

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國中組

物理科

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：妙「雨」如「珠」

關鍵詞：終端速度、雨點

編號：030107

學校名稱：

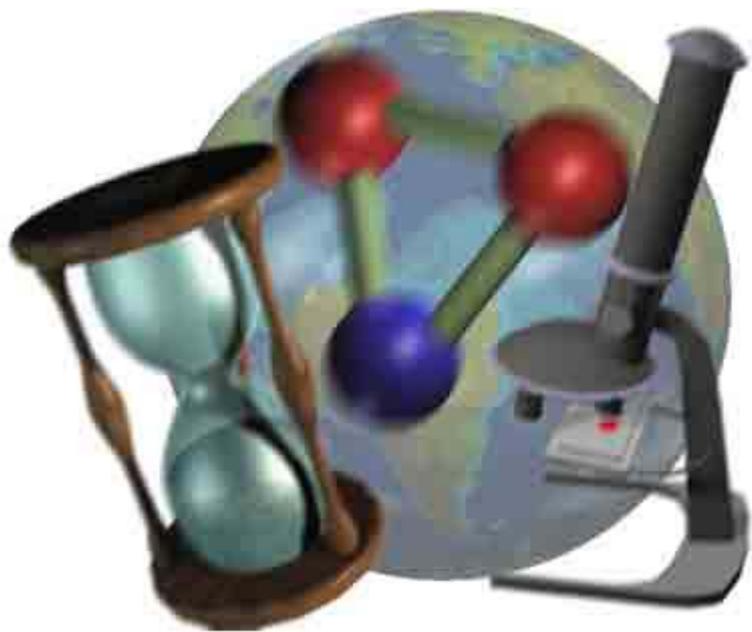
基隆市立中正國民中學

作者姓名：

趙冠博、吳倫聿、李奕緯、詹雅璇

指導老師：

廖宏毅、徐增錦



摘要

本實驗希望可以從我們實驗室裡面的儀器，測量出雨水的大小，以及雨水落到地面附近時的速度有多快，不過因為雨水太小了，實驗室的儀器並沒有辦法直接測量出雨水的大小和雨水的速度，因此我們先測量一些比較大的水滴的體積與終端速度，製成圖表之後，找出其中的關係，然後從我們找出的關係之中，推論出雨水的體積以及速度。

首先以麵粉球法，做出水滴體積與水滴滴在麵粉上所形成的麵粉球質量兩者之間的對照圖。我們先試著以實驗室裡頭的普通滴管出發，自行設計出另外兩種口徑不同的滴管，另外也找來兩支粗細不同的針頭，因此一共有五支口徑不同的滴管，可以滴出五種體積大小不同的水滴。分別以這五支口徑不同的滴管滴水到麵粉裡，每一種體積的水滴都會形成相對應質量的麵粉球，我們把水滴體積與對應的麵粉球質量製成(水滴體積與麵粉球質量關係圖)，結果發現是一個正比的圖形。

其次，以光電計時器測量各種體積不同的水滴落下不同距離所耗費的時間，並做出五種水滴落下的距離對時間關係圖，並從五支滴管的距離對時間關係圖找出五種大小水滴的終端速度，以及水滴體積與終端速度之間的關係。我們先從高度五公分開始，以普通滴管滴出的水滴測量水滴落下五公分時所需要的時間，重複多次之後取平均數，然後把距離拉開到十公分再重複測量一次，一直到看得出水滴達到終端速度為止，五支口徑不同滴管都測量完之後，把數據作成圖表。我們發現，落下距離在拉開到 80~100 公分時，水滴落下的速度會達到固定，並不是像自由落體一樣越來越快，查證後發現是空氣阻力造成的結果，這個固定的速度就叫做「終端速度」。後來從高中課本找出了計算終端速度的公式，從公式中推導出終端速度的六次方與水滴體積成正比，並做出(終端速度六次方與水滴體積關係圖)。

最後，在下雨的時候，直接拿麵粉到戶外去接一些雨水，測量出麵粉球的平均質量，然後把數據拿到(水滴體積與麵粉球質量關係圖)對照，可以得到雨滴的體積，再把雨滴體積拿到(終端速度六次方與水滴體積關係圖)上對照，經過計算之後就可以得到雨滴的終端速度了。

壹、實驗動機

有一天，走在路上，那時天色昏暗，過不久就下起了傾盆大雨，那滴答滴答的雨聲，引起了我們的注意，於是大家紛紛提出自己心中的疑惑：一滴雨究竟有多大顆呢？體積又有多大？速度又有多快？於是我們決定組成小組，一起研究這幾個問題。

貳、實驗目的

本實驗共分成三個部分，希望經由實驗測得雨水的體積與終端速度。

- 一、以麵粉球法測得各滴管之水滴的體積，換算成質量，並作(水滴體積) - (麵粉球質量)關係圖。
- 二、以光電計時器測量各滴管水滴的終端速度，並作(水滴體積) - (終端速度)關係圖。

三、以麵粉球法得到雨水體積，再對照前兩部分實驗結果，得到雨水的終端速度。

參、研究設備器材

一般的滴管〔A 滴管〕	1 支	篩子	1 個
黏上自動鉛筆頭的滴管〔B 滴管〕	1 支	電子秤	1 座
普通針筒〔C 滴管〕	1 支	光電計時器	1 座
頭皮針〔D 滴管〕	1 支	量筒〔10ml〕	1 支
鍍上蠟的滴管(E 滴管)	1 支	鐵架	1 座
附有蓋子的盒子	3 個	量筒〔20ml〕	1 支
秤盤	1 個	太白粉	1 包
綠豆粉	1 包	地瓜粉	1 包
低筋麵粉	1 包	中筋麵粉	1 包
高筋麵粉	1 包	直尺	2 支

肆、研究過程

實驗步驟分成三部分：

一、以麵粉球法測得各滴管之水滴的體積，換算成質量，並作(水滴體積) - (麵粉球質量)關係圖。

(一) 粉的種類與誤差探討

1. 準備綠豆粉、地瓜粉、太白粉、低筋麵粉、中筋麵粉、高筋麵粉等六種粉
2. 把綠豆粉裝入盒子內，以同一支滴管滴十滴至粉中
3. 覆蓋滴入處，靜置兩分鐘，使其確實形成麵粉球
4. 以篩子篩出麵粉球，用電子秤稱出其重量，反覆操作並紀錄數據
5. 作出(次數) - (質量)曲線圖，並算出其誤差
6. 用以上的步驟，分別試驗地瓜粉、太白粉、低筋麵粉、中筋麵粉、高筋麵粉，並作圖算出誤差，並找出本實驗的最佳用粉

(二) 粉的厚度與誤差探討

1. 將中筋麵粉裝入盒中，以直尺插入粉內測其厚度至 1cm，並將表面鋪平
2. 以固定的滴管滴十滴至粉中
3. 覆蓋滴入處，靜置兩分鐘，使其確實形成麵粉球
4. 以篩子篩出麵粉球，用電子秤稱出其重量，反覆操作並紀錄數據
5. 作出(次數) - (質量)曲線圖，並算出其誤差
6. 用以上的步驟，分別試驗 0.5、0.8、1、1.3 cm，並作圖算出誤差，並找出本實驗的最適厚度

(三) 滴管口徑與麵粉球質量對照(麵粉球法)

1. 以 A 滴管，滴水數毫升入量筒內，並算出共滴入了幾滴水，經過計算得到水滴的平均體積。

- 2.以 A 滴管滴水入乾麵粉十滴，麵粉加水後凝結成球狀，等待兩分鐘後，以篩子取出麵粉球。
- 3.以電子秤測量出麵粉球的質量，除以十，即得到以 A 滴管製作的麵粉球的平均質量，並紀錄下形成麵粉球的質量與水滴的體積。
- 4.運用上述的步驟，分別試驗口徑不同的 B 滴管、C 滴管、D 滴管、E 滴管。
- 5.將 A,B,C,D,E 五根滴管測得的數據繪製成(水滴體積) - (麵粉球質量)圖表，如附表一、圖一。

二、滴管口徑與終端速度對照

- (一) 使用鐵架、木片、光電計時器製作測量工具，裝置圖如右。
- (二) 兩感應器的距離設定為 5 公分。
- (三) 使用 A 滴管，由光電計時器上方滴水，盡量讓水滴接近光電計時器的感應光束，使初速為零。
- (四) 由光電計時器測得水滴垂直落下 5 公分所需的時間並紀錄下來。
- (五) 運用步驟(三)到步驟(五)的方法，將水滴落下距離增為 10、15、20、25 . . . cm，紀錄各組的時間，並製成圖表。
- (六) 分別以 B 滴管、C 滴管、D 滴管、E 滴管，重複步驟(二)到步驟(五)，得到各組數據，並製成圖表，如附表二、圖二。
- (七) 分別從表二與圖二求得終端速度，並製成(水滴體積) - (終端速度)關係圖，如附圖三。



三、雨水實際測量、對照

- (一) 在雨天拿裝麵粉的盒子到室外收集雨水。
- (二) 收集完雨水後，輕撥麵粉使其覆蓋在收集到的雨水上，使其能夠確實的變成麵粉球，並避免篩麵粉時，麵粉球黏在篩子上。
- (三) 計時兩分鐘後，篩出麵粉球，紀錄麵粉球的總質量，並求出一顆麵粉球的質量(麵粉球的質量 = 秤盤加上麵粉球的質量—秤盤的質量)。
- (四) 對照(水滴體積) - (麵粉球質量)關係圖，可知道每一滴雨滴的體積。
- (五) 將已得的體積對照(水滴體積) - (終端速度)關係圖，即可得到水滴的終端速度，如附表四。

伍、研究結果

一、(一) 粉的種類與誤差探討

太白粉

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.203	15.204	15.201	15.203	15.203	15.2	15.201	15.202	15.2	15.198
秤盤+ 麵粉球	16.457	16.555	16.396	16.478	16.465	16.532	16.258	16.337	16.488	16.409
麵粉球*10	1.254	1.351	1.195	1.275	1.262	1.332	1.057	1.135	1.288	1.211
麵粉球*1	0.1254	0.1351	0.1195	0.1275	0.1262	0.1332	0.1057	0.1135	0.1288	0.1211

地瓜粉

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.201	15.203	15.201	15.203	15.205	15.203	15.201	15.201	15.204	15.2
秤盤+ 麵粉球	16.473	16.416	16.397	16.429	16.27	16.376	16.42	16.303	16.275	16.44
麵粉球*10	1.272	1.213	1.196	1.226	1.065	1.173	1.219	1.102	1.071	1.24
麵粉球*1	0.1272	0.1213	0.1196	0.1226	0.1065	0.1173	0.1219	0.1102	0.1071	0.124

低筋麵粉

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.216	15.215	15.215	15.216	15.215	15.215	15.215	15.211	15.211	15.212
秤盤+ 麵粉球	16.113	16.237	16.037	16.286	16.202	16.05	16.184	16.259	16.219	16.07
麵粉球*10	0.897	1.022	0.822	1.07	0.987	0.835	0.969	1.048	1.008	0.858
麵粉球*1	0.0897	0.1022	0.0822	0.107	0.0987	0.0835	0.0969	0.1048	0.1008	0.0858

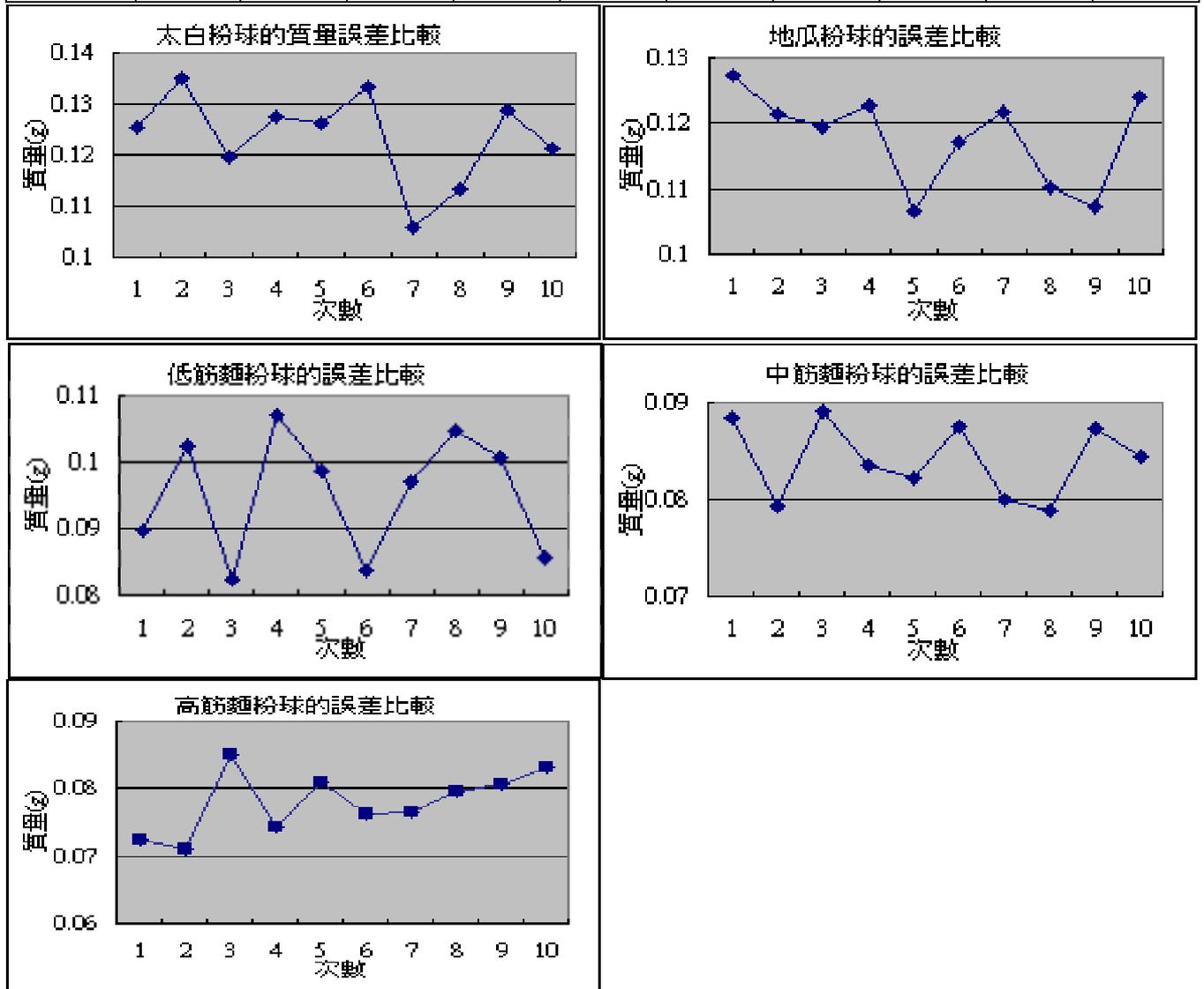
中筋麵粉

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.21	15.208	15.217	15.216	15.216	15.216	15.216	15.218	15.216	15.216
秤盤+ 麵粉球	16.095	16.001	16.109	16.051	16.038	16.091	16.016	16.007	16.089	16.061
麵粉球*10	0.885	0.793	0.892	0.835	0.822	0.875	0.8	0.789	0.873	0.845
麵粉球*1	0.0885	0.0793	0.0892	0.0835	0.0822	0.0875	0.08	0.0789	0.0873	0.0845

高筋麵粉

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.224	15.213	15.211	15.216	15.216	15.213	15.214	15.213	15.214	15.214
秤盤+ 麵粉球	15.949	15.923	16.062	15.958	16.026	15.976	15.978	16.009	16.02	16.045

麵粉球*10	0.725	0.71	0.851	0.742	0.81	0.763	0.764	0.796	0.806	0.831
麵粉球*1	0.0725	0.071	0.0851	0.0742	0.081	0.0763	0.0764	0.0796	0.0806	0.0831



誤差比較表：

	太白粉	地瓜粉	低筋麵粉	中筋麵粉	高筋麵粉
誤差值 (g)	0.0294	0.0207	0.0248	0.0103	0.0141

由以上實驗可知：利用中筋麵粉進行實驗的誤差最小，因此我們決定採用中筋麵粉進行本實驗

(二) 粉的厚度與誤差探討

厚度 0.5 cm

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.216	15.216	15.213	15.214	15.213	15.214	15.214	15.216	15.213	15.214
秤盤+麵粉球	15.837	15.852	15.909	15.808	15.776	15.905	15.892	15.919	15.809	15.788

麵粉球*10	0.621	0.636	0.696	0.594	0.563	0.691	0.678	0.703	0.596	0.574
麵粉球*1	0.0621	0.0636	0.0696	0.0594	0.0563	0.0691	0.0678	0.0703	0.0596	0.0574

厚度 0.8 cm

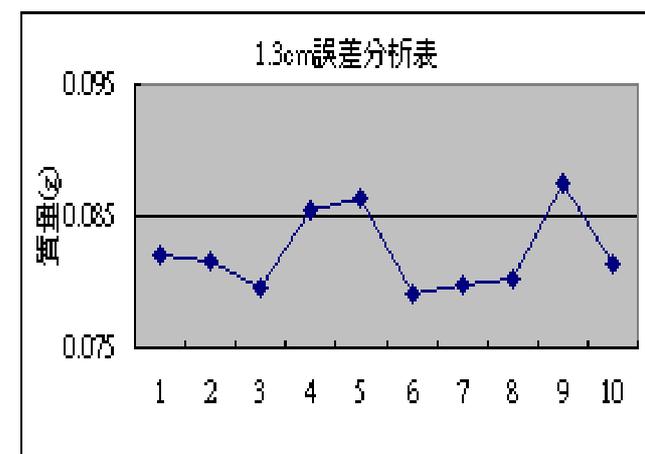
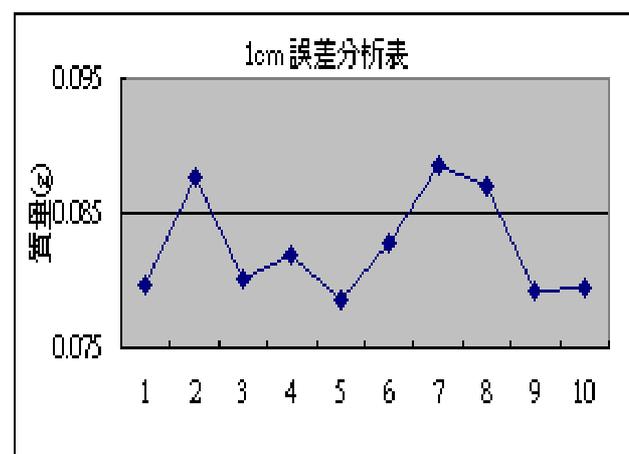
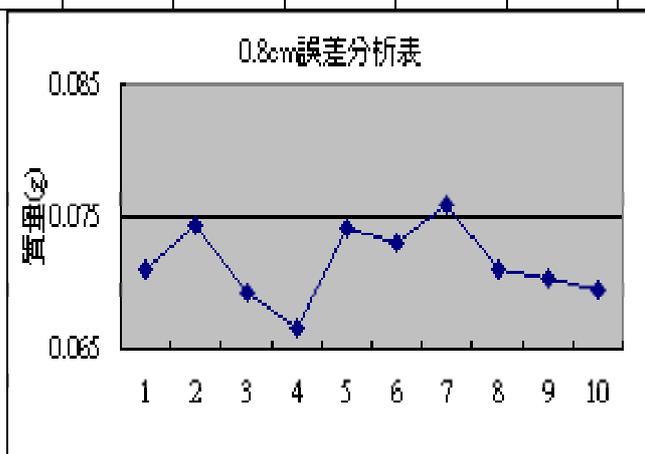
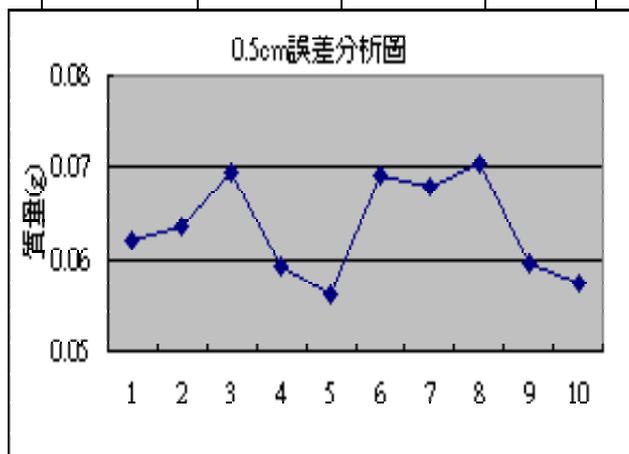
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.215	15.215	15.216	15.215	15.215	15.215	15.213	15.211	15.216	15.216
秤盤+麵粉球	15.926	15.958	15.908	15.88	15.957	15.944	15.964	15.92	15.919	15.911
麵粉球*10	0.711	0.743	0.692	0.665	0.742	0.729	0.751	0.709	0.703	0.695
麵粉球*1	0.0711	0.0743	0.0692	0.0665	0.0742	0.0729	0.0751	0.0709	0.0703	0.0695

厚度 1 cm

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.21	15.208	15.217	15.216	15.216	15.216	15.215	15.211	15.211	15.212
秤盤+麵粉球	16.006	16.084	16.018	16.034	16.002	16.043	16.101	16.082	16.004	16.007
麵粉球*10	0.796	0.876	0.801	0.818	0.786	0.827	0.886	0.871	0.793	0.795
麵粉球*1	0.0796	0.0876	0.0801	0.0818	0.0786	0.0827	0.0886	0.0871	0.0793	0.0795

厚度 1.3 cm

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
秤盤(g)	15.201	15.203	15.201	15.203	15.205	15.203	15.201	15.201	15.204	15.2
秤盤+麵粉球	16.022	16.019	15.997	16.057	16.068	15.994	15.999	16.004	16.08	16.014
麵粉球*10	0.821	0.816	0.796	0.854	0.863	0.791	0.798	0.803	0.876	0.814
麵粉球*1	0.0821	0.0816	0.0796	0.0854	0.0863	0.0791	0.0798	0.0803	0.0876	0.0814



平均質量：

厚度 (cm)	0.5 cm	0.8 cm	1 cm	1.3 cm
質量 (g)	0.06352	0.07149	0.08249	0.08232

由上面兩表可得知，當厚度小於 1 cm 時，誤差值沒有很大變化，但可發現，質量明顯變小了。是因為粉太薄時，水滴從高處滴下，會因彈開而分散，或者黏在盒子底部，而造成質量的減少。而我們漸漸把厚度加到 1 cm 時，質量才與厚度大於 1 cm 時的數據相近，且沒有散開或黏在盒底的現象。所以得知，當厚度大於 1 cm 時，可大大降低前述的因素而造成的誤差，因此我們將麵粉厚度控制在 1 cm 左右，進行本實驗

(三) 滴管口徑與麵粉球質量對照 (麵粉球法)

我們研究結果如下數據、圖表：

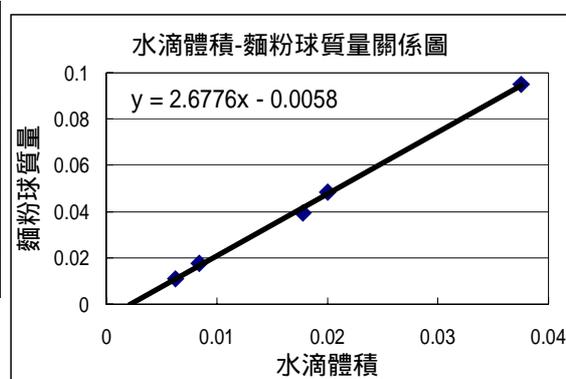
表一：滴管口徑與麵粉球質量對照表

	水滴 N ml 的顆數		平均體積 (ml)	麵粉球(10 顆)加秤盤重(g)	秤盤(g)	平均一顆麵粉球 (g)
滴管 A	160	6ml	0.0375	16.232	15.29	0.0942
滴管 A	160	6ml	0.0375	16.241	15.282	0.0959
滴管 B	562	10ml	0.0178	15.661	15.267	0.0394
滴管 B	562	10ml	0.0178	15.659	15.262	0.0397
滴管 B	562	10ml	0.0178	15.656	15.261	0.0395
滴管 C	160	1ml	0.00625	15.405	15.288	0.0117
滴管 C	160	1ml	0.00625	15.367	15.264	0.0103
滴管 D	119	1ml	0.0084	15.488	15.29	0.0178
滴管 D	119	1ml	0.0084	15.490	15.293	0.0187
滴管 D	119	1ml	0.0084	15.464	15.298	0.0166
滴管 E	150	3ml	0.02	15.79	15.295	0.0495
滴管 E	150	3ml	0.02	15.766	15.293	0.0473

將以上數據平均後，得到下表：

	平均體積 (ml)	麵粉球的平均質量 (g)
滴管 A	0.0375	0.09505
滴管 B	0.0178	0.039533333
滴管 C	0.00625	0.010966667
滴管 D	0.0084	0.017733333
滴管 E	0.02	0.0484

圖一



圖一中的趨勢線公式就是代表麵粉球質量與水滴大小的關係，其中 Y 代表麵粉球質量，X 代表水滴體積，因此可以得到下列的換算式：

$$\text{水滴體積} = \frac{\text{麵粉球質量} + 0.0058}{2.6776}$$

二、滴管口徑與終端速度對照（表二：各滴管的水滴落下距離與時間）

滴管 A(一般的滴管)

距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
60	0.3441	70	0.3678	90	0.4133	110	0.4589
65	0.3384	75	0.3754	90	0.4139	110	0.4602
65	0.3399	75	0.3828	90	0.4176	110	0.4592
65	0.3355	75	0.3736	90	0.4126	110	0.4599
65	0.3398	75	0.367	90	0.4147	110	0.4589
65	0.3354	75	0.3828	90	0.413	110	0.4565
65	0.3446	75	0.3748	90	0.4056	110	0.4557
65	0.3502	75	0.3752	100	0.4355	110	0.4495
65	0.3528	80	0.3817	100	0.453	110	0.4557
65	0.3358	80	0.3972	100	0.4552	110	0.4495
65	0.3476	80	0.3826	100	0.441	120	0.4806
70	0.3643	80	0.4093	100	0.4406	120	0.4784
70	0.3587	80	0.3923	100	0.4405	120	0.4897
70	0.3659	80	0.3955	100	0.4554	120	0.4938
70	0.3503	80	0.3975	110	0.4536	120	0.4962
70	0.3644	80	0.3994	110	0.4495	120	0.4728
70	0.3559	90	0.4202	110	0.4482	120	0.4856
70	0.3608	90	0.4076	110	0.4477	120	0.4827

距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
5	0.0929	30	0.2087	45	0.2931	50	0.3089
5	0.0931	35	0.2487	45	0.2949	50	0.3163
10	0.1466	35	0.2371	45	0.2888	55	0.3295
10	0.1401	35	0.2295	45	0.2912	55	0.3319
15	0.1547	35	0.2434	45	0.2911	55	0.3173
15	0.1557	35	0.2353	45	0.284	55	0.3106
15	0.1574	35	0.2439	45	0.2914	55	0.3153
20	0.1753	35	0.233	45	0.2833	55	0.329
20	0.1742	35	0.2486	45	0.2835	55	0.3343
25	0.2061	40	0.2631	45	0.292	55	0.3214
25	0.2054	40	0.2683	50	0.3229	60	0.3359
25	0.2164	40	0.2666	50	0.3188	60	0.3337
25	0.2133	40	0.2732	50	0.3076	60	0.339
30	0.2533	40	0.2758	50	0.3182	60	0.3394
30	0.2255	40	0.2941	50	0.3073	60	0.3438
30	0.2549	45	0.2832	50	0.3215	60	0.3449
30	0.222	45	0.2808	50	0.3124	60	0.3382

距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
120	0.4808	130	0.5156	140	0.5233
120	0.4805	130	0.5236	140	0.5241
120	0.4808	130	0.4992	140	0.5311
120	0.4805	130	0.5236	140	0.5281
120	0.4806	130	0.4992	140	0.5382
120	0.4784	130	0.5191	140	0.5318
120	0.4897	130	0.5179	150	0.548
120	0.4938	130	0.5007	150	0.5418
120	0.4962	130	0.5108	150	0.5489
120	0.4728	130	0.5076	150	0.5489
120	0.4856	130	0.5064	150	0.5458
120	0.4827	130	0.5191	150	0.5612
120	0.4891	130	0.5179	150	0.5506
120	0.4891	140	0.5253	150	0.5482
130	0.497	140	0.5357	150	0.5586
130	0.5156	140	0.5545	150	0.5373
130	0.4999	140	0.5366		
130	0.4999	140	0.5527		
130	0.497	140	0.5262		

滴管 B(粘上自動筆頭的滴管)

距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
5	0.0718	15	0.155	25	0.2116	40	0.2398
5	0.0698	15	0.1453	25	0.209	40	0.2473
5	0.0691	15	0.1509	25	0.2056	40	0.2535
5	0.0636	15	0.1564	25	0.1988	40	0.2343
5	0.0746	15	0.151	25	0.2076	40	0.2474
5	0.0681	15	0.1487	25	0.2051	40	0.2686
5	0.0772	20	0.1688	25	0.2007	40	0.2532
5	0.0635	20	0.1667	25	0.2016	40	0.2606
5	0.0694	20	0.1665	30	0.213	40	0.247
10	0.1009	20	0.1716	30	0.22	40	0.2597
10	0.1198	20	0.1806	30	0.2215	40	0.2571
10	0.1147	20	0.1725	30	0.224	50	0.2927
10	0.1134	20	0.1746	30	0.2196	50	0.2927
10	0.1156	20	0.1717	30	0.2268	50	0.2912
10	0.1133	20	0.1767	30	0.2303	50	0.2924
距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
10	0.1129	20	0.1774	30	0.2161	50	0.2943
15	0.1499	25	0.207	30	0.2189	50	0.294
15	0.1432	25	0.204	30	0.2233	50	0.3065
15	0.1585	25	0.1924	30	0.2252	50	0.2896
50	0.2982	70	0.3526	90	0.4093	110	0.4617
60	0.3279	80	0.3736	90	0.4194	110	0.4649
60	0.3378	80	0.375	100	0.442	110	0.4654
60	0.34	80	0.3819	100	0.4317	120	0.4987
60	0.3258	80	0.3817	100	0.453	120	0.4712
60	0.3333	80	0.3727	100	0.4534	120	0.4782
60	0.342	80	0.3806	100	0.4444	120	0.4872
60	0.322	80	0.3828	100	0.4301	120	0.486
60	0.3213	80	0.3834	100	0.4328	120	0.4921
70	0.3536	80	0.356	100	0.4546	120	0.4833
70	0.3448	80	0.3881	100	0.4545	120	0.4824
70	0.3503	90	0.4211	100	0.4409	120	0.4766
70	0.3658	90	0.4122	110	0.4689	120	0.4972
70	0.3542	90	0.4108	110	0.4631	130	0.5087
70	0.3524	90	0.4144	110	0.4632	130	0.5194
70	0.3607	90	0.409	110	0.4668	130	0.5272
70	0.3655	90	0.4075	110	0.469	130	0.5147

70	0.3572	90	0.4145	110	0.4677	130	0.5108
距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)		
130	0.5261	150	0.555	160	0.5735		
130	0.5253	150	0.5556	160	0.5799		
130	0.5148	150	0.5684	160	0.5912		
130	0.5198	150	0.5607				
140	0.5494	150	0.5518				
140	0.5356	150	0.5544				
140	0.5369	160	0.5818				
140	0.5288	160	0.5784				
140	0.5368	160	0.5751				
140	0.537	160	0.5854				
140	0.5358	160	0.585				
140	0.5332	160	0.5801				
150	0.5582	160	0.5804				

滴管 C(普通針頭)

距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
5	0.0832	20	0.189	40	0.268	80	0.4096
5	0.0724	20	0.1928	50	0.3002		
5	0.077	20	0.1931	50	0.3012		
5	0.0754	25	0.2128	50	0.2905		
5	0.0794	25	0.2154	50	0.3021		
5	0.0824	25	0.2207	50	0.3033		
5	0.0853	25	0.227	50	0.3041		
5	0.0842	25	0.2162	50	0.2982		
5	0.0661	25	0.2262	60	0.3306		
5	0.0717	25	0.2208	60	0.3125		
5	0.0803	25	0.2304	60	0.336		
5	0.0812	25	0.2146	60	0.3289		
10	0.1418	25	0.2208	60	0.3251		
10	0.1388	25	0.2304	60	0.3325		
10	0.1283	25	0.2146	60	0.3153		
10	0.1314	30	0.248	70	0.3632		
10	0.1358	30	0.2391	70	0.362		
10	0.1341	30	0.2474	70	0.3739		
10	0.1328	30	0.2505	70	0.3751		

10	0.1301	30	0.2423	70	0.3741
10	0.1359	30	0.248	70	0.3808
10	0.1351	30	0.2391	70	0.3722
10	0.1252	30	0.2474	70	0.374
10	0.1314	30	0.2505	70	0.3637
15	0.1576	30	0.2423	70	0.3678
15	0.163	30	0.2462	70	0.3626
15	0.1597	30	0.2518	70	0.3724
15	0.1577	30	0.2561	70	0.3756
15	0.1693	40	0.2623	80	0.4061
15	0.1606	40	0.2826	80	0.3962
15	0.1596	40	0.2737	80	0.4043
15	0.1581	40	0.2734	80	0.3946
20	0.1944	40	0.2665	80	0.3917
20	0.1898	40	0.2627	80	0.3851
20	0.1978	40	0.2652	80	0.3942

滴管 D(頭皮針)

距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
5	0.0826	25	0.2253	70	0.3637
5	0.0773	25	0.227	70	0.3678
5	0.0773	25	0.2237	70	0.3626
5	0.0734	30	0.2448	70	0.3724
5	0.0753	30	0.2392	70	0.3756
5	0.0825	30	0.2368	80	0.4061
5	0.0793	30	0.2428	80	0.3962
5	0.0767	30	0.2412	80	0.4043
10	0.105	30	0.2448	80	0.3946
10	0.114	30	0.2549	80	0.3917
10	0.1126	30	0.2304	80	0.3851
10	0.1143	40	0.2603	80	0.3942
10	0.1176	40	0.2553	80	0.4096
10	0.1208	40	0.2649	90	0.429
10	0.1132	40	0.2555	90	0.4295
10	0.1123	40	0.262	90	0.4335
15	0.1549	40	0.2676	90	0.4348
15	0.1432	40	0.2673	90	0.4254
15	0.1518	40	0.267	90	0.428
15	0.1492	50	0.2927	90	0.4252
15	0.159	50	0.2912	90	0.4324

15	0.1566	50	0.2886	90	0.4237
15	0.1523	50	0.2908	90	0.4273
15	0.1475	50	0.2864		
20	0.1735	50	0.2922		
20	0.1824	50	0.2949		
20	0.1846	50	0.2944		
20	0.1834	60	0.3275		
20	0.1851	60	0.3211		
20	0.1851	60	0.3204		
20	0.1888	60	0.3204		
20	0.1858	60	0.3223		
25	0.2191	60	0.3358		
25	0.2175	60	0.3207		
25	0.2272	70	0.3672		

滴管 E (鍍上蠟的滴管)

距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)	距離(cm)	時間(sec)
5	0.0757	20	0.1839	50	0.3107	80	0.4053
5	0.0785	20	0.1879	50	0.3144	80	0.3998
5	0.0758	20	0.1916	60	0.3668	80	0.3987
5	0.0694	20	0.1961	60	0.3472	80	0.4056
5	0.0664	25	0.1986	60	0.3548	80	0.3977
5	0.0695	25	0.2062	60	0.3613	80	0.4002
5	0.0722	25	0.2061	60	0.3655	90	0.4182
5	0.074	25	0.218	60	0.3569	90	0.4086
5	0.0742	25	0.2136	60	0.3657	90	0.4169
5	0.0712	25	0.2089	60	0.358	90	0.4166
10	0.1146	25	0.2089	70	0.3879	90	0.4087
10	0.1142	25	0.202	70	0.3913	90	0.4142
10	0.1131	25	0.197	70	0.3982	90	0.4165
10	0.0997	25	0.1962	70	0.3945	90	0.4253
10	0.0999	30	0.2259	70	0.387	90	0.4208
10	0.1149	30	0.2228	70	0.3834	90	0.4227
10	0.1123	30	0.222	70	0.3804	100	0.4183
10	0.1163	30	0.2204	70	0.3886	100	0.4286
10	0.1204	30	0.2176	70	0.3874	100	0.4201
10	0.1134	30	0.2202	70	0.3886	100	0.4201
15	0.1496	30	0.217	80	0.3922	100	0.4484
15	0.1502	30	0.2154	80	0.3965	100	0.4344
15	0.1523	30	0.2196	80	0.3969	100	0.4441

15	0.1578	30	0.2213	80	0.4022	100	0.4495
15	0.1465	40	0.2585	80	0.4053	100	0.4453
15	0.1602	40	0.2589	80	0.3998	100	0.4385
15	0.1536	40	0.2602	80	0.3987	100	0.4262
15	0.1598	40	0.2623	80	0.4056	110	0.4904
15	0.1467	40	0.2618	80	0.3977	110	0.475
15	0.151	40	0.2655	80	0.4002	110	0.4715
20	0.1901	40	0.2641	110	0.4879	110	0.5057
20	0.1926	40	0.267	110	0.4979	110	0.5026
20	0.1877	40	0.2706	110	0.4932	110	0.479
20	0.1846	50	0.3178	110	0.4914	110	0.4679
20	0.1887	50	0.3176	120	0.5416	110	0.4779

以上數據經過平均後，得到下表：

距離(cm)	時間(sec)
110	0.4714
120	0.5416
120	0.5096
120	0.6102
120	0.5437
120	0.5164
120	0.5078
120	0.5057
120	0.5087
120	0.5002
120	0.5009

滴管 A(普通滴管)

滴管 B(粘上自動鉛筆頭的滴管)

距離(cm)	平均時間(sec)	距離(cm)	平均時間(sec)
5	0.093	5	0.07
10	0.14335	10	0.11294
15	0.156	15	0.151
20	0.17475	20	0.17271
25	0.2103	25	0.2032
30	0.23288	30	0.2217
35	0.24	40	0.25168
40	0.2735	50	0.2937
45	0.2881	60	0.33126
50	0.315	70	0.3557
55	0.323663	80	0.3776
60	0.3386	90	0.4131
65	0.3424	100	0.44374
70	0.361	110	0.465633
75	0.376	120	0.48691
80	0.394438	130	0.51892
90	0.413166	140	0.536688
100	0.4459	150	0.5577
110	0.4548	160	0.5802
120	0.488564		
130	0.50889		
140	0.532		
150	0.548		

滴管 C(普通針頭)

滴管 D(頭皮針)

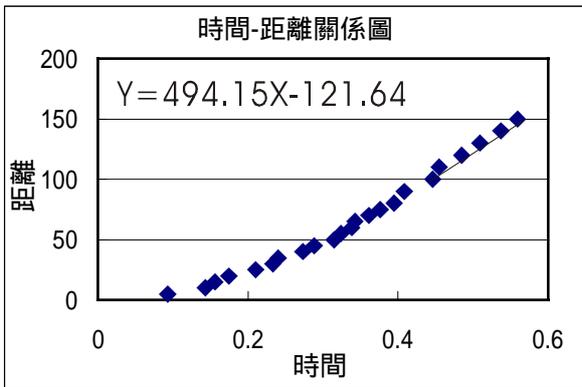
滴管 E(鍍上蠟的滴管)

距離(cm)	平均時間(sec)	距離(cm)	平均時間(sec)	距離(cm)	平均時間(sec)
5	0.077	5	0.078	5	0.07269
10	0.133573	10	0.1137	10	0.11188
15	0.15883	15	0.1518	15	0.15277
20	0.192	20	0.1836	20	0.18888
25	0.220456	25	0.2285	25	0.20555
30	0.247675	30	0.241863	30	0.22022
40	0.2793	40	0.262488	40	0.26344
50	0.299875	50	0.2914	50	0.31353
60	0.326838	60	0.324	60	0.35887
70	0.371931	70	0.345	70	0.38873
80	0.3901	80	0.37725	80	0.40979
		90	0.428	90	0.43605
				100	0.46824
				110	0.4804
				120	0.503989

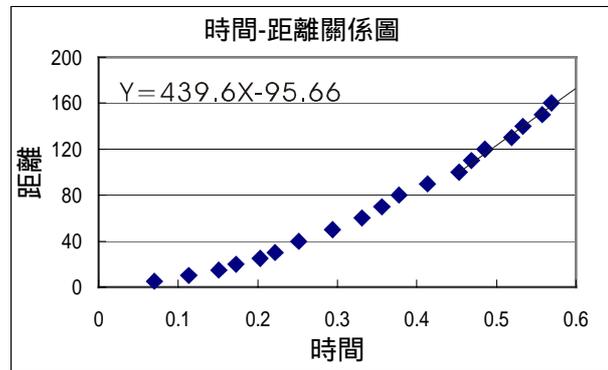
將平均過的數據製成以下圖形：

圖二：各滴管的(距離)-(時間)關係圖

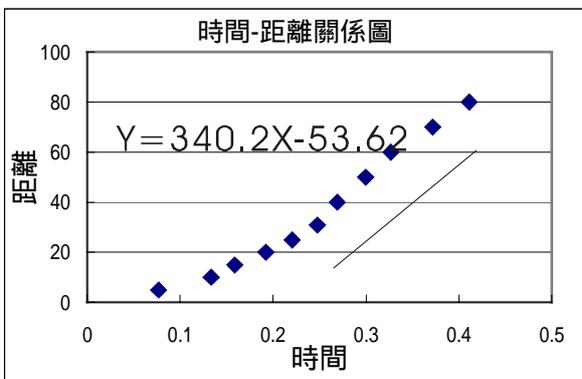
A 滴管(普通滴管，水滴體積為 0.0375ml)



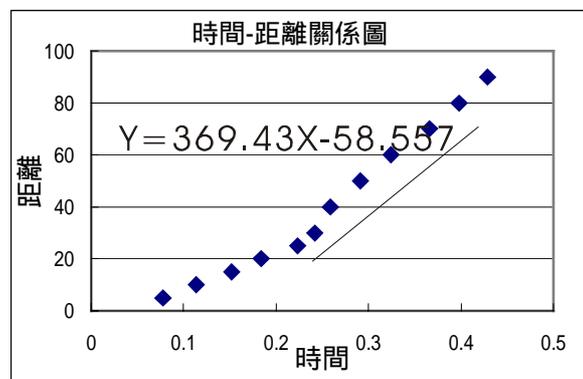
B 滴管(粘上自動鉛筆頭的滴管，水滴體積為 0.0178ml)



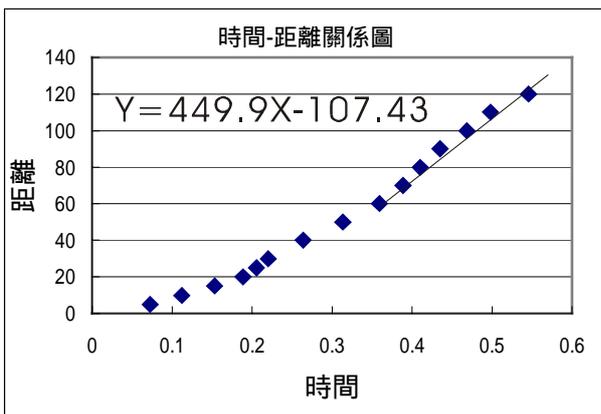
C 滴管(普通針頭，水滴體積為 0.00625ml)



D 滴管(頭皮針，水滴體積為 0.0084ml)



E 滴管(鍍上蠟的滴管，水滴體積為 0.02ml)



由以上各個(時間)——(距離)關係圖可發現，每一組數據的末端幾乎呈一直線，因此可得知，在這段範圍內的速率成定值，即代表已經到達終端速度。又因為圖中以時間為 x 軸，距離為 y 軸，因此末端趨勢線的斜率，就是水滴落下的速度，也就是終端速度。

將水滴體積與終端速度的數據整理後，並將速度的單位換算成 m/s，列於下表：

	水滴體積(ml)	終端速度(m/s)
滴管 A	0.0375	4.9415
滴管 B	0.0178	4.396
滴管 C	0.00625	3.402
滴管 D	0.0084	3.6943
滴管 E	0.02	4.499

根據南一書局所出版的高中科學物理篇課本所提到的公式：

終端速度 $V_t = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$ 1 (其中 C 為一個和物體形狀有關的係數，稱為阻力係數、 ρ 為空氣密度、A 為物體有效面積) 此公式經過整理後可得到：

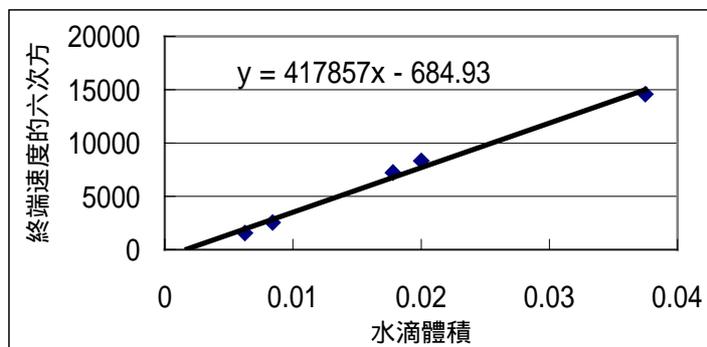
$$V_t = C_{\text{常數}} \times \sqrt{\frac{m}{A}} \Rightarrow V_t = C_{\text{常數}} \times \sqrt{\frac{\frac{4}{3}\pi r^3 D_{\text{密度}}}{\pi r^2}} \dots\dots 2 \quad (\text{其中 } r \text{ 代表半徑})$$

所以可以的到 $V_t = C_{\text{常數}} \times \sqrt{r} \dots\dots 3$

根據公式 3 可知，終端速度與水滴半徑的開根號成正比，而水滴體積與半徑的三次方成正比，因此水滴體積會與終端速度的六次方成正比，因此把水滴體積與終端速度的六次方整理過後，列於下表：

	水滴體積(ml)	終端速度的六次方 (m/s)
滴管 A	0.0375	14559.71246
滴管 B	0.0178	7216.823808
滴管 C	0.00625	1550.264691
滴管 D	0.0084	2542.101926
滴管 E	0.02	8292.700087

將上表的資料製成(水滴體積) - (終端速度)關係圖 (圖三)：



由上圖趨勢線可知終端速度 (V_t) 與水滴體積 (V) 的關係為 $V_t^6 = 417857V - 684.93$

根據實驗步驟一、二的結果可以得到下列結果：

1 水滴的體積和形成的麵粉球質量成正比，關係式為： $\text{水滴體積} = \frac{\text{麵粉球質量} + 0.0058}{2.6776}$

2 水滴體積與終端速度的六次方成正比，關係式為： $V_t^6 = 417857 \times \text{水滴體積} - 684.93$

三、雨水實際測量、對照

利用實驗步驟一、二的方法及關係式，成功測量雨水的體積及終端速度，數據如下：

表四：(以雨水實際測量)

日期	麵粉球每顆重 (g)	雨水一滴體積 (ml)
三月二日	0.00026	0.002263
三月二日	0.000326	0.002288
三月二日	0.000356	0.002299
三月二日	0.0004	0.002316
三月四日	0.000375	0.002306
三月四日	0.000326	0.002288
三月四日	0.000305	0.002280
三月四日	0.000356	0.002299
三月十七日	0.014703	0.007657
三月十七日	0.014263	0.007493
三月十九日	0.004553	0.003867
三月十九日	0.005119	0.004078
四月十日	1.070263	0.401876
四月十日	1.006737	0.378124

經平均得到：

日期	麵粉球每顆重 (g)	雨水一滴體積 (ml)
三月二日	0.000352	0.002298
三月四日	0.000341	0.002293
三月十七日	0.543	0.014483
三月十九日	0.2145	0.004836
四月十日	1.0385	0.39

然後我們把雨水體積拿到上面的(體積)-(終端速度)關係圖對照得到終端速度：

日期	雨水一滴體積 (ml)	雨水終端速度(m/s)
三月二日	0.002298	2.55
三月四日	0.002293	2.547
六月十七日	0.014483	4.185
六月十九日	0.004836	3.319
六月二十日	0.39	7.4

陸、討論

一、開始的時候，我們覺得雨點是從天空自由落下的，應會遵守自由落體的等加速度運動公式。於是上網查到了會下雨的雲層高度在 2000~500 公尺之間，再根據理化課本第四冊第 25 頁所提到的，自由落下的物體的加速度是 9.8m/s^2 ，代入等加速度運動公式，我們計算出雨點落到地面的速度約在 100~200m/s 之間。但這與我們的實驗結果有很大的差距，根據我們所做的水滴落下距離與時間關係圖顯示，落下距離大約在 80~100cm 之後，圖形就開始的呈現一直線，也就是代表水滴開始作等速度運動，不會呈現等加速度運動，而且速度都在 5m/s 左右，和原本所預測的數值 100 到 200m/s 有很大的出入。因此我們請教老師，探討原因後知道，原來空氣會對落下的物體產生一個向上的阻力，物體落下的速度越快，這個向上的阻力也就越大，當這個阻力和物體的重量一樣大的時候，也就是向下的重力和向上的阻力一樣大的時候，落下物體所受的合力變成零，所以就作等速度運動，而這個時候的速度叫做「終端速度」，而這個向上的阻力就叫作「空氣阻力」。

二、後來，我們在高中科學物理篇課本第 158 頁中查到了雨點的終端速度是 7m/s ，這個數據仍然和我們一開始測到的終端速度 2.55m/s 有 40% 的差距，造成我們的疑惑。但是我們發現高中課本提到雨滴的終端速度是 7m/s ，並沒有說明當時雨滴的體積大小是多少。根據我們從中央氣象局的網站上找到的資料，雨滴的大小其實也是有很大差距的，而且由我們先前推導過的公式可以知道，體積小的雨滴，它的終端速度也會比較小，一般雨滴的直徑在 2~3mm 之間，而我們所蒐集到的雨水直徑只有 1.5mm 左右，屬於毛毛雨的範圍，由我們先前推導過的公式可以知道，體積小的雨滴終端速度也會比較小，因此我們的實驗結果仍是合理的。

三、為了驗證上述討論二的推論，我們決定在不同的降雨型態，分別測量雨滴的大小及終端速度。結果我們從實驗結果發現：毛毛雨、小雨、一般的雨水、大雷雨，所測的終端速度分別為 2.55、3.319、4.185、 7.5m/s ，合理的說明雨滴體積的大小會影響終端速度的大小，並證明我們的實驗結果是合理的。而高中課本所說的雨滴終端速度是 7m/s ，這並不是完全正確的，應該標明雨水體積或何種降雨型態才是。

四、以下是有關實驗部分的討論：

(一) 粉的種類與誤差探討：

1. 我們嘗試了以中筋、低筋、高筋麵粉，以及太白粉、地瓜粉和綠豆粉，看看水滴滴在上面時，那種粉所形成的球適合來做實驗，結果發現綠豆粉根本不能形成球，太白粉又太過鬆散，球容易散開，只有中筋麵粉沾到水所形成的麵粉球最適合拿來測量。

2. 誤差分析：

在滴水入麵粉後，計時兩分鐘後篩出麵粉球，但中間篩出的時間長短會有差別，但經過測量，麵粉球質量的誤差大概在 0.0002 之間，故可忽略不計。

(二) 粉的厚度與誤差探討：

1. 因為考慮到麵粉可能會有吸水多寡而造成誤差，所以我們利用不同厚度反覆實驗，並且觀察其誤差，結果我們找到 1 cm 以下，水滴會因麵粉太薄，而造成部分的水會濺起並分散成小水珠，或黏在盒子上，造成質量的減少

2. 誤差分析：

實驗時我們以尺將粉末鋪平，並用另一支尺插入粉中測其厚度，因此厚度會有些許誤差，但我們盡量鋪平粉末，以減小誤差

(三) 雨滴與體積質量部分：(麵粉球法)

1. 以量筒測量體積時，只能精確到 0.1ml，想要測量體積在 0.01ml 上的水滴，則需要滴數十滴甚至上百滴的水滴到量筒內，知道了總體積之後再除以水滴的數目，才能得到一滴水滴的平均體積。這種方法相當麻煩，而且如果運用在測量雨滴大小的時候，根本沒有辦法數出有多少雨點滴在量筒內，所以我們放棄這種測量方法。如果用麵粉球法的話，只需要滴幾滴水或是接幾滴雨水到麵粉裡，然後測量麵粉球的重量，在對照圖表就可以知道水滴的體積，可以節省很多時間，準確度也相當高。

2. 因為雨滴很小，而實驗室的滴管所滴出的水滴太大，為了能夠使實驗數據較接近實際的雨滴，我們找了自製了一支黏上自動筆頭的滴管(滴管 B)，頭皮針(滴管 C)，普通針頭(滴管 D)，一支鍍上蠟的滴管(滴管 E)，使水滴體積變小，更接近雨水的實際體積。如圖四。



3. 誤差分析：

- (1) 由圖一中，我們發現五組數據可以畫出一條的斜直線，但是雨水的體積比我們用來對照的水滴體積更小，因此我們是以現有的數據繪製成圖，算出其斜率，利用外差法進而推算出雨點的實際大小。
- (2) 拿滴管滴入量筒測其體積時，有時會不小心滴到量筒壁，此時我們會滴到水面淹沒附在壁上的水珠為止，或是不採用，因此不會有誤差產生。
- (3) 在滴水入麵粉後，計時兩分鐘後篩出麵粉球，但中間篩出的時間長短會有差別，但經過測量，麵粉球質量的誤差大概在 0.0002 之間，故可忽略不計。

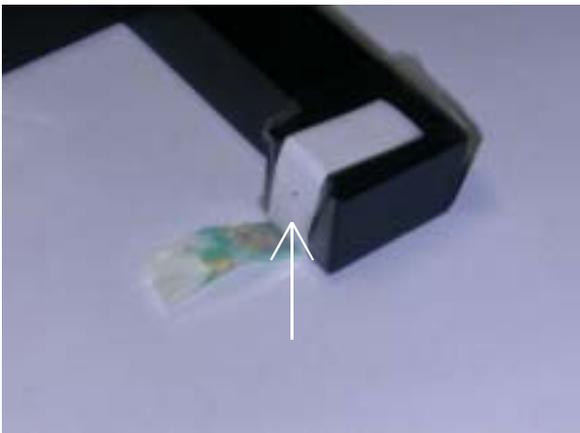
(四) 水滴大小與終端速度對照：

1. 為了方便我們測出固定距離的速度，我們把光電計時器的感應器黏在木板上，如右圖，這樣才方便貼在牆壁或夾住，較好測量出穩定的數值。



2. 在光電計時器的感應器上貼上一張紙，中間鑽個小洞(如圖六)，使射出的光束變小，可以讓感應器比較靈敏。
3. 在下方的感應器上端再黏上一小塑膠片(如圖七)，其目的是使從上面的水滴落下時，避免速度過快而測不出，只要能打在塑膠片上，塑膠片上下震動即可測出，感應效果也較好。

(圖六)



(圖七)



4. 我們把開始和停止兩感應器利用鐵釘嵌入木板中，在 30cm 之內以鐵架及固定夾固定來測量，超過 30cm 就在牆上做刻度，將兩木板貼在牆上測量。
5. 我們發現陰天時比在白天時好測量，在晚上比在白天好測量，在白天與晴天時不易測出數據，且誤差大，而夜晚效果相當顯著且誤差極小，可能因為日光含有各種頻率的光線，使感應器變遲鈍。

6. 誤差分析：

- (1) 由時間-距離關係圖中的點，發現某幾點會偏離趨勢線特別嚴重，其原因應是在做實驗時，手或其他部分因顫抖而先碰到感應器，之後水滴觸動感應器而得出，數字會有較大誤差。
- (2) 另外，滴管 B 是我們粘上自動鉛筆頭的自製滴管，有時他的尖端會突出或縮進去，造成體積大小差異很大，而此類數據則不採用。
- (3) 在做實驗時，有時會有風，若有人員在附近走動時，也會產生風，而造成水滴行進的路線偏移或是影響速度，造成誤差。
- (4) 由於終端速度與溼度有關，而我們在測量數據時，天氣狀況不一定相同，因此溼度的影響也不一樣，造成誤差。

柒、結論

根據以上種種實驗整理，還有我們一些實驗的裝置、誤差，結合得以下結論：

一、數據：

經過多次實驗，平均後得以下數據：

(一) 1. 粉的種類與誤差探討

	太白粉	地瓜粉	低筋麵粉	中筋麵粉	高筋麵粉
誤差值 (g)	0.0294	0.0207	0.0248	0.0103	0.0141

其中以中筋麵粉誤差最小，定為本實驗之用粉

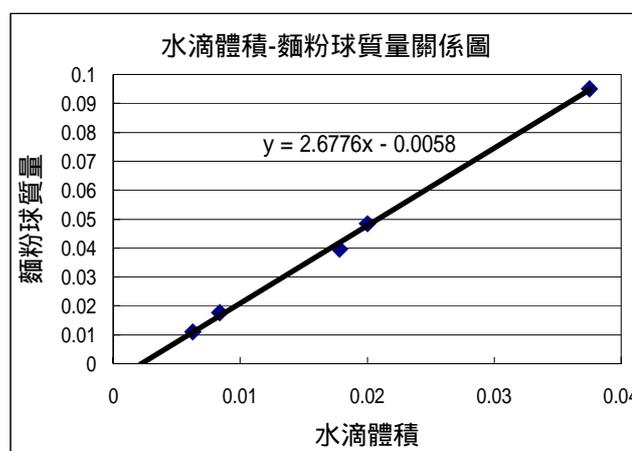
2. 粉的厚度與質量誤差探討

厚度 (cm)	0.5 cm	0.8 cm	1 cm	1.3 cm
質量 (g)	0.06352	0.07149	0.08249	0.08232

其中以 1 公分為最適厚度，定為本實驗之麵粉厚度

3. 滴管口徑與麵粉球質量對照

滴管	平均體積 (ml)	麵粉球平均質量 (g)
滴管 A	0.0375	0.09505
滴管 B	0.0178	0.03953
滴管 C	0.00625	0.01097
滴管 D	0.0084	0.01773
滴管 E	0.02	0.04840

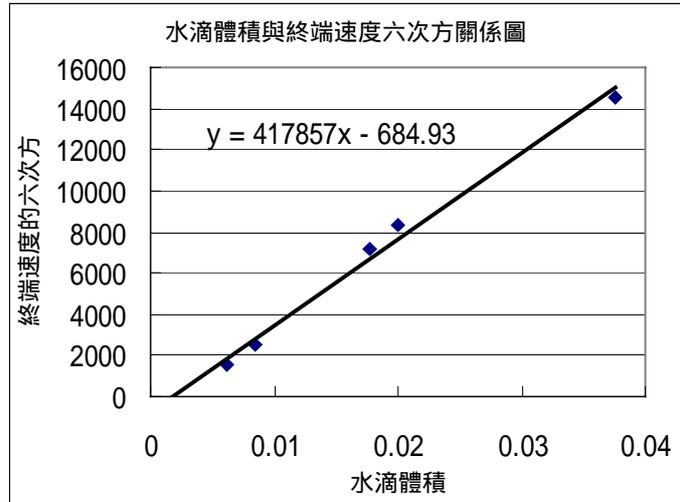


以麵粉球質量換算水滴體積的公式：

$$\text{水滴體積} = \frac{\text{麵粉球質量} + 0.0058}{2.6776}$$

(二) 滴管口徑與終端速度對照

滴管	體積	終端速度六次方
滴管 A	0.0375	14559.71246
滴管 B	0.0178	7216.823808
滴管 C	0.00625	1550.264691
滴管 D	0.0084	2542.101926
滴管 E	0.02	8292.700087



終端速度六次方與水滴體積的公式： $V_t^6 = 417857 \times \text{水滴體積} - 684.93$

(三) 雨水實際測量、對照

一、我們在三月二日及三月四日兩天天氣狀況接近的雨天進行測量得到以下結果：

日期	麵粉球每顆重 (g)	雨水一滴體積 (ml)	終端速度 (m/s)
三月二日	0.00026	0.002263	2.527509
三月二日	0.000326	0.002288	2.544116
三月二日	0.000356	0.002299	2.551254
三月二日	0.0004	0.002316	2.562093
三月四日	0.000375	0.002306	2.555745
三月四日	0.000326	0.002288	2.544116
三月四日	0.000305	0.002280	2.538861
三月四日	0.000356	0.002299	2.551254
三月十七日	0.014703	0.007657	3.687609
三月十七日	0.014263	0.007493	3.670666
三月十九日	0.004553	0.003867	3.124777
三月十九日	0.005119	0.004078	3.172260
四月十日	1.070263	0.401876	7.516814
四月十日	1.006737	0.378124	7.367428

經過平均之後，得到下表：

日期	每顆麵粉球平均重量 (g)	雨水平均體積 (ml)	終端速度 (m/s)
三月二日	0.000352	0.002298	2.55
三月四日	0.000341	0.002293	2.547
三月十七日	0.014483	0.007575	4.185
三月十九日	0.004836	0.003973	3.319
四月十日	1.0385	0.39	7.4

二、

- 1.經過一番辛苦的實驗，最後我們在同一天內，在同一地點同時進行實驗，因為同一天的天氣情況一樣，而同一天我們得到的數據也相當接近，證明我們實驗的精準性。
- 2.根據中央氣象局的網站提到，雨滴的直徑在 0.1~0.5 mm 之間稱為毛雨，直徑在 0.5~2 mm 的雨點稱為小雨，雨點直徑在 2~3 mm 是一般的雨點。因此我們根據不同的降雨型態，進行雨滴大小及終端速度的測量，結果發現雨滴體積的大小的確會影響終端速度的大小，與學理相符合。
- 3.在這件作品中，我們可利用目前的知識範圍，及一些簡單的測量，再加上簡易的運算，來測量出比教科書教授的測量方法更精確的值，達到「微量測量」。一般量筒刻度只能測量到 0.1 毫升，而我們利用比照圖表的方法及公式計算，測量出微小水滴的體積至小數第四位；平常，除了電子儀器之外，沒有其他方法可將水滴體積測至小數第四位。而我們尚可利用公式及已知的體積大小，計算出雨滴速度有多快。

捌、參考資料

- 一、國中理化第一冊 緒論-簡單的測量 國立編譯館 主編
- 二、國中理化第一冊 緒論-質量的測量 國立編譯館 主編
- 三、國中理化第四冊 第十五章-直線運動 國立編譯館 主編
- 四、高中科學物理篇 第一章-直線運動 南一書局 出版
- 五、科學小芽子 <http://www.bud.org.tw/>
- 六、中央氣象局圖書館 <http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/index.htm>
- 七、教育部學習加油站 <http://content1.edu.tw>

評語

以簡單有效的方法，求出水珠平均體積，並予以校準。克服雨滴難測的困境，並找出雨滴體積與終端速度之關係。