中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　物理科

080111

永不進棺材的原子筆

【永不斷水原子筆的可行性研究】

學校名稱：金門縣金湖鎮金湖國民小學

作者：	指導老師：
小六 呂香穎	李永欽
小六 楊育杰	謝家耀
小六 吳雨汶	
小六 陳　妍	
小六 陳秋娟	
小六 許家芸	

關鍵詞：原子筆、毛細現象、壓力

摘要

在影片【三個傻瓜】中的大學教授有一枝在任何角度或無重力都可寫出來的太空筆。真有這枝筆嗎？可 DIY 嗎？

結果顯示：(1)市售原子筆平均筆芯內徑及倒立書寫長度：水性筆 > 油性筆 (2)書寫傾角與書寫長度呈負相關，書寫傾角 > 90 度任何性質的筆都會斷水 (3)環境溫度與書寫長度呈正相關 (4)油及水性原子筆在水中書寫效果不佳 (5)筆倒立書寫長度和筆芯內徑呈負相關。毛細上升高度：自來水 > 水性墨汁 > 油性墨汁。水性筆芯內徑 < 0.15mm，油性 < 0.05mm，墨汁會毛細上升 5cm 效果佳 (6)筆芯尾部隔絕空氣書寫長度大為縮短 (7)筆芯尾部加砂效果差 (8)筆芯尾部加水效果佳，加壓 8-11cm 水頭高為最佳 (9)筆尾部加氣壓效果佳 (10)永不斷水原子筆構想可以達成。或許結果能給同好參考依據及具科學價值。

壹、研究動機

在影片【三個傻瓜】中，裡頭的大學教授有一枝不論在任何角度或無重力都可以寫出來的太空筆，只有他覺得最好的學生，才能把這枝筆傳給他。看完影片後，同學們紛紛有著同樣的疑問:真的有這枝筆嗎？如果有這枝筆，那麼我們是否可以運用已學的知識來製作相同的筆？為了解開種種謎題，所以我們請教了老師。

老師提示我們說---筆可書寫與筆芯所受壓力及毛細現象有關，這讓我們想起了中年級自然課某個單元介紹的「毛細現象」，水利用附著力會沿著隙縫往上爬，可不可以利用此上爬力量，來達到不斷水目的？若在筆外施加壓力會不會也可以達到相同效果？然後我跟我們同學開始研究如何將筆變成「永不斷水的原子筆」，才不會浪費剩下的墨水。

此想法真令我們興奮，下課後，我們聚在一起討論，市售筆有什麼種類，它們是如何寫出墨水的？還有與傾斜角度有什麼關係？與環境溫度有什麼關係？處在水中環境有什麼變化？與筆芯內徑大小有什麼關係？筆未端隔絕空氣、加固體壓力、加液體壓力、加氣體壓力有什麼關係？是否可以 DIY 設計及製作不斷水之筆？所以我們收集了一些資料並且請教老師，組成了一個永不斷水之原子筆的研究小組，展開了這次的實驗活動。

貳、研究目的

一、研究調查市售原子筆的種類型式及工作原理。

操作因素影響

二、研究原子筆書寫與傾斜角度的關係。

環境因素影響

三、研究原子筆書寫與環境溫度的關係。

四、研究原子筆書寫與在水中環境的關係。

筆芯內徑毛細因素影響

五、研究原子筆書寫與筆芯內徑的關係。

筆身壓力因素影響

六、研究原子筆書寫與筆尾部隔絕空氣的關係。

七、研究原子筆倒立書寫與筆尾部加固體壓力的關係。

八、研究原子筆倒立書寫與筆尾部加液體壓力的關係。

九、研究原子筆倒立書寫與筆尾部加氣體壓力的關係。

十、設計及探討永不斷水原子筆的可行性、方便性、效果性、推廣性分析及綜合評價。

参、文獻探討

一、生活中的力：

力的效應和種類---力會使物體的【形狀】產生變化或【運動狀態】改變。鐵匠拿著鐵鎚用力敲打鐵塊，以打造出各種不同形狀的鐵器。上陶藝課的時候，同學用手將陶土捏成各種形狀。足球由靜止開始滾動，滾動一段時間停下來。

二、固體壓力

1.壓力強度的定義：物體單位面積所受的正向力(※正向力必須垂直於接觸面)

(※壓力所需的正向力，不一定是重量)

2.壓力的公式：壓力 P＝F/A＝ $\frac{\text{正向力}}{\text{受力面積}}$

(壓力是純量，力是向量，二者不同物理量)

3.壓力的單位：gw/cm2；kgw/m2；kgw/cm2

資料來源 http://www.phy.ntnu.edu.tw/wiki/index.php

三、液體壓力

1.液體壓力的公式Ｐ＝ｈｄ（以液體表面往下至所要求之點的深度計算）

Ｐ：液體中某點的壓力大小（gw/cm2）； ｈ：液體中某點的深度（cm）； ｄ：液體的密度（gw/cm3）

2.在靜止液體內，連通的同一液體平面各點壓力完全相等 (一般討論的是靜止的液體)

資料來源 http://en.wikipedia.org/wiki/Fluid_statics

四、氣體壓力

氣壓的國際單位制是帕斯卡（或簡稱帕，符號是 Pa），泛指是氣體對某一點施加的流體靜力壓強，來源是大氣層中空氣的重力，即為單位面積上的大氣壓力。在一般氣象學中人們用千帕斯卡（KPa）、或使用百帕（hPa）作為單位。測量氣壓的儀器叫氣壓表。其它的常用單位分別是：巴（bar，1bar=100,000 帕）和公分水銀柱（或稱公分汞柱）。

人們使用氣壓指利用受壓氣體傳遞能量來作功，利用氣壓作動力，簡單的說就是使用壓縮空氣經由氣壓來作氣壓缸、氣壓馬達的動力來源等。

資料來源 http://zh.wikipedia.org/zh-tw

六、毛細現象

毛細現象（又稱毛細管作用）是指液體在細管狀物體內側，由於內聚力與附著力的差異、克服地心引力而上升的現象。植物根部吸收的水分能夠經由莖內維管束上升，即是毛細現象最常見的例子。當液體和固體（管壁）之間的附著力大於液體本身內聚力時，就會產生毛細現象。液體在垂直的細管中時液面呈凹或凸狀、以及多孔材質物體能吸收液體皆為此現象造成的影響。

資料來源 http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AF%9B%E7%BB%86%E7%8E%B0%E8%B1%A1

肆、研究設備及器材

一、研究器材：

表 4.1　研究器材及設備

編號	設備名稱	數量	單位	備註
1	收集市面上銷售的 20 種原子筆	20	支	圖 4.1
2	氣球(超琦牌---橡膠丸型氣球 1406001)	1	組	圖 4.2
3	水管(內直徑 0.8cm、0.6cm)15 尺	2	組	圖 4.5
4	剪刀	1	支	圖 4.4
5	顯微鏡	1	組	圖 4.3
6	校內細砂	1	組	圖 4.6
7	白紙(A4)	200	張	
8	溫度計	2	支	圖 4.3
9	量筒	3	支	圖 4.4
10	透明膠帶	1	組	
11	吸管	5	支	圖 4.3
12	濾網(網目寬度：2mm、1mm、0.5mm)	3	支	圖 4.6
13	數位照相機	1	台	
14	電腦	4	組	
15	沙拉油、紅墨汁	各 1	瓶	

圖 4.1 測試筆

圖 4.2 實驗用氣球

圖 4.3 各式工具

圖 4.4 實驗用油水溶液

圖 4.5 各式水管

圖 4.6 細砂及濾網

伍、研究過程與方法

一、 調查市售筆的種類型式：

小組成員分別在學校附近的文具店，調查市售的原子筆種類及型式，並行進統計。調查情形，如下所示。

圖 5.1 文具店內市售筆(地點：金門縣金城鎮金玉堂)

二、正式試驗與步驟：

【實驗一】調查市售原子筆的種類型式及工作原理是什麼？

(1) 進行市售調查，並利用游標尺量測筆芯內徑及倒立 180 度書寫測試。
(2) 拆解一般市售筆，並分解細小部位及觀測。
(3) 探究原子筆出墨水的原因。

【實驗二】研究原子筆書寫與傾斜角度的關係是什麼？

(1) 選用 4 種不同種類的原子筆。
(2) 在紙上分別利用傾斜角度 0、45、90、135 及 180 度作書寫測試。
(3) 測出筆書寫長度並記錄。

【實驗三】研究原子筆書寫與環境溫度的關係是什麼？

(1) 選用 2 種不同種類的原子筆。
(2) 先分別浸泡在不同的溫度水中 5 分鐘。
(3) 取出測筆在紙上分別利用傾斜角度 0 及 180 度作書寫測試。
(4) 測出筆書寫長度並記錄。

【實驗四】研究原子筆在水中環境書寫有什麼變化？

(1) 用 4 種不同種類的原子筆。
(2) 分別在不同的水深，正立書寫在水底的塑膠板上。
(3) 測出筆正立書寫長度並記錄。

【實驗五】研究原子筆書寫與筆芯內徑的關係是什麼？

(1) 測量 20 枝市售筆倒立筆書寫長度及內徑寬度，並比較相關性。
(2) 選用 3 種不同的液體(自來水、水性墨汁、油性墨汁)。
(3) 準備三組 2 玻璃片平行疊合，一端放入小鋁棒以形成小縫細，分別垂直放入 3 種不同的墨汁中。
(4) 測出 3 種不同墨汁毛細上升高度並記錄。
(5) 選用 2 種不同直徑的細鋼針，分別並排填滿放入管徑 3.26mm 透明吸管內。
(6) 分別垂直放入水性紅墨汁中。
(7) 測出水性墨汁毛細上升高度並記錄。

【實驗六】研究原子筆書寫與筆尾部隔絕空氣的關係是什麼？

(1) 選用 2 種不同種類的原子筆。
(2) 在筆尾部以膠帶封口。
(3) 在紙上分別利用傾斜角度 0、45、90、135 及 180 度作書寫測試。
(4) 測出筆書寫長度並記錄。

【實驗七】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加固體壓力的關係是什麼？

(1) 選用 2 種不同種類的原子筆。
(2) 在筆尾部以 U 型連通管內加細砂模擬加固體壓力。
(3) 移動 U 型連通管內砂不同的高度，並作倒立 180 度書寫測試。
(4) 測出倒立筆書寫長度並記錄。

【實驗八】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加液體壓力的關係是什麼？

(1) 選用 4 種不同種類的原子筆。
(2) 在筆尾部以 U 型連通管內加水模擬加液體壓力。
(3) 移動 U 型連通管內水不同的高度，並作倒立 180 度書寫測試。
(4) 測出筆倒立書寫長度並記錄。

【實驗九】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加氣體壓力的關係是什麼？

(1) 選用 4 種不同種類的原子筆。
(2) 在筆尾部以氣球模擬加氣體壓力。
(3) 施加不同大小的氣球氣體容量，並作倒立 180 度書寫測試。
(4) 測出筆倒立書寫長度並記錄。

【實驗十】設計及探討永不斷水原子筆的可行性、方便性、推廣性及綜合評價。

(1) 設計可行的筆芯毛細升水及筆尾部加壓之筆。
(2) 實體施作成品並作測試。
(3) 討論可行性、方便性、推廣性及綜合評價，並記錄。

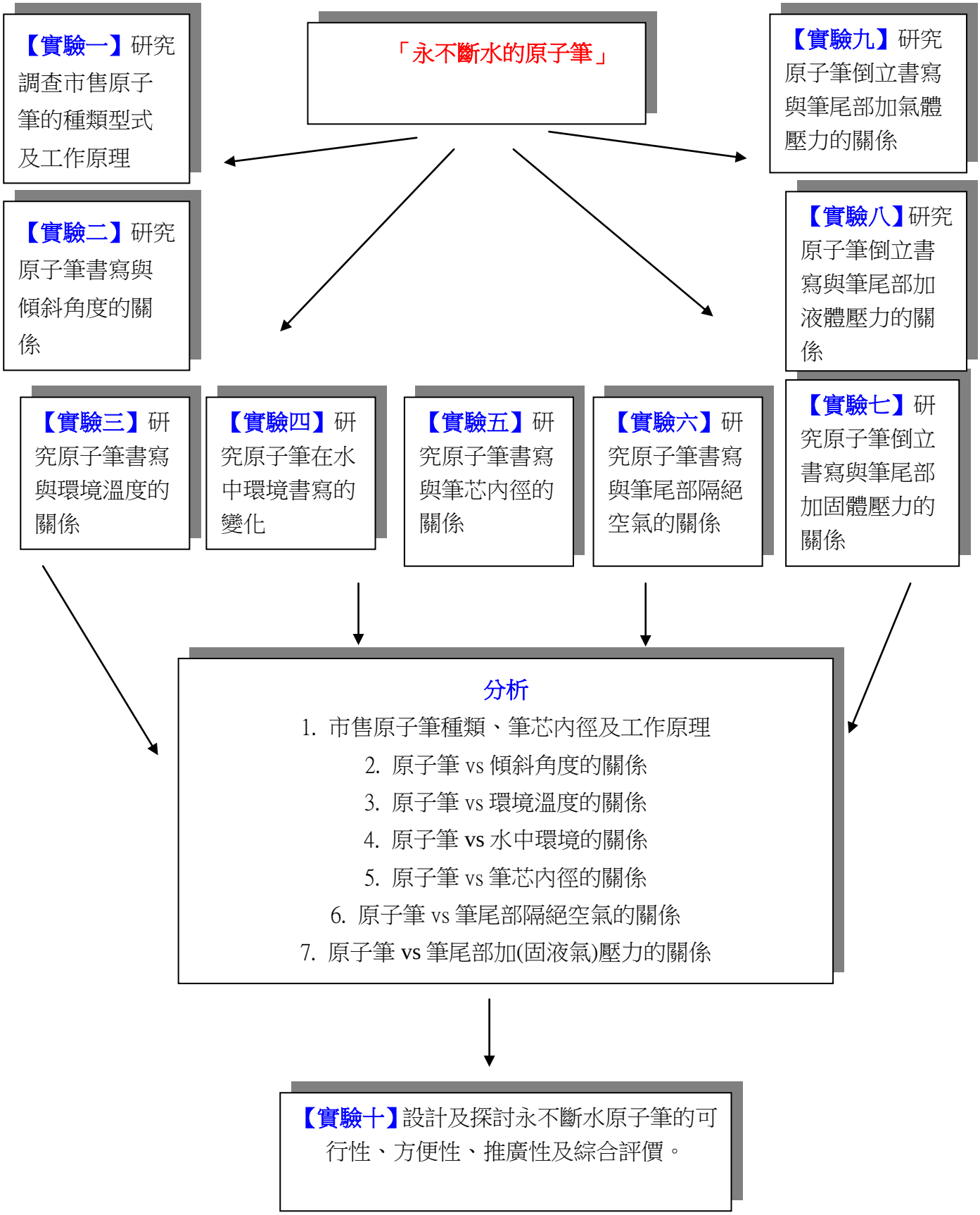

「永不斷水的原子筆」
【實驗一】研究調查市售原子筆的種類型式及工作原理
【實驗二】研究原子筆書寫與傾斜角度的關係
【實驗三】研究原子筆書寫與環境溫度的關係
【實驗四】研究原子筆在水中環境書寫的變化
【實驗五】研究原子筆書寫與筆芯內徑的關係
【實驗六】研究原子筆書寫與筆尾部隔絕空氣的關係
【實驗七】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加固體壓力的關係
【實驗八】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加液體壓力的關係
【實驗九】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加氣體壓力的關係
分析
1. 市售原子筆種類、筆芯內徑及工作原理
2. 原子筆 vs 傾斜角度的關係
3. 原子筆 vs 環境溫度的關係
4. 原子筆 vs 水中環境的關係
5. 原子筆 vs 筆芯內徑的關係
6. 原子筆 vs 筆尾部隔絕空氣的關係
7. 原子筆 vs 筆尾部加(固液氣)壓力的關係
【實驗十】設計及探討永不斷水原子筆的可行性、方便性、推廣性及綜合評價。

圖 5.2 主要研究流程

圖 5.3 傾斜 45 度書寫測試

圖 5.4 傾斜 90 度書寫測試

圖 5.5 傾斜 135 度書寫測試

圖 5.6 傾斜 180 度書寫測試

圖 5.7 筆在極低溫-14 度 C 環境施作情形
(冰+水+鹽)

圖 5.8 筆在水中書寫測試

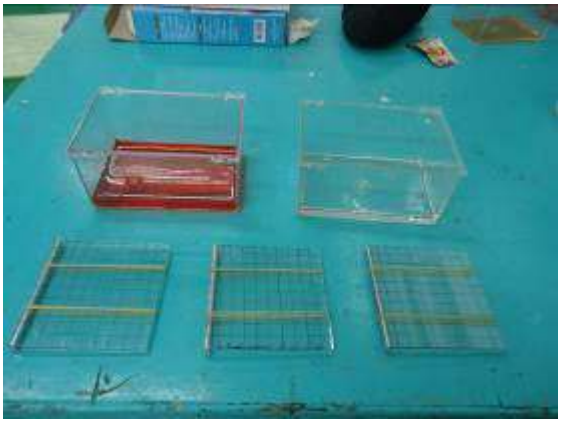


圖 5.9 墨汁毛細現象實驗準備情形

圖 5.10 篩網過濾金門現地土準備實驗用細砂的情形

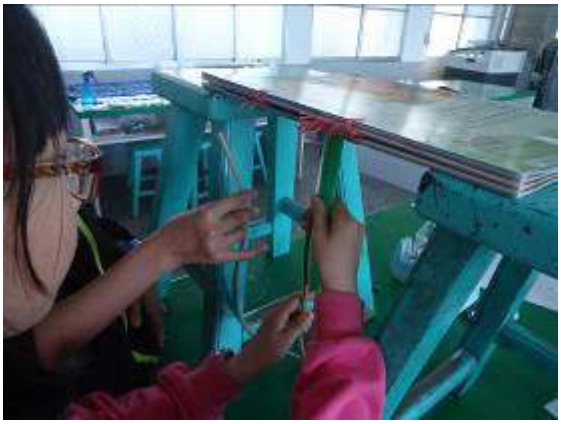


圖 5.11 筆尾加固體壓力(細砂)

圖 5.12 筆尾加液體壓力(水)

圖 5.13 筆尾加氣體壓力(氣球)

圖 5.14 氣球壓力換算水壓力試驗

圖 5.15 顯微鏡操作觀察筆頭情形

圖 5.16 所有實驗後的測紙成果(152 張 A4)

圖 5.17 研究討論情形

圖 5.18 電腦操作情形

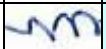
陸、研究結果與討論

【實驗一】研究調查市售原子筆的種類型式及探討原子筆為何可以書寫。

<方法>進行原子筆的調查、利用游標尺量測筆芯內徑、倒立 180 度書寫測試，分別對油性與水性筆解剖，分析與討論。

<市場調查結果>
本研究小組至金門縣金城鎮的金玉堂書店進行調查，並選出二十種原子筆進行試驗，統計如下：

編號	品牌	型號	筆性	實體照片	書寫筆跡	筆芯內徑 (mm)	倒立書寫長度 (cm)
1	OB	1005	油 0.3			1.3	31.5
2	UNI-BALL FIGNODX	UM-18KT	水 0.38			3.2	63
3	SKB	IB-12	油 0.5			1.8	22
4	FRIXION	LFB-20 EFB	水 0.5			4.32	21
5	TEMPO	G-102	水 0.5			1.3	420
6	TEMPO	G-107	水 0.38			1.3	388.5
7	天驕	TY162	油 0.7			1.02	96.6
8	SKB	G-10	水 0.3			2.41	24
9	CHU LUN	A-1478	油 0.6			1.02	84
10	KQE	K-9106	油 0.5			1.12	67
11	UBILIN	A-1499	油 0.5			1.3	273
12	OB	1008	油 0.4			1.3	33
13	CHU LUN	A-1499	油 0.6			1.3	8

14	FRIXION	LFBK-23EF-L	水 0.5			4.28	6.9
15	SARASA	JJH15-FB	水 0.3			2.14	6
16	UNI-BALL FIGNODX	UM-151	水 0.38			3.36	12.5
17	SEAMAN	20116	油 0.5			1.3	210
18	FLOWER	OP-102	油 0.38			1.05	105
19	LOLLIPOP	GP-20	水 0.5			2.11	0.5
20	巨倫	A-2339	水 0.5			2.17	5
平均					油性	1.251	93.01
					水性	2.659	94.74

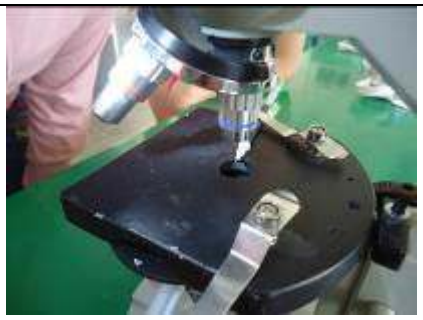
<發現>

1. 統計結果後，我們發現市售的原子筆中可分為油性、水性筆，但其中麥克筆不屬於原子筆，而屬於自來水筆及彩色筆的設計原理，其中心有海綿來傳導墨水，與油水性原子筆作用原理不同，而且我們較少使用，於是最後我們決定排除了麥克筆。
2. 平均市售原子筆芯內徑比較：水性原子筆(2.659mm) > 油性原子筆(1.251mm)。
3. 平均市售原子筆倒立 180 度書寫長度比較：水性原子筆(94.74cm) > 油性原子筆(93.01cm)。
4. 任何性質市售原子筆倒立書寫都會斷水。

<原子筆書寫的工作原理>

圖 7.1 油性原子筆拆解研究

圖 7.2 水性原子筆拆解研究

筆頭放大 60 倍(15*4)		筆頭放大 60 倍(15*4)
油性原子筆，筆頭有鋼珠	顯微鏡觀測情形(筆頭放大倍率)	水性原子筆，筆頭有鋼珠

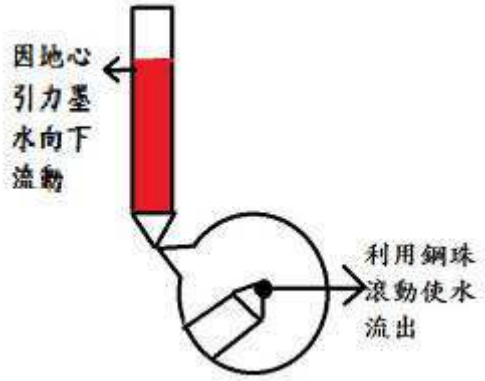


圖 7.3 原子筆書寫工作原理之說明圖

<探究分析>

經過原子筆拆解、分析及查閱相關資料【五】【六】，並與老師相互討論，我們了解了原子筆可寫出墨水的原理，是因為---筆四周的大氣壓力皆相等，但墨水有重量，而產生向下的壓力，如同水往低處流一樣當鋼珠滾動時，墨水會從鋼珠的接縫處均勻的流出。油性與水性的筆都是利用這種原理，如上圖原子筆書寫工作原理之說明圖。

操作因素影響

【實驗二】研究原子筆書寫與傾斜角度的關係。

<方法>選出四種不同種類的原子筆，在紙上分別利用傾斜角度 0、45、90、135、180 做書寫測試，並繪出可書寫長度 vs 書寫傾斜角度的關係圖，如下所示。

【實驗二】原子筆書寫與傾斜角度的關係

試驗編號	筆		傾斜角度(度)				
			0	45	90	135	180
A1	SKB(IB-12)油性	書寫長度(cm)	無限	無限	400	252	22
A2	CHU LUN 油性(A-1478)	書寫長度(cm)	無限	無限	1331	84	84
A3	UNI-BALL 水性(UM-18KT)	書寫長度(cm)	無限	無限	無限	740	275
A4	TEMPO 水性(G-102)	書寫長度(cm)	無限	2394	892	420	326

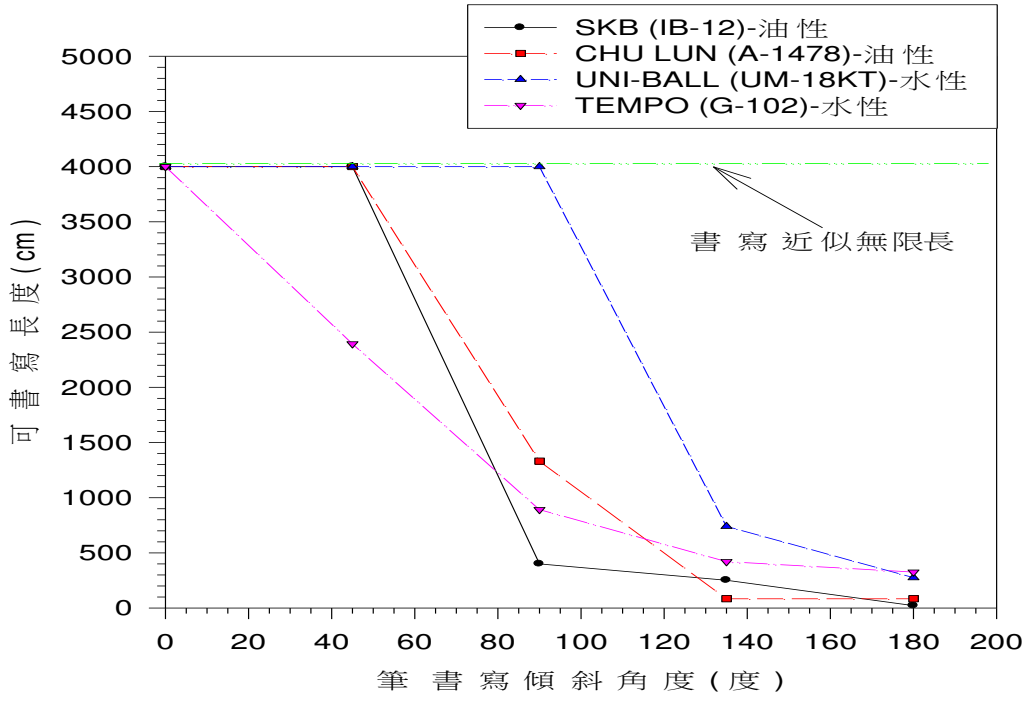


圖 7.4 可書寫長度-書寫傾斜角度的關係圖

<結果>

1. 書寫傾斜角度與書寫長度呈負相關；傾斜角度越大，可書寫長度就越短。
2. 不管是油性或水性的筆，只要書寫角度越小，越不容易斷水，但角度越大，越容易斷水。
3. 書寫傾角>45 度，所有油性筆即會斷水；書寫傾角>0 度，部份水性筆會會斷水，書寫傾角>90 度所有水性筆即會斷水。
4. 水性筆在各角度時能書寫較長的長度。

<發現>

我們發現書寫傾角>90 度，任何性質的筆都會斷水，而且水性原子筆比較能適應各個角度，油性筆只能在特定角度時永久書寫，所以水性筆的角度適用性比油性筆高。

環境因素影響

【實驗三】研究原子筆書寫與環境溫度的關係。

<方法> 選用兩種不同種類的原子筆，分別浸泡在不同的溫度水中 5 分鐘，在紙上分別利用傾斜角度 0、180 做書寫測試。並繪出可書寫長度 vs 環境溫度的關係圖，如下所示。

【實驗三】原子筆書寫與環境溫度的關係									
試驗編號	筆	傾斜角度		環境溫度 (度 C)					
				-10	2	18	40	80	
B1	CHU LUN 油性 (A-1478)	0	正立書寫長度(cm)	0	273	無限	無限	336 (爆水)	
B2	UNI-BALL 水性 (UM-18KT)	0	正立書寫長度(cm)	10.5	693	無限	無限	無限 (爆水)	

試驗編號	筆	傾斜角度		環境溫度 (度 C)					
				-14	3	18	40	80	
B3	SKB(IB-12)油性	180	倒立書寫長度(cm)	0	21	22	42	52.5	
B4	CHU LUN 油性 (A-1478)	180	倒立書寫長度(cm)	0	84	84	84	84	
B5	UNI-BALL 水性 (UM-18KT)	180	倒立書寫長度(cm)	10.5	27.5	63	283.5	210	
B6	TEMPO 水性 (G-102)	180	倒立書寫長度(cm)	10.5	42	420	168	210	

油性原子筆正立書寫高溫爆水情形

水性原子筆正立書寫高溫爆水情形

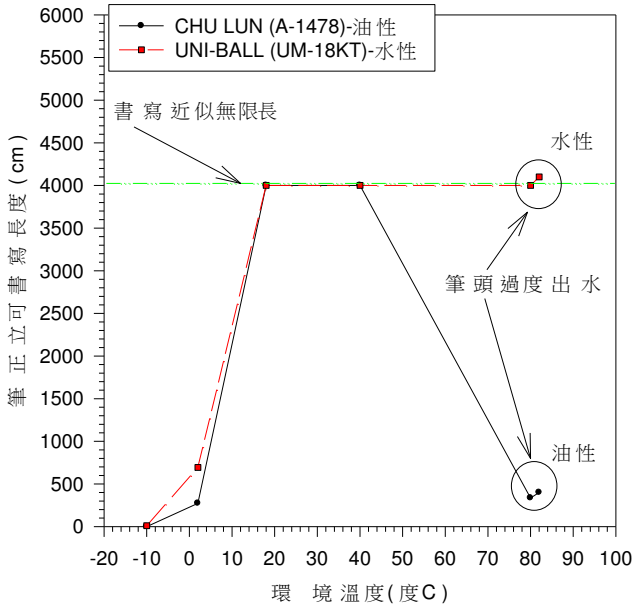


圖 7.5 正立可書寫長度-環境溫度的關係圖

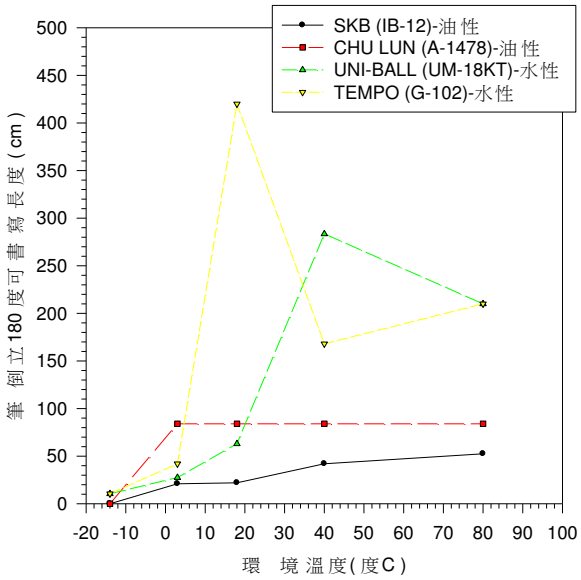


圖 7.6 倒立可書寫長度-環境溫度的關係圖

<結果>

正立 0 度書寫

1. 環境溫度與原子筆的書寫長度大致呈正相關，環境溫度越高油性及水性原子筆越容易書寫。

2. 水性筆在溫度 > 18 度 C 可永久書寫；油性筆在溫度 18~40 度 C 可永久書寫。
3. 水性在 80 度 C 時，可永久書寫，但容易爆水。
5. 油性在 80 度 C 時，書寫長度不超過 400cm，但容易爆水。

倒立 180 度書寫

1. 不管是油性或水性筆，在倒立書寫時不論任何溫度都不能永久書寫。
2. 水性筆在常溫及高溫的時候表現較佳。
3. 不管是油性或水性筆，只要溫度< -10 度 C，書寫長度都不大於 10.5cm。

<發現>

1. 正立書寫時，水性筆在常溫及高溫的時候表現較佳。水性筆在溫度>18 度 C 可永久書寫；油性筆在溫度 18~40 度 C 可永久書寫。不論油性及水性筆，溫度<-10 度 C 都不能書寫，溫度>80 度 C 都會爆水。
2. 倒立書寫時，油性及水性筆不論任何溫度都不能永久書寫。水性筆在常溫及高溫的時候表現較佳。

<探究分析>

1. 油性原子筆的油墨對低溫及高溫度較敏感，溫度過低時油性墨水可能形成凝固狀，就不會流動而出墨；高溫時墨水流動性會變好，可能受油性墨汁黏度【八】較大的影響，出水不均勻而形成時有斷水、時有爆水的現象。
2. 水性原子筆的油墨對低溫度較敏感，在低溫時水性墨水流動性會變慢，高溫時墨水流動性會變快且體積膨脹，所以太易出水而有爆水現象。

【實驗四】研究原子筆在水中環境書寫的變化。

<方法>用 4 種不同種類的原子筆，分別在不同的水深，書寫在水底的塑膠板上測試。並繪出可書寫長度 vs 筆頭入水深度的關係圖，如下圖所示。

【實驗四】研究原子筆在水中環境書寫的變化								
試驗編號	筆		筆頭入水深度(cm)					
			0	1	3	6	11	16
C1	SKB(IB-12)油性	正立書寫長度(cm)	無限	180	58	24	18	7
C2	CHU LUN 油性 (A-1478)	正立書寫長度(cm)	無限	63	45	18	0	0
C3	UNI-BALL 水性 (UM-18KT)	正立書寫長度(cm)	無限	9	2	0	0	0
C4	TEMPO 水性 (G-102)	正立書寫長度(cm)	無限	36	0	0	0	0

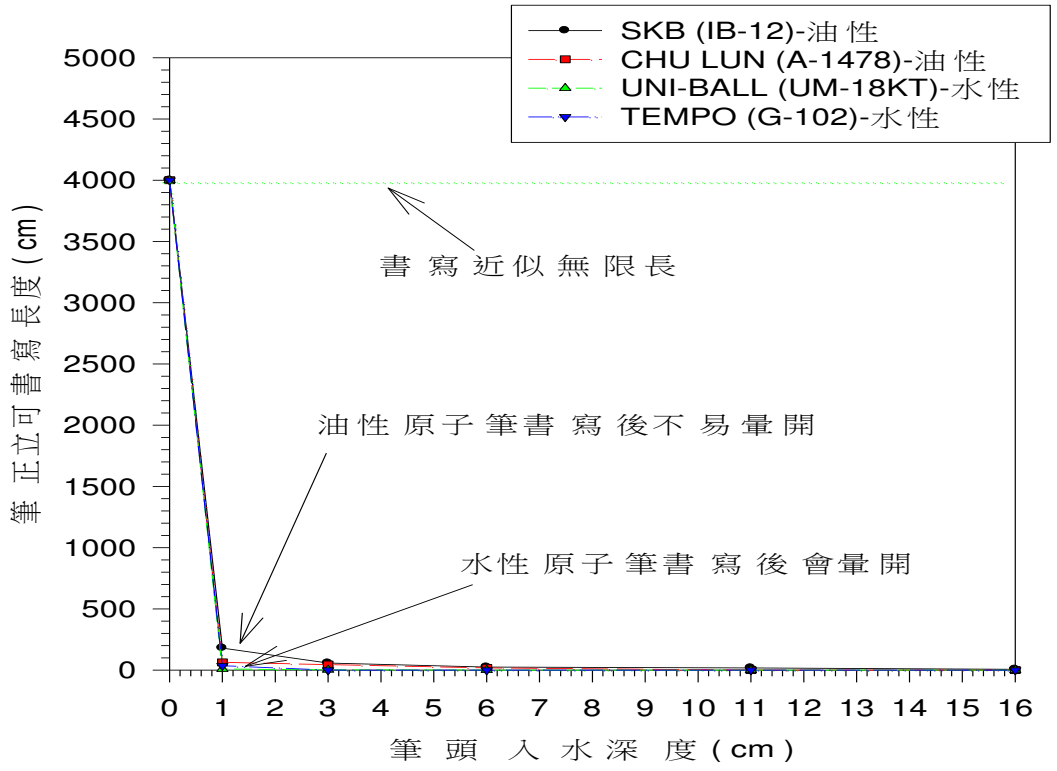


圖 7.7 正立可書寫長度-筆頭入水深度的關係圖

<結果>

1. 筆的書寫與入水深度呈負相關。入水深度越深，筆書寫長度越短；入水深度越淺，書寫長度越長。
2. 水性筆在水中較不易書寫得出來，油性筆在水中較容易寫出來。
3. 油性筆書寫後不易暈開，水性筆書寫後會暈開。
4. 油性筆和水性筆，在水深 1 cm以下便較困難書寫。
5. 水性筆在水深 3 cm以上，油性筆在水深 16 cm以上完全不能書寫。

<發現>

我們發現油性及水性原子筆在水中可以書寫但效果不佳，水性筆在水下 3 cm以上，油性筆在水下 16 cm以上完全不能書寫。其中水性墨水容易在水中暈開。

<探究分析>

水性原子筆的筆頭鋼珠與接觸面的摩擦力在水中會變小，而且水性墨汁黏度【八】較低，較容易受水擠壓回筆心內，且與水能相融，使得鋼珠較不滾動而不出墨水。

筆芯內徑毛細因素影響

【實驗五】研究原子筆書寫與筆芯內徑的關係。

<方法 1--市調比較倒立筆書寫長度與筆芯內徑關係>

利用市調比較倒立筆書寫長度與筆芯內徑關係，並繪出倒立 180 度可書寫長度 vs 筆芯

內徑的關係圖，如下所示。

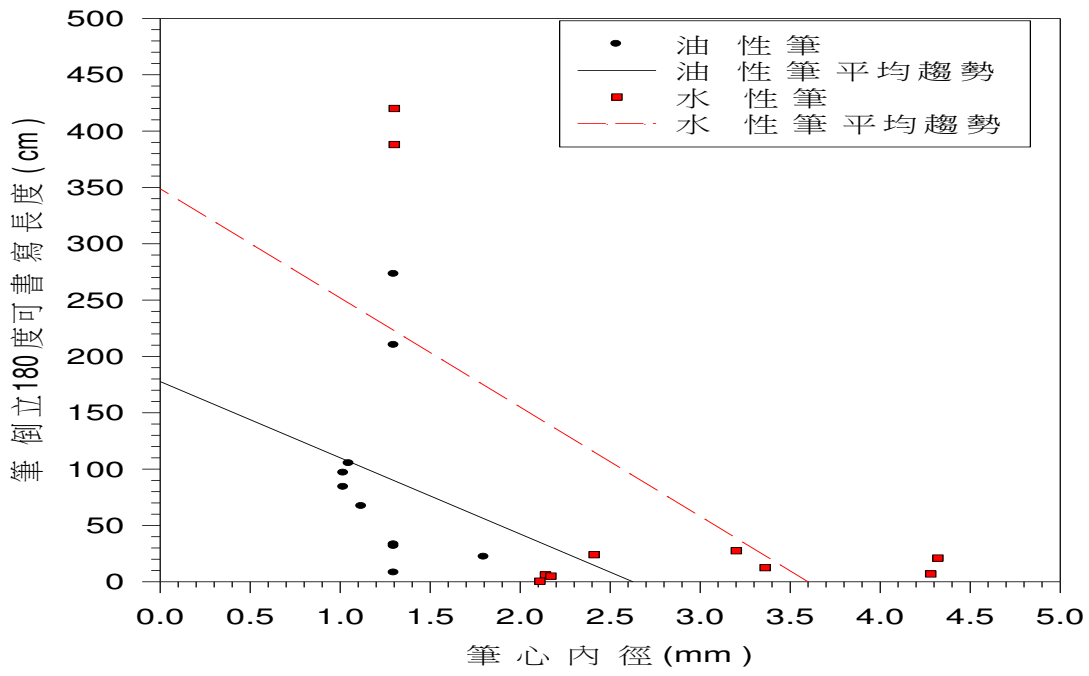


圖 7.8 倒立 180 度可書寫長度-筆芯內徑的關係圖

<結果>

1. 倒立書寫長度和筆芯內徑呈負相關。筆心內徑越小，倒立書寫長度越長；筆芯內徑越大，倒立書寫長度越短。
2. 油性筆芯內徑最小都不會低於 1.02mm，水性則不低於 1.3mm。
3. 坊間製造的筆，不管是油性或水性的筆，筆心的內徑都不會低於 1.0mm。
4. 內徑越大越容易斷水，內徑越小越不容易斷水。

<發現>

不管是油性或水性筆，只要筆芯內徑越小倒立書寫長度就越長；內徑越大倒立書寫長度就越短，所以我們發現筆芯內徑對倒立書寫長度具有相當高的影響度。

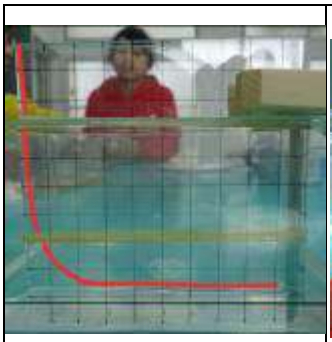
<探究分析>

為何筆芯內徑對倒立書寫長度具有相當高的影響力呢？我們參考相關資料【三】【七】及請教老師，我們認為應該是筆心管壁的毛細現象造成的，為了證明小管壁與不同墨汁間的毛細影響力，所以我們進行了以下的「兩玻璃片靠近-----小間隙毛細實驗」。

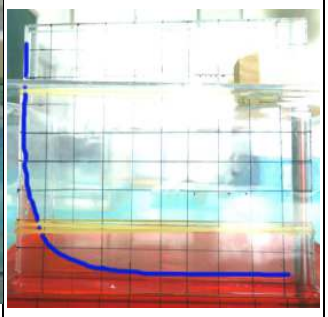
<方法 2--兩玻璃片靠近---小間隙毛細實驗>

選用 3 種不同的液體(自來水、水性墨汁、油性墨汁)，準備三組 2 玻璃片平行疊合，一端放入小鋁棒以形成小縫細，分別垂直放入 3 種不同的墨汁中，測出墨汁毛細上升高度並記錄，並繪出毛細上升高度 vs 壁體間距的關係圖，如下所示。

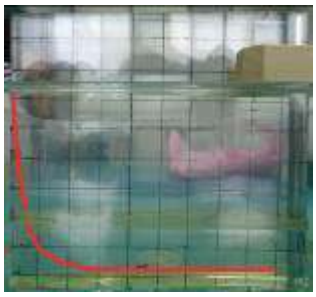
【實驗五】研究原子筆書寫與筆心內徑的關係---毛細現象實驗																	
試驗編號	兩玻璃片靠近(10*10cm)		玻璃片測板長度(cm)														
			0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10
		間距(mm)	接近0	0.27	0.54	0.81	1.08	1.35	1.62	1.89	2.16	2.7	3.24	3.78	4.32	4.86	5.4
D1	自來水	毛細上升高度(cm)	7.8	1.7	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0
D2	水性紅墨汁	毛細上升高度(cm)	7.2	2.2	1.1	0.6	0.4	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	油性墨汁(沙拉油)	毛細上升高度(cm)	5.6	2.3	0.8	0.4	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0



自來水



水性紅墨汁



油性墨汁(沙拉油)

紙上比例量測分析情形

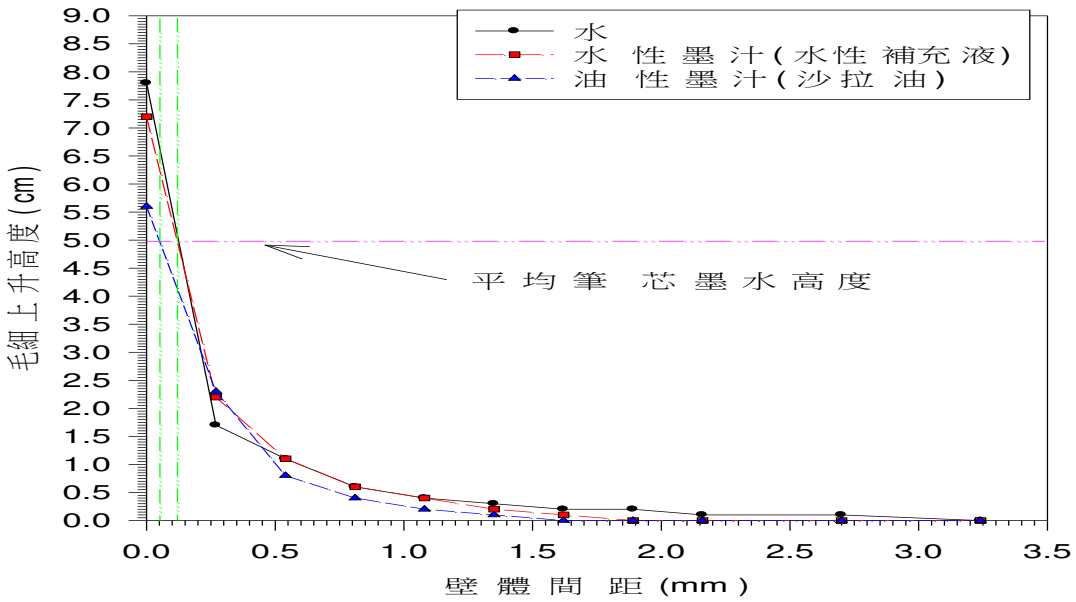


圖 7.9 毛細上升高度-壁體間距的關係圖

<結果>

1. 毛細上升高度和筆芯內徑呈負相關。
2. 毛細上升高度：自來水>水性墨汁>油性墨汁。
3. 只要水性筆芯內徑<0.15mm，油性筆芯內徑<0.05mm，墨汁就會有毛細上升 5cm，即不容易斷水(假設原有筆芯墨汁 5cm 高)。
4. 當水性與油性的筆芯內徑一樣時，毛細上升高度：水性筆>油性筆。

<發現>

毛細上升高度：自來水 > 水性墨汁 > 油性墨汁，所以油性原子筆芯內徑必需小於水性筆芯內徑，才有足夠毛細上升力，這與市售筆調查結果是吻合的(平均市售油性原子筆芯內徑 1.251mm < 平均市售水性原子筆芯內徑 2.659mm)。

我們發現---只要水性筆芯內徑 < 0.15mm，油性筆芯內徑 < 0.05mm，墨汁就會毛細上升 5cm，即不容易斷水(假設原有筆芯墨汁 5cm 高)。

<探究分析>

由以上的毛細實驗「兩玻璃片靠近-----小間隙毛細實驗」，可以證明毛細上升力對筆心的巨大影響，但筆心是中空圓形的，如何利用上面實驗的結果來預測實際筆的效果呢？所以我們與老師討論並提出在原子筆心中加入極細吸管的設計以提高墨汁毛細上升高度，但一般市面上買不到極細吸管，所以我們又想出另一**獨創方法**--------在原子筆心中塞滿極細針狀物的設計，針與針間的極細孔隙也可以提供毛細上升力，以下是我們的「細針環狀排列毛細上升實驗」。

<方法 3--細針環狀排列毛細上升實驗>

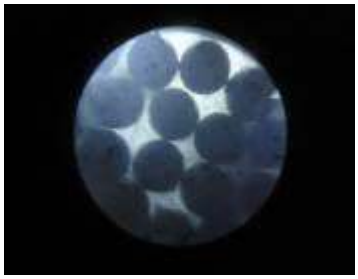
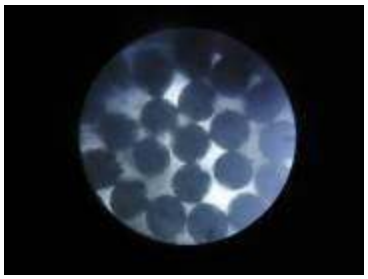
選用 2 種不同直徑的鋼針，分別並排填滿放入管徑 3.26mm 透明吸管內，分別垂直放水性紅墨汁中，測出墨汁毛細上升高度並記錄，如下所示。

細針環狀排列毛細上升現象					
試驗編號	實心圓型針狀物	直徑(mm)	實測孔隙最小間距(mm)	預測毛細上升高度(cm)	實測毛細上升高度(cm)
D4	粗鋼針	0.8	0.3 (三針環狀排列)	2.1	3.1
D5	細鋼針	0.6	0.23 (三針環狀排列)	3.1	3.6

粗、細鋼針---
利用游標尺量測鋼針直徑

粗鋼針---毛細上升現象

細鋼針---毛細上升現象

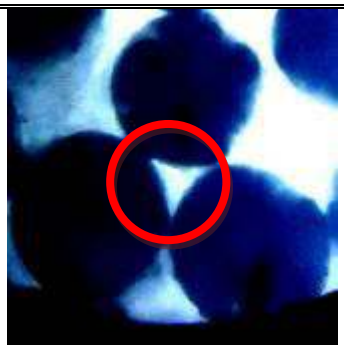
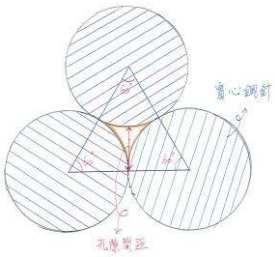
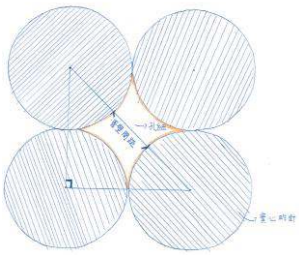
	 15*4 倍放大	 15*4 倍放大
顯微鏡觀測情形	粗針環狀排列	細針環狀排列

<發現>

原子筆墨水中塞滿極細針狀物的設計，針與針間極細孔隙的確可以提供足夠毛細上升力，大針(直徑 0.8mm)會提供 3.1cm 上升高度、小針(直徑 0.6mm)會提供 3.6cm 上升高度，而且比預測高度還高。

<探究分析>

為何原子筆墨水中塞滿極細針狀物的設計所提供的毛細上升高度比預測高度還高？我們利用顯微鏡來觀察針-針排列的實際放大情況。我們發現「兩玻璃片靠近----小間隙毛細實驗」的毛細最小接觸面為二接觸面，而原子筆墨水中塞滿極細針狀物的設計的孔隙有三針環狀、四針環狀及多針環狀排列，其中三針環狀排列的孔隙為最小，所以毛細最小接觸面為三接觸面，當然附著力會比同間距的兩平行玻璃片較大，毛細上升高度效果也會較好。針-針排列的實際放大情況如下所示。

 兩玻璃片靠近	 三針環狀排列	 四針環狀排列
	 手繪圖	 手繪圖
毛細接觸面為二個接觸面	毛細效果最好： 孔隙最小，三個接觸面	毛細效果較差： 孔隙較大，四個接觸面

筆本身因素影響

【實驗六】研究原子筆書寫與筆尾部隔絕空氣的關係。

<方法>選用 2 種不同種類的原子筆，在筆未端以膠帶封口， 在紙上分別利用傾斜角度 0、45、

90、135 及 180 度作書寫測試。並繪出可書寫長度 vs 書寫傾斜角度的關係圖，如下所示。

【實驗六】研究原子筆書寫與筆尾端隔絕空氣的關係								
試驗編號	筆		傾斜角度(度)					
			0	45	90	135	180	
E1	CHU LUN 油性 (A-1478)	書寫長度 (cm)	近無限	近無限	441	63	42	
E2	UNI-BALL 水性 (UM-18KT)	書寫長度 (cm)	近無限	近無限	近無限	21	21	

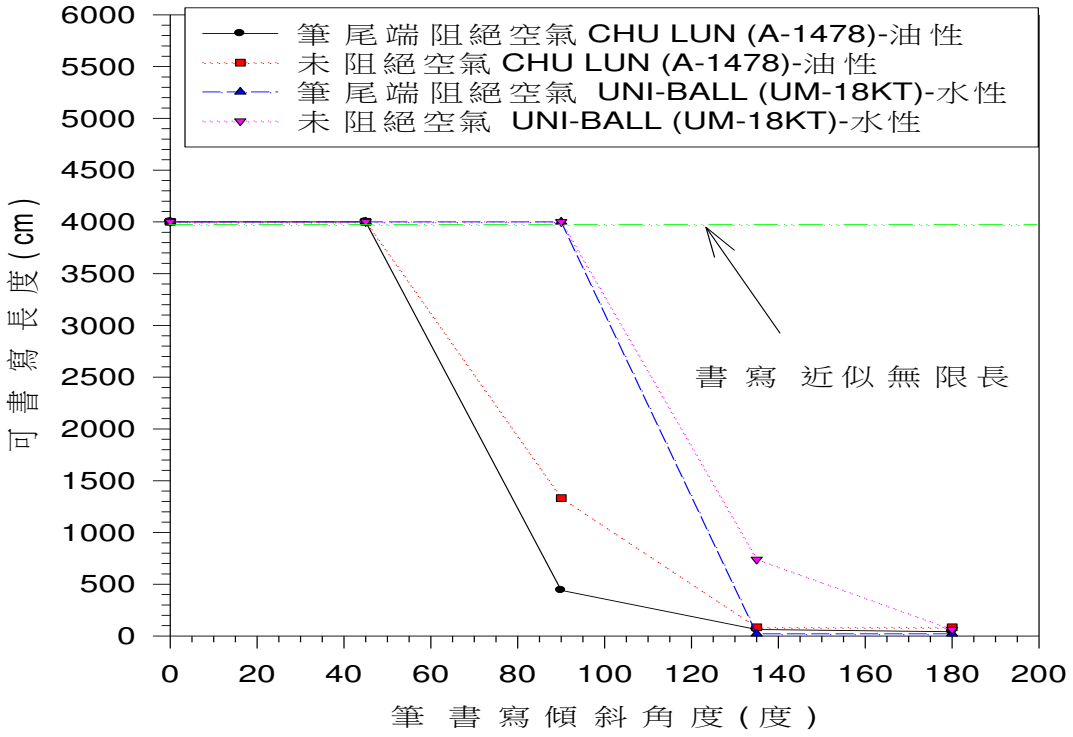


圖 7.10 可書寫長度-書寫傾斜角度的關係圖

<結果>

1. 隔絕空氣後，任何性質原子筆書寫長度在書寫傾寫角度 0 度為最大，180 度倒立寫時為最小。
2. 不論是水性或油性原子筆，只要尾端阻絕空氣，書寫長度會比未阻隔絕空氣短。
3. 油性筆在傾角<45 度時表現較佳，水性筆在傾角<90 度時表現較佳，但隔絕空氣後書寫長度都大為縮小。
4. 隔絕空氣後書寫長度，水性原子筆>油性原子筆。

<發現>

不論水性或油性原子筆，只要尾端阻絕空氣，書寫時一定會受限, 且傾斜角度越大可書寫

的長度越短，所以盡量別把筆尾端堵起來。

<探究分析>

隔絕空氣後書寫長度都大為縮短，經過研究討論我們認為是隔絕筆尾空氣流動，就形成筆中半直空的狀態，尾端沒有空氣補充，下半部的墨水就不能向下流動，最後就斷水了。

筆尾沒有隔絕空氣似乎比較不會斷水，如果筆尾再加些壓力，是不是更不容易斷水呢？所以我們進行了以下的筆芯尾部加固、液、氣體壓力的實驗來證明。

【實驗七】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加固體壓力的關係。

<方法>選用 4 種不同種類的原子筆，在筆未端以 U 型連通管內加細砂模擬加固體壓力， 移動 U 型連通管內砂不同的高度，並作倒立 180 度書寫測試。並繪出可書寫長度 vs 筆尾加砂高度的關係圖，如下所示。

【實驗七】原子筆書寫與筆尾端加固體(細砂)壓力的關係

試驗編號	筆	細砂(直徑<1mm)												
F1	CHU LUN 油性 (A-1478)	細砂高度(cm)	-10	-5	0	2	4	6	8	10	12	14	18	30
		倒立書寫長度(cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	420	168	126	42
F2	UNI-BALL 水性 (UM-18KT)	細砂高度(cm)	-10	-5	0	2	4	6	8	10	12	14	18	30
		倒立書寫長度(cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	735	1323	1260

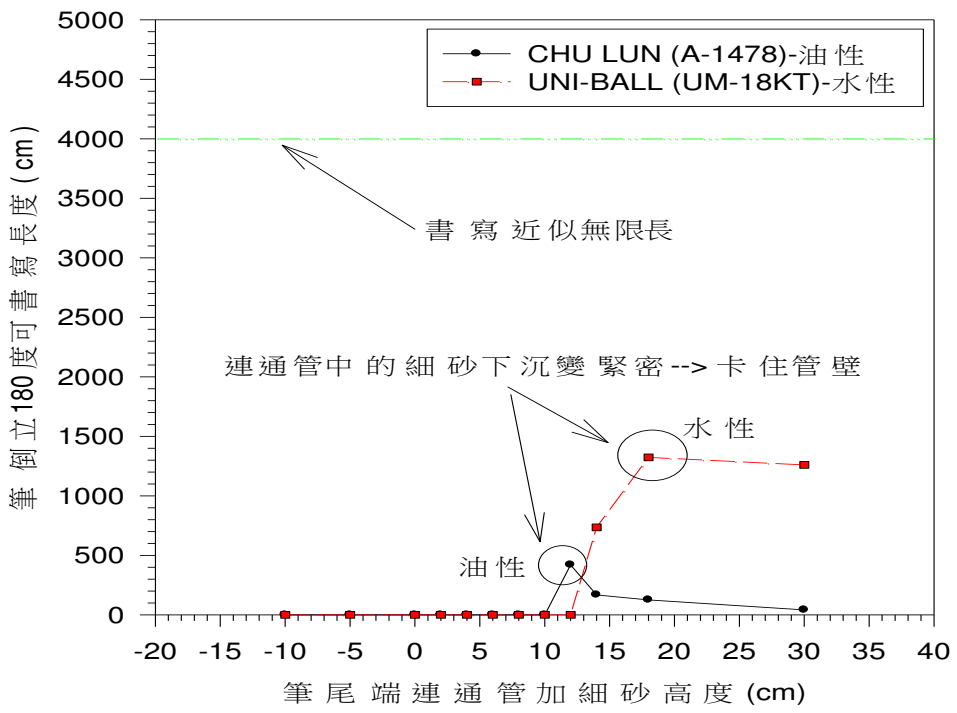


圖 7.11 倒立 180 度可書寫長度-筆尾加砂高度的關係圖

<結果>

1. 原子筆倒立書寫長度與加砂高度呈正相關，但不能永久書寫，效果不佳。
2. CHU LUN(A-1478 油性)在 10 cm以上、UNI-BALL(UM-18KT 水性)在 12 cm以上才可書寫。
3. CHU LUN(A-1478 油性)在 12 cm以上、UNI-BALL(UM-18KT 水性)在 18 cm以上書寫不出來。
4. 筆尾加砂，水性原子筆倒立書寫長度較長。

<發現>

不管是油性或水性原子筆，只要沙子加到 12 cm就可以倒立書寫，但最後筆依然會斷水。

<探究分析>

經研究討論我們推論，需加更多的砂子才能倒立書寫的原因是：

使用細沙子連接筆芯後端時，砂子-砂子與砂子-管壁間會產生過多的摩擦力而阻塞在管內，所以需較多的砂子向下擠壓，當向下擠壓的重量>管內摩擦力，夠多就會馬上向下移動，可是當向下擠壓的重量<管內摩擦力，最後如同沒加壓力一樣而停住，所以寫到一半都會斷水。

【實驗八】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加液體壓力的關係。

<方法>選用 4 種不同種類的原子筆，在筆未端以 U 型連通管內水模擬加液體壓力， 移動 U 型連通管內水不同的高度，並作倒立 180 度書寫測試。並繪出可書寫長度 vs 筆尾加水高度的關係圖，如下所示。

【實驗八】原子筆書寫與筆尾端加液體(水)壓力的關係

試驗編號	筆	(自來水)										
G1	SKB(IB-12)油性	水壓高度(cm)	-2	3	5	7	8	13	15	16	17	19
		倒立書寫長度(cm)	0	21	42	63	無限	無限	無限	無限	無限	爆水
G2	CHU LUN 油性 (A-1478)	水壓高度(cm)	-6	0	4	6	8	10	12	14	16	18
		倒立書寫長度(cm)	0	0	0	0	無限	無限	無限	無限	無限	爆水
G3	UNI-BALL 水性 (UM-18KT)	水壓高度(cm)	-3	2	7	8	11	13				
		倒立書寫長度(cm)	0	0	42	無限	無限	爆水				
G4	TEMPO 水性 (G-102)	水壓高度(cm)	-1	4	6	7	9	11	13			
		倒立書寫長度(cm)	0	0	21	無限	無限	無限	爆水			

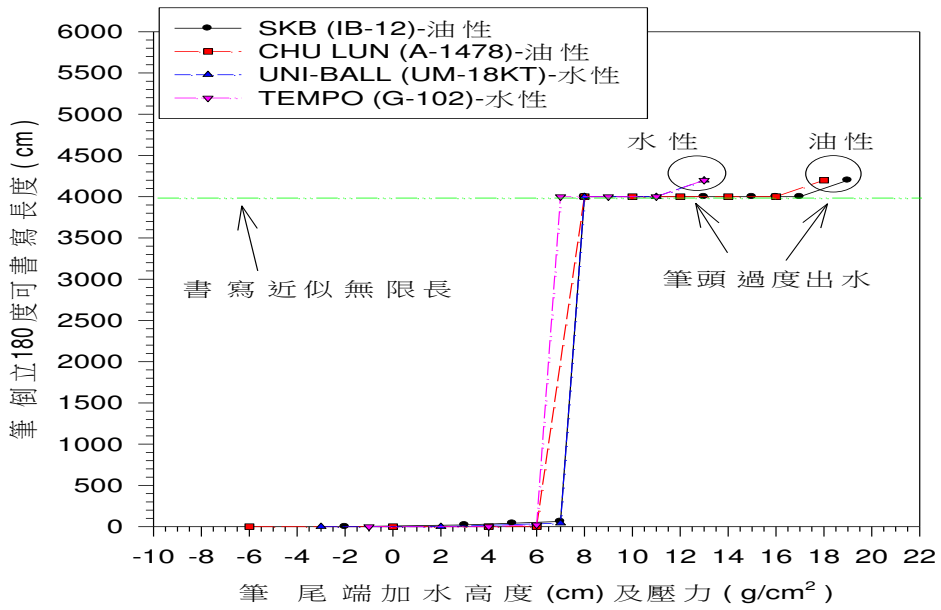


圖 7.12 倒立 180 度可書寫長度-筆尾加水高度的關係圖

<結果>

1. 原子筆倒立的書寫長度與加水高度呈正相關，且能達永久書寫。
2. 油性筆加水高度 8-17cm 時為最佳倒立書寫的水頭高度，可永久書寫。
3. 水性筆加水高度到 7-11cm 時為最佳倒立書寫的水頭高度，可永久書寫。
4. 油性筆尾端加水高度>17 cm時就會爆水；水性筆尾端加水高度>11 cm時就會爆水。
5. 水性筆通常比油性早出水，但也比油性筆早爆水。

<發現>

我們發現水性筆的出水狀況較佳，不論油性或水性原子筆，加壓 8-11cm 水頭高度是最好的狀況，然而在 11cm 以上，每一支筆漸漸有爆水狀況。

<探究分析>

加壓 0-8cm 如同抵消筆內墨水的壓力，高過 8cm 才有加壓作用，但高過 11cm 又會超過筆頭壓力而爆出墨水。

【實驗九】研究原子筆倒立書寫與筆尾部加氣體壓力的關係。

<方法>選用 4 種不同種類的原子筆，在筆未端以氣球模擬加氣體壓力，施加不同大小的氣球，並作倒立 180 度書寫測試。並繪出可書寫長度 vs 筆尾加氣球容量的關係圖，如下所示。

【實驗九】原子筆書寫與筆未端加氣體(空氣)壓力的關係

試驗編號	筆		氣球充空氣容量(ml)						
			0	2	3	4	5	10	50
G1	SKB(IB-12)油性	倒立書寫長度(cm)	0	0	31	無限	無限	無限	爆水
G2	CHU LUN 油性(A-1478)	倒立書寫長度(cm)	0	0	462	無限	無限	無限	爆水
G3	UNI-BALL 水性(UM-18KT)	倒立書寫長度(cm)	0	84	798	無限	無限	爆水	
G4	TEMPO 水性 (G-102)	倒立書寫長度(cm)	0	420	840	無限	無限	爆水	

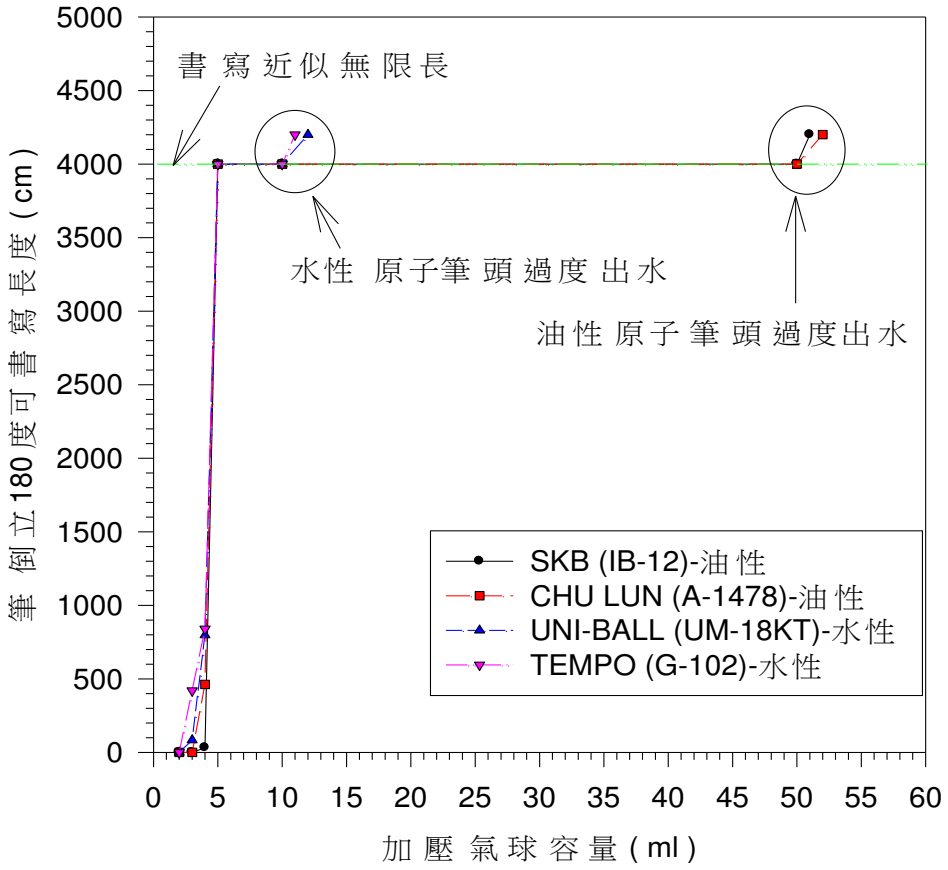


圖 7.13 倒立 180 度可書寫長度-筆尾加氣球容量的關係圖

<結果>

1. 原子筆倒立的書寫長度與加壓氣球容量呈正相關，且能達永久書寫。
2. 所有筆加壓氣球容量 3~4ml 就能倒立書寫出來。
3. 水性原子筆超過 10ml 就會爆水；油性原子筆超過 50ml 就會爆水。
4. 不管是水性或油性的原子筆，他們共同最佳的加壓氣球容量是 5~10ml 之間。

<發現>

不管是油性或水性的原子筆，他們最佳的書寫加壓氣球容量是 5~10ml，但水性筆在 10ml 就會爆水，而油性筆卻在 50ml 才爆水。

<探究分析>

1. 由上面實驗得知：水性與油性原子筆的加壓氣球容量共同控制在 5－10ml 之間為最佳狀態，但氣球的容量壓力，與水頭壓力會不會相接近？ 經過研究討論、參考文章【四】【五】【六】及請教老師，我們發現理論上應該會接近的，因為同一枝筆尾部只要受壓(固、液、氣壓)，他的反應會相近的，而且每次我們實驗使用同一枝筆、同地點、同材質型號氣球，操作也盡可能相同，而且水中不能有空氣在，所以問題不大。

2. 所以以下是我們的「利用氣球充氣反求水頭高度壓力試驗」:

氣球充氣容量與氣球內壓力水高度的關係									
試驗編號	測試水管直徑=0.8cm		氣球充氣容量(ml)						
			0	5	10	20	40		
H5	1406001 丸型橡膠氣球(超琦牌)	水壓高度(cm)	0	8	18	38	78		

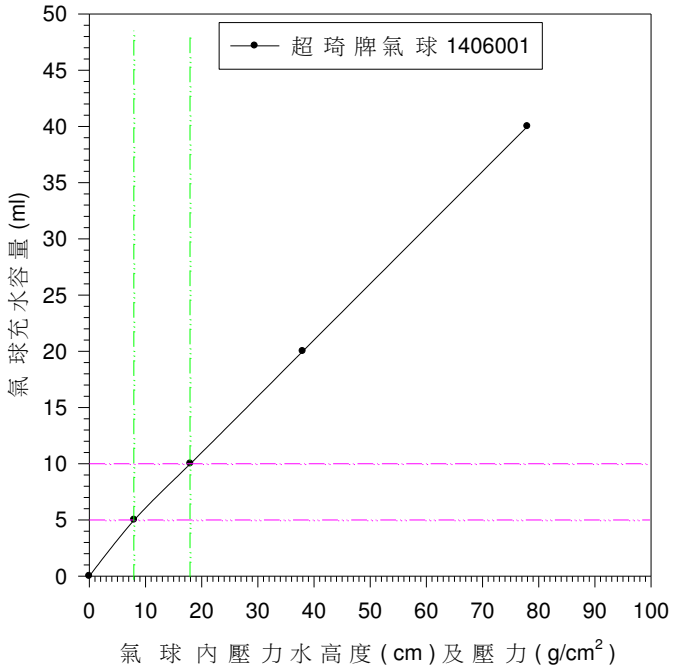


圖 7.14 氣球充水容量-氣球內壓力水高度

圖 7.15 氣球充氣反求水頭高度壓力試驗情形

<結果>

1. 氣球充水容量與氣球內壓力水高度呈正相關。
2. 水壓愈高，氣球膨脹就愈大； 水壓愈低，氣球膨脹就愈小。
3. 當氣球裡的水容量 5ml 時，它的水頭高是 8cm。水容量 10ml 時，它的水頭高是 18cm。

<發現>

水性與油性原子筆的加壓氣球容量共同控制在 5－10ml 之間為最佳狀態，也就是加水 8-18cm 之間為最佳書寫水頭高度，與之前水壓試驗結果(8-11cm)大致相近。

總結論---永不斷水原子筆的可能性

經由上面的所有實驗結果，我們認為----永不斷水原子筆的構想是可以達成的，除了操作因素、環境因素會影響筆的書寫效果，但最大的影響為筆本身的筆芯內徑毛細因素影響及筆身壓力因素影響，筆本身因素有達到以下幾點，即可達成永不斷水：

1.墨水選用：為耐水墨汁，例如：抗凍耐水的混合液或油性墨汁。-----可在水中、低溫操作

2.筆芯設計：

(1) 毛細現象運用：

並排小吸管或細針(油性原子筆→孔隙管徑<0.05mm；水性原子筆→孔隙管徑<0.12mm)，會毛細上升 5cm。---在外太空無重力環境下效果佳

(2) 筆芯尾部加預壓力(氣體、液體、固體)：

使筆尾壓力>筆頭壓力→8-11cm 的水頭高或壓力 8-11g/c ㎡，就有良好的書寫效果。------可在任何的傾斜角度書寫

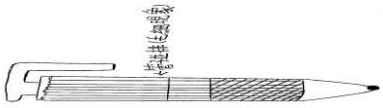
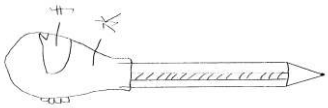
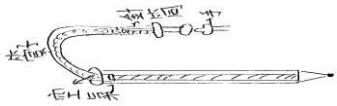
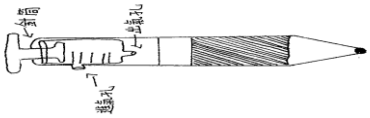
氣體--氣球、高壓瓦斯

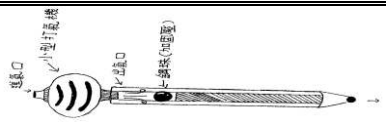
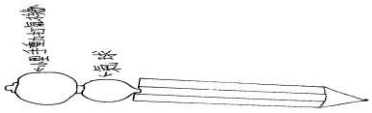
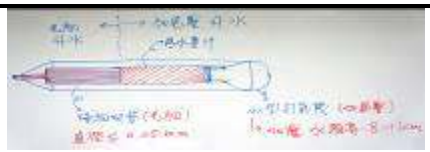
液體---水球、油壓

固體---彈力橡皮筋、螺絲、機械力

【實驗十】設計及探討永不斷水原子筆的優缺點、可行性、方便性、效果性、推廣性及綜合評價。

<方法>設計可行的筆芯毛細升水及筆尾端加壓之筆，實作出初成品，分別測試並比較。根據上面總結論，進行永不斷水原子筆設計及測試，統整如下：

編號	設計說明	設計圖	成品照片	效果
1	毛細原理			佳
2	氣球水壓力			尚可
3	針筒氣壓原理			尚可
4	針筒氣壓原理			佳
5	氣球氣壓力			不佳

6	泵浦加壓原理			佳
7	泵浦加壓原理及氣球預壓			尚可
8	螺絲轉動產生下壓力			佳
9	毛細原理+泵浦加壓原理			佳

<發現>

綜合上面結果我們發現：

1. 毛細現象運用：效果佳，例如：筆芯內並排小吸管或細針。
2. 筆芯尾部加預壓力：
   (1)氣體---效果佳，壓力平均，但可能會漏氣，例如：氣球、高壓瓦斯。
   (2)液體---效果可，但易漏水，例如：水、油。
   (3)固體---效果可，簡單耐用，例如：彈力橡皮筋、螺絲。

柒、結論

一、市售原子筆分為油性、水性筆。平均筆芯內徑：水性筆(2.659mm) > 油性筆(1.251mm)。平均倒立書寫長度：水性筆(94.74cm) > 油性筆(93.01cm)。任何性質市售原子筆倒立書寫都會斷水。工作原理---筆四周的大氣壓力階相等，但墨水有重量，而產生向下的壓力，墨水會從鋼珠的接縫處均勻的流出。

二、操作因素影響，我們發現書寫傾斜角度與原子筆書寫長度呈負相關，書寫傾角>90 度，任何性質的原子筆都會斷水，水性原子筆比較能適應各種傾斜角度。

三、環境-溫度因素影響.，我們發現環境溫度與原子筆的書寫長度呈正相關，水性筆在溫度 18℃以上、油性筆在溫度 18~40℃可永久書寫，溫度在-10℃以下都不能書寫，溫度 80℃以上都會爆水。環境溫度對水性原子筆比較沒有影響。

四、環境-水中因素影響，我們發現油性及水性原子筆在水中可以書寫但效果不佳，水性筆在水下 3 cm以上，油性筆在水下 16 cm上下完全不能書寫，而且水性墨水容易在水中暈開。

五、筆芯內徑毛細因素影響，原子筆倒立書寫長度和筆芯內徑呈負相關。毛細上升高度：自來水>水性墨汁>油性墨汁。水性筆心內徑<0.15mm，油性筆心內徑<0.05mm，墨汁就會毛細上升 5cm，效果佳。

六、筆身壓力因素影響，我們發現原子筆芯尾部隔絕空氣後書寫長度都大為縮短；未斷水前的表現：水性筆>油性筆。

七、原子筆芯尾部加砂壓力效果不佳，原子筆倒立書寫長度與加砂高度大致呈正相關，沙子加到 12 cm才可以書寫，但最後筆依然會斷水。

八、原子筆芯尾部加水壓力效果佳，原子筆倒立的書寫長度與加水高度呈正相關，加壓 8-11cm 水頭高度(8-11g/c m^2)是最佳的狀況，11cm 以上筆會爆墨水。

九、原子筆芯尾部加空氣壓力效果佳，原子筆倒立的書寫長度與加壓氣球容量呈正相關，加壓 5-10ml 氣球容量(反測水頭高度為 8-18cm)是最佳的狀況，與之前水壓試驗結果(8-11cm)大致相近。

十、永不斷水原子筆的構想是可以達成的，最後分別對不同設計的永不斷水原子筆進行優缺點、可行性、方便性、效果性、推廣性分析，並給予綜合評價排比成下表：

內容	原理	優點	缺點	可行性	方便性	效果性	推廣性	綜合評價排比
計設一	毛細原理	方便攜帶	成本較高	佳	佳	佳	可以，但墨汁需濃化，針需細化	○
計設二	水的壓力	構造簡單	容易暴水	佳	差	可	較差，需補充水	△
計設三	針筒氣壓原理	出水量可以控制	容易暴水	佳	差	可	可以，但需微量化且精密化	△
計設四	針筒氣壓原理	出水量可以控制	容易暴水	佳	可	佳	可以，但需微量化且精密化	○
計設五	氣球的壓力	設計原理簡單	氣球易老化	差	差	差	較差，需手動補充氣體	ㄨ
計設六	泵浦加壓原理	攜帶方便，可隨時補充	容易壓力過大	佳	可	佳	可以，但需微量化	○
計設七	泵浦加壓原理及氣球預壓	可隨時補充壓力	易暴水，晒太陽易漏氣	可	差	佳	可以，但需微量化	△
計設八	螺絲轉動產生下壓力	較容控制力量	螺絲不易放入和取出	可	佳	佳	可以，但需微量且精密化螺絲	○
計設九	毛細原理+泵浦加壓原理	攜帶方便	成本較高	可	佳	佳	可以，但墨汁需濃化，針需細化	○

捌、參考資料及其他

一、林素月/譯 (1978)。大學物理。台南：台南東海出版社。第 621-629 頁。

二、陳育仁等人(2001)。新知識-力和壓力。台北：圖文出版事業股份有限公司。

三、劉君祖等人(2002)。小牛頓科學百科 4。台北：牛頓出版股份有限公司。第 120-130 頁。

四、固體壓力。 國立台灣師範大學物理系 http://www.phy.ntnu.edu.tw/wiki/index.php

五、液體壓力。 維基百科 http://en.wikipedia.org/wiki/Fluid_statics

六、氣體壓力。 維基百科 http://zh.wikipedia.org/zh-tw

七、毛細現象。 維基百科 http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AF%9B%E7%BB%86%E7%8E%B0%E8%B1%A1

八、黏度。維基百科 http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%BB%8F%E5%BA%A6

備註

一、本次原子筆在研究中，因為書寫速度控制不易，會使書寫的長度有所變化，所以會產一些的誤差值。

二、本件作品是屬於科學實驗製作方法類。

【評語】080111

用手拿筆書寫容易造成人為因素的誤差，如果能夠設計一台書寫器，將筆固定並自動書寫，減少人為誤差，則更具備科學設計精神。