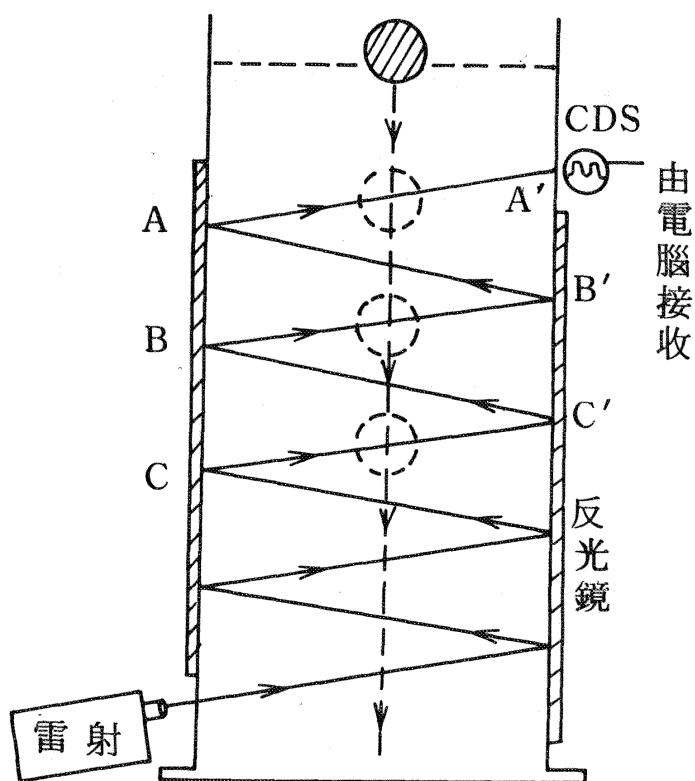
由  $F = ma$  可知合力  
F，且合力=重力  
+ 浮力+ 阻力  
測量出重力與浮力就  
可得知阻力大小，由  
表格內容對照則可知  
任意時刻物體所在的位置、速度、加速度  
、阻力；如此便可對  
該運動完全了解。

### 三、研究過程

實驗設計(一)：

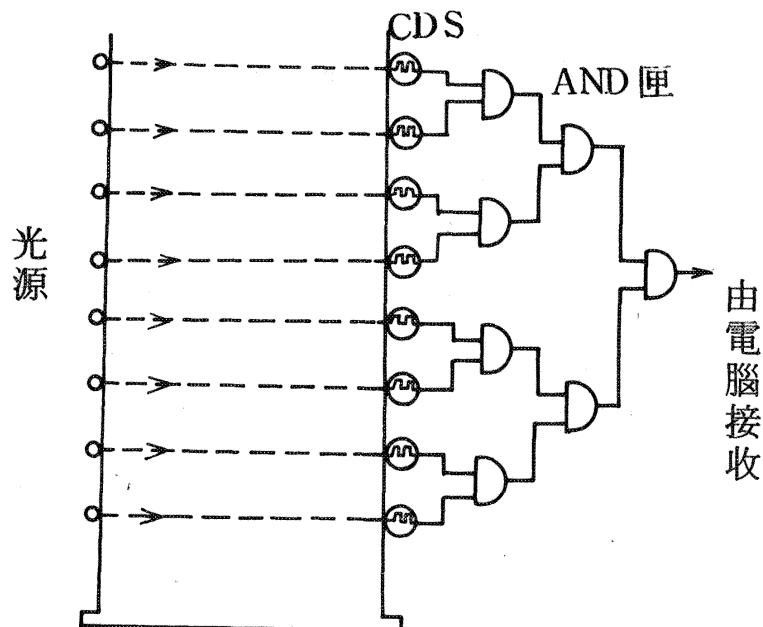
$$\overline{AA'} \parallel \overline{BB'} \parallel \overline{CC'}$$

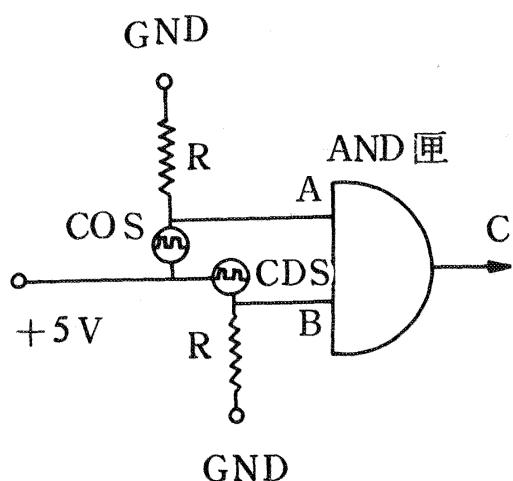
，因此，接收小球通過  
 $\overline{AA'}$ ， $\overline{BB'}$ ， $\overline{CC'}$  時  
光敏電阻之感應，利用  
電腦內的時序即可知位  
置與時間之關係。



※失蹤的光線：當反射次數超過五次時，幾乎無法看見雷射光，  
(因光進入另一介質時，必發生部分反射而散失。)因此我們改變設  
計如下：

實驗設計(二)：

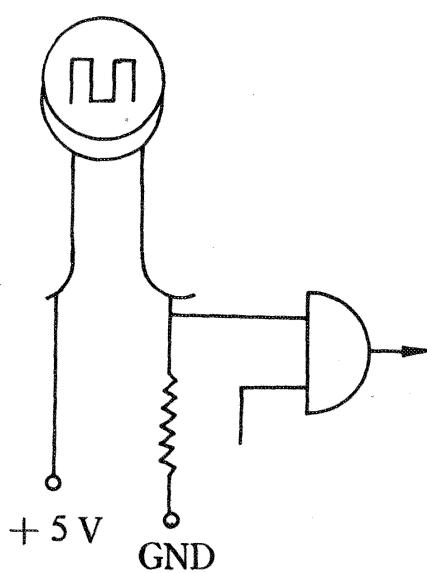




由 R 與光敏電阻構成分壓電路，當光線被遮住時 CDS 電阻增大，使 A 點電位變低，輸出口 C 則為低壓。

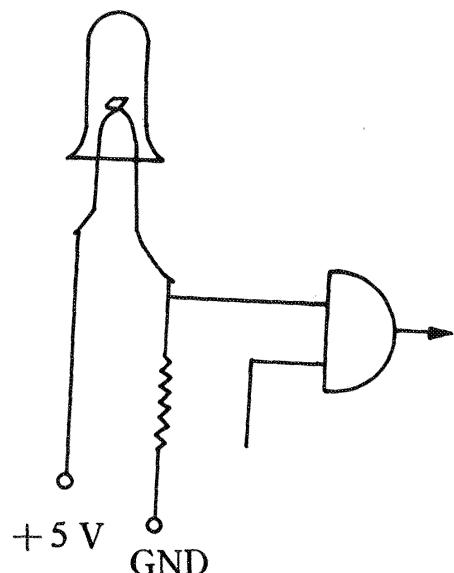
利用邏輯電路 AND 匣將接收點集中成一處，只要小球遮住任何一處光線就可接收到信號。

第一代



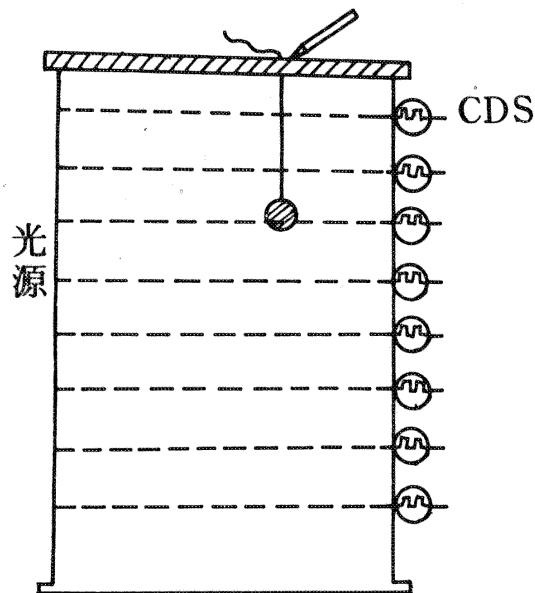
光敏電阻對光線變化所感應之電阻值變化不夠大，無法使 AND 匣正常工作。

第二代



改用光二極體已能正常的接收所感應到的信號。

### 第三代



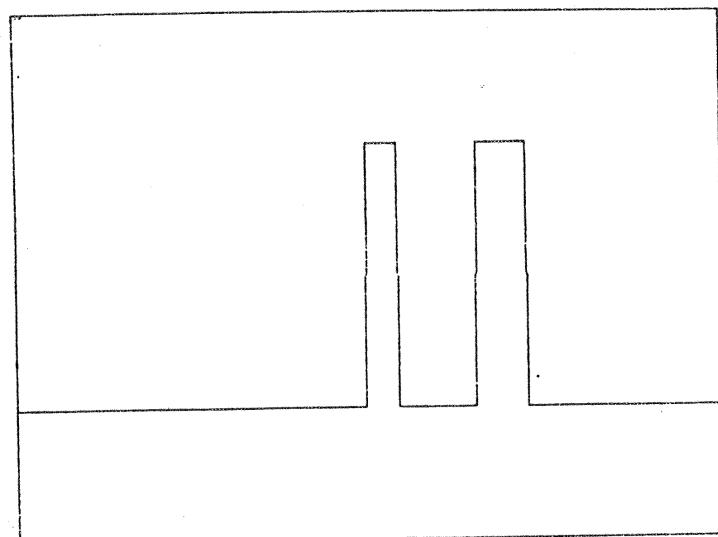
利用實物下落時，對光線之感應來校正各感應點間的距離

※爲了對照實驗結果，我們選用了大小不同的鐵球以作爲對照比較。

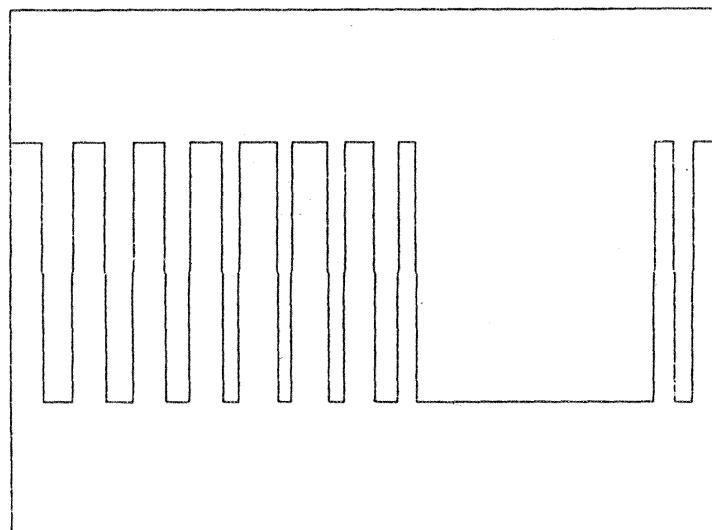
※爲了增加時間的準確性，我們使用 Quick Basic 捉信號，而在 ETBasic 中分析。

■ 結果→〔飄蕩的困擾〕：

★ 失蹤的數據



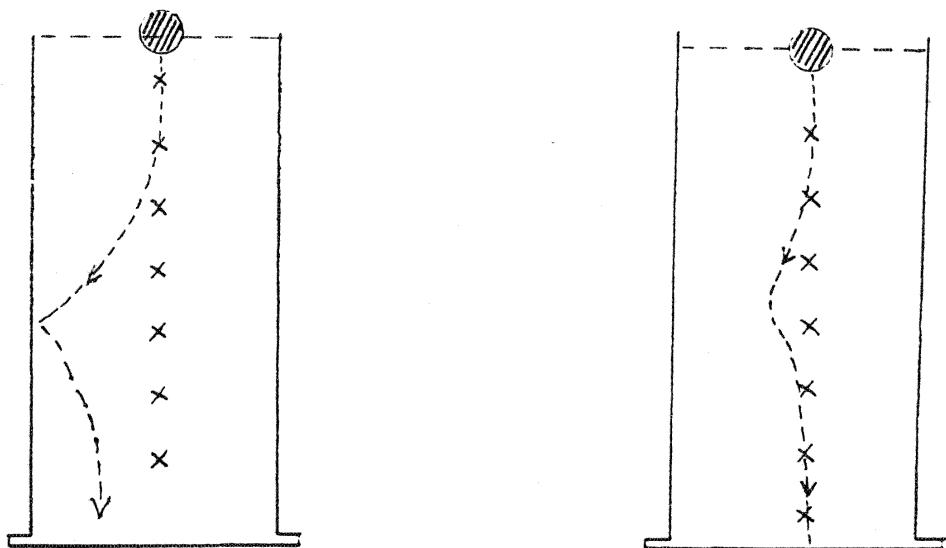
◆失而復得的數據



◆加速度負值的困惑

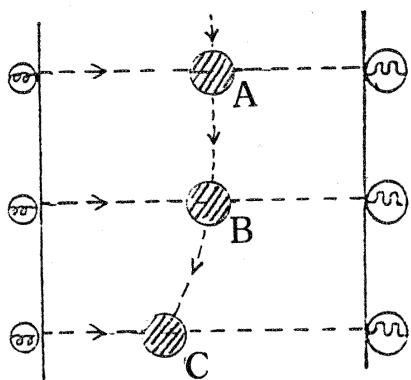
次 數	時 間	位 置	速 度	加 速 度
1	.000	0.00		XXXXX
2	.030	5.00	168.35	701.58
3	.057	10.23	188.49	% - 260.29
4	.085	15.25	181.28	194.98
5	.112	20.17	186.55	% - 346.54
6	.140	25.20	177.06	182.45
7	.168	30.25	182.18	196.64
8	.194	35.20	187.50	% - 229.97
9	.222	40.22	181.28	- 65.07

## ■資料解釋



鐵球在下落過程中，有時可聽見撞擊器壁的聲音，因此我們可確信鐵球必以圖示之運動方式，方可造成數據失蹤之結果。

鐵球在下落過程中有時以不規則之飄蕩，如圖示之運動方式，方可造成數據失蹤之結果。（  
X代表探測點位置。）



鐵球在下落過程中，若以圖示之運動方式通過A，B與B，C時，因AB間路程小於BC之路程，因此造成加速度為負值之結果。

## 實驗設計(三)

在雜亂變化的數據中，鐵球所能測到的速度仍有一極限值，每次測得之速度均不會大於此數值；此結果只有一個可能；即鐵球以終端速度，而且以直線通過A、B兩點。

### ■推論：

若鐵球以終端速度而且以直線通過A、B兩點，則此時所受合力 $= 0$ ；即 重力+浮力+阻力 $= 0$

重力與浮力可直接測量，因此我們可得到速度與阻力之對應關係。

### ■步驟：

I 製作重量不同，大小截面積相同的球，以控制截面積的影響。

II 每個球採多次探測，以找出最可能的最大速度。

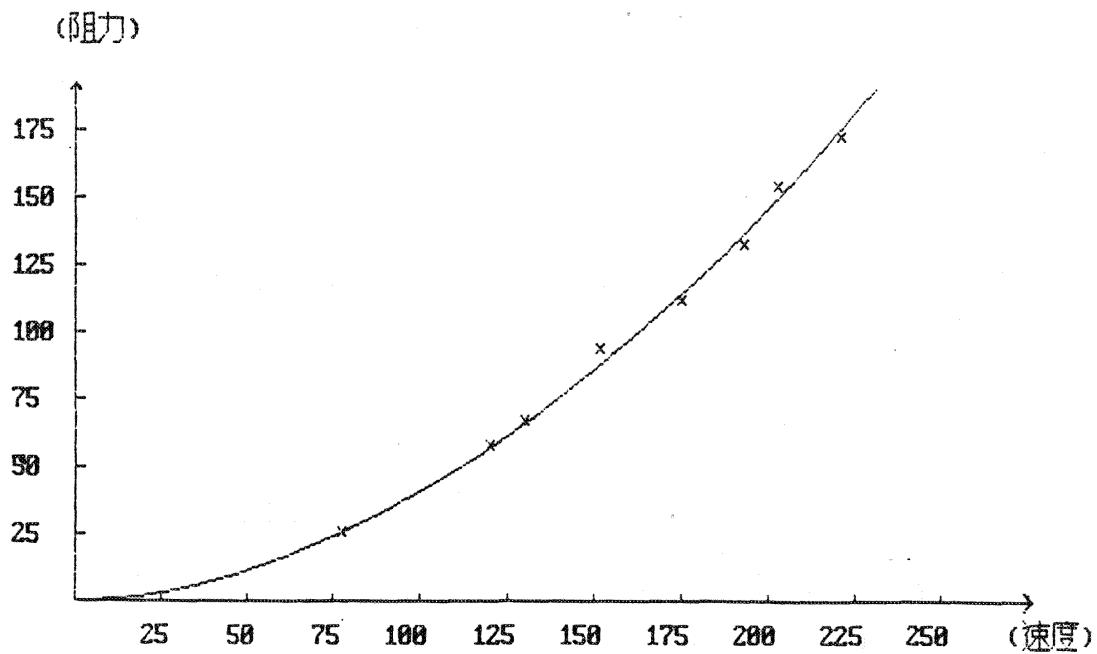
III 以每個球的終端速度與其對應之阻力（阻力=重力-浮力）來探討二者之關係。

### ■結果：

(請參閱原始資料)※註：0-3號未達終端速度故未列入

小球 編號	重量 (gw)	浮力 (gw)	阻力 (gw)	終端速度 (cm/s)
4	201.50	28.50	173.0	221
4.5	183.30	28.50	154.0	203
5	161.70	28.50	133.2	193
5.5	141.00	28.50	112.5	175
6	121.90	28.50	93.4	152
6.5	95.70	28.50	67.2	130
7	86.10	28.50	57.6	120
8	53.95	28.50	25.5	78

## ■作圖：



由實驗結果得知：阻力約與速度的 1.84 次方成正比

## 實驗設計(四)

### ■推論：

若阻力 ( $F$ ) 與速度 ( $V$ ) 和截面積 ( $A$ ) 有關，我們只要控制其變因不變，應有下列之關係式

$$F = K A^x V^y$$

對一球體在水中之運動， $A$ ，可直接量得， $Y$  值由實驗活動中已知，若  $V$  採終端速度，則阻力  $F$  亦可得之，因此可分析出  $X$  之值。

### ■步驟：

I 採用質料相同，大小不同的鐵球，測量其重力 ( $W$ ) 與浮力 ( $B$ )、截面積 ( $A$ )。

II 測出其終端速度 ( $V$ )。

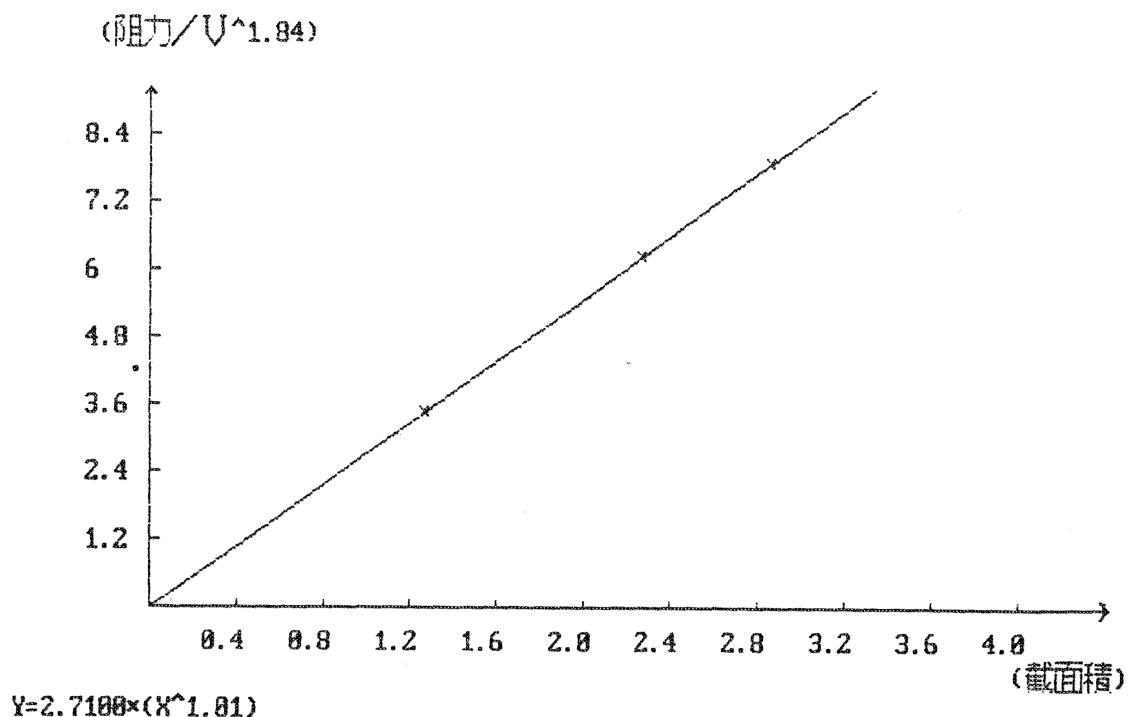
III 阻力  $F = W - B$ ，以  $F \propto V^{1.84}$  和截面積 ( $A$ ) 作圖，探討二者之關係。

### ■結果：

(請參閱原始資料)

鐵球編號	1	2	3
重量(gw)	28.50	19.95	8.40
浮力(gw)	3.65	2.57	1.03
阻力(gw)	24.85	17.38	7.37
V(m/x)	1.87	1.75	1.51
$V^{1.84}$	3.16	2.80	2.13
$F^3 = \text{阻力} / V^{1.84}$	7.86	6.21	3.46
截面積(cm <sup>2</sup> )	2.86	2.27	1.267
$F' / A$	2.75	2.73	2.73

■作圖：



由實驗結果得知：

$$F = K A^{-1.01} V^{1.84}$$

## 實驗設計(五)

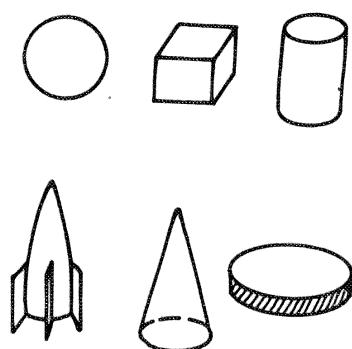
既然飄蕩的現象將減緩下落速度，倘使物體的造形能避免飄蕩，是否將具有較快的下落速度？重量大的是否一定下落較快？圓球形物體是否一定比其他形狀下落得快？

### ■步驟：

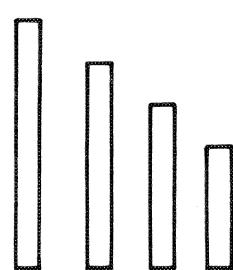
1. 取同質料同重量的化學土，製成如下圖的三組。

2. 比較各形狀在水中下落的速度快慢。

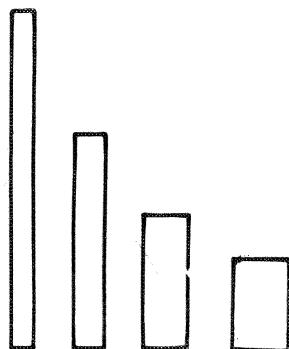
#### 第一組



同重量、不同形狀



同粗細、不同重量



同重量、不同粗細

■ 預測：

在地球科學課本的沈積概念中，（形狀愈圓，重量愈重者，下落愈快），我們應具有下列的認識：

第一組中必以“圓形”最快。

第二組中應以“4 3 2 1 方式排列”。（倘使釋放時均為垂直，或均為橫放）。

第三組中則直放時應為“4 3 2 1”，橫放時則為“1 2 3 4”。

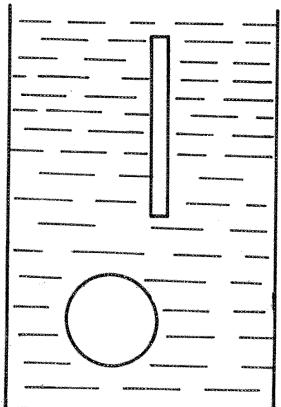
■ 結果：

（落下快慢排列）（請參閱測量數據）

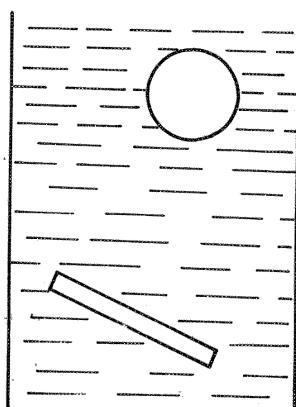
組 別	一次	二次	三次	四次	五次	六次	七次	八次	九次	十次	
第一組 每次取三樣	圓 形	圖 形	圓 形								
第二組	直	4213	4123	4231	4132	4213	4123	4132	4321	4123	4123
第三組	橫	4321	2134	1243	1234	1234	1324	3214	1234	4132	3241
	直	4123	4231	4312	4312	4123	4132	4312	4312	3421	4312
	橫	213	123	132	213	123	213	213	231	321	123

※資料解釋：

1. 第二、三組之結果並非如同我們所預測的，並且沒有一定的規則。此原因乃黏土下落時很快就可接近終端速度（4號黏土較慢），因此開始飄蕩。因飄蕩之方向不同，而有不同的速度，因此下落的快慢純屬機會，並沒一定的標準。
2. 倘使速度尚接近終端速度，則下落路徑較穩定，此時重量相同者，下落時則受截面積影響。（請參閱下圖）



尚未飄盪前



飄盪開始後

重量相同的長條形與圓形，長條形下落比圓形快，但長條形物體已接近終端速度，開始飄蕩，則圓形較快。

## 四、結論

- 1.一般物體，即使是相當圓的球體，亦不可能在水中以穩定的終端速度運動，約達終端速度的0.75倍時，即發生明顯的飄蕩現象。
- 2.同質料的球體，愈重者在水中下落愈快，所能達到的終端速度亦愈快。
- 3.同質料的柱狀物體，在飄蕩開始後，則未必愈重者下落愈快，需依其飄蕩方式而定。
- 4.同重量不同形狀物體，在未開始飄蕩前，在下落方向截面積愈小者速度愈快，但開始飄蕩後，則依飄蕩方向和方式決定其下落速度，唯在此時，圓形物體下落得比其它形狀物體快。
- 5.在液體中運動接近終端速度時，所受液體之阻力  $F = KA^{1.01} V^{1.84}$  即與截面積的1.01次方與速度的1.84次方乘積成正比。
- 6.既然接近終端速度時，即產生飄蕩現象，無法以穩定的等速直線；我們不禁要問：書中一再提及的“到了最後物體將作等速運動，此時之速度叫終端速度”。此情形可能嗎？

## 五、參考資料

1. Basic 3.8 版操作手冊。
2. 資訊電腦（牛頓出版社）。

3.第二十七屆中小學科學展覽高中組優勝作品“球狀落體運動速度的測定與空氣阻力的探討”。

### 評語

- 能從教材內容深入探討並設計出適當的實驗裝置，測得完整的數據並加以處理，分析與歸納。
- 作者從此實驗探討中為得較精確的時間值，能深入去瞭解超過國三程度以上的電路與電腦方面的知識，測量方式頗有創意。
- 數據處理方法，頗合學理需要正確嚴密，已達到物理研究專業程度。