

# 國中資優課程—融入式教案(化學)

## 炫光扳機—氫氣與氯氣的光化學反應

### 一、課程簡介

<p>給使用者的話</p>	<p>本課程的實驗流程主要是以注射筒進行氫氣與氯氣的微量製備，並利用紫外光當作光化學反應的光源，照射裝在注射筒中的氫氣與氯氣之混合氣體，觀察反應的變化情形，並檢驗反應後產生氣體的性質。</p> <p><b>設計理念：</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>(1)師生互動共構學習的歷程，已完成學習鷹架。</li><li>(2)培養學生自主學習和提昇高層次思考能力，以達到後設思考的境界。</li><li>(3)著重生活經驗與歷程緊密結合。</li><li>(4)改變學習氛圍，以核心素養為導向來建立課程架構。</li><li>(5)主題式結合的探究與實作，運用多種過程技能。</li><li>(6)落實差異化教學的精神，每組可依據成員程度、設計編排課程深淺。</li></ol> <p><b>學生先備知識：</b></p> <p>酸鹼反應、氧化還原反應、分解反應、取代反應、反應速率。</p> <p><b>實施時機：</b></p> <p>八年級下學期之後的彈性課程、獨立研究的延伸研究主題、八年級下學期以後的資賦優異方案課程</p>
<p>單元架構</p>	<p>本課程設計採用<b>平行課程模式</b>，注重多元智能表現以及高品質的課程觀。能夠依據知識理論進行課程內容的調整，並且支持學生提升其興趣及專長領域的學習熱情，利用具有代表性的主題發展核心知識和過程技能，並且鼓勵學生將抽象與複雜的概念以真實應用的方式表現出來。</p>  <ul style="list-style-type: none"><li><b>核心課程</b><ul style="list-style-type: none"><li>• 基本核心知識</li><li>• 氧化還原反應</li><li>• 氣體的製備原理</li><li>• 光化學反應</li></ul></li><li><b>連結課程</b><ul style="list-style-type: none"><li>• 跨領域、跨觀念</li><li>• 光煙霧連結環境議題</li><li>• 環境化學議題連結</li></ul></li><li><b>實務課程</b><ul style="list-style-type: none"><li>• 實務工具</li><li>• 氫氣與氯氣製備</li><li>• 炫光扳機實驗遊戲</li></ul></li><li><b>認同課程</b><ul style="list-style-type: none"><li>• 自我發展與實現</li><li>• 化學家的社會責任</li><li>• 光化學空汙的防治</li></ul></li></ul> <p>在此平行課程模式下，希望師生能表現出3R(Reflective反思、Responsive回應、Respectful尊重)</p>

**教材特色與分析**

1. 本課程主要以實驗課進行，重視動手操作以及討論發表。
2. 由實驗結果的歸納，一步步帶領學生梳理想法思緒，進而形成概念及觀念。
3. 本課程設計遊戲活動環節增加趣味性及挑戰，藉此寓教於樂。
4. 本課程延伸至環境化學議題讓學生了解現今光化學空氣汙染的形成及如何減少光化學空氣汙染的產生。
5. 本課程可以用於八年級下學期之後的彈性課程，或是學生做獨立研究的延伸研究主題；也可做為假日或寒暑假資優方案課程主題來使用，減少資優方案課程教師備課壓力。

## 二、課程計畫

單元名稱	炫光扳機－氫氣與氯氣的光化學反應		
適用對象	<input type="checkbox"/> 七年級 <input checked="" type="checkbox"/> 八年級 <input checked="" type="checkbox"/> 九年級	設計教師	桃園國中 陳鼎元 同德國中 蕭家銘 青埔國中 江淑惠
活動時間	4 節 ( 每節 45 分, 共 180 分)	設計日期	110.07.06修正
核心素養	<p>一、特獨-J-A2 提出適切的探究問題，依據習得的知識，透過獨立思考與分析，提出可能的問題解決模式，並實際驗證及解析。</p> <p>二、自-J-B1 能分析歸納、製作圖表、使用資訊及數學運算等方法，整理自然科學資訊或數據，並利用口語、影像、文字與圖案、繪圖或實物、科學名詞、數學公式、模型等，表達探究之過程、發現與成果、價值和限制等。</p> <p>三、特獨-J-C2 透過獨立研究小組學習，發展與同儕溝通、共同參與、執行及討論的能力，能接納不同意見，具備與人和諧互動技巧。</p>		
學習表現	<p>tr-IV-1 能將所習得的知識正確的連結到所觀察到的自然現象及實驗數據，並推論出其中的關聯，進而運用習得的知識來解釋自己論點的正确性。</p> <p>pa-IV-2 能運用科學原理、思考智能、數學等方法，從所得的資訊或數據，形成解釋、發現新知、獲知因果關係、解決問題或是發現新的問題。並能將自己的探究結果和同學的結果或其他相關的資訊比較對照，相互檢核，確認結果。</p> <p>ai-IV-3 透過所學到的科學知識和科學探索的各種方法，解釋自然現象發生的原因，建立科學學習的自信心。</p> <p>ah-IV-1 對於有關科學發現的報導，甚至權威的解釋（例如：報章雜誌的報導或書本上的解釋），能抱持懷疑的態度，評估其推論的證據是否充分且可信賴。</p> <p>特獨 1a-IV-3 透過動手解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。</p> <p>特獨 1b-IV-1 理解同儕報告，針對研究歷程提出相關的疑問或意見，形成評價並提出建議或改善方案。</p> <p>特獨 1d-IV-3 依據引註參考資料格式，註明資料的來源、出處與他人的貢獻。</p> <p>特獨 2a-IV-1 選用適當的研究方法及程序，並運用於獨立研究中。</p> <p>特獨 2b-IV-1 將蒐集的數據或資料，加以分析、比較，提出關聯與差異。</p> <p>特獨 2d-IV-2 與教師共同討論、選擇評量的標準，並接受評量與回饋。</p>		

<p><b>學習內容</b></p>	<p>Ba-IV-1 能量有不同形式，例如：動能、熱能、光能、電能、化學能等，而且彼此之間可以轉換。孤立系統的總能量會維持定值。</p> <p>Ja-IV-3 化學反應中常伴隨沉澱、氣體、顏色及溫度變化等現象。</p> <p>Ja-IV-4 化學反應的表示法</p> <p>Na-IV-6 人類社會的發展必須建立在保護地球自然環境的基礎上。</p> <p>特獨1a-IV-3 透過動手解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。</p> <p>特獨1b-IV-1 理解同儕報告，針對研究歷程提出相關的疑問或意見，形成評價並提出建議或改善方案。</p> <p>特獨2d-IV-2 與教師共同討論、選擇評量的標準，並接受評量與回饋。</p>
<p><b>單元目標</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 學會氣體（氫氣與氯氣）製備與收集。</li> <li>2. 認識光化學反應。</li> <li>3. 利用光板機進行遊戲活動。</li> <li>4. 探討光化學反應在環保相關議題的影響與防治。</li> </ol>

分組	拉塞福組	湯木生組	道爾頓組
內容	1. 了解氫氣、氯氣的製備及集氣過程，並且能夠探討背後氧化還原的原理。 2. 探討光化學反應的原理，並對於光能所扮演的角色做更進一步釐清。 3. 進行光板機的實驗遊戲，並能樂在其中。 4. 延伸探討光反應在環保相關議題的影響，還能查詢資料舉出類似的例子。	1. 了解氫氣、氯氣的製備及集氣過程，能了解其化學原理與氧化還原反應相關。 2. 探討光化學反應的原理，並了解光波頻率的影響。 3. 進行光板機的實驗遊戲。 4. 延伸探討光反應在環保相關議題的影響。	1. 能完整進行氫氣、氯氣的製備及集氣過程。 2. 認識光化學反應。 3. 進行光板機的實驗遊戲。 4. 能理解光反應在環保相關議題的影響。
過程	能依照教學指引進行操作，能夠探討兩項以上的變因影響，並且可以注重實驗過程的品質及信效度。	能依照教學指引進行操作，並且可以探討兩項以上的變因影響。	能依照教學指引進行食譜式實驗操作。在需要協助時請求支援。
成果	能夠自發性探討實驗各項變因的影響，喜歡探究化學變化的本質，並自發性完成學習單。	能夠在教學指引下探求活動背後化學原理，且能自行完成學習單。	能在老師提示或同儕合作之下探求其背後原理，並在協助下完成學習單。

區分性  
教學之  
調整

參考  
資料

- 現代分子光化學(1)原理篇，N. J. 圖羅，V. 拉馬穆爾蒂，J. C. 斯卡約諾，化學工業出版社，ISBN：9787122231208
- 現代分子光化學(2)反應篇，N. J. 圖羅，V. 拉馬穆爾蒂，J. C. 斯卡約諾，化學工業出版社，ISBN：9787122217844
- 化學實驗室實驗：氫氣與氯氣的光化學反應  
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=31589>
- The photochemical reactions of chlorine with hydrogen and methane, <http://www.practicalchemistry.or...methane,258,EX.html>
- HCl Cannon,  
[http://www.chem.umn.edu/services/lecturedemo/info/HCl\\_Cannon.html](http://www.chem.umn.edu/services/lecturedemo/info/HCl_Cannon.html)
- Hydrogen + Chlorine Cannon,  
<http://jchemed.chem.wisc.edu/JCESoft/CCA/CCA1/R1MAIN/CD1R1380.HTM>
- Reaction of Chlorine with Hydrogen, <http://jchemed.chem.wisc.edu/JCESoft/CCA/CCA3/MAIN/CLH/PAGE1.HTM>
- 光化學霧 - 科學 Online - 高瞻自然科學教學資源平台  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=11545>

一、教學環境：標準配置化學實驗室(附抽氣設備)





二、藥品和器材：

1. 注射筒 (容量50 mL) 並附注射筒橡皮塞 3個/組
2. 剪刀 (小支) 1支/組
3. 燒杯 (100 mL) 3個/組
4. 直尺 1支/組
5. 量筒 (10 mL) 1支/組
6. PE滴管 (3 mL) 1支/組
7. 電子秤 (0.01 g或更精確) 2台/班
8. 保特瓶 (1000 mL) 1個/組
9. 護目鏡 1副/組
10. 鐵架及鐵夾 1組/組
11. 乳膠手套 1副/組
12. 鎂帶 (Magnesium, Mg) 5 cm/組
13. 鋁箔 (Aluminum, Al) 5 cm/組
14. 打火機 1個/組
15. 太陽眼鏡 1副/組
16. 耳塞 1副/組
17. 3% 次氯酸鈉溶液 (sodium hypochlorite, NaOCl, solution) 10 mL/組
18. 1.0 M鹽酸 (Hydrochloric acid, HCl(aq)) 100 mL/組
19. 濃氨水 (Conc. ammonia water, NH<sub>3</sub>(aq)) 5 mL/組
20. 洗碗精 5滴/組
21. 紅光雷射筆 1支/組
22. 綠光雷射筆 1支/組
23. 紫外光驗鈔筆 1支/組
24. 棉花棒(大) 3支/組

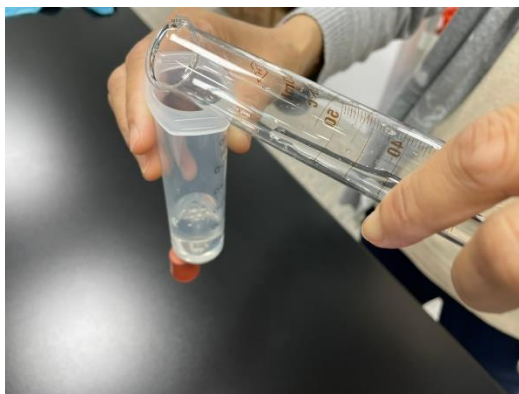
三、設備：投影機、iPad平板電腦6台

### 三、各單元教學活動

第一節教學活動	時間	多元 評量
<p><b>一、引導活動</b></p> <p>實驗原理介紹：氫氣的製備，並觀察不同金屬與鹽酸反應的情形</p> <p>(1)利用鎂與鹽酸反應產生氫氣</p> $\text{Mg} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$ <p>(2)利用鐵與鹽酸反應產生氫氣</p> $\text{Fe} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$ <p>(3)利用銅與鹽酸不反應</p> $\text{Cu} + \text{HCl} \rightarrow \text{不反應}$	5'	
<p><b>二、發展活動</b></p> <p>(一) 氫氣產氣速率及性質探討</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 取三根試管分別加入1.0 M HCl 5 mL，以及2滴洗碗精稀釋液，如圖一。</li><li>2. 選用鎂、鐵、銅三種金屬粉末0.3克(盡量選擇外觀大小類似)，分別加入三根試管，如圖二。</li><li>3. 觀察並記錄泡沫高度與時間，將測量結果記錄在學習單上。</li><li>4. 用火柴燃燒檢驗所產生的氣體性質，看是否能產生淡藍色火焰(氫氣的可燃性檢驗)。</li></ol>  <p>圖一 3根試管分別加入1.0M HCl 5mL</p>  <p>圖二 量取金屬粉末0.3公克</p>	30'	觀察評量 操作評量 實作評量

(二) 炫光扳機-氫氣的製備

1. 用剪刀取約5公分（約0.050克）的鎂帶，備用。
2. 取一個注射筒橡皮塞緊密地套住一支塑膠注射筒（編號A）的前端出口處，並在注射筒內裝約20 mL的自來水，如圖三所示。



圖三 注射筒內裝自來水

3. 放置步驟1的鎂帶於注射針筒內，使其沉於底部，如圖四所示。



圖四 放置鎂帶於注射針筒內

4. 插入針筒推桿（活塞）到注射筒內，先手持注射筒使開口朝上，取下注射筒橡皮塞，推進針筒推桿，以排除空氣。然後放置於一個燒杯，推進針筒推桿，以排除大部分的水，避免殘留空氣，如圖五所示。



圖五 排除空氣及大部分水

5. 拉起注射筒的針筒推桿，吸取約15 mL的1.0 M HCl，如圖六所示，並迅速套住橡皮塞。此時開始發生反應而產生氣泡，立即手持注射

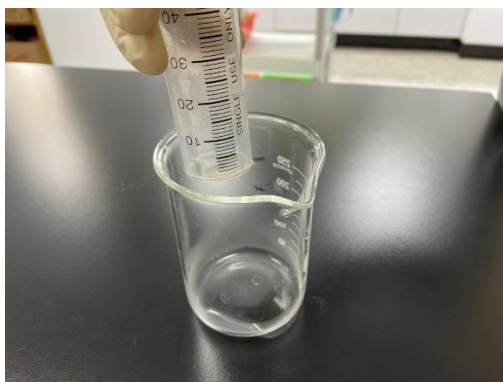


筒橡皮塞朝下並壓住桌面，使之緊密連接在一起，以避免氣體從注射筒的開口處逸出。隨後反應快速發生，針筒推桿會往外推開。



圖六 注射筒吸取稀鹽酸

6. 在反應完全後，卸下橡皮塞，排除未反應的稀鹽酸，保留氫氣在注射筒中，如圖七所示。



圖七 在反應完全後，排除未反應的稀鹽酸

7. 在完全排除未反應的稀鹽酸後，套上注射筒橡皮塞，收集約30 mL的氫氣備用，如圖八所示。



圖八 注射筒A收集約30 mL的氫氣

8. 共需收集兩針筒氫氣，分別標示為A1及A2備用。

### 三、總結活動

帶領學生分組討論，並請各組發表統整後的想法

1. 實驗中，若有產生氣體，這些氣體相同嗎？你如何判定呢？
2. 實驗中為何要加入洗碗精，請解釋。

10'

學習單  
口頭評量  
發表評量

3. 以針筒收集氯氣的過程中，哪一步驟最困難呢？

## 第二節教學活動

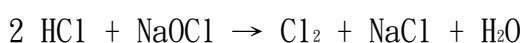
時間

多元  
評量

### 一、引導活動

實驗原理介紹：氯氣的製備

利用鹽酸與次氯酸鈉反應產生氯氣



5'

### 二、發展活動

(一) 氯氣的性質檢驗

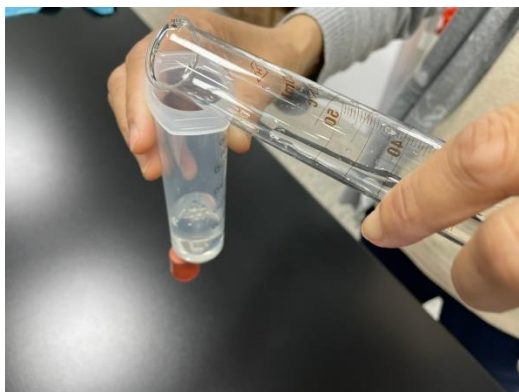
1. 在白紙上以水性彩色筆塗上各種色彩，剪成細條紙片。
2. 打開實驗室抽氣設備，以試管取約5.0 mL的3%次氯酸鈉漂白水。
3. 加入5 mL的1.0 M HCl於試管中，加入後以拇指虛掩管口(須帶手套)。
4. 觀察並紀錄試管中的化學變化。
5. 放入預先畫好的彩色紙條(勿丟入溶液中)，觀察並紀錄其變化。
6. 以搗聞法略為感受此氣體的氣味，請勿過於靠近避免嗆傷。

30'

觀察評量  
操作評量  
實作評量

(二) 炫光扳機-氯氣的製備

1. 取另一支注射筒(編號B)，先在開口前端處連接一小段的橡皮管，於橡皮管的一端套上橡皮塞。然後倒入約20 mL的自來水到注射筒內，如圖九所示。



圖九 注射筒倒入自來水

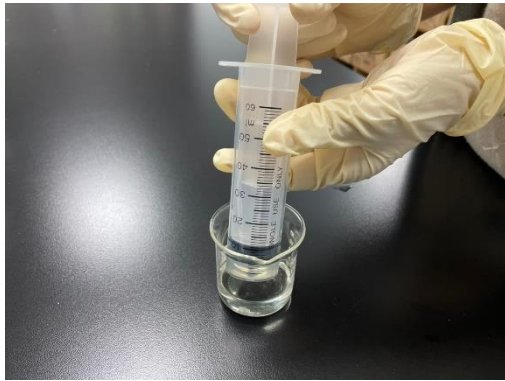
2. 插入針筒推桿(活塞)到注射筒內，先手持注射筒使開口朝上，取下注射筒橡皮塞，推進針筒推桿，以排除空氣。然後放置於一個保

特瓶的瓶口，推進針筒推桿，以排除大部分的水，避免殘留空氣，如圖十所示。



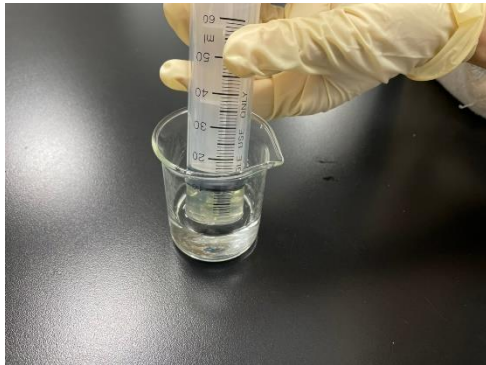
圖十 排除空氣及大部分水

3. 手戴乳膠手套，以避免接觸次氯酸鈉漂白水（ $\text{NaOCl}$ 溶液）。先吸取約5.0 mL的3%次氯酸鈉漂白水，如圖十一所示。



圖十一 吸取次氯酸鈉溶液

4. 再吸取約20 mL的1.0 M  $\text{HCl}$ ，如圖十二所示。套上注射筒橡皮塞，此時開始發生反應而產生氣泡，立即手持注射筒橡皮塞朝下並壓住桌面，使之緊密連接在一起，以避免氣體從注射筒的開口處逸出。隨後反應快速發生，針筒推桿會往外推開，如圖十三所示。



圖十二 吸取稀鹽酸



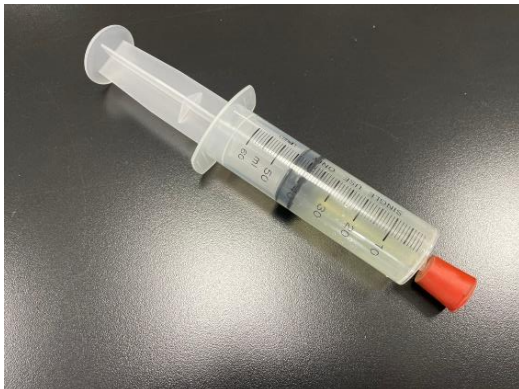
圖十三 迅速產生氯氣將活塞推開

5. 在反應完全後，卸下注射筒橡皮塞。放置此注射筒於保特瓶瓶口上，排除未反應的稀鹽酸，保留氯氣在注射筒中，如圖十四所示。



圖十四 排除未反應的稀鹽酸

6. 在完全排除未反應的稀鹽酸後，套上注射筒橡皮塞，收集約30 mL的氯氣備用，如圖十五所示。



圖十五 注射筒B收集約30 mL的氯氣

<p>7. 共需收集兩針筒氯氣，分別標示為B1及B2。</p> <p><b>三、總結活動</b></p> <p>帶領學生分組討論，並請各組發表統整後的想法</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在實驗中，次氯酸鈉與鹽酸反應產生的氣體為何？你觀察到甚麼特殊性質呢？</li> <li>2. 丟入彩色紙條後的變化，屬於哪一種化學反應？氣體所扮演的角色為何？</li> <li>3. 以針筒收集氯氣的過程中，哪一步驟最困難呢？</li> </ol>	10'	學習單 口頭評量 發表評量
--	-----	---------------------

第三節教學活動	時間	多元評量
<p><b>一、引導活動</b></p> <p>實驗原理介紹：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氫氣與氯氣的光化學反應</li> </ol> $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$ <ol style="list-style-type: none"> <li>2. 反應後氣體的檢驗</li> </ol> $\text{HCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$ <p><b>二、發展活動</b></p> <p>(一) 炫光扳機-光化學反應</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 關閉室內燈源，緊密地連接注射筒A1與含有橡皮管的注射筒B1在一起，如圖十六所示。</li> </ol> <div data-bbox="124 1599 1114 1966" data-label="Image"> </div> <p>圖十六 連接注射筒A和注射筒B</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. 連續地推拉針筒推桿（活塞）多次，使兩支注射筒內的氣體儘可能完全混合均勻。</li> <li>3. 取下橡皮管將混合好的注射筒氣體注入試管，並且妥善塞上橡皮</li> </ol>	5'          10'	多元評量          觀察評量 操作評量 實作評量

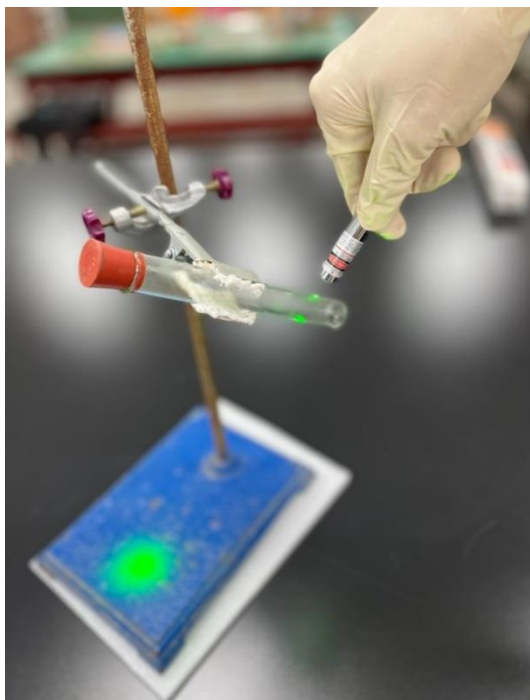
塞，僅注入半量即可。

- 戴上太陽眼鏡及耳塞，以不同的光源（紅光、綠光、紫外光）照射試管，觀察變化情形。

注意：照光之前，務必不可有人員在注射筒的前端和後端的附近。照光時，最好戴上耳塞。

### （二） 反應後氣體的檢驗

- 將照光反應後的試管以鐵架架好，如圖十七所示。



圖十七 照光反應試管架設

- 反應後以棉花棒沾取一些氨水，靠近試管口，觀察並記錄其變化。

### （三） 以光板機打靶遊戲

- 取注射筒A2與含有橡皮管的注射筒B2在一起。
- 連續地推拉針筒推桿（活塞）多次，使兩支注射筒內的氣體儘可能完全混合均勻。
- 取下橡皮管將混合好的注射筒氣體注入試管（僅注入半根試管量即可），自行調整試管位置和角度，並且妥善塞上橡皮塞。
- 戴上太陽眼鏡及耳塞，以特定光源照射試管，並讓橡皮塞射出打靶。

### 三、總結活動

- 利用哪一種光源照射後，試管內的氣體有反應？請寫出平衡反應式。
- 所照光線在反應中所扮演的角色是什麼？
- 沾氨水的棉花棒靠近試管口，發生什麼變化？請推測該物質為何？除此之外，還可用哪些方式檢驗產生的物質？

5'

觀察評量  
操作評量  
實作評量

15'

觀察評量  
操作評量  
實作評量

10'

學習單  
口頭評量  
發表評量

第四節教學活動	時間	多元 評量
<p><b>一、引導活動</b></p> <p>帶領同學閱讀「光化學霧」、「光化學煙霧」兩篇科普文章選讀一篇，並解說光化學反應在環保議題上所扮演的角色。</p> <p><b>二、發展活動</b></p> <p>(一) 各組發下iPad平板電腦，分組搜尋資料，進行討論。</p> <p>建議探究題目：</p> <p>(1) 光化學煙霧的成因與介紹</p> <p>(2) 光化學煙霧的類型</p> <p>(3) 光化學煙霧的防治</p> <p>可從較著名的法國巴黎的光化學煙霧事件與美國洛杉磯、紐約的光化學煙霧事件去搜尋，了解不同的光化學煙霧事件。</p> <p>(二) 請各組輪流上台發表搜尋整理的資訊，每組報告3~5分鐘的時間。</p> <p><b>三、總結活動</b></p> <p>老師總結課程</p> <p>1. 產氣製備到光源檢驗</p> <p>2. 光化學反應到光煙霧空汙</p>	<p>5'</p> <p>20'</p> <p>15'</p> <p>5'</p>	<p>學習單</p> <p>小組討論</p> <p>口頭評量</p> <p>發表評量</p>

#### 四、教學省思及建議

本教案因受新冠疫情停課影響，所以未能及時進行觀、議課部分，但就共同備課時所遭遇到的情況，提出一些建議：

1. 第一節氫氣製備與第二節氯氣製備的實驗，可以找連兩節的課一起進行，這樣配置的藥品（1M 鹽酸）可以一起使用，節省一些時間，且時間可以互相分配。第三節氫氣、氯氣光化學反應及第四節光化學反應環保議題也可找連兩節課一起進行，第三節實驗實作如果較早結束，可緊接進行光化學反應環保議題，增加學生搜尋資料的時間，讓學生上台報告內容準備可以更加充分。
2. 若學生配置藥品能力較差，教師可以提供一些協助。因為一些藥品具有危險性，教師必須緊盯較危險藥品的使用，穿戴護目鏡、手套等防護裝置，且在通風良好的教室或通風櫥內進行實驗。可能有危險性藥品如：12M濃鹽酸（強酸、腐蝕性）、製備出來的氯氣（吸入毒性）、濃氨水（吸入毒性）。
3. 氫氣、氯氣光化學反應所使用的紫外光燈功率需大一點（至少5W以上），光化學反應才較容易產生光板機效果，如果真的無法產生，也可請學生思考如何測試光化學反應是否有產生。
4. 因應新冠疫情，如果此教案要以線上教學方式進行，因主要為實作課程，所以較不適合以線上教學方式進行。如一定要以線上教學，教師需先行拍攝所有實驗過程影片，讓學生由影片中觀察實驗結果。



## 閱讀素材1

### 光化學霧 (資料來源：科學Online 高瞻自然科學教學資源平台)

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=11545>

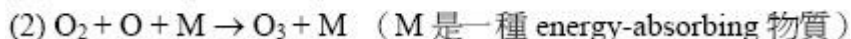
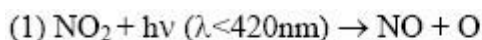
光化學霧 (Photochemical Smog) Posted on 2010/10/13 in [化學](#), [化學技術與應用](#), [化學與社會](#)

臺北縣立三民高級中學化學科林妙津老師/國立臺灣大學化學系陳藹然博士責任編輯

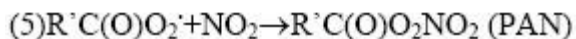
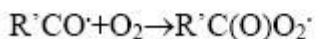
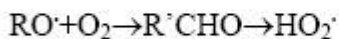
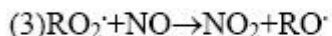
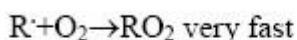
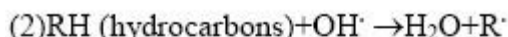
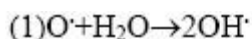
太陽下山了，天色昏暗夜空低垂，但是台灣都市的夜空為什麼不是黑的，這是因為空氣中有太多的污染物，這些污染物包含了許多微小顆粒懸浮物反射光線，讓夜空呈現詭異的顏色。因為這些空氣污染物為煙霧態，我們稱這些污染物為「光化學霧(Photochemical smog)」，英文名smog 即是由 smoke + fog 兩單字合併而成。「光化學霧」學術上的正式的解釋為經光化學反應所產生之微粒狀物質而懸浮於空氣中能造成視程障礙者。

光化學霧的主要來源是：工業革命後，大量使用石化燃料，工廠與汽機車引擎排放大量排放NO<sub>x</sub>及揮發性有機污染物至大氣中，這些物質在光照及氣象條件下，於大氣中進行光化反應，生成二次污染物，包括臭氧(Ozone, O<sub>3</sub>)、過氧硝酸酯(Peroxyacylnitrates, PAN)等。隨著污染源的不同，光化學煙霧的組成也因地有所不同，譬如產煤和以煤為能源的火力發電廠，光化學煙霧主要成份為二氧化硫。

臭氧是光化學煙霧形成過程中產生的主要氧化物(oxidant)，其次為PAN。臭氧的形成機制如下：二氧化氮被紫外光分解成一氧化氮(NO)和高活性的氧原子，氧原子和空氣中的氧氣結合生成臭氧(O<sub>3</sub>)並釋放出能量。



高活性氧原子還可以很快的和周圍的其他分子進行反應；PAN的形成就是其中一個後續反應：首先氧原子和水氣反應生成兩個「氫氧自由基(HO·)」，注意不是氫氧根(HO<sup>-</sup>)喔，然後這個新的自由基和空氣中的其他污染物如揮發未燃燒的汽油(Hydrocarbons, 碳氫化合物)、一氧化氮等進行一系列的非常快速的連鎖反應，最後生成過氧硝酸酯。

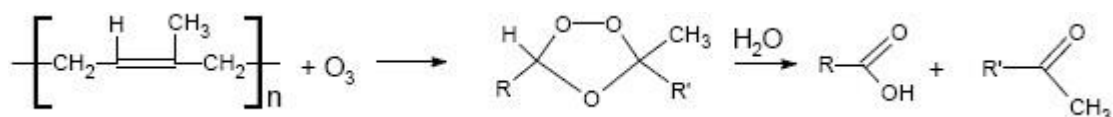


臭氧與PAN均會刺激眼睛及人類的呼吸系統，減少肺部功能。老人與嬰兒特別易受臭氧的刺激，臭氧對健康的成人與幼童影響亦相當明顯。症狀包括刺激眼睛、鼻子和鼻竇、呼吸急促、胸痛、咳嗽、喘息等。其他較常見症狀包括視力模糊、頭痛、噁心與疲勞。當空氣中臭氧濃度在0.15ppm時，會引起咳嗽、氣喘、支氣管炎及對人類呼吸系統黏液造成刺激。動物實驗顯示：暴露在臭氧濃度約50 ppm下數小時，會因肺積水而死亡；若暴露在較低的濃度下，亦會造成非致命性的肺積水及肺部毛細管的破壞。溫度的升高與活動會加強氧化物對人體的影響。

不飽和脂肪酸的雙鍵也易受到臭氧的破壞，雙鍵斷裂而產生新的氧化物。其反應類似於天然橡膠雙鍵斷裂的氧化反應。

臭氧與 PAN 均會刺激眼睛及人類的呼吸系統，減少肺部功能。老人與嬰兒特別易受臭氧的刺激，臭氧對健康的成人與幼童影響亦相當明顯。症狀包括刺激眼睛、鼻子和鼻竇、呼吸急促、胸痛、咳嗽、喘息等。其他較常見症狀包括視力模糊、頭痛、噁心與疲勞。當空氣中臭氧濃度在 0.15ppm 時，會引起咳嗽、氣喘、支氣管炎及對人類呼吸系統黏液造成刺激。動物實驗顯示：暴露在臭氧濃度約 50 ppm 下數小時，會因肺積水而死亡；若暴露在較低的濃度下，亦會造成非致命性的肺積水及肺部毛細管的破壞。溫度的升高與活動會加強氧化物對人體的影響。

不飽和脂肪酸的雙鍵也易受到臭氧的破壞，雙鍵斷裂而產生新的氧化物。其反應類似於天然橡膠雙鍵斷裂的氧化反應。



PAN 的毒性較臭氧低和二氧化氮相近但比二氧化硫高，動物實驗顯示，PAN 的小鼠與大鼠的致死濃度(Lethal concentration)LC30 分別為 718~743 mg/m<sup>3</sup> (2 小時)與 470 mg/m<sup>3</sup> (4 小時)。急性暴露下會造成嚴重肺部系統病變，在較高的濃度刺激眼睛酸痛流淚，會損害呼吸系統的上表皮細胞。此外，具有-SH 官能基的酵素易受到光化學氧化物的影響，這些官能基會被 PAN 氧化而乙醯化 (acetylated)，例如含硫的氨基酸-半胱氨酸(cysteine)特別易受到 PAN 的氧化。在某些條件下，PAN 會將 2-胺基 4-甲硫基丁酸(methionine)氧化成 methionine sulfoxide。植物暴露於 PAN 濃度 0.02~0.05 ppm 下數小時，亦可能造成菠菜、萵苣、芥菜…等葉下表面出現亮銅斑與銀白斑之危害。

#### 參考資料

1. 〈光化學煙霧—過氧硝酸乙醯酯 (PAN) 監測結果〉，行政院環境保護署網站 - 環保新聞，2005 年 6 月 21 日。  
<http://ivy5.epa.gov.tw/enews/New...tTime=0940621180352>
2. WIKIPEDIA 網站 - Photochemical smog  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Photochemical\\_smog](http://en.wikipedia.org/wiki/Photochemical_smog)
3. Dr. Ngee-Sing Chong 網站 - Photochemical smog  
<http://mtsu32.mtsu.edu:11233/Smog-Atm1.htm>
4. Illinois Department of Public Health 網站 - Ozone  
<http://www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/ozone.htm>
5. Vyskocil A, Viau C, Lamy S. , 〈Peroxyacetyl nitrate: review of toxicity.〉，NCBI 網站，1998 年 4 月。  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9617633>
6. Stanley E. Manahan , 《Environmental Chemistry》 fourth edition , CRC Press , 1990 。

## 閱讀素材2

# 光化學煙霧

資料來源：（維基百科<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E5%8C%96%E5%AD%B8%E7%85%99%E9%9C%A7>）

光化學煙霧（Photochemical smog）指的是一系列對環境和健康有害的化學品。稱之為光化學煙霧是因為它們是由氮氧化物及揮發性有機物等污染物質光解而產生的，之後會留下懸浮粒子及對流層臭氧<sup>[1][2]</sup>，屬於大氣中二次污染。其中的二氧化氮呈紅棕色，是造成人為霾害的主因之一，若是城市位於盆地，或處於易形成對流層低空逆溫的地方造成空氣不流通，則會加重對生物體與環境的影響。



巴黎的光化學煙霧

### 一、組成成分

光化學煙霧包括以下幾種物質：

氮氧化物，例如二氧化氮及一氧化氮、對流層臭氧、揮發性有機化合物（VOCs）、硝酸過氧化乙醯（PAN）、醛類、酮類

### 二、產生

大氣中一次污染是由污染源直接產生的物質。一次污染中的氮氧化物與碳氫化合物等一次污染，經過紫外線照射發生光化學反應，所形成的二次污染叫做光化學煙霧。像二次污染中的臭氧是由碳氫化合物（HC）及氮氧化物（NO<sub>x</sub>）在陽光下反應而成；二氧化氮（NO<sub>2</sub>）是由一氧化氮在空氣中和氧氣結合而成；酸雨是因為二氧化硫及氮氧化物和水反應而成。這些光化學煙霧都是高度易反應並/或氧化的物質，因此光化學煙霧被認為是現代工業化的難題。在許多大都市都會有光化學煙霧，但晴朗、暖和、氣候乾燥，且有大量機動車輛的城市更容易有光化學煙霧<sup>[3]</sup>。

而大氣中的氮氧化物主要來源於化石燃料的燃燒和植物體的焚燒，以及農田土壤和動物排泄物中的含氮化合物的轉化。其中，以汽車尾氣為主要來源，像1943年起在洛杉磯發生的光化學煙霧污染就因為機動車輛排氣而產生<sup>[4]</sup>，也因此產生了汽車廢排放相關標準的訂定<sup>[5]</sup>。



美國加州金門大橋後方的紅色霧就是燃燒汽油所排放的NO<sub>x</sub>，在光的作用下成為汙染物質，由於北美汽車難以限制，這種霧霾時至今日仍困擾著美國的大城市。

### 三、危害

光化學煙霧具有特殊氣味，刺激眼睛，傷害植物，並使大氣能見度降低，對人體有強烈的刺激作用，嚴重時會使人出現呼吸困難、視力衰退、手足抽搐等現象<sup>[6]</sup>。像日本九州就曾因為光化學煙霧出現民眾不適的情形<sup>[7]</sup>。

另外氮氧化物與空氣中的水反應生成的硝酸和亞硝酸，是酸雨的成分。

#### 四、相關法令

歐盟指令2002/3/EC指令《限制健康保護》(limits the protection of health)第3版(2010年6月11日被2008/50/EG指令取代)有規定空氣中的臭氧濃度如下：  
1小時濃度 > 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ：需告知大眾  
1小時濃度 > 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ：需公開警告  
最大暴露量(每天8小時)：120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
美國環保署也計劃將空氣中臭氧濃度定在65至70 ppb<sup>[8]</sup>。

#### 五、參考資料

1. [Nox/VOC Smog Fact Sheet](#) (PDF). Canadian Council of Ministers of the Environment. [2016-08-02]. ([原始內容](#) (PDF)存檔於 2011-09-28).
2. [空氣品質改善維護資訊網](#) ([頁面存檔備份](#)，存於[網際網路檔案館](#))，2016年11月06日。
3. Miller, Jr., George Tyler. Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions (12th Edition). Belmont: The Thomson Corporation, 2002: 423. [ISBN 0-534-37697-5](#).
4. 作者：村上祥子. [洛杉磯光化學煙霧污染：機動車“真凶”](#). News.sina.com.tw. 2013-03-05 [2016-08-02]. (原始內容存檔於 2016-08-22).
5. 2016/06/14. [普銳斯給豐田世界戰略投下陰影?](#). Zh.cn.nikkei.com. 2016-06-14 [2016-08-02]. (原始內容存檔於 2016-07-21).
6. [如何應對氣象災害:霧霾防禦科普知識](#). Jsq.sh.gov.cn. [2016-08-02]. ([原始內容](#)存檔於 2016-08-07).
7. [光化學煙霧警報 北九州市多人不適](#). News.ltn.com.tw. 2007-05-28 [2016-08-02].
8. 台灣環境資訊協會-環境資訊中心. [地面臭氧毒害健康 美環署擬加嚴標準](#). E-info.org.tw. [2016-08-02]. (原始內容存檔於 2016-08-22).

學習單1

# Let's Make Some H<sub>2</sub>!

請畫下實驗裝置及流程圖

請記下實驗數據

金屬種類	氣泡泡沫高度(公分)	時間(秒)	產氣速率(公分/秒)	檢驗狀態描述

## 問題討論

1. 實驗中，若有產生氣體，這些氣體相同嗎？你如何判定呢？
2. 實驗中為何要加入洗碗精，請解釋。
3. 以針筒收集氫氣的過程中，哪一步驟最困難呢？



學習單2

# Let's Make Some $\text{Cl}_2$ !

請畫下實驗裝置及流程圖

## 觀察與紀錄

氣體的顏色\_\_\_\_\_ 氣體的氣味\_\_\_\_\_

丟入彩色紙片的變化：

## 問題討論

1. 在實驗中，次氯酸鈉與鹽酸反應產生的氣體為何？你觀察到甚麼特殊性質呢？
2. 丟入彩色紙條後的變化，屬於哪一種化學反應？氣體所扮演的角色為何？
3. 以針筒收集氯氣的過程中，哪一步驟最困難呢？



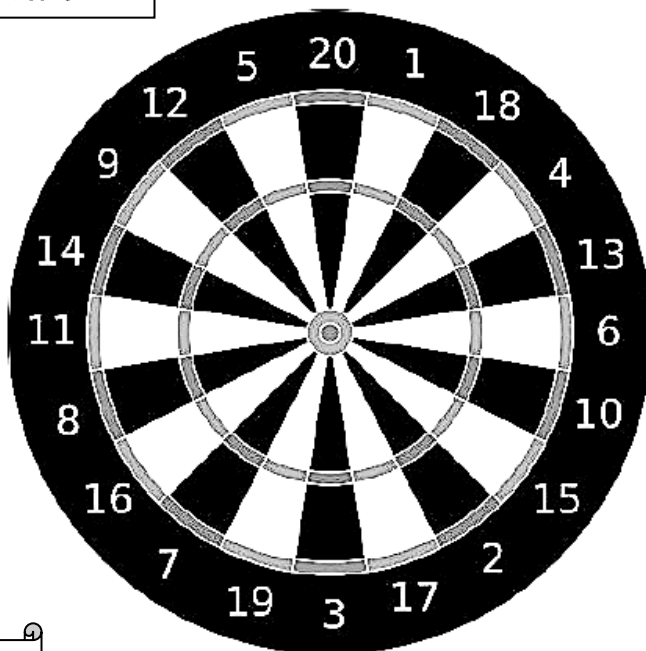
學習單3

# Let's Fire!

請畫下實驗裝置圖



請記下打靶結果



選用哪個光扳機呢？



## 問題討論

1. 利用哪一種光源照射後，試管內的氣體有反應？請寫出平衡反應式。
2. 所照光線在反應中所扮演的角色是什麼？
3. 沾氨水的棉花棒靠近試管口，發生什麼變化？請推測該物質為何？



## 我們這一組的報告大綱

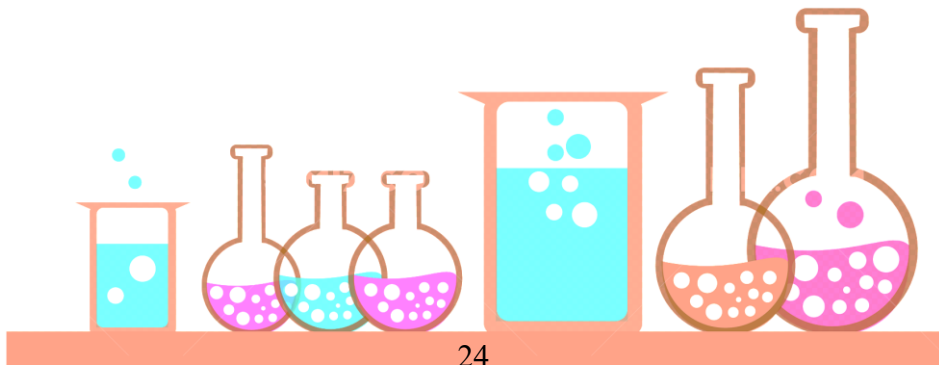
主題： \_\_\_\_\_

小組名單： \_\_\_\_\_

報告概要列點：

參考資料來源：

教師或同學的回饋：





# 光化學反應(1)氫氣的製造

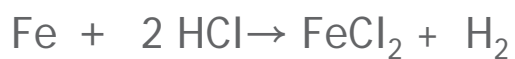
桃園國中 陳鼎元老師  
青埔國中 江淑惠老師  
同德國中 蕭家銘老師

## 氫氣製備原理

- ▶ 利用鎂與鹽酸反應產生氫氣



- ▶ 利用鐵與鹽酸反應產生氫氣



- ▶ 利用銅與鹽酸不反應



- ▶ 需比較各種產生氫氣方式的異同

## 氫氣產氣速率及性質探討

1. 取三根試管分別加入1.0 M HCl 5 mL，以及2滴洗碗精稀釋液，如左下圖。
2. 選用鎂、鐵、銅三種金屬粉末0.3克(盡量選擇外觀大小類似)，分別加入三根試管，如右下圖。



## 氫氣產氣速率及性質探討

3. 觀察並記錄泡沫高度與時間，將測量結果記錄在學習單上。
4. 用火柴燃燒檢驗所產生的氣體性質，看是否能產生淡藍色火焰(氫氣的可燃性檢驗)。

## 炫光扳機-氫氣製備步驟

1. 用剪刀取約5公分（約0.050克）的鎂帶，備用。
2. 取一個注射筒橡皮塞緊密地套住一支塑膠注射筒（編號A）的前端出口處，並在注射筒內裝約20 mL的自來水，如圖所示。



## 炫光扳機-氫氣製備步驟

3. 放置步驟1的鎂帶於注射針筒內，使其沉於底部，如圖所示。



## 炫光扳機-氫氣製備步驟

4. 插入針筒推桿（活塞）到注射筒內，先手持注射筒使開口朝上，取下注射筒橡皮塞，推進針筒推桿，以排除空氣。然後放置於一個燒杯，推進針筒推桿，以排除大部分的水，避免殘留空氣，如圖所示。



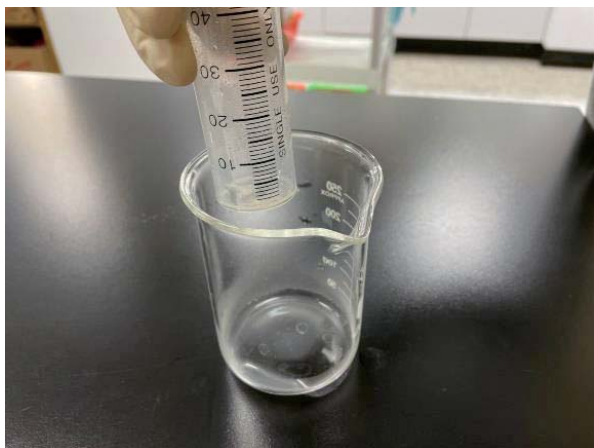
## 炫光扳機-氫氣製備步驟

5. 拉起注射筒的針筒推桿，吸取約20 mL的1.0 M HCl，如圖所示，並迅速套住橡皮塞。此時開始發生反應而產生氣泡，立即手持注射筒橡皮塞朝下並壓住桌面，使之緊密連接在一起，以避免氣體從注射筒的開口處逸出。隨後反應快速發生，針筒推桿會往外推開。



## 炫光扳機-氫氣製備步驟

6. 在反應完全後，卸下橡皮塞，排除未反應的稀鹽酸，保留氫氣在注射筒中，如圖所示。



## 炫光扳機-氫氣製備步驟

7. 在完全排除未反應的稀鹽酸後，套上注射筒橡皮塞，收集約30 mL的氫氣備用，如圖所示。



8. 共需收集兩針筒氫氣，分別標示為A1及A2備用。

## 實驗結果討論

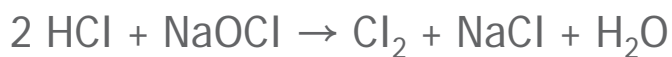
1. 實驗中，若有產生氣體，這些氣體相同嗎？你如何判定呢？
2. 實驗中為何要加入洗碗精，請解釋。
3. 以針筒收集氫氣的過程中，哪一步驟最困難呢？

# 光化學反應(2)氯氣的製造

桃園國中 陳鼎元老師  
青埔國中 江淑惠老師  
同德國中 蕭家銘老師

## 氯氣製備原理

- ▶ 利用鹽酸與次氯酸鈉反應產生氯氣



- ▶ 產生的氯氣具有毒性，請於通風良好(或有抽氣設備)的場所進行這個實驗。

## 氯氣的性質檢驗

1. 在白紙上以水性彩色筆塗上各種色彩，剪成細條紙片。
2. 打開實驗室抽氣設備，以試管取約5.0 mL的3%次氯酸鈉漂白水。
3. 加入5 mL的1.0 M HCl於試管中，加入後以拇指虛掩管口(須帶手套)。
4. 觀察並紀錄試管中的化學變化。
5. 放入預先畫好的彩色紙條(勿丟入溶液中)，觀察並紀錄其變化。
6. 以搧聞法略為感受此氣體的氣味，請勿過於靠近避免嗆傷。

## 炫光扳機-氯氣製備步驟

1. 取另一支注射筒(編號B)，先在開口前端處連接一小段的橡皮管，於橡皮管的一端套上橡皮塞。然後倒入約20 mL的自來水到注射筒內，如圖所示。





## 炫光扳機-氯氣製備步驟

2. 插入針筒推桿（活塞）到注射筒內，先手持注射筒使開口朝上，取下注射筒橡皮塞，推進針筒推桿，以排除空氣。然後放置於一個保特瓶的瓶口，推進針筒推桿，以排除大部分的水，避免殘留空氣，如圖所示。



## 炫光扳機-氯氣製備步驟

3. 手戴乳膠手套，以避免接觸次氯酸鈉漂白水（ $\text{NaOCl}$ 溶液）。先吸取約5.0 mL的3%次氯酸鈉漂白水，如圖所示。



## 炫光扳機-氯氣製備步驟

4. 再吸取約20 mL的1.0 M HCl，如左下圖所示。套上注射筒橡皮塞，此時開始發生反應而產生氣泡，立即手持注射筒橡皮塞朝下並壓住桌面，使之緊密連接在一起，以避免氣體從注射筒的開口處逸出。隨後反應快速發生，針筒推桿會往外推開，如右下圖所示。



## 炫光扳機-氯氣製備步驟

5. 在反應完全後，卸下注射筒橡皮塞。放置此注射筒於保特瓶瓶口上，排除未反應的稀鹽酸，保留氯氣在注射筒中，如圖所示。



## 炫光扳機-氯氣製備步驟

6. 在完全排除未反應的稀鹽酸後，套上注射筒橡皮塞，收集約30 mL的氯氣備用，如圖所示。



7. 共需收集兩針筒氯氣，分別標示為B1及B2。

## 實驗結果討論

1. 在實驗中，次氯酸鈉與鹽酸反應產生的氣體為何？你觀察到甚麼特殊性質呢？
2. 丟入彩色紙條後的變化，屬於哪一種化學反應？氣體所扮演的角色為何？
3. 以針筒收集氯氣的過程中，哪一步驟最困難呢？

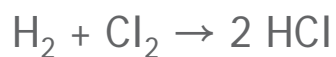
# 光化學反應(3)

## 氫氣與氯氣的光化學反應

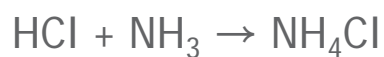
桃園國中 陳鼎元老師  
青埔國中 江淑惠老師  
同德國中 蕭家銘老師

## 光化學反應原理

### ▶ 氫氣與氯氣的光化學反應

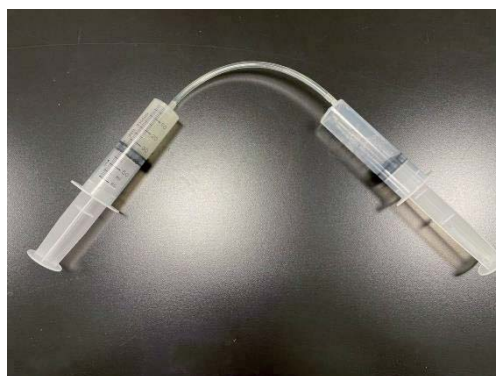


### ▶ 反應後氣體的檢驗



## 炫光扳機-光化學反應步驟

1. 關閉室內燈源，緊密地連接注射筒A1與含有橡皮管的注射筒B1在一起，如圖所示。



## 炫光扳機-光化學反應步驟

2. 連續地推拉針筒推桿（活塞）多次，使兩支注射筒內的氣體儘可能完全混合均勻。
  3. 取下橡皮管將混合好的注射筒氣體注入試管，並且妥善塞上橡皮塞，僅注入半量即可。
  4. 戴上太陽眼鏡及耳塞，以不同的光源（紅光、綠光、紫外光）照射試管，觀察變化情形。
- ▶ 注意：照光之前，務必不可有人員在注射筒的前端和後端的附近。照光時，最好戴上耳塞。

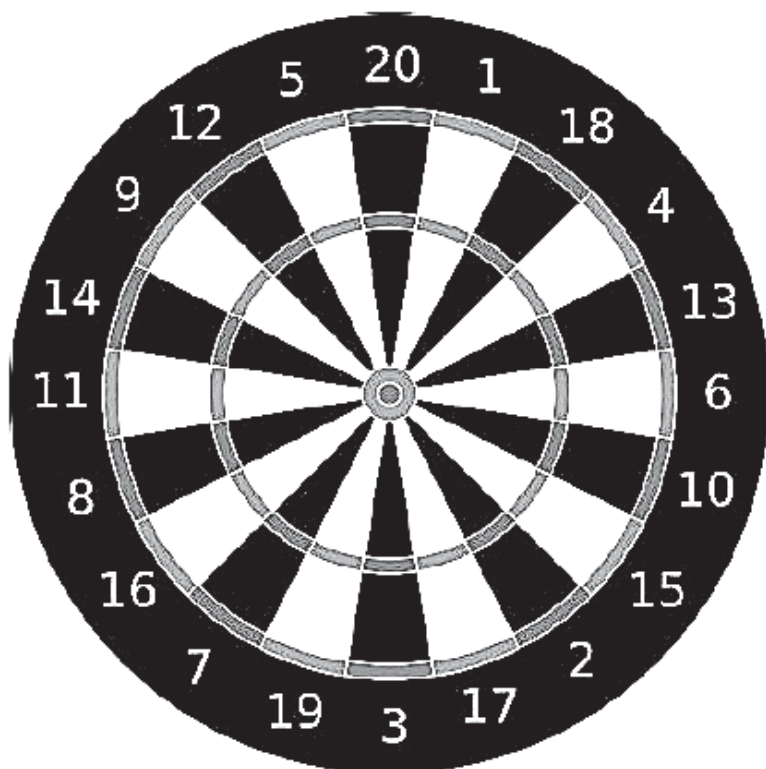
## 反應後氣體的檢驗步驟

1. 將照光反應後的試管以鐵架架好，如圖所示。
2. 反應後以棉花棒沾取一些濃氨水，靠近試管口，觀察並記錄其變化。



## 以光扳機打靶遊戲步驟

1. 取注射筒A2與含有橡皮管的注射筒B2在一起。
2. 連續地推拉針筒推桿（活塞）多次，使兩支注射筒內的氣體儘可能完全混合均勻。
3. 取下橡皮管將混合好的注射筒氣體注入試管（僅注入半根試管量即可），自行調整試管位置和角度，並且妥善塞上橡皮塞。
4. 戴上太陽眼鏡及耳塞，以特定光源照射試管，並讓橡皮塞射出打靶。



## 實驗結果討論

1. 利用哪一種光源照射後，試管內的氣體有反應？請寫出平衡反應式。
2. 所照光線在反應中所扮演的角色是什麼？
3. 沾氨水的棉花棒靠近試管口，發生什麼變化？請推測該物質為何？除此之外，還可用哪些方式檢驗產生的物質？

# 光化學反應(4)光化學煙霧探究

桃園國中 陳鼎元老師  
青埔國中 江淑惠老師  
同德國中 蕭家銘老師

## 光化學霧文章閱讀

### ► 光化學霧 科普文章閱讀

文章來源：科學Online 高瞻自然科學教學資源平台

作者：臺北縣立三民高級中學化學科林妙津老師

責任編輯：國立臺灣大學化學系陳藹然博士



## 建議探究題目

- ▶ 光化學煙霧的成因與介紹
- ▶ 光化學煙霧的類型
- ▶ 光化學煙霧的防治

可從較著名的法國巴黎的光化學煙霧事件與美國洛杉磯、紐約的光化學煙霧事件去搜尋，了解不同的光化學煙霧事件。

- 各組請完成學習單，以學習單為基礎，每組報告時間3~5分鐘，