

探討人造彩虹及雲霧雪露罐之製造

國中組地球科學第一名

雲林縣土庫國民中學

作者：王素華、張玉鳳等七名
指導老師：張武宏



一、研究動機

經常在陣雨後看到天空高懸著彩虹，常覺自然界的奇妙，同時看到天空中的雲彩隨時千變萬化，甚至早晨露珠以及晨霧等之各種現象時時地誘惑着我們，一股求知慾望之推動，想探究此自然界的大學問。馬克吐溫有一句名言，到現在常被引用：「人們見了面總喜歡談論天氣，但是却很少人去設法了解天氣。」氣象

學是一種專門的學問，想要把它研究透澈，很不容易，然而我們藉著許多經過特別設計的簡單儀器，一一將此大奧秘，剖析出來

二、研究目的

- (一)從觀察陽光通過水或厚玻璃，會產生色散現象的事實，推測白光是由不同顏色的單色光聚合而成，並設計實驗方法來驗證推論的結果。
- (二)藉增加容器壓力及接觸冷卻物體，而產生雲霧雪露等天然現象，演繹出自然界現象形成之物理條件。
- (三)訓練設計實驗方法及研究應用簡單儀器，解釋自然界的真諦；以便發揮智慧的機會。

三、研究方法及思路過程

- (一)探討白光如何色散及彩虹形成的原理。

實驗一：白光照射水中鏡子的色散現象。

1 材料：塑膠水槽、平面鏡、清水、白紙屏、量角器。

2 方法：

- (1)在塑膠槽內放約 $3 / 4$ 的清水，將平面鏡對著白光，斜豎於水槽邊緣，讓光線能照射得到。
- (2)移動平面鏡，使白光照射水中鏡子的角度改變，仔細觀察在什麼情況下，白紙屏上會有美麗的色光出現。
- (3)繼續變動白光照射的角度，所形成的色光有否消失？
- (4)使白紙屏呈現美麗的七彩色光，此是，若水面搖動，有何現象發生。

3. 結果：白太陽光照射水中鏡子的角度

鏡子面向陽光		鏡子背面向陽光	
平面鏡 移動角度	色散效果	平面鏡 移動角度	色散效果
51 - 90	無顯現	51 - 90	無顯現
46 - 50	"	46 - 50	"
41 - 45	光譜顯現	41 - 45	"
36 - 40	"	36 - 40	"
31 - 50	無顯現	31 - 35	"
0 - 30	"	0 - 30	"

4. 討論：

- (1) 白光照射水中鏡子的角度，約成 $40^{\circ} - 42^{\circ}$ ，白紙屏上能形成美麗的七彩色光。
- (2) 白光照射角度改變，或水面搖動時，不發生色散現象。
- (3) 白光照射水中鏡面時，光線會發生折射→反射→折射。
- (4) 利用水中的鏡子，使陽光分散形成各種不同顏色的色光；設計二方法探討，一為鏡子面向陽光，另一為鏡子背向陽光。移動平面鏡在水中之角度，則在 $40^{\circ} - 42^{\circ}$ 呈色散現象。

實驗二：三稜鏡的色散實驗

探討 I :

1 材料：三稜鏡、白紙屏。

2 方法：

(1) 在較爲暗淡的室內，靠近窗邊，手取三稜鏡，使陽光能照射得到。

(2) 調整光照射三稜鏡的角度，觀察白紙屏上有何現象發生？是否任何的照射角度都會發生色散現象。

(3) 觀察各種色光分佈的情形，那一種色光偏折最大？那一種偏折最小。

(4) 比較陽光經過三稜鏡和陽光照射水槽內平面鏡，發生色彩的情形，想一想，兩者有何相似的地方？

3 結果：三稜鏡可使太陽光分散成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種顏色的色光。

4. 討論：

(1) 陽光色散現象和三稜鏡的照射角度有關。

(2) 陽光通過稜鏡時，各種色光在玻璃中的速度不同，以紅光的速度最快，紫光的速度最慢；即紅光的折射率最小，偏折最少；紫光的折射率最大，偏折最多；其他色光則介於兩者之間形成色帶現象。

(3) 白光（陽光）通過三稜鏡可分成七種彩色光；若使白光透過紅玻璃（紅色光）或透過藍玻璃（藍色光）的光線照射三稜鏡，則無法再分成色光。由此可知，單色光線和太陽的白光迥然不同。做分光實驗時，可將用三稜鏡分成的色光，再用凸透鏡或三稜鏡來聚成白色光，以驗證太陽光是由許多色光聚合而成的。

探討 II:

1 材料：等腰直角三稜鏡兩個，凸透鏡一個，白紙屏。

2 方法：

(1) 取一等腰直角三稜鏡，靠近窗邊，使陽光斜射在稜鏡的一面，將白紙屏立於稜鏡的另一邊。

- (2) 改變陽光照射三稜鏡的角度，仔細觀察光線通過三稜鏡後的屈折情形，白紙屏上有什麼現象發生？
- (3) 討論白紙屏上各種色光屈折的情形，指出何者偏折最大？
- (4) 將凸透鏡或三稜鏡置於白紙屏前，使色散後的各種色光重新會聚，觀察有何變化發生？

3. 結果：

- (1) 色光聚合，復成白光。
- (2) 紫色光屈折最大，紅色光屈折最小。

4. 討論：

- (1) 操作此項實驗，應保持室內暗淡，利用平面鏡導入太陽光線的寬度不可太大。
- (2) 由三稜鏡所造成光偏向的實驗中，可知其偏向程度隨光線所通過兩稜鏡面間的夾角，入射面上入射線的方向以及稜鏡的折射率而定。三者中，僅折射率隨不同顏色的光而改變，即折射率與入射光的頻率有關，頻率愈高，折射率愈大。
- (3) 一般玻璃對紫色光的折色率要比紅色光大 1%，故白光經過三稜鏡之後，以紫光的偏向最大，紅光的偏向最小。
- (4) 色散後的各種色光，重行會聚，其變化圖型如下頁圖例：

實驗三：奇異的三色板、牛頓色板及顏料之混合。

1 材料：硬紙板、色紙（紅、綠、藍）、漿糊、剪刀、木棍。 高速旋轉馬達（可任意調節轉速）。

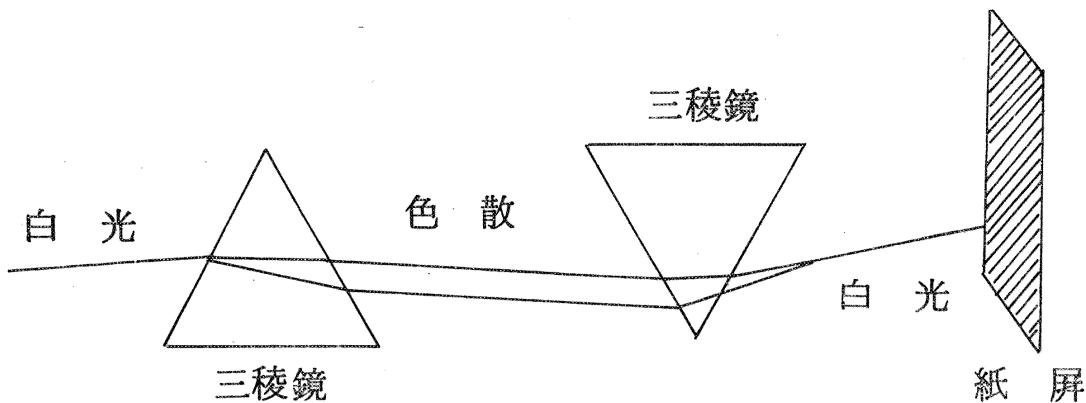
2 探討 I

- (1) 將硬紙板剪成一張直徑約 12 公分的圓形板。
- (2) 另取紅、綠、藍三色紙，按色板面積，均勻剪裁。
- (3) 用漿糊貼上。
- (4) 在圓板中心穿一小孔恰可容木棍通過。
- (5) 以圓木棍為軸，迅速旋轉，仔細觀察，此時板上有什麼顏色出現？
- (6) 當圓形板旋轉速度逐漸減慢時，色板上的顏色如何變化？

3 探討 II

- (1) 將厚紙板剪成一個直徑約 12 公分的圓形板，區分為六等分。
- (2) 按圓形板各部份的面積，用剪刀將色紙裁好，以漿糊貼緊
- (3) 使圓形迅速旋轉，仔細觀察，圓形板會呈現什麼顏色？
- (4) 改換圓形板上的色紙，用紅、綠、藍三色重做觀察，所得結果如何？
- (5) 將紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫各種色紙按不同等分和種類，依次貼上圓形板，迅速旋轉，比較各組觀察結果。

4. 探討 III：利用數種顏料分別混合，探討其呈色。



結果：表一 色板高速混合呈色效果

顏 種 類 色 類	紅	橙	黃	綠	藍	靛	紫	呈色效果
二色板	1/2	1/2						深橙色
二色板	1/2		1/2					深黄色
二色板		1/2		1/2				黄土色
二色板			1/2	1/2				黄色
二色板				1/2			1/2	橄榄色
三色板				1/2		1/2		绿色
三色板	1/3			1/3	1/3			白色
三色板	1/3	1/3	1/3					黄橙色
三色板	1/3				1/3		1/3	
三色板	1/3			1/3		1/3		深茶色
三色板	1/3					1/3	1/3	米红色
三色板		1/3	1/3	1/3				
三色板			1/3	1/3	1/3			浅绿色
三色板				1/3	1/3		1/3	深蓝色
四色板	1/4	1/4			1/4	1/4		深红色
四色板	1/4		1/4		1/4		1/4	淡茶色
四色板		1/4		1/4	1/4		1/4	紫红色
五色板	1/5	1/5		1/5	1/5	1/5		
五色板		1/5	1/5	1/5	1/5		1/5	紫红色
六色板	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6		1/6	黄土色
牛頓板	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	灰色色

表二 各種顏色混合，所呈現顏色

混合 效果 顏 料 顏料	紅	橙	黃	綠	藍	靛	紫
紅	紅	朱	淺朱	黑綠	深藍	靛紫	淺紫
橙		朱	橙	淺橙	暗綠	暗藍	深土
黃	淺朱	淺橙	黃	青綠	深	橄欖	深茶
綠	黑綠	暗綠	青綠	綠	深青	天空色	黑綠
藍	深藍	暗藍	深綠	綠藍	藍	淺藍	紫藍
靛	紫靛	深土	橄欖	天空色	淺藍	靛	深紫
紫	淺紫	茶	深茶	黑綠	紫藍	深紫	紫

5. 討論：

- (1)任何色光，都可以由紅、綠、藍三種單色光配合而成。所以這三種色光，叫做「光的三原色」。
- (2)七種色光混合在一起，可以複合成白光，但是把七種水彩顏料，調在一起，則變成黑色。因顏料互相混合，它的性質和色光混合完全不同。色光的混合是各單色光作用的相加的結果，顏料混合的作用，是相減的結果。
- (3)黃光和藍光混合，呈現白光，但是黃顏料和藍顏料混合，就變成綠色，此乃黃顏料能反射黃光和少量綠光。藍顏料能反射藍光和少量綠光。兩種顏料混合後，只能共同反射綠光，其他各色光則全被吸收。因此變成綠色。
- (4)根據實驗結果：如果把紅、黃、藍三色顏料，用不同的分量配合，就可以調配成一切的顏色，故紅、黃、藍稱為顏

料的「三原色」，又叫「三色板」此三種顏色不能由其他顏色調配而成。

(5)我們利用高速旋轉馬達探討不同種顏色板（二色板、三色板、四色板…牛頓板）混合在一起之呈色情況。牛頓色板，是按照太陽光譜中，各種顏色的比例利用色紙剪貼而成的。由各色板呈色情況，可以詳細解釋說明白光是由七種色光所複合而成的。

實驗四：透明體及不透明體的顏色。

1 材料：硬紙板，各種顏色的玻璃紙、白紙、手電筒，各種顏色的玻璃片或透明壓克力。

2 探討 I：

- (1)在硬紙板中央挖一個小洞，使白光經由小洞照射到桌面上的白紙。
- (2)用紅色的玻璃紙遮住小洞，觀察白紙上顯現什麼顏色。
- (3)改用綠色玻璃紙及其他顏色的玻璃紙遮住小洞，重做上述觀察，白紙上顯現的顏色如何？比較兩者有何關係？

3 探討 II：

- (1)手取蘋果（或其他顏色的不透明體），在陽光下仔細觀察它的顏色。
- (2)陽光經由洞口照射在暗淡室內桌面上的白紙及蘋果。
- (3)用紅色玻璃紙遮住洞口，蘋果顏色有何變化。
- (4)改用其他顏色玻璃紙探討之。

4 結果：

白紙上所呈現的顏色和玻璃紙的顏色相同。

5 討論：

- (1)物體具有不同的顏色，這是由於物體對於色光吸收或反射的本領，各不相同的緣故。
- (2)不透明體的顏色，是要看它把不能吸收的色光反射出來而定。
- (3)太陽的白光照射在蘋果上，因蘋果只反射紅光，其他六種

色光均被吸收了，因此呈現紅色。

- (4)由實驗觀察中體會不透明體能反射和其相同顏色，而吸收其他不同顏色的色光。
- (5)白色的物體能反射白光中所有的白光，黑色的物體能吸收所有的色光。

實驗五：人造彩虹

探討 I：

1 材料：圓底燒杯、清水、白色硬紙板。

2 方法：

- (1)在硬紙板中央開一個小洞，靠近窗邊固定好，使陽光從小洞中能照射進來。
- (2)取一盛滿清水的圓底燒瓶，靠近紙板小洞調節陽光照射的方向，觀察白色硬紙板上，是否有美麗的彩虹形成？

3 結果：在白幕上形成半圓形之光譜，如將白幕置於圓底燒瓶之後，則形成多重且上下相反之半圓形光譜。

4 討論：

- (1)此實驗，必須用平面鏡，將太陽光聚集到圓底燒瓶上，由於入射光角度不同，則形成之光譜會顯現在燒瓶左右兩前側。
- (2)此實驗，所得到的彩色圓或圓圖和空中形成天然的紅，非常相似。
- (3)根據此實驗，雨後空中出現的紅，是由陽光色散的結果。太陽光被水滴分散成七種色光，虹就是這樣產生。
- (4)雨後的天空，水蒸氣很多，其中有些結合成小水滴，飄浮在空中，每個小水珠就像三稜鏡一樣，會把太陽光分成七種色光。
- (5)太陽光射入這些懸浮在空中的小水滴後，經過折射和全反射，把水滴色散成七種色光，虹的色帶分明，一定是紅的排在最外面，其他顏色一條緊接一條的順弱排下來，最裏面的才是紫的。

(6)有的時候，在虹的外面，還會出現第二道虹，它的色帶排法是反過來的，紅的在裏面，紫的在最外面，此第二道虹，叫做霓。

探討 II :

1 材料：臉盆、白紙、水。

2 方法：

(1)盆裏裝好水。

(2)將長條白紙置入盆中。

(3)調節方向，使白紙能映出光譜。

3 結果：

在白紙的一端，可以顯現明顯之光譜。

4 討論：

(1)做此項實驗時，盆裏的水要 15 公分以上，否則光譜不易形成。

(2)將長條白紙置入盆中，要使太陽光能照射到長條白紙上，且經由此面白紙反射而將虹顯現在臉盆之另一端。由於調節太陽光照射角度不一樣，因此虹也不易顯現。

探討 III :

1 材料：燒杯、清水、厚紙板、刀片、白紙屏。

2 方法：

(1)取一燒杯盛滿清水，放在靠窗邊的桌面上。

(2)使陽光經由細縫照射在燒杯中的水面，探討光線透過水中時，白紙屏有何現象發生。

(3)另以玻璃水槽代替燒杯，重複觀察。

3 結果：

在燒杯底側可得虹，如用大玻璃水槽，虹更清晰且較大

4 討論：

(1)此項探討器材簡單，易於操作，如於燒杯中置入一載玻片，調整此載玻片角度為 45 度，亦可製得美麗的虹。且此載玻片傾斜面須對着太陽光。此裝置就有如一水製成之等

腰三稜鏡，因此其效果跟玻璃三稜鏡一樣可製得虹。

- (2)利用此項方法，可普遍讓一班同學，各持一裝有載玻片與水之燒杯，同時尋找出太陽光譜來。
- (3)讓學生各持一透明筆管（S·K·B原子筆）旋轉筆管，使適當光線照射，也可得到太陽光譜。筆管外型製成無數小平面，就有如無數小稜鏡，因此當陽光照射入筆管，太陽也經折射、全反射而顯現出彩虹。

探討 IV：

1 材料：

安全牌手搖式噴霧器（容量 18 公升）水、白熾燈、水銀燈、鎂光燈等。

2 方法：

- (1)利用晨朗的早晨至夕陽西下，此段有太陽時間內，背對着太陽，以樹檣或草坪當背景，觀察何角度、距離可見到彩虹。
- (2)利用安全牌手搖式噴霧器，置於室內，利用白熾燈、水銀燈、鎂光燈等，探討其是否可產生彩虹。

3 結果：

表一 噴霧頭孔數呈色效果

種類	噴霧頭 單孔	噴霧頭 四孔	噴霧頭 七孔
呈色效果	呈色尚可 僅彩虹曲率 小	呈色較單 孔良彩虹 曲率較大	呈色最優 彩虹曲率 最 大

表二 各類燈源呈色效果

種類	白熾燈	水銀燈	鎂光燈
呈色效果	尚無法找出呈色角度	尚無法找出呈色角度	尚無法找出呈色角度

4. 討論：

- (1)手搖式噴霧器裏面裝置有一空氣壓縮銅罐，當施壓時，銅罐內之水受壓，即刻由出水管口被壓出，由於出水管口裝有針孔式的噴霧頭，因此噴出之水珠很小，有如天然霧般。
- (2)手搖式噴霧器，為使用於農業上噴洒農藥用，本次探討，將噴霧出口經改裝成直立式於筒上。捨去了橡皮導管，為了便於向上噴霧實驗。
- (3)此種噴霧器攜帶方便，適於班級活動教學。唯一缺點為需一位同學就近不時施壓於此噴霧機，否則噴霧高度會隨是否施加壓力，而增減形成霧之高度。因此在探討V中，我們增購動力高壓噴霧送水機(TS-28型)，更廣泛探討形成彩虹之某些因素和方法。
- (4)探討人造彩虹，我們直接利用太陽光源來形成彩虹，其所形成的虹和天然彩虹，完全相同，僅是天然彩虹非平常就可看到，而人造彩虹主要有太陽光便可隨時製造出人造彩虹。
- (5)我們看天然虹，一定要背著太陽，不然就看不到虹了，這就是說，早晨的虹在西方出現，黃昏的虹在東方出現。正中午的時候，太陽在我們頭頂的空中，當陽光垂直射入水滴時，因為不發生折射，所以我們就看不到它了。
- (6)我們曾嘗試利用白熾燈、水銀燈及鎂光燈，看其是否能產

生彩虹否，然而到寫報告時，尚無法找出其能呈色散之角度，我們將深入探討。

探討 V :

1 材料：

動力高壓噴霧送水機（TS—28型），高壓噴霧導管（25公尺），馬達（1馬力），濾水器，蓄水筒，噴霧頭升降架

2 動力高壓噴霧送水機規格（TS—28型）：

(1)氣缸數・活塞直徑・活塞行程 = $3 \times 28 \times 20$

(2)回轉數（r.p.m）噴霧：800—1,200

灌水：1,600

(3)常用（最高）壓力：21 (35) Kg/cm²

(4)出水量：噴霧 28—40 Kg/min，灌水 60Kg/min

(5)所需馬力：1.0 H.P.

(6)噴霧器上壓力表：0, 10, 20, 30, 40, 50 Kg/cm²

3 方法：

(1)藉動力高壓噴霧送水機能形成寬、廣、大之霧，用以探討不同噴霧方向（垂直向上（90°），傾斜（45°），水平（0°），垂直向下（-90°））當時太陽光入射角度，以及觀測虹的角度。

(2)噴霧器霧點大小測定法：

方法 1 讓雨點在瞬間進入一盛有麵粉的盤中。每一滴雨點會產生一個由麵粉及水形成的小圓球或小丸。小丸乾了後，測量其直徑。

方法 2 把軟片在霧（雨）中曝光，霧（雨）點浸濕了軟片。濕點的體積，可以關連上原來霧（雨）體的大小。

方法 3 取圓紙片濾紙（直徑 15 公分），濾紙上輕輕覆上一層甲基藍粉末（或將濾紙及甲基藍粉末共同打入一密閉容器中，上下振搖，亦可將甲基藍均勻染在濾紙上）。用手指激烈的彈在紙的另一邊

，使多餘粉末不附在紙上。即可使用。

：適用於小雨點的測量。

方法 4. 取一直徑約 15 公分的木環，把尼龍紗緊緊地張在環上，上面覆著糖粉。

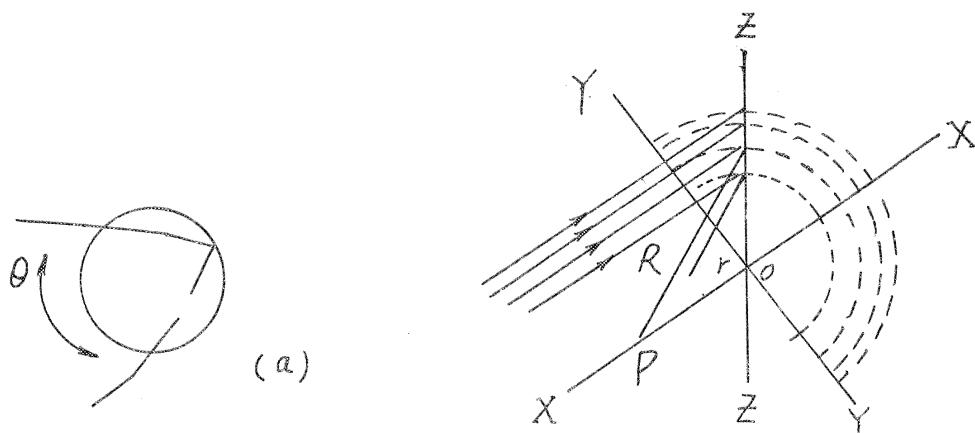
適用於大雨點的測量。

4. 討論：

(1) 虹（霓之產生），為雨滴對日光之折射、色散與內部反射之聯合效應。如果觀測之條件合適，則可見兩個弓形，在內者稱為虹，在外者稱為霓。內方之虹比較清楚，其外邊為紅色，內邊為紫色；外方之霓比較清淡，其光色之序列與虹者相反。

(2) 虹之形成如次：

假設日光為水平者，其射至雨滴之情形，如圖(a)所示。此光在第一表面處折射，有一部份折射光即在第二表面處反射，之後復在前面穿出。

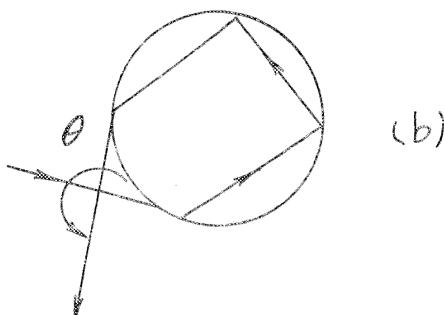


(3) 如果有某一色之光，射於雨滴上某一點時，可以發生最大之偏向時；則其他所有與此同色之光，射於雨滴上此點之附近者，均循與第一光，極近相同之反射方向反射之。故每一光均在其最大偏向之方向反射。紅光之最大偏向角為 138° ，即 θ 角為 $180^\circ - 138^\circ = 42^\circ$ ，紫光之相當值為 $180^\circ - 140^\circ = 40^\circ$ ，其它色彩者，則居於其中間位置。

(4)假想，一觀察者在圖中 P 點。X-Y 平面為水平者，日光以自左並平行於 X 軸之方內照射之。所有雨滴，在對 P 點包角為 42° ，且在以 O 為圓心之圓周上者，均以強烈之紅光反射至 P。在圓周上對 P 點包角為 40° 之雨滴，則均反射強烈之紫光，其居彼等中間位置之雨滴，則反射光譜之中間色彩。

(5)虹圓弧之中心 O 點，可以視為 P 點在 Y-Z 平面之影。太陽自水平上界時，O 點即向下移，因此太陽之高度愈高，能見之弓形亦愈少。顯然可知者，如果太陽之仰角大於 42° ，則在地面上之觀察者，即不得再能見虹。反之，如果一觀察者在一較高之位置，則 O 點向上移，而可以得見較大之弓形。

(6)霓係經兩次內反射所產生，光線在某一特殊方向反射者，其所含光色之大部份，乃為此光色在此方向有最大之偏向角者。因為此處之偏向角為 θ ，又因為紫色之偏向角較諸紅色者為甚，故在霓中，紫色向下偏向之角較諸紅色者為甚，此所以霓之內邊為紅，外邊為紫。彼等之相當角，紅光者 50.5° ，紫光者為 54° 。如圖(b)所示



(7)上述之討論為天然彩虹（霓）形成之原因，由於天然彩虹必須於雨後初晴方可見到，在普通時候不易見，因此，為了知識領域之困難，深入地探討人造彩虹形成之方法，以及改進注意事項。

- (8)初期探討人造彩虹時，購買背負手搖式噴霧器，由於需隨時由人工施力，且噴霧不高，霧滴也不多，彩虹不明顯，因此，增資填購動力高壓噴霧送水機，如此可方便了實驗。因使用動力高壓噴霧機。每分鐘可噴出 28 – 40 公斤之霧水珠，且噴霧器每平方公分，可施力至 40 公斤，且直徑 14 cm 方圓中有霧珠 493 粒。
- (9)噴霧頭之以多孔式所噴出之霧點及形成彩虹較明顯。此次分別以 1 公尺高、2 公尺高，且不同角度來噴霧，因 2 公尺太高，且易受風之吹散而消失，故觀察較不易，而以 1 公尺高，水平噴霧所得效果最佳。
- (10)觀察人造彩虹，背景如能以草坪當襯托，且儘可能接近噴霧器，距離一、二公尺，便可完全且清楚看到彩虹。
- (11)做此項實驗時，以日光強烈的時候，效果最好，且最清楚，如果陽光不強烈的話，只能見到一團光彩，色環間的界線都不清楚。
- (12)如置身於噴霧中間，那麼人影就可以投射在彩虹圈環裏面，整個彩虹圍著人影，剛好和佛像一樣，這就是著名的「峨嵋寶光」了。峨嵋為我國大陸佛教的勝地，寺廟很多，由於峨嵋山的山腰經常水氣彌漫，從山上看下來，正是一片雲海，寶光（彩虹）就是出現在這些雲海上。此次人造彩虹之探討，我們如果置身於噴霧中間，亦可見到「峨嵋寶光」，那是佛祖顯靈（自然景觀）看到的人是有福了。
- (13)要測量霧點大小，其效果以甲基藍染濾紙，盆裝麵粉所得較佳，由糖粉觀測較不易，由實驗得知，霧滴直徑，麵粉盤 2.26 mm，圓型濾紙 0.86 mm，木環上糖粉 1.76 mm，其單位面積霧點數目為 $35.2 \text{ 粒}/\text{cm}^2$ 。
- (14)人造彩虹之觀測在任何位置均可以，只要背向太陽。因此本實驗，為求數據有一標準，因此決定距彩虹形成垂直距離 2 公尺為基準點，而得到結果。彩虹曲率半徑為尋求彩虹圓心，然後另一同學在霧點中代打記號，用直尺量測即

得。

(二) 探討雲霧、雪露之成因及雪霧罐之製造

實驗六：

探討一：人造雲（霧）

1 材料：大瓶子（容量在一加侖左右，且附有自動開關及打氣活塞）。打氣筒。水（或酒精、石油醚、丙酮……）。

2 方法：

(1) 在瓶子裡放一定量水（或酒精、石油醚……）。

(2) 塞上塞子，向瓶內打氣，分別以貳次、四次、六次、八次、十次，作比較。

(3) 迅速打開自動開關，觀察瓶內成雲情形。

3 結果：雲霧罐容量 3050 ml

(表一)

效 果 \ 打 氣 次 數	二 次	四 次	六 次	八 次	十 次
酒 精					
100 ml	劣	可	良	優	優
200 ml	可	良	優	優	特 優
300 ml	良	優	特 優	特 優	特特 優
400 ml	良	優	特 優	特 優	特特 優

(表二)

效 果 打 氣 次 數 水	二 次	四 次	六 次	八 次	十 次
100 ml	劣	可	良	良好	優
200 ml	稍劣	尚可	良	略優	優
300 ml	可	良	略優	優	較優
400 ml	良	略優	優	較優	特優

(表三)

效 果 打 氣 次 數 丙 酮	二 次	四 次	六 次	八 次	十 次
100 ml	劣	良	略優	優	優
200 ml	略良	良	優	優	特優
300 ml	略良	良	優	優	特優
400 ml	略良	良	優	特優	特優

(表四)

效 打 氣 次 數 果 石 油 醚	二 次	四 次	六 次	八 次	十 次
100 ml	劣	良	略 良	優	優
200 ml	可	良	優	優	較 優
300 ml	良	略 良	優	較 優	特 優
400 ml	略 良	略 良	優	較 優	特 優

4. 討論：

- (1) 瓶裡的雲(霧)是怎樣形成的呢？原來當把空氣打進瓶子的時候，瓶子裡的空氣，受到壓縮，溫度升高了，空氣溫度升高，能包含較多的水蒸汽。
- (2) 當打開自動開關時，瓶內空氣突然膨脹，溫度驟然下降，不能再保持這樣多水蒸汽，一部分凝結成小水滴，這樣就變成了雲霧。
- (3) 向瓶內打氣次數，和成霧之厚薄，呈正比例，亦即打氣次數愈多，雲霧形成愈濃厚。
- (4) 瓶裡裝揮發性愈大之溶液，成雲霧效果也愈大。
- (5) 本實驗，採用易揮發之溶液，與水來比較，結果其成雲霧效果次序為丙酮>石油醚>酒精>水。
- (6) 實驗上雲霧量之大小厚薄表示法：

雲量 表示法	90%以上	85%	75%	50%	25%	0%
方法 I	+5	+4	+3	+2	+1	0
方法 II	特 優	優	良	可	劣	無
十分量	陰 天	陰 天	多 雲	多 雲	晴 天	晴 天
八分量	密 雲	裂 雲	裂 雲	疏 雲	疏 雲	碧 空

探討二：人造雲（霧）

1 材料：廣口瓶、塩酸、氨水、玻璃片。

2 方法：

- (1)先滴幾滴塩酸入廣口瓶，再滴氨水。
- (2)迅速將玻片蓋住。

3 結果：

產生白色煙霧狀微輕之氯化銨。

4 討論：

- (1)塩酸中之氯化氫氣體遇到氨水中之氨氣體，即立刻發生化學變化，生成氯化銨之煙霧狀固體微粒。
- (2)塩酸及氨水之量愈多，則成雲霧之效果厚度也就愈大。
- (3)在氣象觀測上，規定能見度不足一公里才能稱為霧，如果能見度達一公里或以上而不足二公里者，稱為「輕霧」或「靄」(mist)。
- (4)塩酸和氨水在化學領域上，是能互相檢驗它們的存在與否，在示範雲霧形成方面是一種很好的示範教材。

探討三：人造霧

1 材料：大、小二燒杯、冰、食鹽、玻璃棒。

2 方法：

(1)在小燒杯內放入冰、鹽（比例 3:1）混合。

(2)將此放冰鹽之冷劑，置入較大燒杯中。

(3)將開水沖進較大燒杯中。

(4)用玻片蓋住。

3. 結果：用蓋子蓋住可看出霧之形成。

4. 討論：

(1)冰加食鹽，可使溫度降低到比冰還要低之冷劑。

(2)把裝有這種冷劑的大燒杯，裝入大燒杯裡，倒開水於兩燒杯間，蒸氣即成霧狀的無數小水珠，這也可稱為霧。真正的霧是潮濕空氣被冷卻後而形成。

(3)此項探討，可以說明演示蒸氣霧形成之原因。

探討四：雲狀的觀測

1. 材料：照相機、標準雲圖圖鑑

2. 方法：

(1)隨時注意天空中雲的結構及發展情況。

(2)攝製彩片圖片。

3. 結果：攝製得到十屬雲型：

(1)卷雲（符號 Ci）：

是一種細緻而分散的雲，具有纖維組織，像頭髮亂絲或馬尾。日出日落時顯示紅色或橘紅色。為一種最高的雲，清晨太陽尚未達地平線，就已經照到這種雲。

(2)卷層雲（符號 Cs）：

最高最薄的一層雲幕，彷彿亂絲織成的幕，太陽或月亮被遮掩的時候，仍能看到它的輪廓，且其周圍出現一種「暈」（halo）。暈是一種彩色不大明顯的光環，色帶排列是內紅外紫。暈是卷層雲內的冰晶折射或反射陽光而產生。卷層雲有時候很薄，僅現天空見魚肚色。

(3)卷積雲（符號 Cc）：

此種雲很少出現，滿佈天時，稱它為「鯖魚天」，個體小呈白色而無雲彩，有時成波浪狀，大都和卷雲或卷層雲

同時出現。

(4)高層雲（符號 As）：

此種雲掩蔽全天的時候，使人產生陰沉之感，當此雲要轉變成雨層雲時之前，常有疏落的雨滴降下。

(5)高積雲（符號 Ac）：

個體比卷積雲大，中央具有雲影，常連成一片，底部具有波浪形，或排成一長列，或交織成棋盤狀。有時像群羊倦伏，有時像無數雲母片，也有像豆莢狀或小塊棉絮狀。

(6)層積雲（符號 Sc）：

個體比高積雲更大，外形較柔和，結構不大明顯。如果連成一片，則底部具有波浪形態和明暗相間的灰色陰影，層積雲大都像巨大的滾軸。

(7)層雲（符號 St）：

層雲是一種均勻一致的灰白色低雲，像霧，但不和地面相接，當它籠罩在山腰的時候，邊緣有下瀉的姿態。層雲有時被風吹散，成無定形的小塊，稱為「碎層雲」（符號 Fs）。

(8)雨層雲（符號 Ns）：

雨層雲是一種典型的壞天氣雲，黯黑而無定形，很像破布，使天空因而陰暗，凡屬持久性的雨，一定是從雨層雲內降落。

(9)積雲（符號 Cu）：

積雲彷彿棉花堆，底部平坦而不規則，頂部則圓丘狀。疏落的積雲，如果垂直發展不太明顯，則為「晴天積雨」。有時積雨也會發展很高，頂部像花菜或塔狀，稱為「濃積雲」。

(10)積雨雲（符號 Cb）：

積雲再向上發展，到達卷雲高度，頂部成為鐵砧狀，具有纖維組織，即成為積雨雲，所以陣雨或雷雨，都是從這種雲內降低。

積雨雲到達天頂，或者周圍被其他雲遮蔽時，就很難識別，此時唯有靠雷電和雨的性質來決定。積雲和積雨雲的區分不僅可以從雲頂的姿態看出來，雲底也可作為識別的標準。積雲有明顯而平坦的底，積雨雲則雲底黯黑，難以分辨。

4. 討論：

(1) 雲是空氣中水汽凝結的產物，它們的大小各異，形狀各別，但仔細觀察，也能發現它們的形狀特徵有相同的地方，因此可以歸納成若干類。此事實雖然很早就知道，但一直到一八九五年國際間才同意，將雲分成十屬。

(2) 近世由於氣象衛星的問世，整個地球的雲型都能攝成照片，再加上飛機上得到的雲狀照片，使我們對於這一方面的知識大為增加。

(3) 雲量之觀測，通常採十分量，但航空及航海，現在都已改用八分量。雲量之多少為以天空的視面積為準。

(4) 雲量表示法：

十分量：平常，習俗上之表示法。

1. 晴天：雲量不足 2 者。

2. 多雲：雲量 2 ~ 8 者。

3. 陰天：雲量超過 8 者。

八分量：使用航空、航海之表示法。

1. 碧天：雲量不足 1 者。

2. 疏雲：雲量 1 ~ 5 者。

3. 裂雲：雲量 6 ~ 9 者。

4. 密雲：雲量超過 9 者。

(5) 根據國際規定，依據雲底之高度可分為四族，其下並分十屬，列表如下：

族	屬	國 際 名	國 際 符 號	平均高度 (Km)		
				極區	溫帶	熱帶
高 雲 族 (3 ~ 18 Km)	1 卷 雲	Cirrus	Ci	3-8	5-13	6-18
	2 卷積雲	Cirrocumulus	Cc	"	"	"
	3 卷層雲	Cirrostratus	Cs	"	"	"
中 雲 族 (2 ~ 8 Km)	4 高積雲	altocumulus	Ac	2-4	2-7	2-8
	5 高層雲	altostratus	As	"	"	"
低 雲 族 (0 ~ 8 Km)	6 層稱雲	stratocumulus	Sc	0-2	0-2	0-2
	7 層 雲	stratus	St			
	8 雨層雲	mimbostratus	Ns	2-4	2-7	2-8
直 展 雲 族 (0.5 Km 以上)	9 積 雲	cumulus	Cu			
	10 積雨雲	cumulonimbus	Cb			

(6)簡述雲的種類如下：

A高雲族：(high clouds)

又可分爲三類：即卷雲、卷積雲、卷層雲。雲底高度平均在地面上 6000 至 12000 公尺之間，此處之溫度均在凝結點以下，故其質點均爲水晶體。是爲水晶雲。

B中雲族：(middle clouds)

其中包含二類，即高積雲與高層雲。普通高層雲雖均在中層，但有時常能伸展更高，雲底高度平均在地面上 2440 至 6000 公尺之間，多爲水滴組成。

C低雲族：(low clouds)

其中包含三類：層積雲、層雲及雨層雲。其中雨層雲雖在低層，惟常伸入其他層內。本族雲底約在 2440 公尺以下，最低時幾可接觸地面。

D直展雲族：(Vertical development clouds)

又可分爲二類：即積雲與積雨雲。雲底高度約離地 488 公尺至 6000 公尺之間，惟其頂部常發展至 12000 公尺以上，故雲體多由水滴組成，但高聳之頂部常有水晶出現。

(7)雲之基本形狀變化無窮，因此我們在探討雲之種類及形狀，常覺雲之變化在瞬間，尤其山頂之積雨雲之形成，由開始至形成積雨雲僅十幾分時間。

(8)卷層雲之後繼起高層雲時，爲一二日內有壞天氣之徵。天空變陰，但爲高雲，白而透光，繼而卷層雲之水晶變爲高層雲之水滴時，雲層即加厚變爲純灰色。

(9)卷積雲與高積雲出現時天空極美，雖爲積雲狀雲，其厚度約數百公尺。層雲與積雲，高積雲與高層雲均有合併出現可能。

(10)一單獨雲塊之形狀，亦常顯示風的結構。

信風雲來自東方，但其頂部傾向東方，顯示東風風速向上遞減。風之切變爲由西向東。各雲之下部直立，而頂部傾

斜，則可能為頂部滲入上層西風氣層之徵。雲之形狀可顯示大氣中風變層開始於何處。

探討五：霧的觀測

1 材料：照相機

2 方法：

- (1) 晨昏隨時觀察霧的濃厚及發展情況，且做成觀察記錄。
- (2) 攝製彩色圖片。

3 結果：

(1)幅射霧：

無雲無風長夜，日落時相對濕度增高，易成幅射霧。日出時行車於有起伏的郊野，如見低處舖霧，高處凸出於晴空中，則必為冷空氣下墜所成之幅射霧出現最頻之時，仍因冬夜長，秋季空氣中水份重之故。

(2)平流霧：

熱空氣在冷地面平流時，極易成霧，惟成霧之因與幅射霧大異。此種霧必與中等強風相偕，倘霧已成，則風速愈大，此霧層亦愈厚，此霧大多在多雲天氣生成。

4. 討論：

- (1) 霧乃肉眼不能辨察之小水滴所組成，聚集並懸浮於近地面之空氣中，以其為數極多，使水平能見度減至不足一公里
- (2) 霧中之水滴，其直徑約自十分之一公厘至百分之一公厘。
- (3) 以天氣學之觀點，一般霧分為「氣團霧」與「鋒面霧」兩大類，每類再接其成因區分如下：

A 氣團霧：

- (A)幅射霧： a 低霧 b 大陸高逆溫霧
- (B)平流霧： a 海霧 b 热帶空氣霧 c 蒸汽霧
- (C)平流幅射霧
- (D)低溫霧
- (E)升坡霧
- (F)海岸高逆溫霧

B 鋒面霧：

(A)鋒前霧 (B)鋒後霧 (C)鋒際霧

(4)雨後初晴，地面及附近空氣因兼具濕潤與強烈輻射之條件，故夜間最易成霧。

(5)輻射霧為好天氣之徵兆，其上大都為碧空，太陽上升後地面受熱，即可將之驅散。

(6)構成平流霧之條件有三：

A 暖濕空氣在寒冷表面上平流。

B 寒冷之表面，使流動之空氣冷卻，最後達到飽和。

C 涡流混合使此飽和之氣層伸展至相當高度。

(7)夏日清晨，湖面或溪谷水面上常有蒸汽長柱升起。因當時空氣溫度，約較水溫低 10°C ，由水面蒸發出來之水汽，可立即使空氣過飽和，水汽在空氣中重新凝結，並隨時從下面受熱的空氣上升，形成蒸汽霧。

(8)台灣之霧在每年十二月至翌年四月間最易發生，且最濃，範圍亦較廣，這種霧多由南來之溫暖氣流，經過寒冷之地面或海面而成，不但範圍廣，而且經歷的時間也較長，甚至數日不散。七、八月為最少霧之時期。

(9)由於台灣全島並無赤裸寬廣而逐漸上升的山嶺，且中央山脈為南北走向，南北向氣流幾乎和它平行，因此上坡霧在台灣並不重要，僅不過偶而作為一個因素摻雜其間而已，純輻射霧或平流霧在台灣亦甚少見，大部份均為平流輻射霧。

(10)一月至三月，全島有兩個多霧區：①台北地區：平均每月有十天。②嘉義、虎尾之間：平均每月有六天。四月至六月，多霧區只剩台北地區，平均每月有八天，嘉義、虎尾間每月祇有兩天而已，七、八、九月間，台北地區平均每月有六天，其他地區很少有霧出現，十、十一月份，全島兩個多霧區之霧日相當，平均皆為六天，十二月增加到每月有八天。而且逐漸向北擴張到台中地區。

(1)根據研究，成霧必須要具備下列幾項條件：

A 風速要小。

表示無擾動現象。風速以小於每秒三・三公尺為最適當

B 當天夜晚有下層（950 mb 以下）逆溫存在：

表示天氣穩定。

C 風向隨高度呈順轉：表示暖氣流源源而入。

D 白天雲量在八分之四以下，而夜晚天空晴朗。

表示輻射冷却旺盛，地表失熱特甚。

E 溫度、露點適當：

溫度代表空氣中之熱量。

露點代表低層水氣含量。

實驗七

探討一：人造雪

1 材料：鉛桶、冰、鹽、厚布袋、小鐵罐、黑紙（或複寫紙）、針、乾冰。

2 方法：

(1)取鉛桶裝滿冰和鹽。

(2)空的小鐵罐，裡壁和底上糊上黑紙或複寫紙。

(3)把鐵罐埋入冰和鹽的混合物內，鐵罐上面的邊和混合物的面相齊。

(4)等到鐵罐充分冷却後，向罐內呼氣。

(5)將已冷却的針，放在鐵罐中。（或由乾冰上刮下冰屑投入罐中）。

3 結果：

(1)將冷却的針，投入鐵罐中，便可看到雪花形成。

(2)或將冰屑投入雲霧中，也可生成雪花。

4 討論：

(1)冰塊先要放在厚布袋裡，用搗敲碎，然後混入食鹽，比例是三分冰加入一分鹽，則其冷却效果最好。

(2)鐵罐充分冷却後，向罐內呼氣，因罐內有黑紙襯著，很容

易看出有小水點組成的雲霧形成。

(3)這些小水點雖沒有結冰，但它們的溫度却低于水的凝固點

(4)用乾冰上刮下冰屑比冷却至 -33.3°C 之針，效果好。

探討二：人造雪

1 材料：硼酸、大小燒杯、酒精燈及三腳架。

2 方法：

(1)燒杯裝半杯水，加入三匙的硼酸。

(2)置於酒精架上加熱，到沸騰為止，要不停的擾動，直到硼酸全部溶解。

(3)取另一燒杯置入冷水盤中。

(4)將完全溶解的硼酸溶液，慢慢倒入置入冷水盤中之燒杯內

(5)注意觀察溶液慢慢冷却情況。

3 結果：杯中溶液慢慢有雪花落下。

4 討論：

(1)一般固體在熱水中溶解的量，比在冷水中要多，硼酸也是如此。

(2)當溶液冷却時，溶解過多的硼酸，便呈白色固體出現。

(3)一般固體，在水中的溶解度是隨溫度上升增大。降低溫度時，在低溫無法溶解的固體，就會結晶出來。

(4)天上的雪花，是雲中水滴結成冰，再一一連在一塊成雪花飄落下來。

(5)世界上，沒有兩個相同的雪花，仍因冰在結成雪花時，風吹、溫度，甚至水份多寡都會影響結晶，故沒有兩片雪花是相同的。

探討三：人造雪

1 材料：鐘罩瓶、木塞、蒸發皿、酒精燈、安息香酸

2 方法：

(1)取鐘罩，內置幾枝有綠葉的樹枝。

(2)底板（石棉板）的中央預先開一個洞，放一瓷製的蒸發皿

(3)在蒸發皿中盛少量安息香酸結晶體。

(4)加熱，觀察。

3. 結果：安息香酸受熱，即起昇華作用，附着在鐘罩內之樹枝上，看上去就像積着雪花一樣。

4. 討論：

(1)本實驗為利用固體受熱後不經過液體，而直接變為氣體之昇華現象。

(2)由於安息香酸受熱極易昇華，且遇溫度較低之樹枝葉，即附着在樹枝上，就有如下雪後，自然界景物鋪蓋了一層雪花似的，十分好看。

(3)剛開始加熱時，鐘罩上之蓋子，應稍微打開，以使鐘罩內之空氣，易於流溢出飄外。移去酒精燈，再把它蓋好。

(4)安息香酸為具有芳香性之針狀結晶，為工業方面重要之防腐劑。

實驗八

探討一：人造霧

1 材料：醚、玻璃

2 方法：將適量之醚傾倒於玻璃片上，藉蒸發醚，使玻片冷卻

3 結果：玻片上有露珠形成。

4. 討論：

(1)塗抹醚於玻片上，由於醚揮發需吸收相當的熱，而使接觸玻璃，溫度下降，而周圍含水汽的空氣，亦會溫度下降冷卻達露點，因而釋放出水珠，即為露。

(2)夜晚在地面鋪金屬片可加速凝露，使金屬片稍稍傾斜，以物承之，即可收得露水。

(3)夜晚溫度降低，飽和溫度亦降，相對濕度升高。當地面上之草或汽車表面空氣冷卻達露點，則其表面，即有露珠凝結形成。

探討二：人造露

1 材料：毛髮濕度計、塑膠袋

2 方法：

- (1) 將毛髮度計放入透明塑膠袋中，充滿空氣後，將袋口封閉
- (2) 觀察袋內的濕度計。
- (3) 用吹風機加熱塑膠袋內的空氣，再觀察濕度計。
- (4) 放置半小時後，等袋內的溫度下降後再觀察。

3. 結果：

溫 露 度 點	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
60 %	7 °	12 °	16.5 °	21.5 °	26 °
65 %	8.5 °	13.5 °	17.5 °	22 °	27.5 °
70 %	9.2 °	14.3 °	19 °	23.5 °	28 °
80 %	11.3 °	15.6 °	21 °	25.5 °	31 °
85 %		17.5 °	23 °	27 °	32 °

4. 結論：

- (1) 袋內的空氣，因與外界隔開，其水量保持不變，但當加熱而溫度升高，則相對濕度降低，反之當袋內的溫度降低，則袋內的濕度再升高。
- (2) 高溫的空氣中，含較多的水蒸氣（飽和水量多），因此，白天溫度高，空氣中的水蒸氣，仍未達飽和，不易形成露，但夜間，溫度降低空氣中無法容量太多水蒸汽，此超過空氣容量之過飽和水蒸汽，即凝成露。

四、雪露雲霧罐（雪霧罐）之製作

(一)目的：藉雲霧雪露形成原因，利用冷凍、冷凝壓縮等原理，製作雪霧罐，以達地球科學教學最大效果。

(二)材料：

散熱片	一副	300 V 安培表	一隻
散熱電扇	一隻	15 A 安培表	一隻
壓縮機	一隻	青紅燈	二隻
$\frac{3}{8}$ 銅管	100 英尺	壓克力圓筒	一個
乾燥器	一隻	鋼片機座	一台
起動開關	一隻	實心銅柱	一隻
電容器	一隻	溫度計	10. 隻
濕度表	一隻	電動送風機	一隻
溫度表	一隻	錐形瓶	三隻
小電扇	一隻	導 管	2 公尺
$1\frac{1}{2}$ 銅管	0.5kg	乾冰連高壓鋼筒	一隻

(三)雪露雲霧罐製作原理：

1 利用加壓降溫：

一密閉容器之銅管內，裝有冷媒 (Freon)，利用壓縮機，快速地加壓此容器內之冷媒，同時散熱片不斷將冷媒所釋放出來的熱量散發到空氣中，如此可在極短時間內使其溫度達到冰點以下，則銅管附近空氣內之水汽昇華即成為「雪」。

2 利用降溫增加濕度：

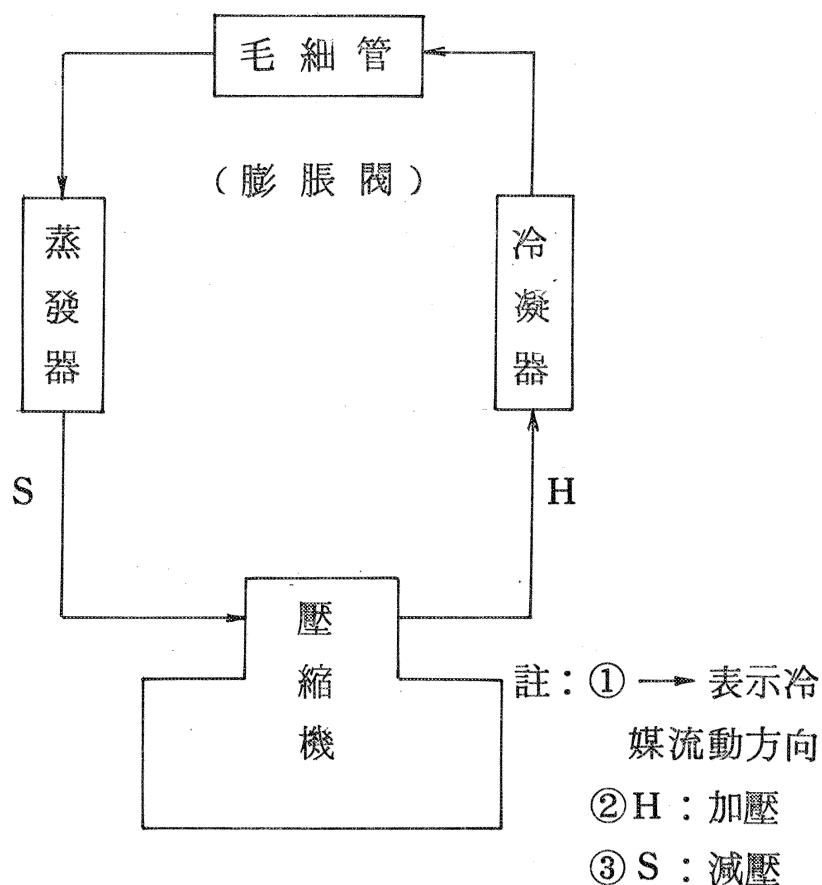
電動送風機將大量水汽送入雪霧罐中，因罐中溫度降低，飽和濕度亦降，相對濕度升高。當相對濕度升至百分之百時，氣溫乃達露點溫度。此為定壓下，凝結前，空氣冷卻時所能達到的最低溫度。罐中之金屬及器物上便有「露」形成。

3 利用增加壓力，增加濕度：

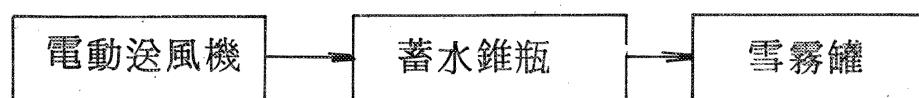
高速加壓機壓縮雪霧罐，則罐內空氣溫度上升，空氣溫度升高，能包含較多的水蒸汽，當打開自動開關時，罐內空氣突然膨脹，溫度驟然下降，不能再保持這麼多水蒸汽，一部分凝結成小水滴，這樣就變成了雲（霧）。

4. 雪露雲霧罐製作流程簡圖

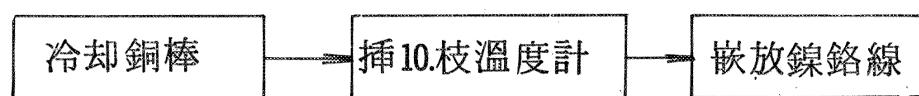
圖一：冷媒冷却流动流程圖



圖二：飽和水蒸汽流程圖：

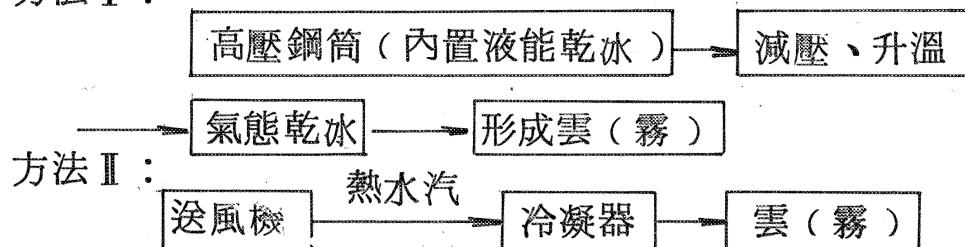


圖三：露點測定器及露製作流程圖



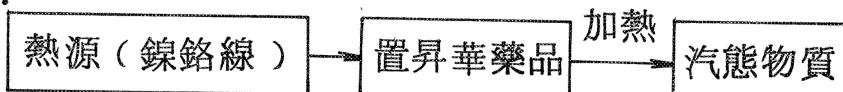
圖四：實驗雲霧形成流程圖

方法 I :

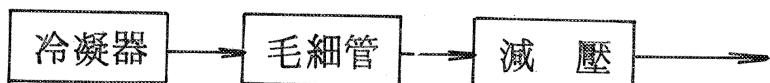


圖五：人造雪製作流程圖

方法 I：



方法 II：



四、討論

(一) 當冷凍劑被動進行物理變化時，可以產生冷凍作用。冷凍作業的實例，有 1 液態空氣通過一個噴嘴而膨脹。2 一個電流通過一個兩種金屬焊接處所發生的冷卻。3 化水所發生的冷卻。

(二) 冷凍最有用和最常採用的物理變化是從液態變為氣態的變化，就是利用它們蒸氣的壓縮環。在這方法中，從壓縮機壓出的高壓冷凍劑蒸氣，進入一熱交換器 (heat exchange) 或冷凝器 (condenser)，冷凝，把壓縮機加上的功和蒸發潛熱放出來，冷凝物流經一個峽口 (毛細管，膨脹閥或類似裝置)，使壓力降低，如此有適量的冷凍劑蒸發，使餘剩液體的溫度降低，而能適應較低的壓力。這液態蒸氣的混合物，再進入蒸發器 (evaporator)，吸收和液態冷凍劑蒸發潛熱一樣多的熱量，變成蒸汽，最後這低壓蒸汽，最後這低壓蒸汽再進入壓縮機，完成了這壓縮環 (Compression cycle)。

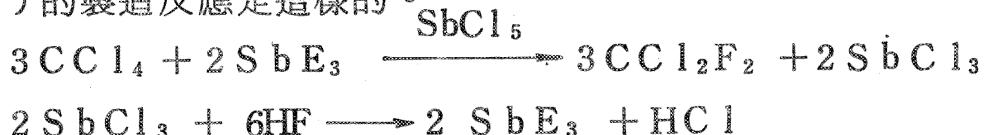
(三) 冷凍劑的作用，是把熱從低溫轉運到高溫階段。這在冷凝器中放出的熱和在蒸發器中吸收熱的比，是叫作冷凍劑的作業係數 (Coefficient of performance, COP)。一般而論，因

爲在壓縮機中，有功加入到冷凍劑中，所以加熱的作業係數比冷卻的作業係數要大。

(四)最早冷凍設備是採用氨，但最早的家庭用冷凍機採用二氧化硫，氯化乙烷，或氯化甲烷作冷凍劑。

我們這次雪霧罐中壓縮機是採用無毒安全，不然的 freon 當冷凍劑（冷媒），freon 是氯化或氯化的炭氫化合物，適合於大部份的用途，現在差不多所有的家用冷凍劑和空氣調節器（air-conditioning machines）均普遍使用。

(五)Ereon是種商品名，是具有氟原子的冷凍劑，在適宜的有機氯化物中用氟，替代氯而製成，好像 Ereon-12(二氯二氟化甲烷)的製造反應是這樣的。



(六)在裝置雪霧罐中之壓縮環，需要預防微小的裂漏，防止含有潮氣的空氣吸入機器系統中，使真空操作失效（因潮濕空氣會產生冰結和腐蝕作用，使生高的冷凝壓力，需要用超額的動力），因此冷凍劑在操作狀況必備最低溫度時，需要有一蒸發壓力比大氣壓力略高，亦即得到更低的冷凝壓力，而使冷凍系統裝置達便宜，輕巧及更安全。

(七)我們在雪霧罐中裝置了一組露點測定器之露之形成冷凝棒。利用市面上產售的銅棒（直徑 4 公分，長 50 公分），用最細的砂紙將表面磨光，直到能照明物體爲止。且在銅棒上半端，鑿孔 10 處，以便插溫度計，銅棒下半端燒 $\frac{3}{8}$ 銅管，當冷卻器。在銅棒頂端安放二個直徑 10 公分厚 3 公分之鋼板，內嵌入二枚鎳鉻線 (80 w)，當通電源時，即可使銅棒形成上溫下冷的金屬棒。不久，在光亮的銅棒面上，就產生有露和無露的境界，由此界線上的溫度，我們可以知道雪霧罐中形成露的溫度。

(八)我們利用液態乾冰來實驗，演示雲霧形成的原因及形狀。其可分別說明有雲的上升氣流，雖有凝結潛熱釋出，其向上的氣溫遞減率，可能較周圍無雲的大氣爲快。

(九)利用安息香酸受熱昇華，冷凝立刻形成白色質輕物質用以擬示雪，可實地說明下雪情況及景緻。

五、結論

茲將本次探討所得結果分述於後：

- (一)白光經過屈折後，可以分散形成不同顏色的單色光。
- (二)白光照射水中鏡子的角度約成 $40^{\circ} \sim 42^{\circ}$ ，白紙屏上能形成美麗的七彩色光。
- (三)白光照射角度改變，或水面搖動時，不發生色散現象。
- (四)陽光色散現象和三稜鏡的照射角度有關，且各種色光依一定順序排列，呈現規律性。紅光偏折最小，紫光偏折最大。
- (五)三角板的顏色和旋轉速度有關，快速旋轉時，則呈白色。不同顏色的色光，可以互相混合形成白光。
- (六)陽光照射瓶內清水的角度與彩虹的形成有關。
- (七)人造彩虹的噴霧頭孔數愈多，且離地一公尺，水平噴霧以草坪做襯，所形成彩虹效果最佳，且觀測彩虹的角度為 $40 \sim 45^{\circ}$ ，如位置一定，彩虹隨視線上下而移動。每日觀測人造彩虹最佳時間為上午9時~11時，下午2時~4時，且彩虹的鮮艷度隨陽光的強弱呈正比例。
- (八)人如置身於人造噴霧中，則可見到彩色的光圈，此種景色可以和我國大陸四川省佛教的勝地峨嵋山著名的「峨嵋寶光」相媲美。
- (九)雲霧雪露之成因與溫度，相對濕度以及大氣壓力有密切之關係

：

1層雲，為上升氣流之雲，雖有凝結潛熱釋出，其向上的氣溫遞減率，可能較周圍無雲的大氣快。因此迫使造成大區域向水平方向發展的雲層。

2. 積雲爲周圍大氣較有雲的上升氣流爲冷，則雲的溫度較周圍大氣高 3°C ，直達 500 毫巴層，其上升加速甚強，形成之雲垂直發展較大，水平延伸較小，形若堆積。
 3. 積雨雲爲雲頂開始結冰時雲形乃呈砧狀，邊緣模糊成乳白色
 4. 卷雲爲全爲冰晶組成之雲亦稱高雲，其高度鮮有低于七千六百公尺者。
 5. 本省以平流幅射霧的出現最頻繁，霧季爲冬半年，尤以十二、一、二及三月爲最多，午後風速每秒在 3.3 公尺以下時，成霧之機率最大。
- (+) 雲霧雪露罐內經設計裝置有一露點計，若露點和氣溫相接近，則表示相對濕度甚高，或空氣甚潤濕，反之，若露點比氣溫低很多，則表示相對溫度低，或空氣乾燥之意。

六、我們來展望

- (→) 此次探討人造彩虹，只是一種起端，我們將繼續探討，當不同季節時（春分、夏至、秋分、冬至）其彩虹曲率半徑有何不同？其觀測角度是否各季節不同呢？以及彩虹頂點距地面的高度又是怎樣的呢？如何找出某一種光源，而能在教室內便可製造人造彩虹的呢？
- (←) 對於雪霧罐的功能如何發揮？如何將此項創意，適度地應用到地球科學教學領域？我們更深地期望熱愛自然，嚮往自然的學者，朋友能給予我們熱烈地批評及指教。謝謝。

評語：實驗工具在設計上頗具巧思，能利用家庭用具發揮實驗功能。實驗的題材配合教材提高學習興趣。有構想，有方法也有結果，數據與圖片非常豐富，若能加以精簡將更完善。