

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040201

國立嘉義高級工業職業學校

指導老師姓名

張敦程

蔡榮政

作者姓名

林育昇

高文偵

侯捷寶

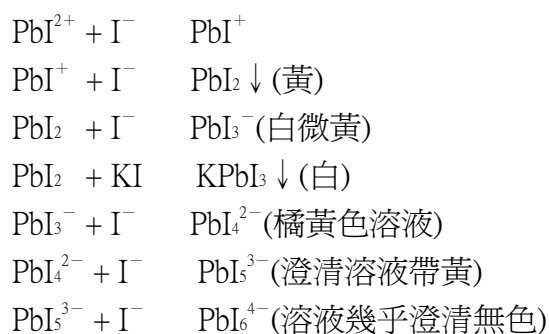
陳紋菁

探討『碘化鉛的生成』實驗數據誤差及改進

壹、摘要

一、國中選修理化第三冊實驗 9-1，其實驗目的是以固定量的KI溶液與不同量的Pb(NO₃)₂溶液，所產生黃色PbI₂沈澱的量來探討反應物之間量的關係，並瞭解平衡反應式中各物質的係數和參與反應物莫耳數的關係。但經我們實際實驗結果，凡是過量的KI的試管，其沈澱高度或重量並沒有和Pb(NO₃)₂的莫耳數成正比關係。探討原因是過量的KI和PbI₂再反應形成KPbI₃沈澱，使得沈澱的高度或重量與加入Pb(NO₃)₂的莫耳數沒有成正比關係，但經三天後重測PbI₂的高度或重量，也只有KI過量的試管有些變化，探討原因是KPbI₃繼續和過量的KI形成錯離子的關係。

二、我們利用滴定方法，逐滴觀察反應沈澱情形，發現反應開始先出現黃色沈澱→黃白色沈澱→黏稠狀沈澱→白色沈澱→沈澱溶解溶液變橘黃色→溶液變淡黃色，可知錯離子形成是變化萬千的。其主要原因是以Pb為中心，而與I₂形成多種錯離子，其錯離子的配位多寡是未知數，它隨著兩溶液的濃度比而呈現多變面貌。其方程式如下：



三、我們用透明淡黃色溶液 5mL 以蒸餾水滴定發現顏色變化有逆反應的現象。

以飽和KI溶液來滴定飽和Pb(NO₃)₂溶液，其顏色變化為：黃色沈澱→黃白沈澱→沈澱溶解→溶液變橘黃色→溶液顏色變淡黃。

將淡黃色溶液用蒸餾水滴定時顏色有逆反應的現象，其顏色變化為：淡黃色溶液→溶液顏色變黃→白色沈澱→黃白色沈澱→黃色沈澱。

上述顏色變化可知：碘鉛錯離子的形成及解離是可逆的。

四、我們利用溶液的總導電量和離子總莫耳數有關來推知有錯離子的存在。在實驗中，發現如果是Pb(NO₃)₂過量則總導電量和理論值相差不多，但如果是KI過量則總導電量便有異常增加的趨勢，這是因過量的KI和PbI₂繼續反應產生錯離子，使得離子總莫耳數增加，總導電量因而增加。

五、實驗改進方法

用Na₂CO_{3 (ag)}與CaCl_{2 (ag)}，產生白色CaCO₃沉澱和NaCl_(ag)，此反應有三大優點：第一沒有鉛化合物缺點，第二沒有產生錯離子的干擾，第三做出數據能準確表達出平衡反應式中各物質係數和參與反應物質莫耳數的關係。

貳、研究動機

國中選修理化第三冊，其實驗目的是以固定量的KI水溶液與不同量的Pb(NO₃)₂水溶液，所產生黃色碘化鉛沉澱的量，來探討參與反應物質間莫耳數的關係。但經過我們實驗結果，沉澱高度並沒有和硝酸鉛的莫耳數成正比關係，覺得很奇怪，找老師研究去。

參、研究目的

- 一、探討國中選修第三冊實驗 9-1 碘化鉛的生成高度與重量數據。
- 二、利用滴定的方法,逐滴觀察反應沉澱情形。
- 三、探討碘鉛錯離子的可逆反應。
- 四、利用非水溶液中觀察KI與Pb(NO₃)₂反應情形。
- 五、利用溶液的總導電量和離子總莫耳數的關係推知
- 六、實驗方法的改進。

肆、實驗器材與藥品

- 一、器材：硬試管、燒杯、滴定管、電源供應器、毫安培計
- 二、藥品：KI、Pb(NO₃)₂、酒精

伍、實驗方法、結果與討論

一、探討國中選修第三冊實驗 9-1 碘化鉛的生成高度數據

(一)實驗方法

1. 用標籤標示 6 支乾淨的試管，分別為 1~6 號，放在試管架上，並於各試管內置入 6mL、1.0M 碘化鉀溶液。將 1.0M 硝酸鉛溶液以 0.5mL、1.0mL、2.0mL、3.0mL、4.0mL、5.0mL、6.0mL、的體積分別滴入各試管中，靜置 10 分鐘。把 6 支試管放入燒杯內的熱水中，加熱約 5~10 分鐘直到固體都沉澱在底部。紀錄外觀變化，沉澱高度。
2. 同上，但混合時，改以碘化鉀溶液加入硝酸鉛溶液代之。
3. 同上，但KI和Pb(NO₃)₂的體積的量互換。
4. 同上，但等三天後才量高度。

表(一) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (aq) 1.0M加入KI (aq) 1.0M

(三天後量高度)

試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)	試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)
1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.21	1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.15
2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.52	2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.43
3	6.0	2.0	塊狀	黃色	1.80	3	6.0	2.0	塊狀	黃色	1.60
4	6.0	3.0	塊狀	黃色	1.50	4	6.0	3.0	塊狀	黃色	1.50
5	6.0	4.0	塊狀	黃色	1.50	5	6.0	4.0	塊狀	黃色	1.51
6	6.0	5.0	塊狀	黃色	1.49	6	6.0	5.0	塊狀	黃色	1.50

表(二) KI (aq) 1.0M加入 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (aq) 1.0M

(三天後量高度)

試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)	試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)
1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.41	1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.32
2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.52	2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.41
3	6.0	2.0	塊狀	黃色	0.66	3	6.0	2.0	塊狀	黃色	0.54
4	6.0	3.0	塊狀	黃色	0.82	4	6.0	3.0	塊狀	黃色	0.80
5	6.0	4.0	塊狀	黃色	0.90	5	6.0	4.0	塊狀	黃色	0.82
6	6.0	5.0	塊狀	黃色	1.00	6	6.0	5.0	塊狀	黃色	0.88

表(三) 1.0M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (aq) 加入 1.0M KI (aq)

(三天後量高度)

試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)	試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)
1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.09	1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.09
2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.18	2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.19
3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.35	3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.36
4	3.0	6.0	塊狀	黃色	0.57	4	3.0	6.0	塊狀	黃色	0.55
5	4.0	6.0	塊狀	黃色	0.76	5	4.0	6.0	塊狀	黃色	0.75
6	5.0	6.0	塊狀	黃色	0.92	6	5.0	6.0	塊狀	黃色	0.91

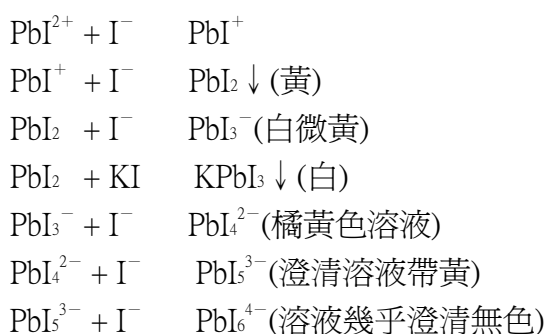
表(四) 1.0M KI (aq) 加入 1.0M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (aq)

(三天後量高度)

試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)	試管 號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱 情形	沉澱 顏色	沉澱高 度(cm)
1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.22	1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.30
2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.31	2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.41
3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.42	3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.52
4	3.0	6.0	塊狀	黃色	0.56	4	3.0	6.0	塊狀	黃色	0.65
5	4.0	6.0	塊狀	黃色	0.65	5	4.0	6.0	塊狀	黃色	0.78
6	5.0	6.0	塊狀	黃色	0.74	6	5.0	6.0	塊狀	黃色	0.92

(二)、實驗討論

1. 表(一)表(二)中試管 1、2、3，為KI過量，表(三)表(四)中試管 5、6 為KI過量，由表(一)(二)(三)(四)數據中可知只要是KI過量的試管，產生PbI₂的高度都為異常，但如果是Pb(NO₃)₂過量則沉澱高度加入KI的莫耳數有正比關係。
2. 經三天後，才測沉澱高度，由表(五)(六)(七)(八)發現，也只有 KI 過量的試管，產生不一樣的結果。
3. KI過量的試管，沉澱高度並沒有和Pb(NO₃)₂的莫耳數成正比關係，探討原因是過量的KI和PbI₂在反應形成KPbI₃沉澱，使得沉澱量的高度與加入Pb(NO₃)₂的莫耳數沒有成正比關係。
4. 經三天後才測PbI₂的高度，只有KI過量的試管有些變化，探討原因是KPbI₃繼續和過量的KI形成錯離子的關係。其反應式如下：



5. 碘化鉀加入硝酸鉛及硝酸鉛加入碘化鉀所得沉澱高度有些微不同，由此可知錯離子配位數多寡與溶度混合先後順序不同而呈多變的面貌。

二、利用離心過濾探討碘化鉛的生成重量數據

(一)實驗方法

1. 用標籤標示 6 支乾淨的試管，分別為 1~6，放在試管架上，並於各試管內置入 6mL，1.0M 碘化鉀溶液。
2. 將 1.0M 硝酸鉛溶液以 0.5mL、1.0mL、2.0mL、3.0mL、4.0mL、5.0mL、6.0mL 的體積分別滴入各試管中。
3. 把 6 支試管用橡皮筋綑綁，同時放入燒杯內的熱水中，使每支試管都直立而不傾斜。10 分鐘後，離心，稱重。
4. 同上，但混和時，改以碘化鉀溶液加入硝酸鉛溶液代之。
5. 同上，但KI和Pb(NO₃)₂的體積的量互換。
6. 同上，但等三天後秤重量。

表(九) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (aq) 1.0M 加入 KI (aq) 1.0M

(三天後量高度)

試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)	試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)
1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.2826	1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.1852
2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.5311	2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.3882
3	6.0	2.0	塊狀	黃色	0.9949	3	6.0	2.0	塊狀	黃色	0.7921
4	6.0	3.0	塊狀	黃色	1.3769	4	6.0	3.0	塊狀	黃色	1.3769
5	6.0	4.0	塊狀	黃色	1.3814	5	6.0	4.0	塊狀	黃色	1.3822
6	6.0	5.0	塊狀	黃色	1.3892	6	6.0	5.0	塊狀	黃色	1.3911

表(十) KI (aq) 1.0M 加入 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (aq) 1.0M

(三天後量高度)

試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)	試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)
1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.4011	1	6.0	0.5	塊狀	黃色	0.3121
2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.5121	2	6.0	1.0	塊狀	黃色	0.4235
3	6.0	2.0	塊狀	黃色	0.6586	3	6.0	2.0	塊狀	黃色	0.5882
4	6.0	3.0	塊狀	黃色	0.8211	4	6.0	3.0	塊狀	黃色	0.7444
5	6.0	4.0	塊狀	黃色	0.9011	5	6.0	4.0	塊狀	黃色	0.8122
6	6.0	5.0	塊狀	黃色	1.1110	6	6.0	5.0	塊狀	黃色	0.9988

表(十一) 1.0M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (aq) 加入 1.0M KI (aq)

(三天後量高度)

試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)	試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)
1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.1062	1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.1232
2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.2120	2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.2283
3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.4320	3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.4631
4	3.0	6.0	塊狀	黃色	0.6401	4	3.0	6.0	塊狀	黃色	0.6631
5	4.0	6.0	塊狀	黃色	0.8501	5	4.0	6.0	塊狀	黃色	0.8821
6	5.0	6.0	塊狀	黃色	1.1980	6	5.0	6.0	塊狀	黃色	0.3028

表(十二) 1.0M KI (aq) 加入 1.0M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

(三天後量高度)

試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)	試管號碼	KI (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	沉澱情形	沉澱顏色	沉澱重量(gw)
1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.1123	1	0.5	6.0	塊狀	黃色	0.1755
2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.2213	2	1.0	6.0	塊狀	黃色	0.3752
3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.4521	3	2.0	6.0	塊狀	黃色	0.7752
4	3.0	6.0	塊狀	黃色	0.6521	4	3.0	6.0	塊狀	黃色	1.3611
5	4.0	6.0	塊狀	黃色	0.8721	5	4.0	6.0	塊狀	黃色	1.4125
6	5.0	6.0	塊狀	黃色	1.2011	6	5.0	6.0	塊狀	黃色	1.646

(二)、實驗討論

1. 由表(九)~(十二)數據中可知，只要足KI過量的試管產生 PbI_2 的量都為異常量，但如果是 $Pb(NO_3)_2$ 過量則沉澱重量與加入KI的莫耳數有正比關係。
2. 經三天後,才測沉澱的重量由表(十三)(十四)(十五)(十六)可知，也只有KI過量的試管，產生 PbI_2 的重量有些微變化，其原因已討論過。

三、利用滴定方法,逐滴觀察反應沉澱情形

(一)、實驗方法

取一小燒杯裝飽和 $Pb(NO_3)_2$ 溶液 5mL，滴定管中裝飽和KI溶液，滴定至溶液顏色不在改變為止，紀錄試管中顏色變化和所用飽和KI溶液體積。

(二)、實驗結果

5mL飽和 $Pb(NO_3)_2$ 溶液中 加入飽和 KI 溶液體積	觀察反應結果
1 滴	出現一點黃色塊狀
2 滴	部分變黃，表面有一點點白色物體
3 滴	淡黃色塊狀體
6 滴	淡黃色塊狀體
7 滴	黃色塊狀物體變多
10 滴	黃色塊狀物體變多
1 ml	部分白色
2 ml	黃、白色沉澱越多
3 ml	有點白色
4 ml	白色越來越多
6 ml	白色越來越多
7 ml	80%變白色
8 ml	90%變乳白色
9 ml	全部變乳白色
10 ml	全部變乳白色
11 ml	全部變乳白色固體
18 ml	全部變乳白色固體
19 ml	有一點乳白色沉澱

5mL飽和Pb(NO ₃) ₂ 溶液中 加入飽和 KI 溶液體積	觀察反應結果
20 ml	繼續乳白色沉澱
21 ml	繼續乳白色沉澱
22 ml	乳白色沉澱越來越多
27 ml	乳白色沉澱越來越多
28 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱
29 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱
30 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱變少
35 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱變少
36 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱越來越少
40 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱越來越小
41 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱漸少
45 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱漸少
46 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱漸無
50 ml	溶液呈淡黃色，乳白色沉澱漸無
51 ml	溶液呈淡黃色，已無乳白色沉澱

表（十七）飽和Pb(NO₃)₂ 5mL (7.5×10^{-3} mole) 以飽和KI溶液來滴定

(三)、實驗討論

當KI沒有過量時，都產生PbI₂黃色沉澱，如KI過量時，則變為複雜，黃色沉澱→黃白色，沉澱→黏稠狀沉澱→白色沉澱→沉澱溶解溶液變橘黃色→沉澱變淡黃色。其主要原因是以Pb為中心，而與碘形成多種錯離子，其錯離子的配位數多寡是未知數，它隨著兩溶液的濃度比而呈現多變的面貌。

四、探討碘鉛錯離子的可逆反應

(一)、實驗方法

將實驗(二)中所得透明液體 3ml，滴定管改裝蒸餾水，滴定至溶液中黃色沉澱物不再溶解。紀錄試管中顏色變化和所使用飽和 KI 溶液體積。

3ml 透明淡黃色溶液中 加入蒸餾水體積	觀察反應結果
1 滴	無反應
2 滴	無反應
9 滴	無反應
10 滴	無反應
1 ml	產生淡黃色沉澱，搖晃一下就不見了
2 ml	溶液底部產生淡黃色顆粒
3 ml	溶液底部產生乳白色沉澱
4 ml	溶液底部產生乳白色沉澱
5 ml	先產生淡黃色，搖晃後變淡黃色沉澱
6 ml	溶液變淡黃色
8 ml	溶液變淡黃色
9 ml	溶液顏色越來越深
12 ml	溶液顏色越來越深
13 ml	部分黃色沉澱
14 ml	有白色晶體出現
15 ml	白色晶體越來越多
19 ml	白色晶體越來越多
20 ml	底部淡黃色混濁
21 ml	底部有淡黃色沉澱
22 ml	底部有淡黃色沉澱
25 ml	底部有淡黃色沉澱

表（十八）取實驗三透明淡黃色溶液 3ml，以蒸餾水滴定的反應結果

（二）、實驗討論

我們以實驗三透明淡黃色溶液 5ml 以蒸餾水滴定，發現顏色變化有逆反應的現象。

1. 以飽和KI溶液來滴定飽和 $Pb(NO_3)_2$ 溶液，其顏色變化為黃色沉澱→黃白沉澱→沉澱溶解→溶液變橘黃色→溶液顏色變淡黃。
2. 將淡黃色溶液用蒸餾水滴定時顏色有逆反應現象，其顏色變化為淡黃色溶液→溶液顏色變黃→白色沉澱→黃白色沉澱→黃色沉澱。
3. 由上述顏色變化可知：碘鉛錯離子的形成與解離是可逆的。

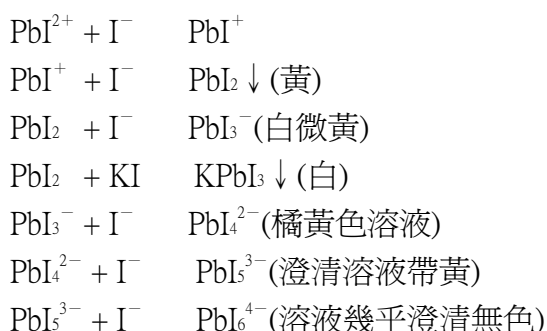
五、利用溶液的總導電量和離子莫耳數的係，推知錯離子的存在。

(一)、理論探討

依據實驗的反應為 $2\text{KI} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbI}_2 + 2\text{KNO}_3$ 設KI初濃度為 0.2M， $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 初濃度為 0.1M， KNO_3 的初濃度為 0，當反應進行時KI、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 之濃度必遞減，而 KNO_3 濃度必漸增，此時若能分別測定各不同濃度之KI、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 KNO_3 之導電量，則會發現KI、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 因濃度降低而使導電度減小而 KNO_3 濃度變大而增加導電量，故若將三者溶液在其相關濃度下之導電量相加必可以推理出其導電量增減的趨勢。

但本實驗並不單純，由第（3）實驗可知，過量的KI會繼續和 PbI_2 反應。

反應如下：



因此我們可利用KI和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液的總導電量的異常現象，驗證反應過程中確有錯離子的存在。

(二)、實驗討論

1. 兩溶液混合後，在某一段相當的時間以後，其導電量漸趨於沒有變化，顯示反應亦趨於完成。
2. 電解質水溶液若陰陽離子數目增加，則攜帶電荷數亦增加，故導電度會增加。
3. 實際實驗時，如果和上表趨勢大略相同時，即表示沒有額外的離子產生而增加總導電量，如果總導電量的趨勢極端不同，我們有理由相信，有額外離子產生，使得總導電量產生變化。
4. 由表（廿一）可知 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 和KI反應中，如果 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 過量則總導電量和理論值相接近，但如果是KI過量則總導電量便有異常現象，總導電量有減少的趨勢，這是因過量的KI和 PbI_2 繼續反應產生錯離子，使得離子總莫耳數減少，總導電量因而減少，



1 莫耳 PbI_6^{4-} 錯離子的形成需消耗 4 莫耳的 I^- ，因而離子的總莫耳數減少，總電量因而減少，因此溶液的總導電量也發現有異常減少的現象。

本實驗有通 5V 的電壓因此所產生的電流化學效應，到底對反應影響多少必要檢討。本實驗的電流大約在 0.5A 觀察時間至 20 秒則根據法拉第電解定律，因通電所改變濃度的變化約僅 0.002(N)而已，影響很少。

(三)、實驗方法

配置 0.2M、0.3M、0.4M、0.5M、0.6M、0.7M 的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 與 1M KI 各 500 mL。每次實驗拾取溶液各 25mL，先控制溫度後，插入碳棒再混合固定兩碳棒間之距離為 1 cm、電壓為 4V，記錄導電量。

(四)、實驗結果

類別	溶液濃度 種類	1M KI 25mL	1M KI 25mL	1M KI 25mL	1M KI 25mL	1M KI 25mL	1M KI 25mL
	導電 總量 (mA)	0.2M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25mL	0.3M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25mL	0.4M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25mL	0.5M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25mL	0.6M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25mL	0.7M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25mL
總導電量 理論值 變化		307	334	347	360	370	377
		↓	↓	↓	↓	↓	↓
		278	302	250	185	270	290
總導電量 實驗值 變化		301	328	340	351	362	371
		↓	↓	↓	↓	↓	↓
		242	275	215	180	265	282

表 (廿六)

六、實驗方法的改進

(方法一)：將 $\text{KI}_{(aq)}$ 加入過量的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2_{(aq)}$ 中，因沒有過量的 $\text{KI}_{(aq)}$ 和 $\text{PbI}_2_{(s)}$ 反應形成 KPbI_3 沉澱，使得沉澱重量或高度與加入 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 的莫耳數成正比關係。

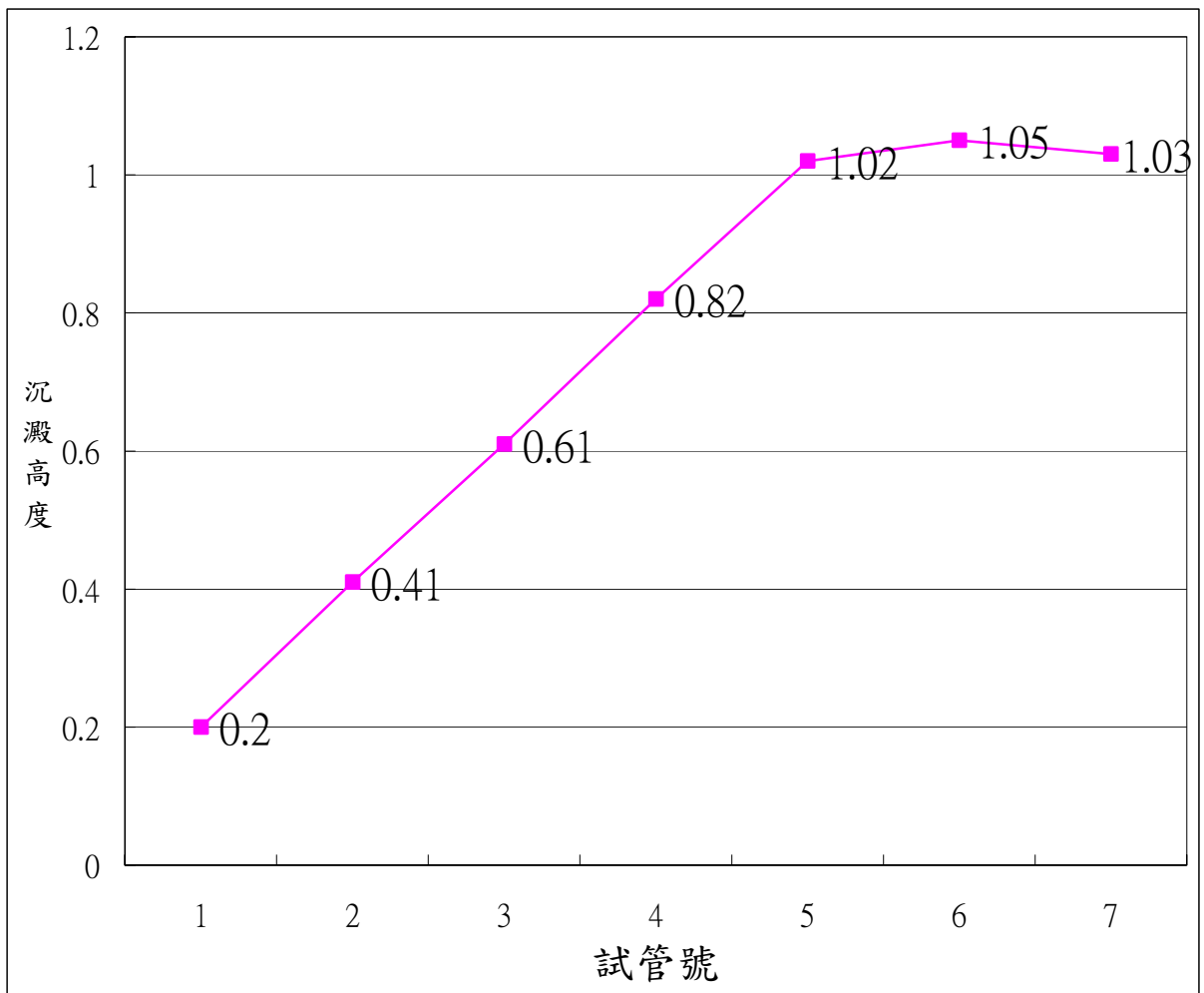
試管號碼	$\text{KI}_{(aq)}$ (mL)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2_{(aq)}$ (mL)	沉澱重量 (gw)	沉澱高度 (cm)
1	0.5	6.0	0.1062	0.09
2	1.0	6.0	0.2120	0.18
3	2.0	6.0	0.4320	0.35
4	3.0	6.0	0.6401	0.57
5	4.0	6.0	0.8501	0.76
6	5.0	6.0	1.1980	0.92

(方法二) 實驗步驟

1. 取燒杯，裝小半杯，以酒精燈加熱備用。
2. 用標籤標示 7 支乾淨的試管，分別為 1~7 號，放在試管架上，並於各試管內置入 10mL 碳酸鈉溶液。
3. 將氯化鈣溶液如下表所列體積分別滴入各試管如果有固體物質沈澱，觀察其顏色。
4. 把 7 支試管用橡皮筋綑綁，同時放入燒杯內的熱水中，使每支試管都直立而不傾斜，繼續加熱約 5~10 分鐘，直到固體都沈澱在底部。
5. 取出試管直立於試管架上，待其冷卻後使用塑膠尺測量所生沈澱的高度。
6. 畫出沈澱高度與試管號碼的關係圖

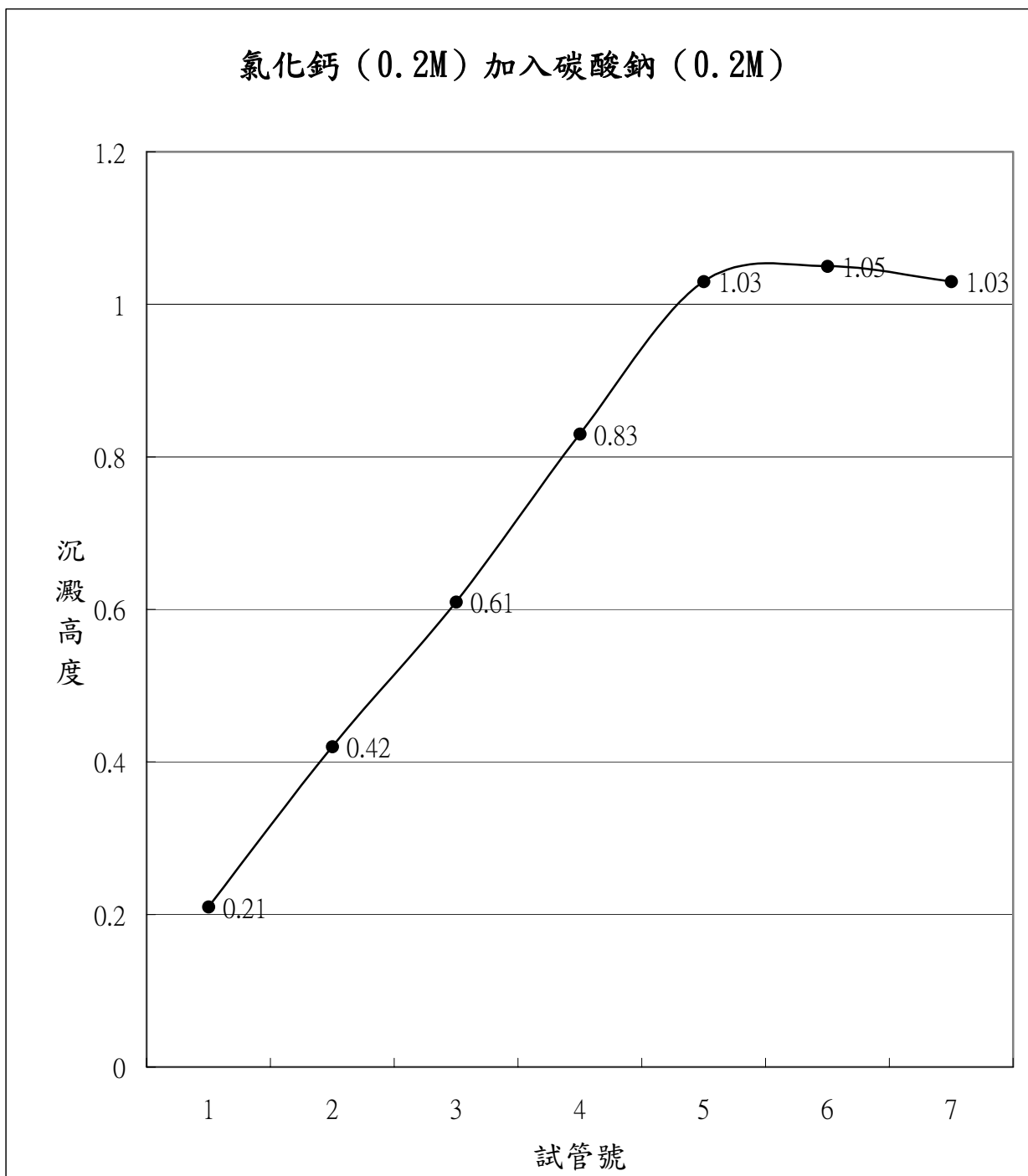
試管號	CaCl ₂	Na ₂ CO ₃	高度 (CM)
1	10	2	0.20
2	10	4	0.41
3	10	6	0.61
4	10	8	0.82
5	10	10	1.02
6	10	12	1.05
7	10	14	1.03

表 (廿七) Na₂CO₃ (0.2M) 加入CaCl₂ (0.2M)



試管號	Na ₂ CO ₃	CaCl ₂	高度 (CM)
1	10	2	0.21
2	10	4	0.42
3	10	6	0.61
4	10	8	0.83
5	10	10	1.03
6	10	12	1.05
7	10	14	1.03

表 (廿八) CaCl₂ (0.2M) 加入Na₂CO₃ (0.2M)

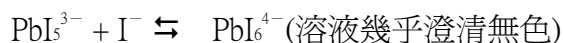
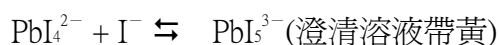
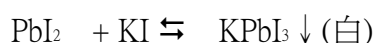
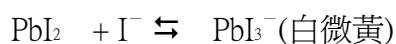
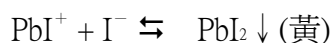
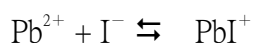


陸、結論

一、國中理化實驗，其實驗目的是以固定量的KI溶液與不同量的Pb(NO₃)₂溶液，所產生黃色PbI₂沈澱的量來探討反應物之間量的關係。但經我們實際實驗結果，凡是過量的KI的試管，其沈澱高度或重量並沒有和Pb(NO₃)₂的莫耳數成正比關係。

探討原因是過量的KI和PbI₂再反應形成KPbI₃沈澱，KPbI₃繼續和過量的KI形成錯離子的關係

二、我們利用滴定方法，逐滴觀察反應沈澱情形，發現反應開始先出現黃色沈澱→黃白色沈澱→黏稠狀沈澱→白色沈澱→沈澱溶解溶液變橘黃色→溶液變淡黃色，可知錯離子形成是變化萬千的。其主要原因是以Pb為中心，而與I形成多種錯離子，其錯離子的配位多寡是未知數，它隨著兩溶液的濃度比而呈現多變面貌。其方程式如下：



三、我們利用溶液的總導電量和離子總莫耳數有關來推知有錯離子的存在。

1 莫耳PbI₆⁴⁻錯離子的形成需消耗 4 莫耳的I⁻，因而離子的總莫耳數減少，總電量因而減少，

四、實驗改進方法

用Na₂CO₃ (aq) 與CaCl₂ (aq)，產生白色CaCO₃沉澱

此反應有三大優點：

第一 沒有鉛化合物缺點

第二 沒有產生錯離子的干擾

第三 做出數據能準確表達出均衡反應式中各物質係數和參與反應物質莫耳數的關係

柒、參考文獻

1. Vol.74 No.3 March 1997, 『Journal of Chemical Education』
2. 國立編譯館「國民中學選修理化第3冊」
3. 曾國輝編著化學下冊第28章錯合物化學 藝軒出版社
4. 黃進添普通化學第一冊 復文書局 2000年初版
5. 楊永華普通化學實驗第一冊 東大圖書公司

捌、重金屬廢液處理

一、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 廢棄物處理

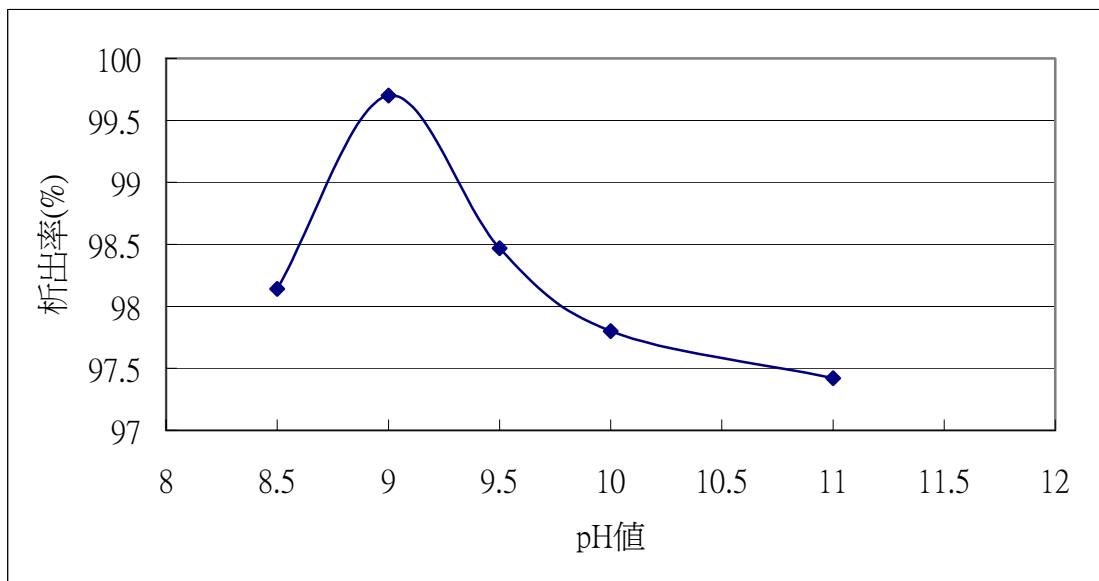
由於 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 為可溶性鹽類，所以對於 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 我們做以下之沉澱析出實驗

1. 取 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 重 33.3483 克配成 1000 毫升溶液
2. 取 50 毫升 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，則理論上 Pb^{2+} 應有 1.0431 克重

$$\text{Pb}^{2+}\text{重} = 33.3483 * \frac{207.2}{331.2} * \frac{50}{1000} = 1.0431 \text{ 克}$$

3. 在不同條件下之析出率分別為

PH 值	8.5	9.0	9.5	10.0	11.0
$\text{Pb}(\text{OH})_2$ 重	1.1917 克	1.2107 克	1.1957 克	1.1876 克	1.1830 克
析出率	98.14%	99.70%	98.47%	97.80%	97.42%



4. 結論

(1) 廢液以化學沉澱法處理，其處理最佳條件如下表

離子種類	沉澱劑	沉澱物	pH 值	去除率
Pb^{2+}	NaOH	$\text{Pb}(\text{OH})_2$	9.0	99% 以上

評語

040201 高中組化學科 最佳團隊合作獎

探討碘化鉛的生成實驗數據誤差及改進

組員間合作得很好。