

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組物理科

040121

國立屏東女子高級中學

指導老師姓名

林鴻源

高千惠

作者姓名

柯幸秀

簡孜芸

張雲清

中華民國第四十四屆中小學科展覽會

作品說明書

科別：物理

組別：高中組

作品名稱：海市蜃樓

關鍵詞：折射率、全反射、成像位置

編號：

目錄

壹、摘要	1
貳、研究動機	1
參、研究目的	1
肆、實驗器材	1
伍、研究過程及方法	3
陸、實驗結果	7
柒、討論	16
捌、結論	19
玖、參考資料	19

壹、摘要

海市蜃樓形成的原理就我們所知只有一個：光線經過多層折射率不同的均勻介質，當折射角大於或等於 90 度時，光直接全反射。既然海市蜃樓是因為光通過折射率不同之均勻介質而產生，於是我們由最簡單的現象著手：探討物體在一層的各均勻介質中，其折射率與成像位置的關係、介質厚度與成像位置的關係、不同均勻液體層數與成像位置的關係，並由實驗結果，揣測光在自然界的行徑路徑。

貳、研究動機

生活中隨處可察覺到許多科學現象。常聽到「海市蜃樓」這個名詞，但不清楚它的成因。高一物理課教了折射，物理老師在黑板上畫了一個模擬海市蜃樓的示意圖，並說明此圖示是由於靠近地面的高溫空氣和較上層的低溫空氣，因為密度的不同，以至於折射率的漸層差異，繼而造成全反射，導致海市蜃樓的成像。

所以，我們想利用不同的簡易液體做實驗，模擬出海市蜃樓的成像與光線的全反射路徑，並量化它，進而找出致使海市蜃樓之成像變化的因素。

參、研究目的

- 一、模擬簡易海市蜃樓的現象
- 二、各種液體折射率排序與量測
- 三、探討折射率與密度之間的關係
- 四、探討各種液體之成像的位置
- 五、探討同一種液體之厚度與物體成像位置的關係
- 六、探討液體分層之多寡與物體成像位置的關係

肆、實驗器材

一、容器類：

(一) 壓克力水槽：《大》直立式 412 mm × 300 mm × 153 mm

《中》直立式 385 mm × 161 mm × 52 mm

《小》平躺式 300 mm × 185 mm × 31 mm

〔二〕半圓形壓克力（或塑膠）容器八個-直徑為 120 mm

〔三〕試管《中》數支

二、器材類：

〔一〕玻棒〔二〕滴管數支〔三〕試管架1架〔四〕雷射筆2隻〔五〕方眼紙 A4 規格〔六〕大頭針1盒〔七〕厚紙板數片〔八〕透明膠帶2捲〔九〕標籤紙 大、小 各一張。

三、測量工具：

〔一〕30cm 長尺3把〔二〕量角器3個〔三〕150 cm 皮尺

四、液體類

〔一〕甘油〔二〕統一 ADE 葵花油〔三〕喜瑞 橄欖油〔四〕雄獅 漿糊〔五〕統一 大豆沙拉油〔六〕95 % 酒精〔七〕20 % 食鹽水〔臺鹽 高級精鹽〕〔八〕17 % 糖水〔臺糖 精製細糖〕〔九〕悅氏 礦泉水〔十〕迷你健康洋菜粉〔十一〕光泉 鮮果多葡萄汁。



圖一

實驗器材組

圖二



伍、研究過程與方法

一、原理

由高一物理課本，知道光行經熱空氣層(密度較小)的速率較冷空氣層(密度較大)快，因此，由遠處物體所發出的光線不是沿直線進入我們的眼睛，而是類似拋物線的曲線，使我們以為是從路面下物體的倒影所發出的。

光從光疏介質進入光密介質時，折射角會較入射角小，折射線偏向法線。因折射角隨入射角的增加而變大，故當折射角等於 90 度時，光會被全反射。利用此種性質，可以藉由不同折射率的介質，觀察不同折射率的介質發生全反射時的成像情形和位置，並利用結果推測出光線行進的路徑。

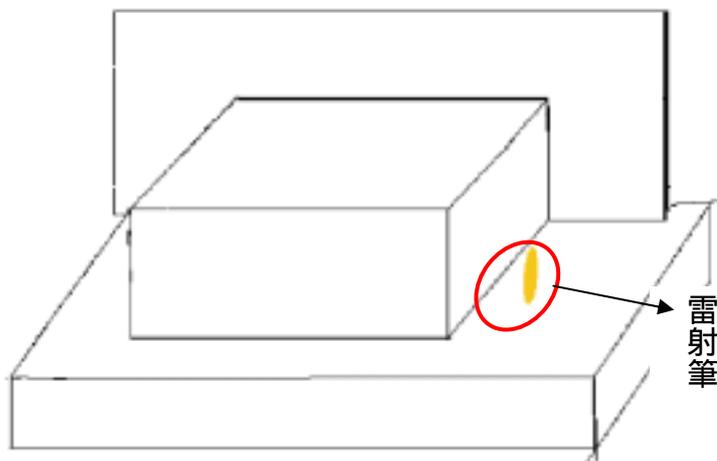
二、實驗方法

利用壓克力水槽找出實驗折射率不同的單層液體的成像位置、和同一種液體厚度與成像位置的關係，最後利用不同折射率的液體逐層疊起，觀察其成像情形。

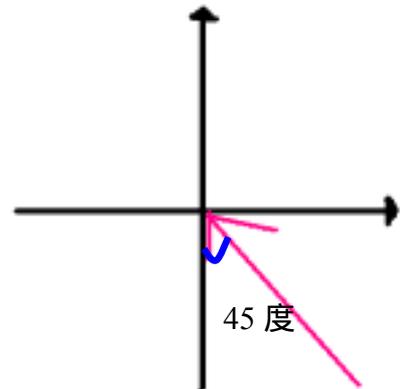
三、實驗過程

(一) 簡易海市蜃樓模擬

- 1.將水槽(大)裝入 2/3 滿的水，再將一支筆放在水槽的一端，人從另一端觀察海市蜃樓。
- 2.用紙板將光害減少，將雷射光由水槽一側射入液體，觀察其光路徑。



圖三 簡易海市蜃樓之儀器架設

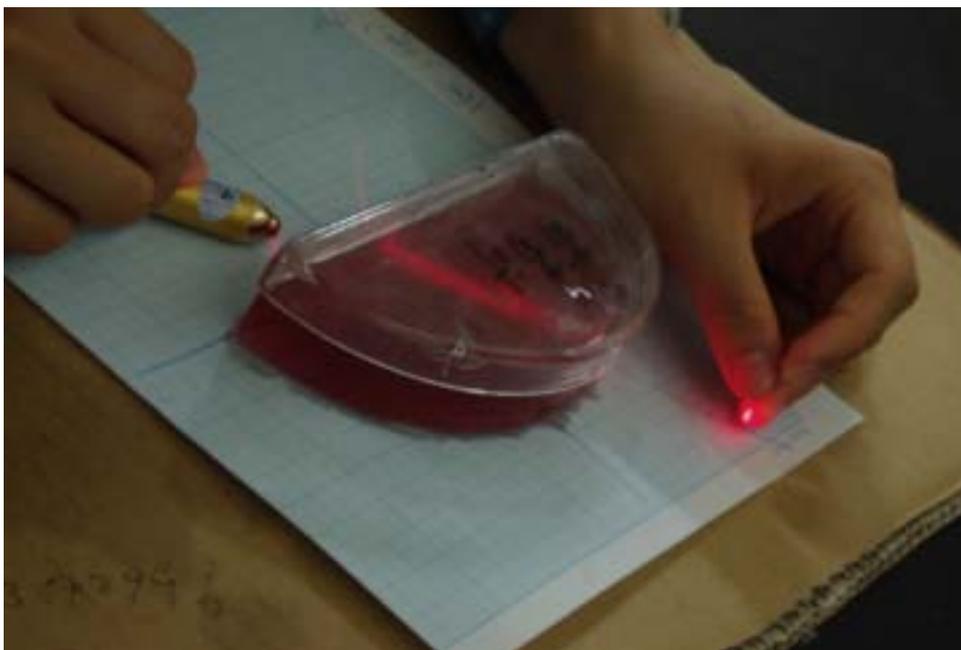


圖四

(二) 液體折射率的測量

- 1.拿一張紙板將一張方眼紙用大頭針固定，標出 x 軸與 y 軸。並在第四象限畫出一通過原點、入射角為 45 度的光路徑，如圖四所示。再於圓形壓克力容器底面的直徑上標出中點。
- 2.各液體分別倒入半圓形壓克力容器中，並將容器底面的直徑對齊 x 軸，底面直徑的中點對齊 y 軸。
- 3.拿雷射筆沿此通過原點，入射角為 45 度的光路徑射進入液體中。

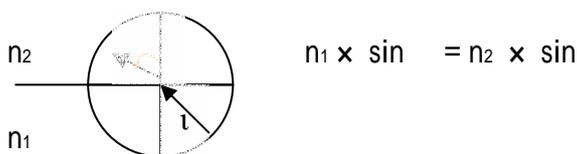
4.利用大頭針反射雷射光，依反射之最亮點來找尋最正確的光路徑，連續在方眼紙上刺 3~5 個點，並連成一直線，如圖五所示。



圖五 利用大頭針反射雷射光，點出光路徑。

5.利用量角器測出折射角，再代入司奈耳定律 *註一 求出其折射率。並登錄於表一

註一：司奈耳定律



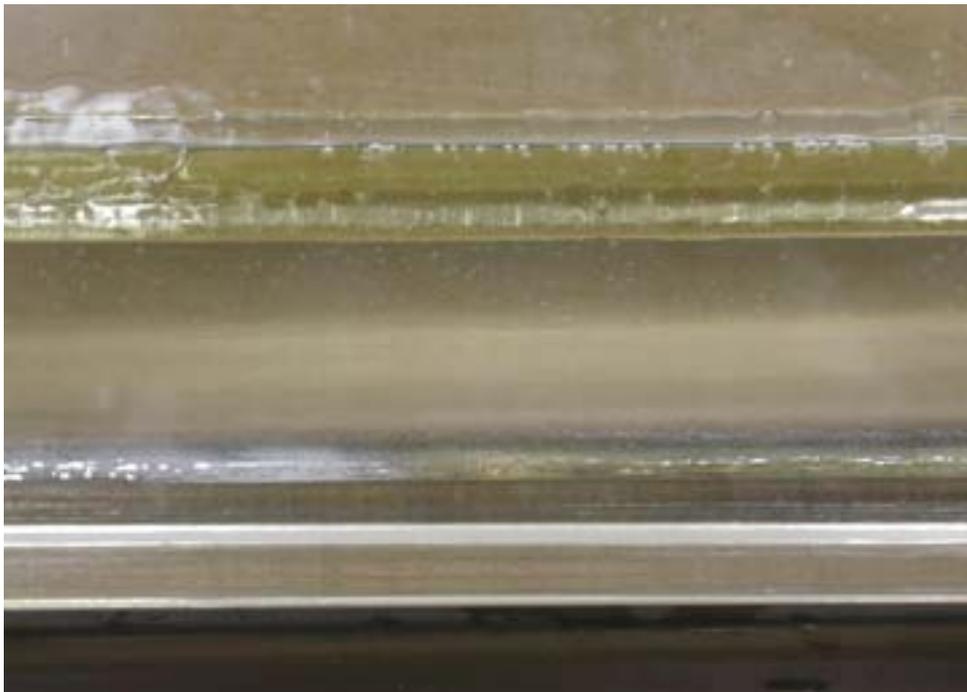
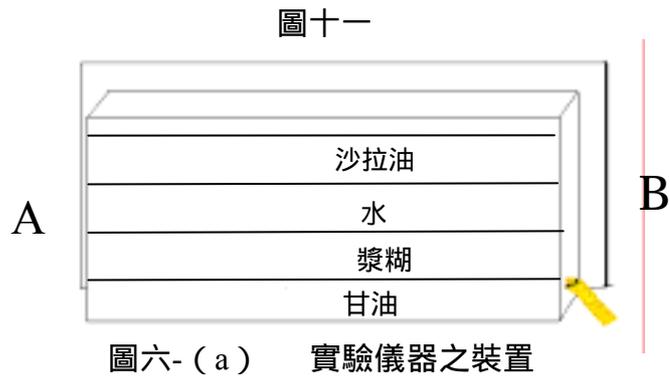
(三) 各種液體的密度排序

- 1.先將任二種不同液體雙雙各用滴管取數毫升，並滴入試管中比較其密度。
- 2.依照實驗結果整理，比較出其密度大小。並分別登錄於表二、三、四。

(四) 密度和折射率吻合的液體分層排列模擬海市蜃樓

- 1.利用(二)(三)的結果，找出密度和折射率吻合的液體分層排列，登錄於表五
- 2.將沙拉油、水、漿糊、甘油等四種液體，依折射率由大至小，依序倒入直立式水槽(385 mm x161 mm x52 mm)，其中各液體倒入約一樣高度，並觀察其成像，如圖六-(a)所示。

3.用紙板將光害減少，將雷射光由最底層液體射入，讓光線都能經過全部的介質，觀察其光路徑。



圖六-(b) 由下而上依序為：甘油、漿糊、水、沙拉油之實際

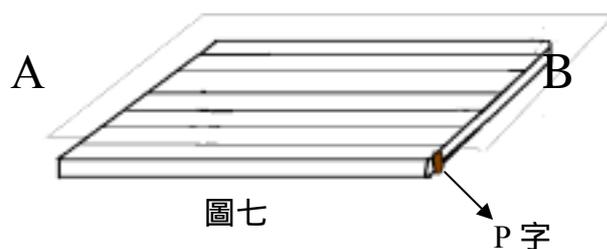
(五) 探討一層的各液體之成像情形

- 1.將甘油倒入有隔板的平躺式壓克力水槽 (300 mm x185 mm x31 mm) 的第一層。
- 2.將物體”P”字固定於 B 側第一格，眼睛都從 A 側尋找成像，如下頁圖七所示。
- 3.將筆懸空指在用眼角餘光看到成像位置的上方，由另一人記下延長線連接到尺的刻度，並記錄於表六。
- 4.在有隔板平躺式壓克力水槽 (300 mm x85 mm x1 mm) 的第一層再分別倒入礦泉水、16 % 糖水、橄欖油。
- 5.重複 2、3 步驟。

6.利用個別的折射率得知其臨界角，算出其成像高度，模擬光路徑圖並繪出於圖十四、圖十六、圖十八、圖二十。

(六) 同一液體之厚度與物體成像的關係

1 將甘油倒入有隔板的平躺式壓克力水槽 (300 mm x185 mm x31 mm) 的第一層。



圖七

2.將物體”P”字固定於 B 側第一格，眼睛都從 A 側尋找成像，如圖七所示。

3.將筆懸空指在用眼角餘光看到成像位置的上方，由另一人記下延長線連接到尺的刻度，並記錄於表十。

4.依序倒入第二、三、四、五、六層甘油。

5.重複 2、3 步驟。

(七) 物體分層之多寡與物體成像的關係

1.將甘油倒入有隔板的平躺式壓克力水槽 (300 mm x185 mm x31 mm) 的第一層。

2.將物體”P”字固定於 B 側第一格，眼睛都從 A 側尋找成像，如圖七所示。

3.將筆懸空指在用眼角餘光看到成像位置的上方，由另一人記下延長線連接到尺的刻度，並記錄於表十一。

4.依序在隔板平躺式壓克力水槽 (300 mm x85 mm x31 mm) 的第二層倒入礦泉水 第三層倒入 16 % 糖水、第四層倒入橄欖油。

5.重複 2、3 步驟。



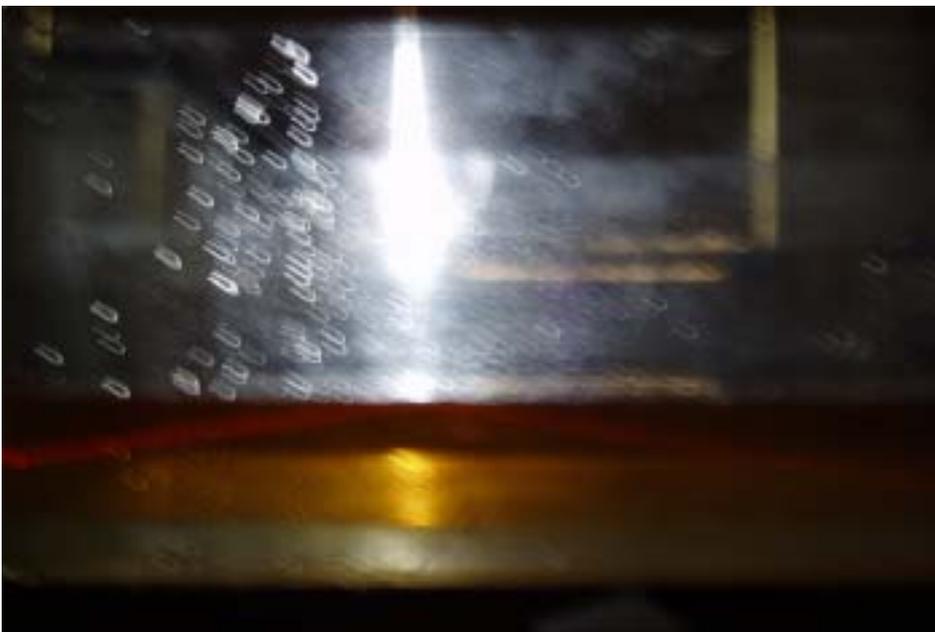
圖八..量測海市蜃樓”P”實際距離的操作情形

陸.實驗結果

一、簡易海市蜃樓成像和光路徑



圖九 上圖為以雷射筆當物所產生海市蜃樓的虛像，由容器底往上望，可看見雷射筆的虛像，似乎浮在水面上，還可以隱約看見天花板上的電燈和電風扇。



圖十 雷射光射入水中，在水和空氣的介面，產生全反射的光路徑。

二、液體折射率表

表一

次數 \ 種類	甘油	葵花油	橄欖油	沙拉油	17% 糖水	葡萄汁	漿糊	20% 食鹽水	洋菜凍	酒精	礦泉水
1	1.6732	1.6365	1.5062	1.3060	1.4185	1.3730	1.3730	1.3510	1.3456	1.3440	1.3300
2	1.6740	1.6300	1.5061	1.3100	1.4142	1.3729	1.3740	1.3520	1.3450	1.3450	1.3270
3	1.6699	1.6313	1.5059	1.2911	1.4142	1.3730	1.3732	1.3540	1.3494	1.3410	1.3340

發現：甘油折射率 > 葵花油折射率 > 橄欖油折射率 > 沙拉油折射率 > 17% 糖水折射率 > 葡萄汁折射率 > 漿糊折射率 > 20% 食鹽水折射率 > 洋菜凍折射率 > 酒精折射率 > 礦泉水

三、液體密度比較表

(一) 兩兩比較

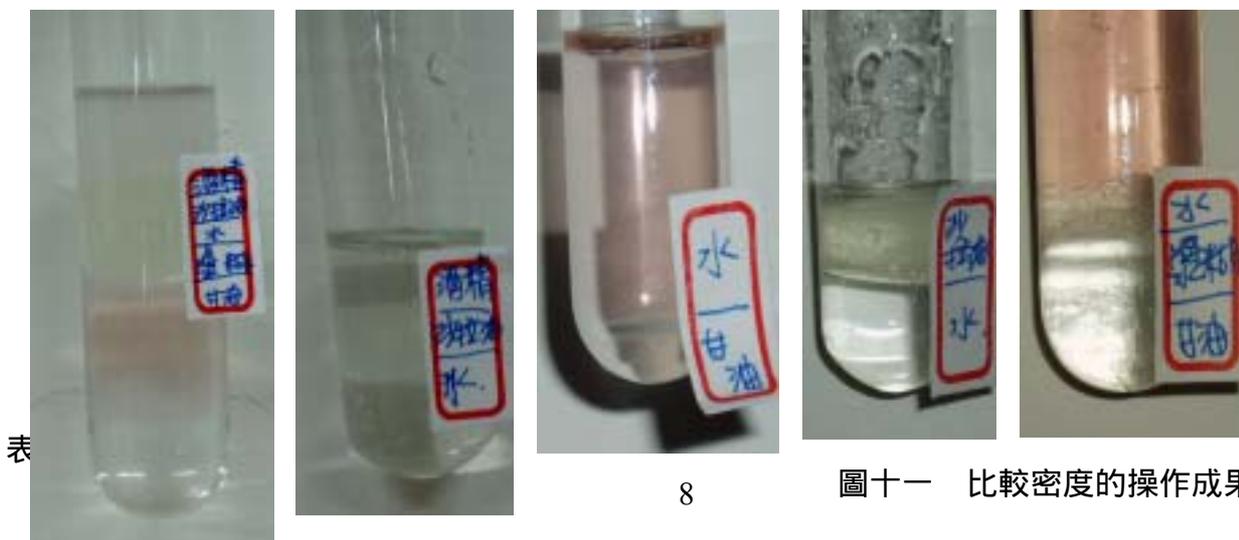
表二

上層	水	食鹽水	沙拉油	酒精	漿糊	酒精	沙拉油
下層	甘油	甘油	甘油	甘油	甘油	漿糊	水

(二) 加入"表一"的結果，再三層或四層比較

表三

上層	酒精	酒精	水	酒精
中(1層)	沙拉油	沙拉油	漿糊	沙拉油
中(2層)				水
下層	漿糊	水	甘油	漿糊



表

甘油 > 葵花油 > 橄欖油 > 沙拉油 > 17% 糖水 > 葡萄汁 > 漿糊 > 20% 食鹽水 > 洋菜凍 > 酒精 > 礦泉水

結論：甘油密度 > 漿糊密度 > 礦泉水密度 > 沙拉油密度 > 酒精密度

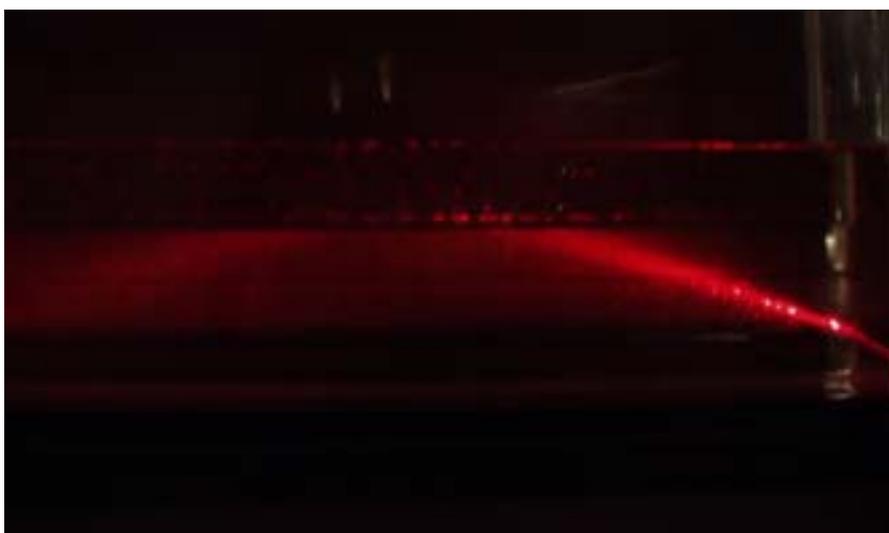
結論---密度與折射率吻合

表五

	沙拉油	水	漿糊	甘油
折射率	1.3024	1.3300	1.3734	1.6724
密度比較	沙拉油 <	水 <	漿糊 <	甘油



圖十二 由下而上依序為：甘油、漿糊、水、沙拉油之實際分層情形。

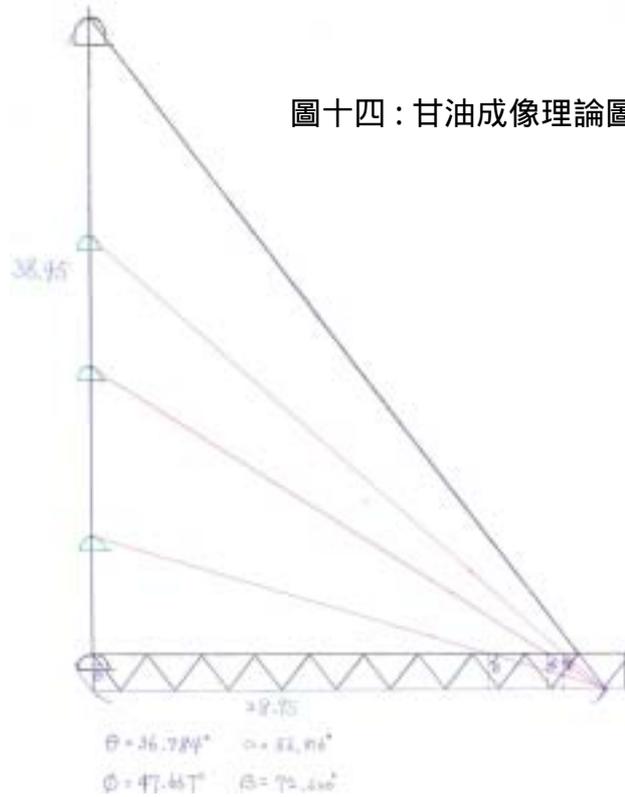


圖十三 雷射光在水和沙拉油的面就產生全反射的光路徑。

表六

成像	$p_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow q_3 \leftrightarrow p_3 \leftrightarrow q_4 \leftrightarrow p_4$																
甘油	0.89	1.45	180	2.50	1.05	1.10	1.35	1.95	5.40	1.35	2.35	1.10	4.80	4.10	1.50	2.15	1.65

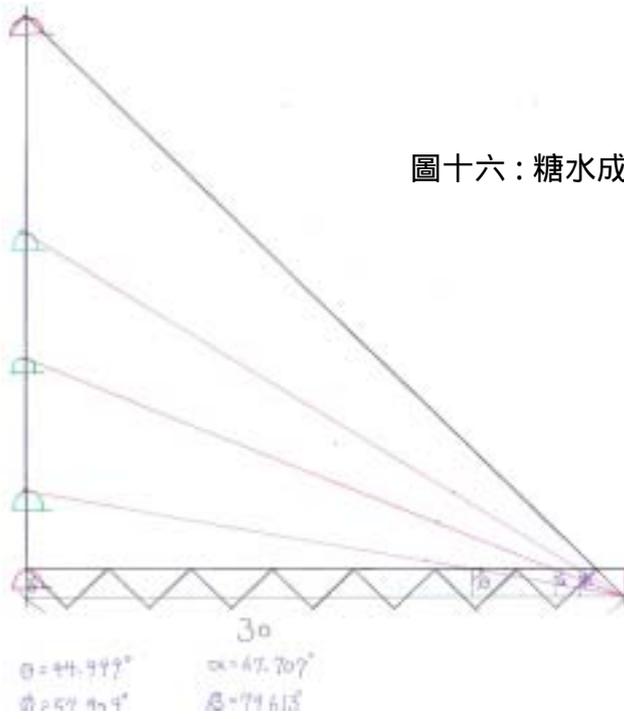
【註】 $p_{原}$ 為原物的像的寬度； p_n 、 q_n 為虛像的寬度； \leftrightarrow 為二虛像的像距



二 17% 糖水單層成像的相對位置
表七

圖十五 甘油單層實際成像。

成像	$p_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow q_3 \leftrightarrow p_3 \leftrightarrow$													
糖水	1.0	1.0	0.8	1.2	1.0	1.15	2.8	1.3	1.6	0.99	2.4	1.6	1.45	1.05



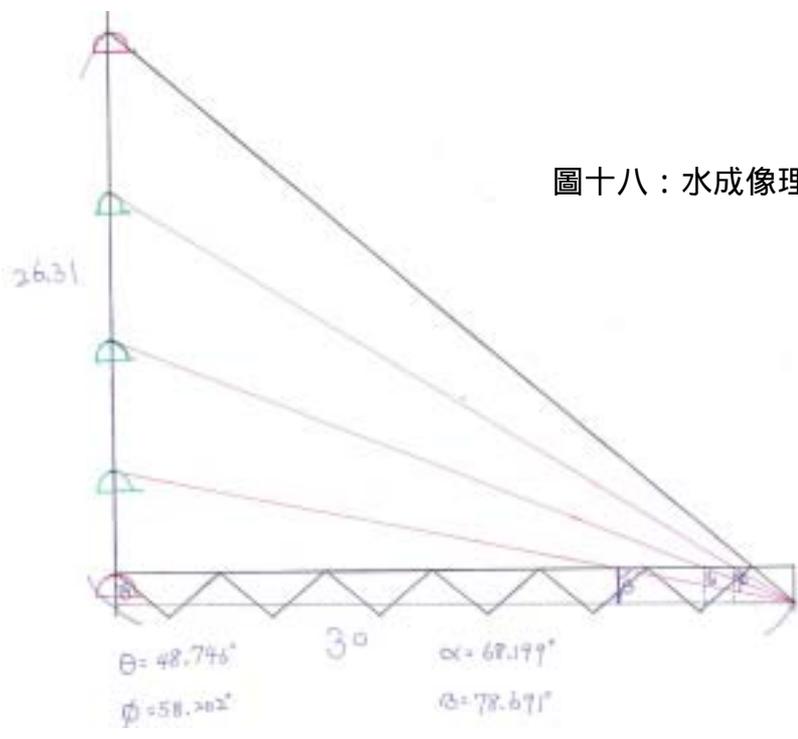
圖十六：糖水成像理論圖



圖十七 糖水單層實際成像。

三 水單層成像的相對位置
表八

成像	$p_{原}$	\leftrightarrow	q_1	\leftrightarrow	p_1	\leftrightarrow	q_2	\leftrightarrow	p_2	\leftrightarrow	q_3	\leftrightarrow	p_3	\leftrightarrow	q_4
水	1.0	0.85	1.15	1.52	1.16	1.0	1.15	2.9	0.8	1.3	1.3	2.5	1.6	1.3	1.0



圖十八：水成像理論圖

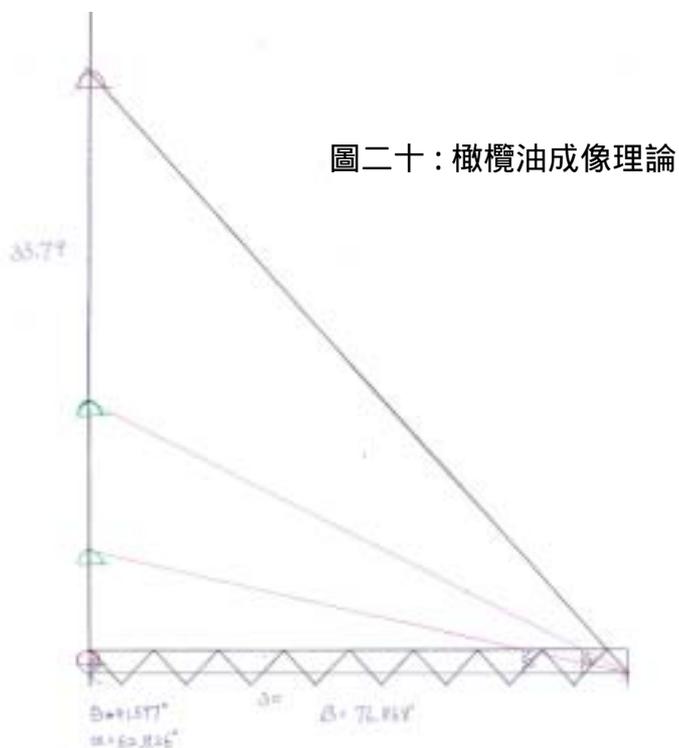


圖十九 水單層實際成像。

四 橄欖油單層成像的相對位置

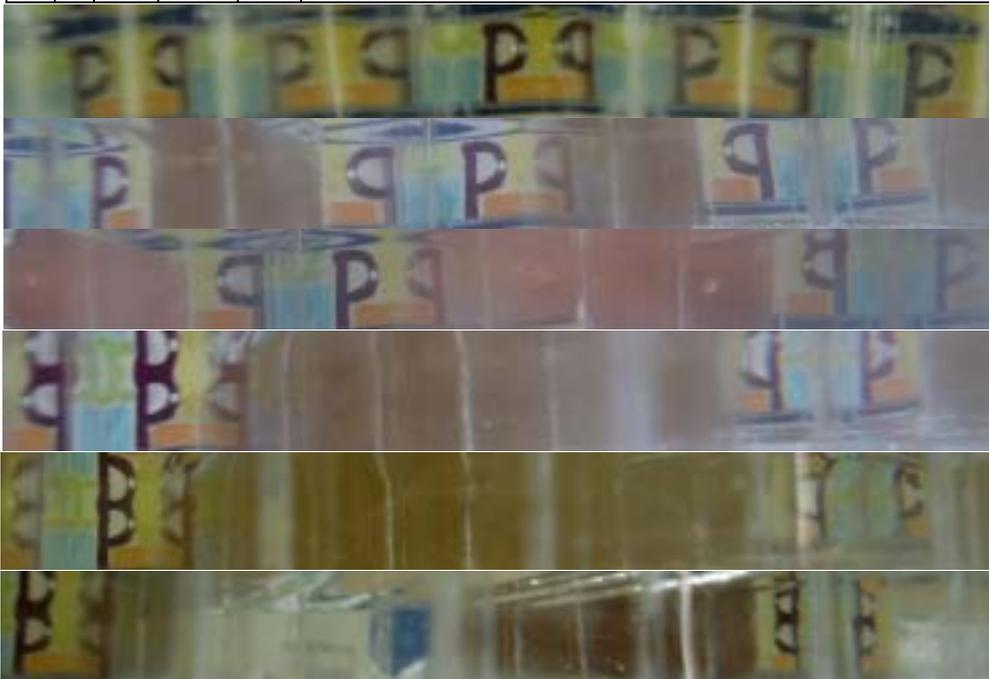
表九

成 像	$p_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow q_3$										
橄 欖 油	1.05	1.5	0.75	2.4	1.0	1.70	1.2	3.6	1.1	0.9	1.75



圖二十一 橄欖油單層實際成像。

1	成 層 像	$P_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow q_3 \leftrightarrow p_3 \leftrightarrow q_4 \leftrightarrow p_4 \leftrightarrow q_5 \leftrightarrow p_5 \leftrightarrow q_6$																	
	距 離	0.89	1.45	1.8	2.5	1.05	1.1	1.35	2.95	5.4	1.35	2.35	1.1	4.8	4.1	1.5	2.15	1.65	
2	成 層 像	$P_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_3$																	
	距 離	0.89	1.1	0.95	5.0			1.15	2.0	1.65	8.85					1.2	5.25	1.7	
3	成 層 像	$P_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_1$																	
	距 離	0.89	1.3	0.9	13.0						1.0	4.0	1.3						
4	成 層 像	$P_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_1$																	
	距 離	0.89	1.6	0.78	17.8								1.0	5.05	1.2				
5	成 層 像	$P_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_1$																	
	距 離	0.89	1.6	0.65	26.5										1.55	7.8	2.5		
6	成 層 像	$P_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_1$																	
	距 離	0.89	1.6	0.5	36.25											1.92	5.9		



甘油一層實際成像。

甘油二層實際成像。

甘油三層實際成像。

甘油四層實際成像。

甘油五層實際成像。

甘油六層實際成像。

七圖多層

表十一

依序加入：甘油、葵花油、橄欖油、葡萄汁																	
甘油	成像	$p_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow q_3 \leftrightarrow p_3 \leftrightarrow q_4 \leftrightarrow p_4$															
	距離	0.89	1.45	1.8	2.5	1.05	1.1	1.35	2.95	5.4	1.35	2.35	1.1	4.8	4.1	1.5	2.15
葵花油	成像	$p_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow q_3 \leftrightarrow p_2$															
	距離	0.89	1	1.1	4.0			1.3	3.0	1.1	9.05				1.25	4.2	1.15
橄欖油	成像	$p_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow p_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow q_3 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow$															
	距離	0.89	1.2	1.15	0.4	1.9	1.1	1.8	8.7			6.25	1.35	3	1.35		
葡萄汁	成像	$p_{原} \leftrightarrow q_1 \leftrightarrow q_2 \leftrightarrow p_2 \leftrightarrow$															
	距離	0.89	1.5	0.75	4.4						1.2	6.0	2.5	2.6			



一層：甘油實際成像。



二層：甘油、葵花油實際成像。



三層：甘油、葵花油、橄欖油實際成像。



四層：甘油、葵花油、橄欖油、葡萄汁實際成像。

圖二十三

柒、討論

一、一般傳統方式為肉眼觀察，但是，有些介質因為顏色深淺或是模糊不清的關係，肉眼不容易經由介質看到彼端大頭針，用雷射光線取代目視可以避免此種情形。而且我們發現，目視的方向會影響光線折射角度的大小，進而影響折射率，所以我們將半圓形壓克力容器的底面直徑的中點對齊 x 軸，以垂直於 y 軸的角度觀測雷射光的折射光線，這種方式測得的折射率較準確。只刺一點容易造成決定性的誤差，刺三到五個點，並連接，誤差值會比較小。並且，計算角度時，配合那三到五個點的連線，要將 X.Y 軸適度平移 見討論二 。

二、我們發現：依照其雷射光線刺三點並連接，並不會通過原來的原點。我們認為可能是因為容器本身會折射的關係。

三、折射率的排列：甘油 > 葵花油 > 橄欖油 > 沙拉油 > 17% 糖水 > 葡萄汁 > 漿糊 > 20% 食鹽水 > 洋菜凍 > 酒精 > 礦泉水

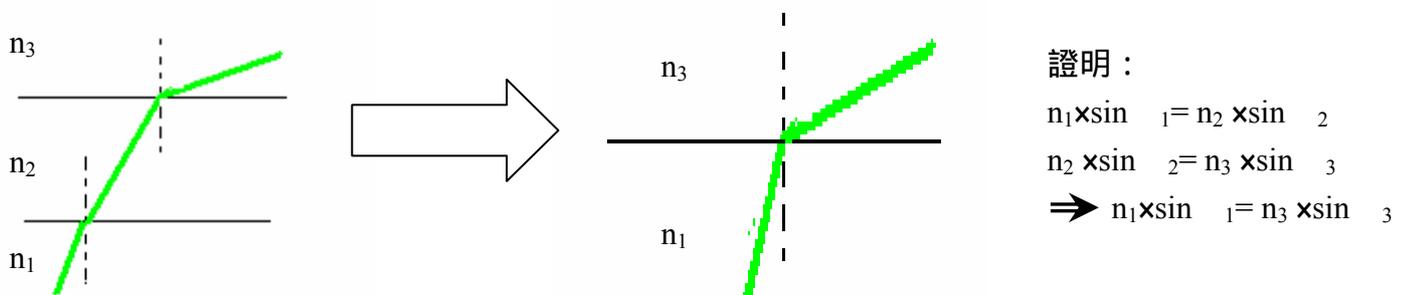
密度的排列：甘油 > 漿糊 > 礦泉水 > 沙拉油 > 酒精

所以我們發現：不同的液體的折射率和液體的密度並無直接的關係，影響折射率的因素應該主要是液體的種類。

四、光由折射率大的介質射入折射率小的介質，會往遠離法線的方向偏折。

當折射角 光線和法線夾角 逼近 90 度時，光線會全反射。

五、考慮二層介質之間再插入一層相異介質，光行進方向不變，利用隔板方式來將液體分層。

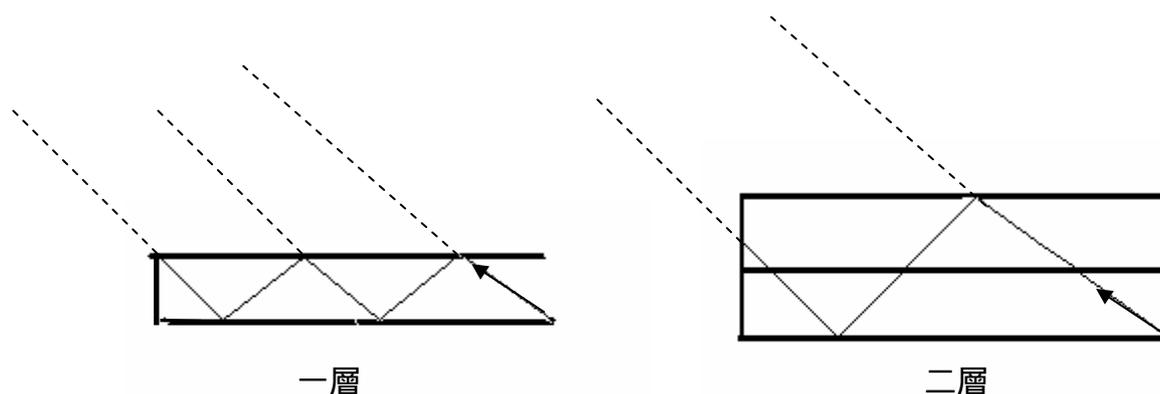


六、我們由討論三，知道不同的液體的密度和其折射率無直接關係，若要配合密度關係、和是

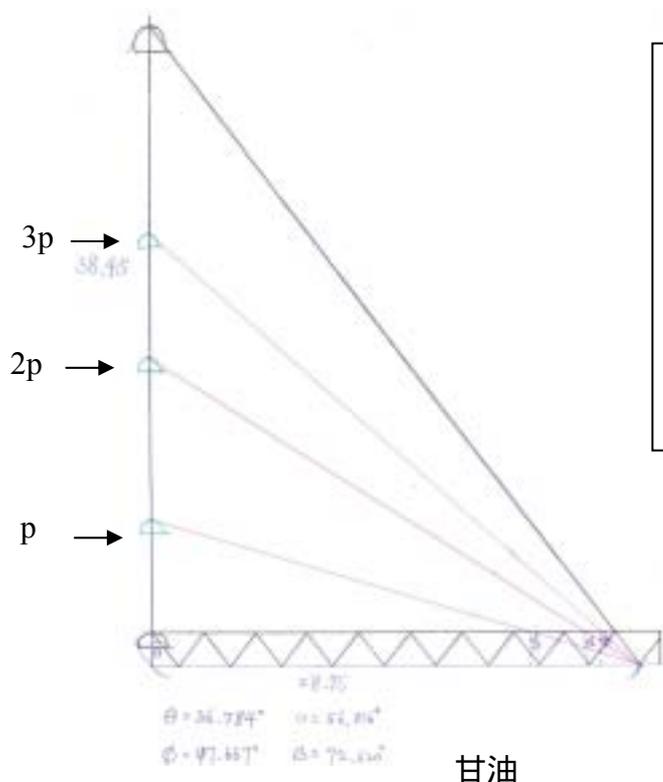
否不互溶的因素去使用溶液，使得放棄掉一些無法配合密度關係和不互溶的溶液。而且，原先看到的海市蜃樓為直立，不容易從容器一側底邊觀察；若使用此種容器，等於將海市蜃樓由直立改為平面，更容易觀察其雷射光路徑和海市蜃樓成像。並且，隔板可使溶液更容易清理回收。

七、因為光線能在兩介面之間來回反射好幾次，每個反射都可以造成一個像，使眼睛看到的像不只一個。

八、在容器長度不變的條件下，因為液體層數與厚度的增加，會使光線反射次數減少。



九、由同種且單層液體看到的各個成像，推算其各個臨界角。並且，因為最後一個像是最初的臨界角全反射出來的像，可由其理論的臨界角推算其高度。



	甘油		
P	2P	3P	
$4.5 \div 28.75$	$9.4 \div 28.75$	$13.1 \div 28.75$	
=0.3129	=0.6539	=0.9113	
=17.38	=33.184	=42.333	
臨界角	臨界角	臨界角	
= 72.62	= 56.816	= 47.667	

甘油 第一個臨界角 計算

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

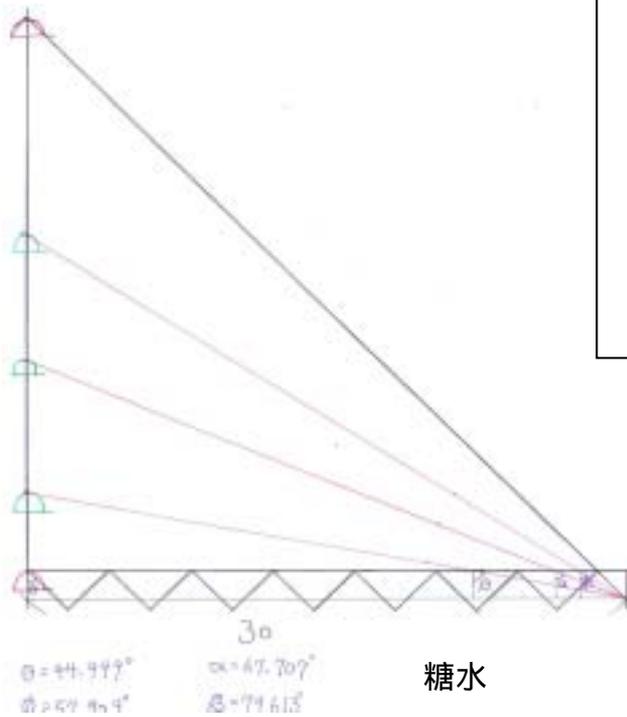
$$1.67 \sin \theta_1 = 1 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_1 = 0.5988$$

$$= 36.784^\circ$$

$$h = 28.75 \tan 53.216^\circ$$

$$= 38.45$$



	糖水		
P	2P	3P	
$2.75 \div 15$	$6.15 \div 15$	$9.4 \div 15$	
$= 0.1833$	$= 0.41$	$= 0.6266$	
$= 10.387^\circ$	$= 22.293^\circ$	$= 32.071^\circ$	
臨界角	臨界角	臨界角	
$= 79.613^\circ$	$= 67.707^\circ$	$= 57.929^\circ$	

糖水 第一個臨界角 計算

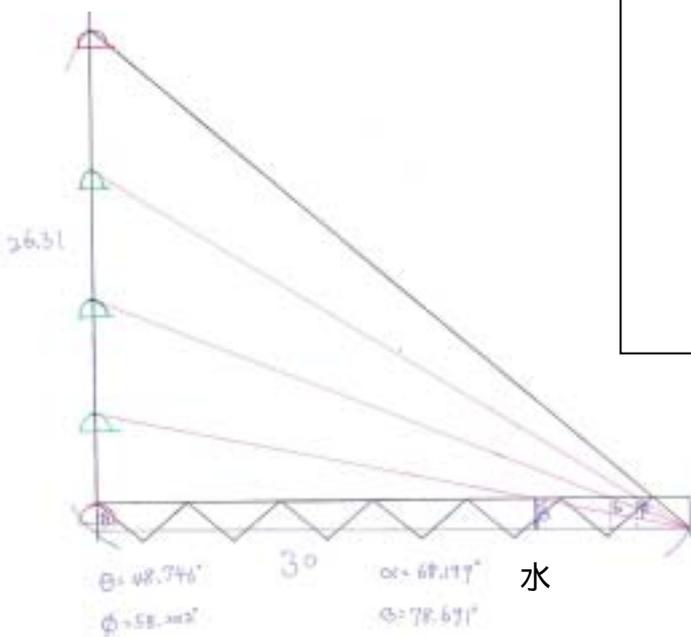
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1.4142 \sin \theta_1 = 1 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_1 = 0.7071$$

$$\theta_1 = 44.999^\circ$$

$$h = 30 \tan 44.999^\circ$$

$$= 30.00$$


	水		
P	2P	3P	
$3 \div 15$	$6 \div 15$	$9.3 \div 15$	
$= 0.2$	$= 0.4$	$= 0.62$	
$= 11.309^\circ$	$= 21.801^\circ$	$= 31.798^\circ$	
臨界角	臨界角	臨界角	
$= 78.691^\circ$	$= 68.199^\circ$	$= 58.202^\circ$	

水 第一個臨界角 計算

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

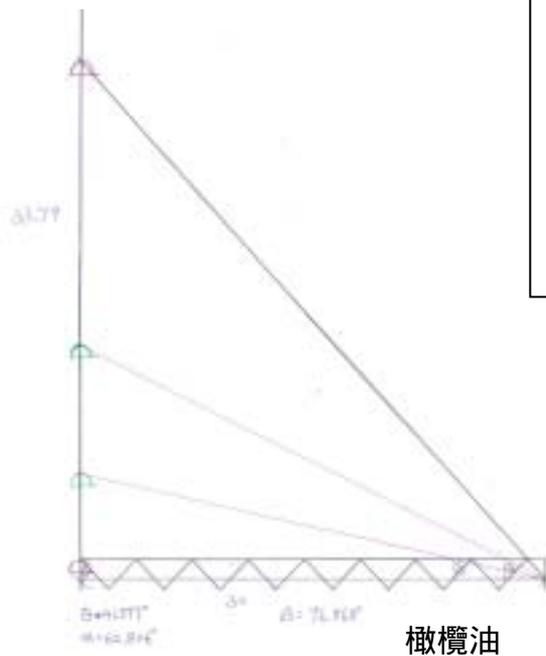
$$1.33 \sin \theta_1 = 1 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_1 = 0.7518$$

$$\theta_1 = 48.746^\circ$$

$$h = 30 \tan 41.254^\circ$$

$$= 26.31$$



橄欖油	
P	2P
$3.5 \div 15$	$7.7 \div 15$
$= 0.233$	$= 0.513$
$= 13.132^\circ$	$= 27.174^\circ$
臨界角	臨界角
$= 76.868^\circ$	$= 62.826^\circ$

橄欖油 第一個臨界角 計算

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1.5061 \sin \theta_1 = 1 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_1 = 0.6639$$

$$= 41.597^\circ$$

$$h = 30 \tan 48.403^\circ$$

$$= 33.79$$

捌、結論

1. 要看到海市蜃樓很容易，只要兩介質的折射率相差夠大，就能造成海市蜃樓。例如：幾乎所有液體和空氣都能造成海市蜃樓的現象。
2. 兩種介質中再插入另一相異介質，光行進方向不變。
3. 液體層數越多或厚度越大，成像越高。
4. 同種液體，厚度越大，兩個成像之間的距離越大且越來越高。而且，第一個虛像 q 的影像會隨著厚度增加而越來越模糊且狹窄。並且，厚度增加，看到的虛像就會越來越少。
5. 不同種液體，層數越多，成像高度越高。而且，第一個虛像 q 的影像會隨著厚度增加而越來越模糊且狹窄。並且，層數增加，看到的虛像就會越來越少。

玖、參考資料

主編：林明瑞；書名：高級中學 基礎物理；出版社：南一書局；頁數：P.146-149；出版年：中華民國八十八年出版、中華民國九十二年再版。

出版日期：May 2000；篇名：Aquarium, Computer, and Alaska Range Mirages；期刊名稱：THE

PHYSICS TEACHER ; 卷期 : 38 ; 頁數 : P.308-311

折射率 (PDF 檔)

<http://ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/down/pdf/light.pdf>

流體折射率表 (簡體)

<http://zhangzc.jahee.com/pct/data/refraction.htm>

飛翔物理-教學資源-物理常數 (簡體)

<http://fxwl.myrice.com/source/constant/zslb2.htm>

中國科普博覽 大氣科學館 : 海市蜃樓與小試驗

<http://science.yam.com/weather/light/lgt007.html><http://science.yam.com/weather/light/lgt007.html>

究竟海市蜃樓是怎樣產生的呢 : 海市蜃樓

http://www.osphysics.com.hk.ro/normal/2/ Total_Internal_Reflection.htm

評語

040121 高中組物理科

海市蜃樓

本作品以光在液體裡反覆折射而形成多重影像的裝置，來觀測得海市蜃樓，能建立觀測裝置，而獲得多層影像，但僅觀測得影像，而未更進一步改變物理參數，深入討論。本作品較缺乏創意應可加強。