

時間感測裝置來探討滑車運動及物在液中運動阻力情形

國中組物理科第二名

高雄市立壽山國民中學

作者：羅景齡

指導教師：邱俊義、曾柏文

一、研究動機

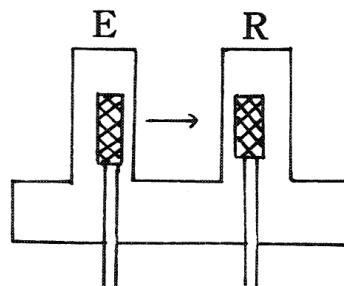
觀察物體運動位置及時間測量方法確實很多，但都有其不方便之處（像光電計時器觀察點太少）或以光源發出光線，光二極體接收所感應到的訊號，似乎在「探測位置取點方面」似乎較嫌麻煩例如要取 10 個位置就必須接 10 組光源和光二極體。於是我想試用較簡單的電子裝備線路，再研究出另一種較新穎的探測時間的有效工具，並結合滑車運動來瞭解物在液中運動阻力情形。

二、研究目的

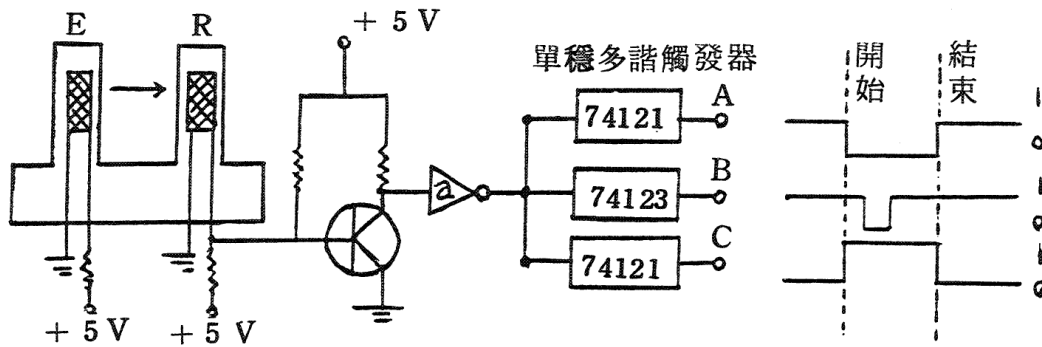
- (一)使用上述測量時間裝置，探討滑車等速運動及測量 g 值。
- (二)探討定滑輪曲面（定滑輪不轉動）以細綫連接兩物體 M_2 和 M_1 所產生的 a 加速度和定滑輪曲面上滑動滑擦力 f 之關係。
- (三)結合滑車運動探討物體在液體中運動阻力情形。

三、儀器工作原理

- (一)光岔斷器：構造如圖，內藏有紅外線二極體（E）與一光電晶體（R），當 E 與 R 之間有不透光物質通過時會遮住紅外線，此時光線由亮變暗，光電晶體會感應出訊號的變化。

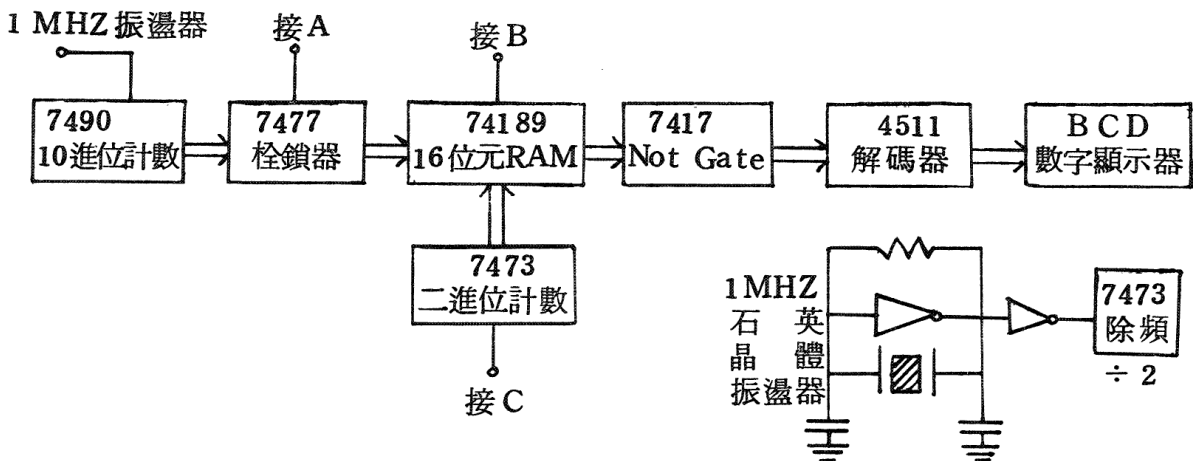


(二)時序脈波：光岔斷器輸出，接上電晶體將訊號放大接上史密特 Not Gate 後去觸發 IC 74121，產生三個時序脈波用來控制整個線路的運作，如圖：

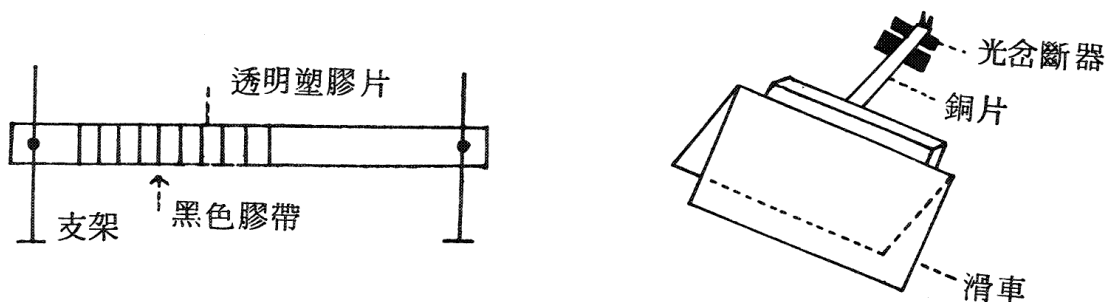


(三)計數器工作原理：(時間讀存取)

1. 當光岔斷器通過第一個膠帶時 A 由 1→0, IC 7477 將此時間栓鎖住，待資斷穩定後 B 由 1→0, IC 74189 將此時間存入第一個位址上。
2. 當 C 由 1→0 時 IC 7473 計數 1，並將 IC 74189 的位址往前推一位至第二位，當岔斷器通過第二個膠帶會將此時間存於第 2 個位址，依序類推。



3. 當滑車運動完全程，光岔斷器總共經過 16 個探測位置，探測時間裝置會將這 16 個時間，依序儲存與 IC 74189，16 個記憶體位址內，探測的 16 個位置以黑色膠帶黏貼與長透明塑膠片上，光岔斷器黏貼在銅片上，再將銅片黏於滑車 M_r 上。如下圖



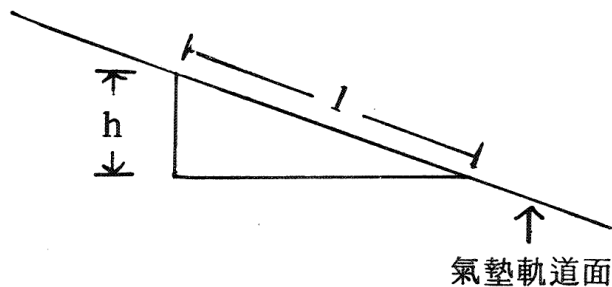
4. 欲將此 16 個時間叫出，IC 7473 輸入改接單擊器，即可將 IC 74189 所儲存的數據一一叫出讀取，進而求取 \bar{U} 平均速度及 \bar{a} 平均加速度。

四、研究過程

(一)滑車等速運動實驗：檢查探測時間的裝置是否精確和氣墊軌道是否成平面水平。用手推滑車使滑車作等速運動，測得時間，分析數據，重覆再操作，確定使氣墊軌道達最佳平面水平。

(二)滑車等加速度運動及測量 g 值實驗：

1. 將氣墊軌道一端墊高使成一斜面，則斜面上產生一下滑力 $mg\sin\theta$ [$\sin\theta = \frac{h}{l}$ ， h ：斜高 l ：斜長]
2. 釋放滑車作等加速度運動，依牛頓第二運動定律 $mgh/l = ma$ $g = a l/h$ ——即可測得地球重力場 g 值

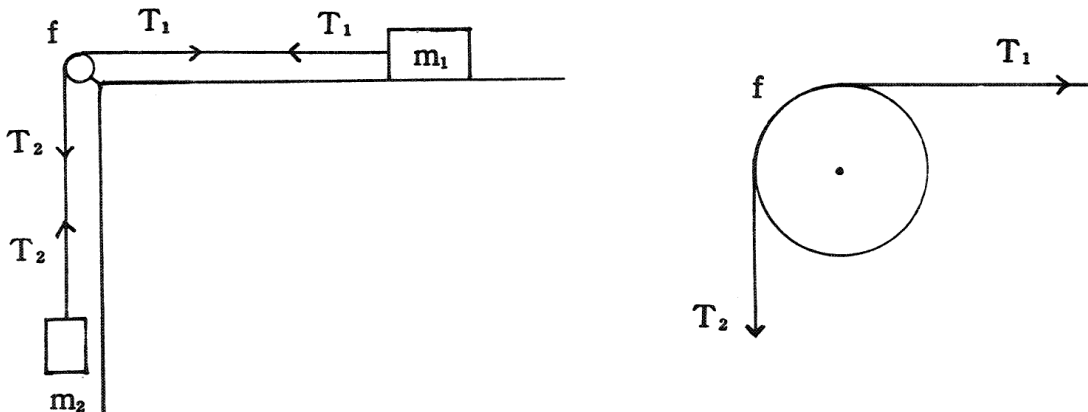


(三)定滑輪曲面上（定滑輪鎖住不轉動），以細線連接 m_2 和 m_1 所產生的加速度 a 和定滑輪曲面上滑動摩擦力 f 之關係：

1. 裝置如下圖，氣墊軌道調整成平面水平（再以滑車等速度運動檢查）
2. m_2 和 m_1 以細線連接於不轉動的定滑輪上。
3. 釋放 m_2 和改變 m_2 ，分析數據即可得加速度 a 與摩擦力 f 之關係。

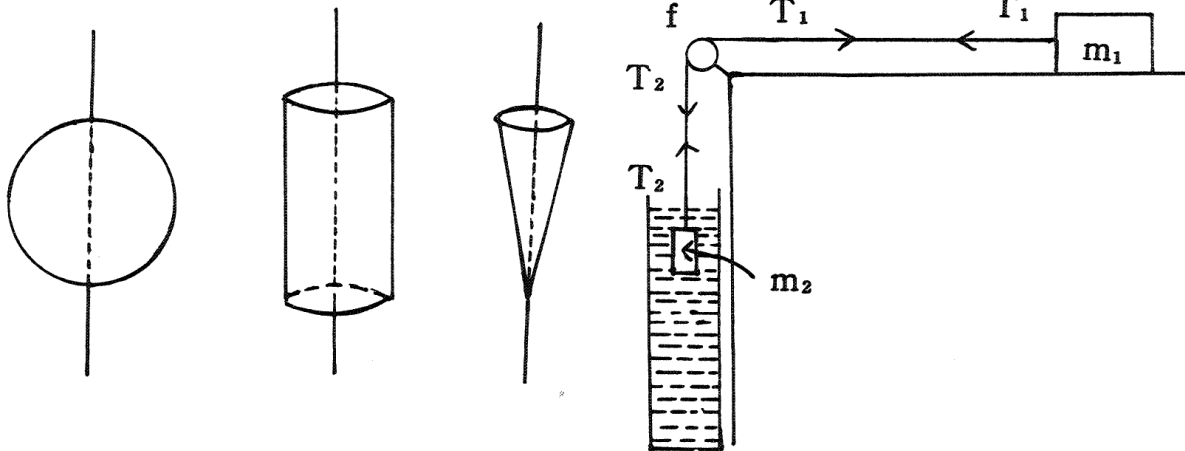
$$f = m_2g - (m_2 + m_1) a$$

變換 m_2 可得一組 ($f_1 \rightarrow a_1$)，另一組 ($f_2 \rightarrow a_2$)，($f_3 \rightarrow a_3$) ——]



(四)結合滑車運動來探討物體在液體中運動阻力情形實驗：

1. 將物體（圓形、圓錐形、圓錐形）以鉛垂綫方向釋放，觀察下落運動過程如下圖：



2. 將物體置於液中（承上以細綫接接 m_1 滑車）如圖：承 1 以鉛垂綫方向釋放，先觀察下落運動過程。
3. 承 2. 將滑車 m_1 的運動過程分析數據即可瞭解以細綫連接後 m_2 在液中運動情形。
4. f 液中阻力 = $m_2g - (m_2 + m_1) a - f - f$ 液中浮力（式中 f 為曲面摩擦力）。
5. 變換 m_2 圓柱形截面積同上重覆操作。

五、實驗結果（以下只刊出部份數據）

(一)滑車等速運動：

(表一)

(第一次修正)

t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/sec ²)
6.6067	0.1722	23.2288	
6.7783	0.1716	23.3100	0.4725
6.9504	0.1721	23.2423	-0.3941
7.1231	0.1727	23.1616	-0.4684
7.2965	0.1734	23.0681	-0.5403
7.4710	0.1745	22.9226	-0.8360
7.6452	0.1742	22.9621	0.2264
7.8205	0.1753	22.8180	-0.8245
7.9974	0.1769	22.6116	-1.1720
8.1754	0.1780	22.4719	-0.7875
8.3527	0.1773	22.5606	0.4994
8.5303	0.1776	22.5225	-0.2148
8.7084	0.1781	22.4593	-0.3555
8.8866	0.1782	22.4467	-0.0707
9.0642	0.1776	22.5225	0.4263

(表二)

(第二次修正)

t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/sec ²)
9.5945			
9.7210	0.1265	31.6206	
9.8477	0.1267	31.5706	-0.3943
9.9748	0.1271	31.4713	-0.7830
10.1023	0.1275	31.3725	-0.7756
10.2300	0.1277	31.3234	-0.3851
10.3588	0.1288	31.0559	-2.0859
10.4878	0.1290	31.0078	-0.3735
10.6174	0.1296	30.8642	-1.1102
10.7477	0.1303	30.6984	-1.2759
10.8788	0.1311	30.5111	-1.4333
11.0093	0.1305	30.6513	1.0725
11.1404	0.1311	30.5111	-1.0725
11.2715	0.1311	30.5111	0.0000
11.4025	0.1310	30.5344	0.1777
11.5334	0.1309	30.5577	0.1781

(表三)

(第三次修正)

t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/sec ²)
6.4345			
6.6067	0.1722	23.2288	
6.7790	0.1723	23.2153	-0.0783
6.9512	0.1722	23.2288	0.0783
7.1237	0.1725	23.1884	-0.2344
7.2964	0.1727	23.1616	-0.1556
7.4686	0.1722	23.2288	0.3900
7.6410	0.1724	23.2019	-0.1564
7.8131	0.1721	23.2423	0.2348
7.9857	0.1726	23.1750	-0.3907
8.1581	0.1724	23.2019	0.1559
8.3305	0.1724	23.2019	0.0000
8.5031	0.1726	23.1750	-0.1559
8.6760	0.1729	23.1348	-0.2328
8.8488	0.1728	23.1481	0.0775
9.0216	0.1728	23.1481	0.0000

(二)滑車做等加速度運動及測量 g 值：

(表四)

t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/secc ²)
2.0902			
2.2708	0.1806	22.1484	
2.4345	0.1637	24.4349	13.2823
2.5852	0.1507	26.5428	13.4088
2.7256	0.1404	28.4900	13.3784
2.8577	0.1321	30.2801	13.1381
2.9826	0.1249	32.0256	13.5839
3.1015	0.1189	33.6417	13.2575
3.2152	0.1137	35.1803	13.2294
3.3243	0.1091	36.6636	13.3152
3.4293	0.1050	38.0952	13.3734
3.5306	0.1013	39.4867	13.4894
3.6286	0.0980	40.8163	13.3432
3.7236	0.0950	42.1053	13.3569
3.8159	0.0923	43.3369	13.1520
3.9057	0.0898	44.5434	13.2508
		平均值：	13.3257

斜高 (h) = 0.41cm 斜長 (l) = 30cm 得 g 值 = 975.0488 (cm/sec²)

(三)定滑輪曲面上 (定滑輪鎖住不轉動) 以細綫接接 m_2 和 m_1 所產生的加速度 a 和定滑輪曲面上滑動摩擦力 f 之關係。

(表五)

t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/secc ²)
8.5713			
8.7060	0.1347	29.6956	
8.8347	0.1287	31.0800	10.5119
8.9582	0.1235	32.3887	10.3777
9.0770	0.1188	33.6700	10.5767
9.1916	0.1146	34.9040	10.5740
9.3025	0.1109	36.0685	10.3283
9.4099	0.1074	37.2439	10.7688
9.5143	0.1044	38.3142	10.1060
9.6157	0.1014	39.4477	11.0161
9.7146	0.0989	40.4449	9.9567
9.8110	0.0964	41.4938	10.7412
9.9051	0.0941	42.5080	10.6477
9.9971	0.0920	43.4783	10.4276
10.0872	0.0901	44.3951	10.0698
10.1754	0.0882	45.3515	10.7275
		平均值：	10.4879

$m_2 = 3.89$ g $m_1 = 254.4$ g

摩擦力 = 1.125796gw 1103.28dyne

(表六)

t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/sec ²)
7.3353			
7.4456	0.1103	36.2647	
7.5515	0.1059	37.7715	13.9385
7.6534	0.1019	39.2542	14.2703
7.7519	0.0985	40.6091	13.5226
7.8471	0.0952	42.0168	14.5345
7.9395	0.0924	43.2900	13.5740
8.0292	0.0897	44.5931	14.3113
8.1165	0.0873	45.8190	13.8523
8.2015	0.0850	47.0588	14.3913
8.2845	0.0830	48.1928	13.4994
8.3655	0.0810	49.3827	14.5115
8.4447	0.0792	50.5051	14.0117
8.5223	0.0776	51.5464	13.2824
8.5983	0.0760	52.6316	14.1300
8.6728	0.0745	53.6913	14.0823
		平均值:	13.9937

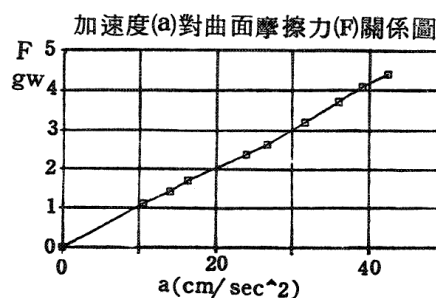
$m_2 = 5.1376 \text{ g}$ $m_1 = 254.4 \text{ g}$

摩擦力 = 1.431588gw 1402.956dyne

(表十四)

m^2	ml (g)	a (cm/sec ²)	F (gw)	F (dyne)	k 值 (F/K)
3.8900	254.4	10.4879	1.125796	1103.280	105.1955
5.1376	254.4	13.9937	1.431588	1402.956	100.2563
6.0565	254.4	16.2723	1.731779	1697.143	104.2965
8.8396	254.4	23.9781	2.398798	2350.822	98.0404
9.8564	254.4	26.6781	2.662666	2609.413	97.8111
11.8164	254.4	31.6484	3.219131	3154.748	99.6811
13.5584	254.4	36.0147	3.711010	3636.790	100.9807
14.8104	254.4	39.0213	4.091067	4005.267	102.6042
16.0850	254.4	42.3083	4.407693	4319.539	102.0967
			平均值:		101.2180

(圖一)



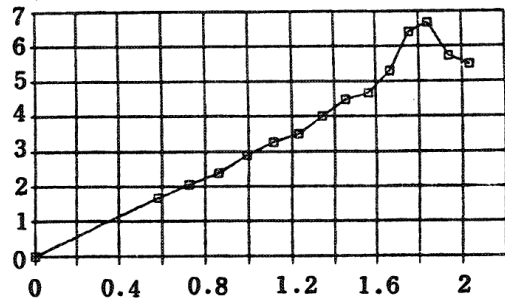
(四)結合滑車運動來探討物體在液體中運動阻力情形：(只列出部份數據)

1. 圓柱形物體：選取兩個圓柱形物體 $m_2 = 16.0851 \text{ g}$ 和 $m_2 = 19.2744 \text{ g}$

(表十六)

m ₂ =19.2774g, m ₁ =254.4g 浮力=1.805gw				
t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/sec ²)	阻力 F(gw)
9.98165				
9.9540	0.1375	29.0909		
10.0705	0.1165	34.3348	41.2902	1.6770
10.1737	0.1032	38.7597	40.2815	2.0628
10.2675	0.0938	42.6439	39.4338	2.3871
10.3543	0.0868	46.0829	38.0845	2.9033
10.4356	0.0813	49.2005	37.0915	3.2832
10.5124	0.0768	52.0833	36.4686	3.5215
10.5855	0.0731	54.7196	35.1732	4.0170
10.6555	0.0700	57.1429	33.8686	4.5161
10.7228	0.0673	59.4354	33.3941	4.6976
10.7878	0.0650	61.5385	31.7929	5.3102
10.8509	0.0631	63.3914	28.9302	6.4053
10.9123	0.0614	65.1466	28.1950	6.6865
10.9720	0.0597	67.0017	30.6374	5.7522
11.0301	0.0581	68.8468	31.3267	5.4885

阻力(F)對速度(V)的 1.8 次方關係圖



(圖三)

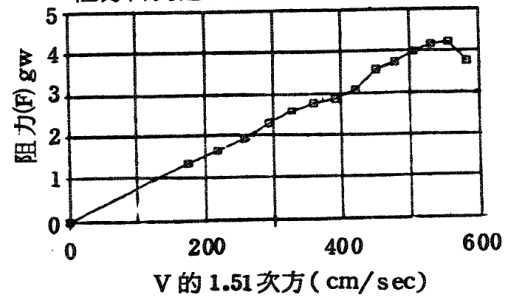
(當速度 $v=0$, 阻力=0)

2. 圓形物體：選取一圓形鐵球 $m_2=18.4564\text{ g}$ ，分兩次作實驗：得數據如下：
：(只列出部份數據)

(表十七)

m ₂ =18.4564 g, m ₁ =254.4 g 浮力=1.920gw				
t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/sec ²)	阻力 F(gw)
7.2264				
7.3890	0.1626	24.6002		
7.5204	0.1314	30.4414	39.7357	1.3689
7.6340	0.1136	35.2113	38.9377	1.6735
7.7357	0.1017	39.3314	38.2731	1.9272
7.8288	0.0931	42.9646	37.3017	2.2980
7.9153	0.0865	46.2428	36.5058	2.6018
7.9965	0.0812	49.2611	35.9965	2.7962
8.0733	0.0768	52.0833	35.7247	2.9000
8.1464	0.0731	54.7196	35.1732	3.1105
8.2163	0.0699	57.2246	35.0356	3.5630
8.2835	0.0672	59.5238	33.5405	3.7337
8.3483	0.0648	61.7284	33.4028	3.9800
8.4110	0.0627	63.7959	32.4307	4.1573
8.4718	0.0608	65.7895	32.2854	4.2128
8.5308	0.0590	67.7966	33.5081	3.7461

阻力(F)對速度(V)的 1.51 次方關係圖

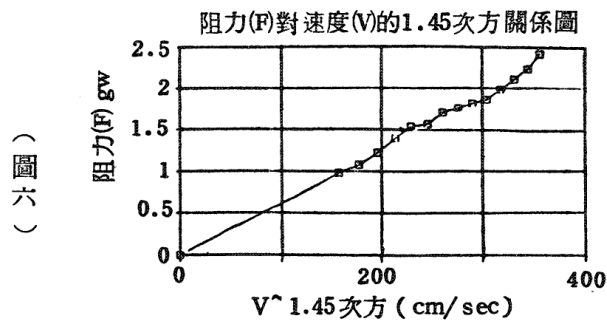


(圖四)

3. 圓錐形物體：選取一圓錐形物體 $m_2 = 11.1158 \text{ g}$ ，分兩次作實驗：得數據如下：（只列出部分數據）

（表十九）

m ₂ =11.1158 g m ₁ =254.4 g 浮力=1.3gw				
t (sec)	Δt (sec)	v (cm/sec)	a (cm/sec ²)	阻力 F(gw)
0.7256				
0.8600	0.1344	29.7619		
0.9820	0.1220	32.7869	23.5958	0.9858
1.0946	0.1126	35.5240	23.3341	1.0837
1.1998	0.1052	38.0228	22.9461	1.2289
1.2990	0.0992	40.3226	22.5026	1.3949
1.3932	0.0942	42.4628	22.1330	1.4532
1.4831	0.0899	44.4939	22.0645	1.5589
1.5693	0.0862	46.4037	21.6903	1.6989
1.6523	0.0830	48.1928	21.1473	1.7500
1.7324	0.0801	49.9376	21.3955	1.8092
1.8099	0.0775	51.6129	21.2605	1.8597
1.8851	0.0752	53.1915	20.6757	1.9786
1.9582	0.0731	54.7196	20.6079	2.1040
2.0294	0.0712	56.1798	20.2386	2.2422
2.0989	0.0695	57.5540	19.5335	2.4200



六、討論

- (一)經過我們數次的修正，分析數據認為氣墊軌道要調整至完全平面水平實屬不易，而出現些微摩擦力或下滑力現象，鑑於此點我們對於等速度運動的測試列為此次實驗的重點，直至在等速度運動下產生的加速度 a 值達到最小趨於 0，才能精確地作時間測量。探討以下的各項實驗。
- (二)我們不取 θ 角度，而在氣墊軌道上取兩點，測得其兩點之間距離(l)，再於兩點間取一水平綫求出高度(h)，分析數據求得重力加速度 $g \approx 975.0488 \text{ cm/sec}^2$
- (三)滑輪曲面上所造成的摩擦力，乃是整個系統給予滑輪曲面的正向力所造成的，我們改變 m_2 質量即可得知曲面摩擦力 (F) 和加速度 (a) 成線性關係，其經驗公式為 $F = K a'$ (k 值為 101.28)

(四)結合滑車運動以細線連接 m_2 和 m_1 (滑車)，因為有張力 T_2 往上的因素，質量 m_2 的物體在液中運動較為穩定，飄盪現象較不容易發生，但是任何形狀的物體若運動較快達某一速度 v 時，還是會造成飄盪現象(作目測觀察)，因此我們推論是水流造成結果

(五)由表十五→表二十數據顯示：物在液中運動其液體阻力隨著運動速度的增加而漸增，但加速度漸減。圓柱形物體當其速度 v 達 61.0687 cm/sec 時，突然產生飄盪現象，係水流造成，由加速度 a 顯示突然增加，代表張力 T_2 突增，隨後又盪回來時張力 T_2 漸減，加速度 a 也顯示漸減。圓形物體和圓錐形物體也產生相同的現象。

(六)變換 m_2 圓柱形截面積實驗：得到數據不夠完整(略)

七、應用與結論：(略)

(一)本實驗的探測時間裝置很適合測量水平運動或斜度不太高的時間測量，對於運動探討，探測位置的取點都極為方便。

(二)結合滑車運動來探討物體在液中運動過程及阻力情形，是一件可行的設計，由此我們也可獲得預測任何形狀的物體在液中運動其速度達某值時，就會產生飄盪現象，因為當其運動速度愈快時，水流的擾動就愈激烈，而造成側壓力不均等現象，因而產生飄盪。

八、參考資料

(一)基本物理學 (二)國中理化 (三)科學大辭典 (四)微電子學

(五)全國中小學科學展覽優勝作品專輯國中組廿九屆，卅屆高中組第廿八屆、廿七屆。

評語

1. 本件作品利用自行設計的電子電路，以光電計時原理從事極短時間的測量，優點是利用栓鎖器，鎖定起始時間，再以 16 位元記憶體作讀寫及排序，最後利用解碼器，叫出時間(起始及終端)比較，以紀錄時間間隔，構想具有創意。
2. 本件作者以國三程度既能完成電子電路的製配，又能以此自製的計時器，從事有關滑車，及液體中落體的黏滯現象的探討，題材內容頗為完整，討論嚴謹，資料蒐集完善，結果分析正確清楚。
3. 作者思考分析能力佳，口才表達能力優良，合於資優生附著條件。