

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031605

折射玄機

學校名稱：台北縣立錦和高中(附設國中)

作者：	指導老師：
國二 侯羿伶	李志鴻
國二 黃冠中	楊鵬耀
國二 曾竣煌	
國二 許凱鈞	

關鍵詞：折射率

摘 要

本實驗利用光通過不同介質，會產生折射的特性，並藉由改變物質水溶液的重量百分濃度、密度等來了解對應折射率的關係。原本實驗裝置是利用半圓形槽，但效果不佳，後藉由三稜鏡色散實驗的啟發，使雷射光經過二次折射後產生較大的位移，來增加實驗的靈敏度。實驗的結果發現各物質溶液的濃度、密度等物理量，均與各物質溶液所測量出來的折射率或光斑位移有極佳的線性關係。在針對分子化合物與部分離子化合物的水溶液探討上，發現了分子化合物的折射率大於離子化合物。並測量純水、乙醇、正丙醇等純物質的折射率所得結果與理論值接近，證明實驗的準確性。在推廣上，由本實驗的結果可利用光斑位移對應到各物理量數值一致的線性關係，來推論各物質的物理量。

壹、 研究動機：

我們知道光在不同的介質中，會因為傳播速度的不同，而產生不同的折射現象。所以我們在水中加入各種不同的物質，來了解光在不同介質中，所產生的折射現象與濃度、密度及溫度之間的關係。所以我們希望能做出一個簡單的儀器，來研究折射率是與濃度、密度或者是溫度有關。

貳、 研究目的：

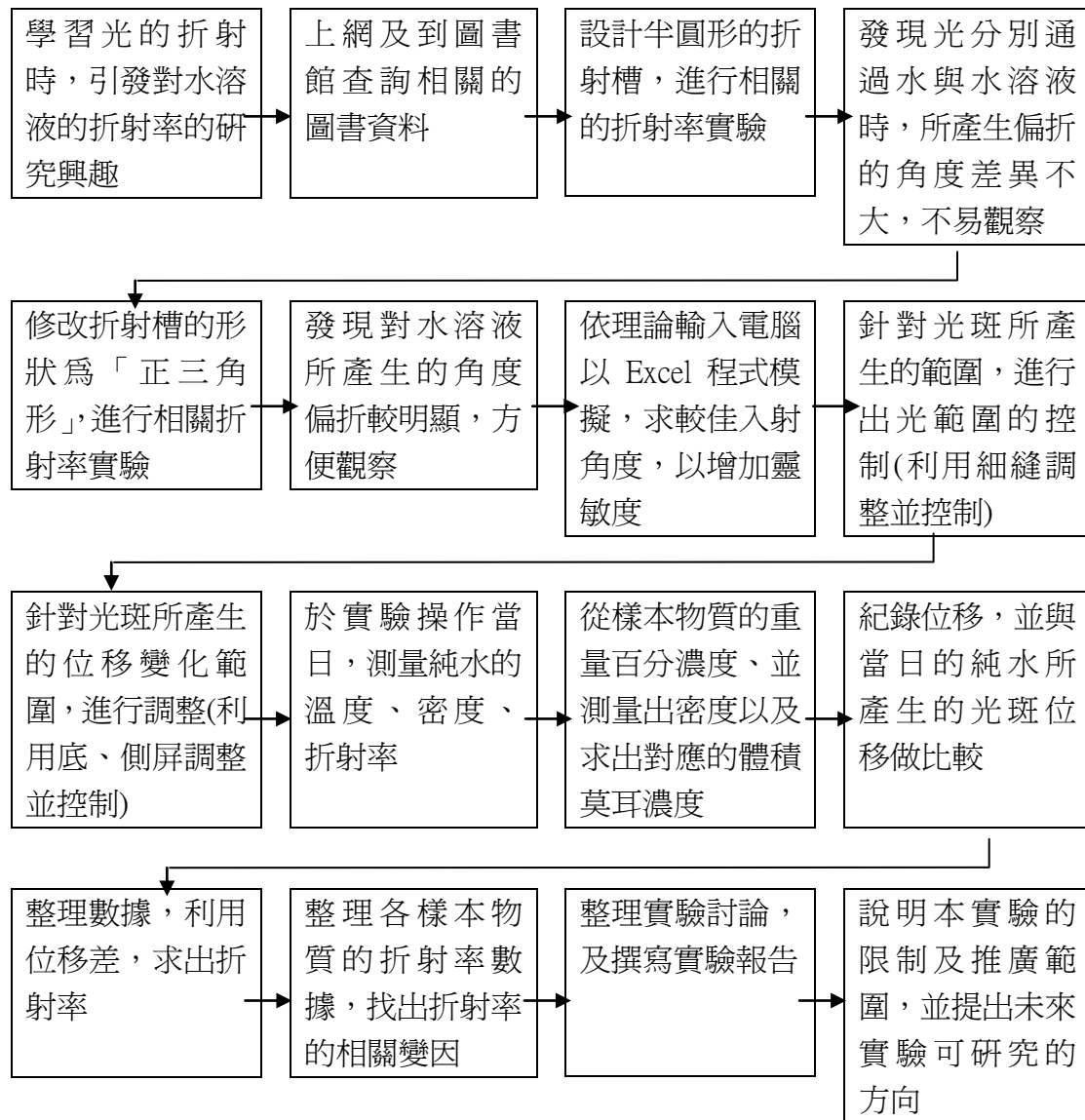
研究水溶液的濃度、密度、溫度對於光產生折射的影響。並設計研究裝置，並應用此實驗裝置與所得的關係，製作一個可以利用光的折射現象來測量物質濃度、密度、溫度之工具。

參、 研究設備及器材：

設備	氦氖雷射 (0.95mw)	天平	量筒 50mL	壓克力半圓形 水槽	壓克力三角形 水槽
數量	1	1	1	1	1
設備	直尺	量角器	量瓶 250、100、25mL	滴管	
數量	1	1	3	3	

肆、 研究過程及方式：

一、 實驗流程



二、一開始使用半圓形壓克力槽，在半圓形壓克力槽倒入溶液，調整雷射光的方向使它通過半圓形的圓心，光線只發生一次折射(另一次在圓形界面不偏折)，所產生的折射角度差異不大，不易觀察，如第 5 頁圖(1)。

(一) 不管入射角度是多少，當溶液的性質改變時，折射角的改變不大，不易準確的測量出折射角的改變。

(二) 如拉大測量距離，雖然可以藉著放大光斑水平的偏移量，來提高折射光小角度變化的測量，但是雷射光斑卻變大變暗，不易以眼睛訂出雷射光斑之中心，所以只經過一次折射，角度變化不容易測量。

三、改用三角形壓克力槽，使光經過兩次折射，放大折射效果，使折射角度有更大的變化。裝置如圖(2)及圖(3)。

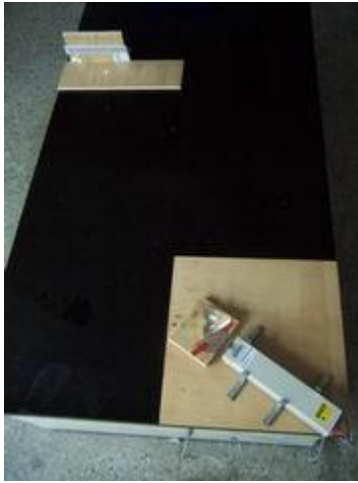


圖 2 實驗裝置俯視圖



圖 3 雷射與三角槽裝置圖

四、以下是光通過三角形槽，忽略壓克力厚度下，經兩次折射的原理推導：

(一) 光在介質中的光速 = $\frac{\text{光在真空中的光速}}{\text{折射率}}$, $v = \frac{c}{n}$

(二) 以三角形壓克力水槽，作為折射槽，使入射的雷射光經由二次折射放大折射效果，如圖 4。

(三) Snell's 定律推導光通過三角槽時折射率與角度之關係

第一次折射： $n_1 \times \sin i = n_2 \times \sin r$, $n_1 \times \frac{b}{a} = n_2 \times \frac{d}{c}$ -----(1)

第二次折射： $n_2 \times \sin(60^\circ - r) = n_1 \times \sin j$ -----(2)

(2)展開可得： $n_2 \times (\sin 60^\circ \times \frac{\sqrt{c^2 - d^2}}{c} - \cos 60^\circ \times \frac{d}{c}) = n_1 \times \frac{S}{\sqrt{S^2 + L^2}}$ --(3)

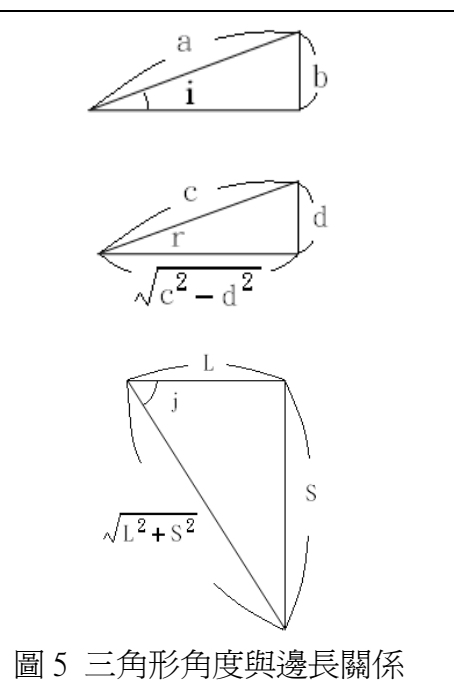
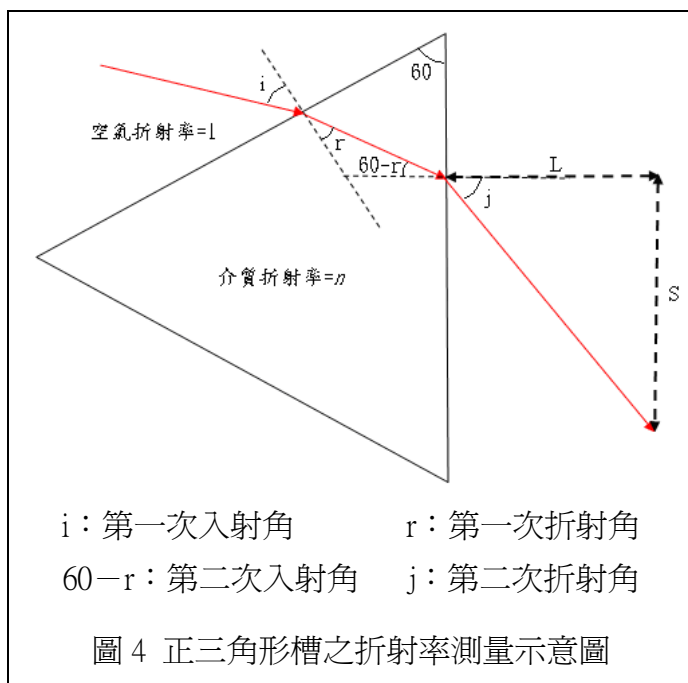
已知 $n_1 = 1$ ，由(1)可得 $\frac{1}{n_2} \times \frac{b}{a} = \frac{d}{c}$ ，代入(3)

可得： $n_2 \times (\sin 60^\circ \times \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2 n_2^2}} - \cos 60^\circ \times \frac{b}{a n_2}) = \frac{S}{\sqrt{S^2 + L^2}}$

$\Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} \times \sqrt{n_2^2 - \frac{b^2}{a^2}} - \frac{b}{2a} = \frac{S}{\sqrt{S^2 + L^2}} \Rightarrow \sqrt{n_2^2 - \frac{b^2}{a^2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{b}{2a} + \frac{S}{\sqrt{S^2 + L^2}} \right]$

$\Rightarrow n_2^2 - \frac{b^2}{a^2} = \frac{4}{3} \left[\frac{b}{2a} + \frac{S}{\sqrt{S^2 + L^2}} \right]^2 \Rightarrow n_2^2 = \frac{b^2}{a^2} + \frac{4}{3} \left[\frac{b}{2a} + \frac{S}{\sqrt{S^2 + L^2}} \right]^2$

得到 $n_2 = \sqrt{\frac{b^2}{a^2} + \frac{4}{3} \left[\frac{b}{2a} + \frac{S}{\sqrt{S^2 + L^2}} \right]^2}$



五、正三角形槽確實能造成折射角度有更大的變化，但為了再增加測量的靈敏度，所以先用電腦帶入公式，計算出實驗時的最佳入射角。光以不同大小的第一次入射角 i ，通過裝有溶液的三角形槽，在微小的折射率改變 (Δn) 下，經第二次折射後之雷射光打在一平行出光點平面的屏幕上，其光斑偏移改變量大小 (ΔX) 的關係。經模擬的結果，得到當第一次入射角角度較小時，可產生較大的偏移，模擬值如表 1。

表 1 在折射率差異定為 0.0001 時，在入射角不同下，於紙屏所產生的位移

入射角($^{\circ}$)	折射率差異 (Δn)	ΔX cm #
20	0.0001 (= 1.3301-1.3300)	0.0388 *
25	0.0001 (= 1.3301-1.3300)	0.0320
30	0.0001 (= 1.3301-1.3300)	0.0312

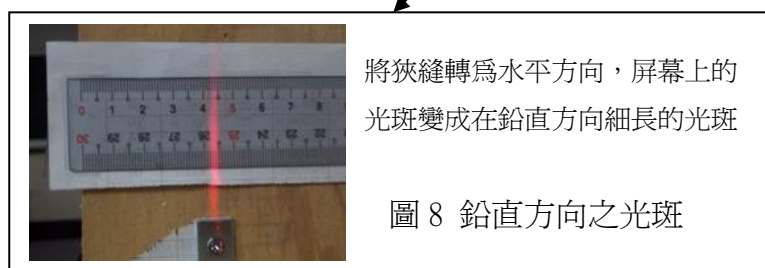
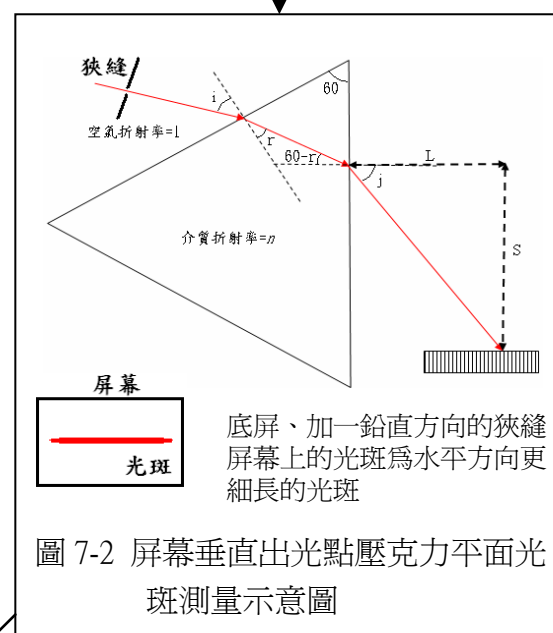
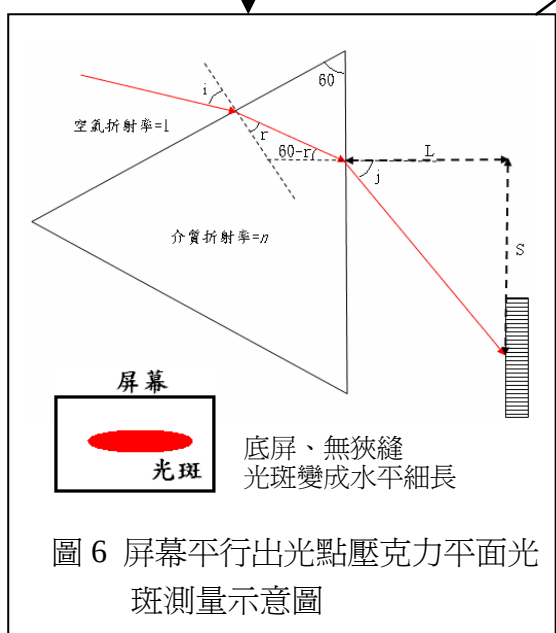
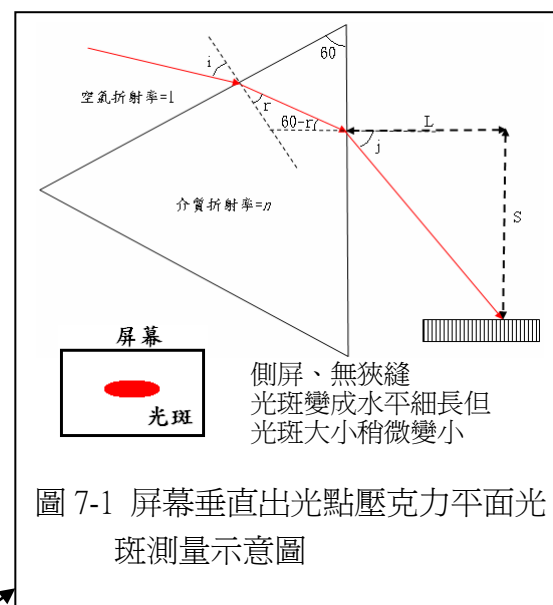
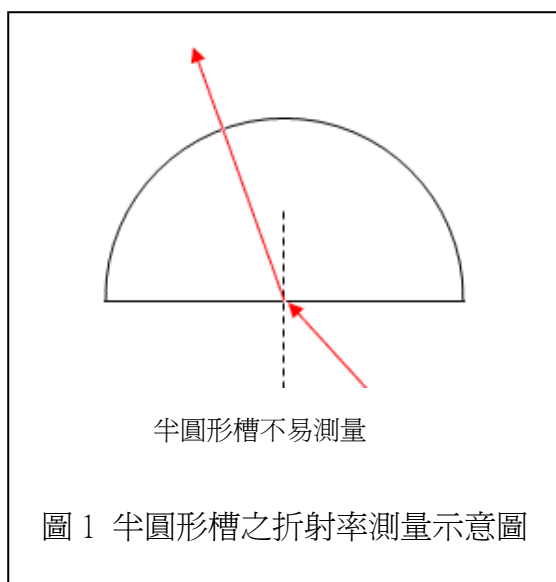
$S=135\text{cm}$ ，為本次實驗的實體裝置能找到的最大水平位移限制 *為偏移量最大。

六、我們在平行出光點平面距離 $L=54.5\text{cm}$ 處放置一屏幕，記錄雷射光隨溶液性質改變時，在水平方向產生的偏移情形，裝置如圖 6。

(一)實驗時投射在屏幕光斑的大小太大，且成水平長橢圓形，而光斑大小會隨第二次折射角的改變而產生變化，我們試圖想取雷射光斑的中心點作為偏移基準點，但不易以眼睛訂出中心，如圖 6。

(二)為解決光斑太大的問題，我們將屏幕改成垂直出光點壓克力平面方向（側屏），光斑稍微變小，但仍不易訂出雷射光斑之中心，如圖 7-1。所以我們先試著使光通過一個鉛直方向上的單狹縫來使光斑變小，卻發現屏幕上變成在水平方向而且更細長的光斑，如此更不易準確的找到光斑中心位置，如圖 7-2。

(三)但我們將此鉛直方向的單狹縫轉 90 度變成水平方向的狹縫，投射在屏幕上的光斑變成鉛直方向，又因雷射光入射屏幕的入射角 $\approx 20^{\circ}$ ，斜射程度較小，投射在屏幕上的光斑大小變化不大且為鉛直方向之光斑，如上圖 8 所示。這意外的收穫，剛好解決了無法決定光斑中心在水平位置的問題。



八、位移的測量

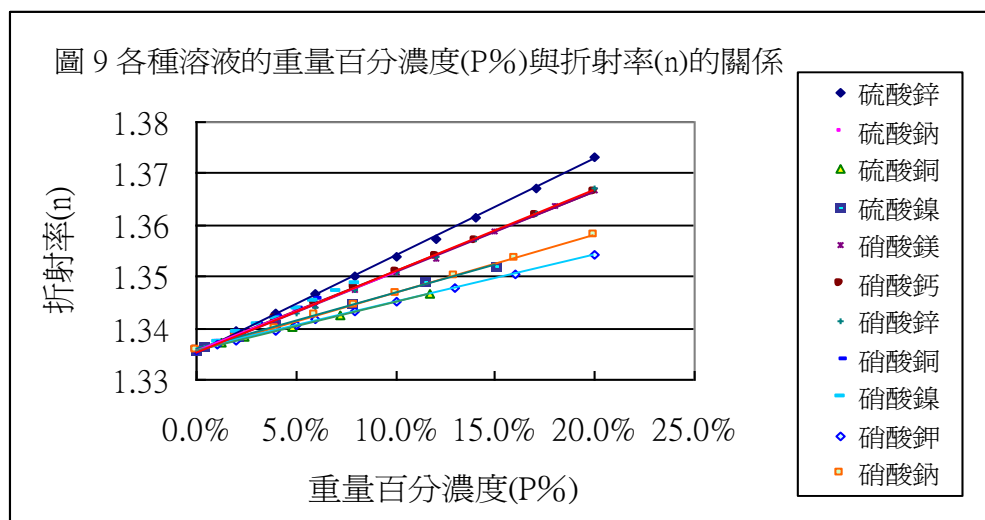
- (一) 記錄溶液溫度。
- (二) 以純水的光斑刻度為基準點。
- (三) 取待測溶液倒入折射槽，記錄光斑刻度，計算出 L 。
- (四) 密度的測量採用定量瓶及電子天平測量密度。

九、將 L 值帶入公式計算出對應的折射率。

伍、 研究結果：

一、各物質在不同的重量百分濃度（P%）下的折射率關係：

（一）在圖 9 中，可發現每一種物質的折射率與 P% 都成良好的線性關係，。再由表 2 得知，其 r^2 值介於 0.9989~0.9998 之間，成高度正相關！



（二）各種溶液之折射率與純水折射率的差($\Delta n = n_{\text{溶液}} - n_{\text{水}}$)和 P% 成正比，不同溶液的 ($\Delta n/p$) 之比值不同。表示 P% 對於溶液折射率的影響，隨溶液種類的不同，而有不同程度的影響。

表 2 各物質的重量百分濃度 P% 與折射率 n 的線性方程式及相關性

物質	$y=n, x=P\%$	r^2
硫酸鋅	$y = 0.1869x + 1.3353$	0.9996
硝酸鎳	$y = 0.1592x + 1.3357$	0.9991
硝酸銅	$y = 0.1592x + 1.3358$	0.9999
硝酸鋅	$y = 0.1581x + 1.3352$	0.9989
硝酸鎂	$y = 0.1574x + 1.335$	0.9994
硝酸鈣	$y = 0.1553x + 1.3354$	0.9998
硫酸鈉	$y = 0.1501x + 1.3358$	0.9990
硫酸鎳	$y = 0.1143x + 1.3358$	0.9998
硝酸鈉	$y = 0.1118x + 1.3356$	0.9997
硝酸鉀	$y = 0.0923x + 1.3359$	0.9996
硫酸銅	$y = 0.0918x + 1.3359$	0.9995

二、各物質在不同的密度下的折射率關係：

(一)在圖 10 中，可發現各物質密度(D)與折射率(n)皆成線性關係，再由表 3 中可知 r^2 值由 0.9959 到 0.9997 之間，亦達到高度正相關。以密度值等於 1.14 g/cm^3 代入下表中的各曲線方程式，所得折射率的最大值(1.3637)與最小值(1.3494)差距只有 0.0143，表示在跨物質間的密度與折射率存在密切的相關性。

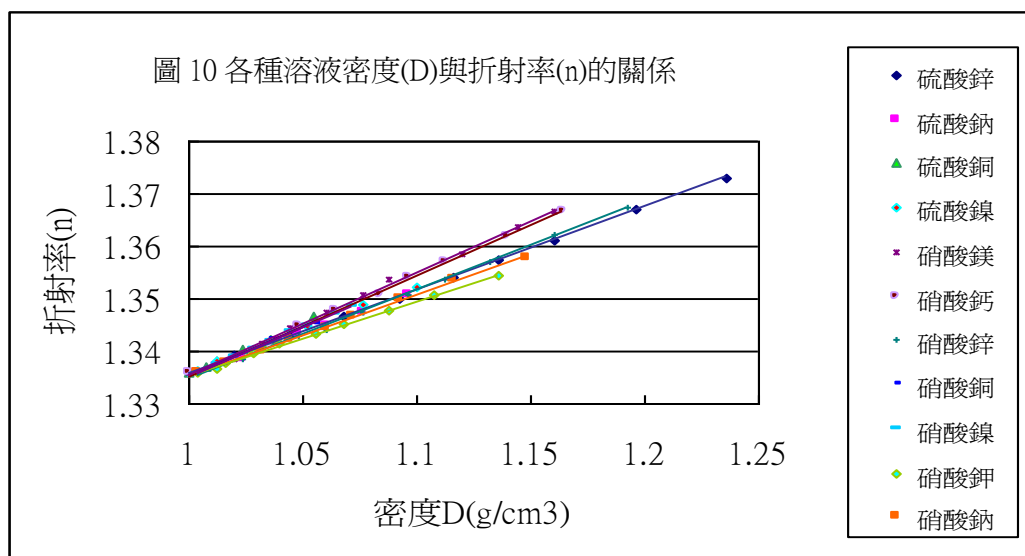


表 3 各物質的密度(D)與折射率(n)的線性方程式及相關性

物質	$y=n, x=D$	r^2
硫酸銅	$y = 0.2007x + 1.1349$	0.9959
硝酸鎂	$y = 0.1973x + 1.1381$	0.9973
硝酸鈣	$y = 0.1934x + 1.1417$	0.9985
硝酸銅	$y = 0.1848x + 1.1505$	0.9955
硝酸鎳	$y = 0.1847x + 1.1506$	0.9985
硫酸鎳	$y = 0.174x + 1.1617$	0.9986
硝酸鋅	$y = 0.1699x + 1.1648$	0.9991
硫酸鈉	$y = 0.1637x + 1.1715$	0.9974
硫酸鋅	$y = 0.1579x + 1.178$	0.9997
硝酸鈉	$y = 0.1549x + 1.1805$	0.9983
硝酸鉀	$y = 0.1388x + 1.1969$	0.9972

三、折射率與各物質莫耳濃度的關係：

- (一) 由圖 11 及表 4 可發現，各種物質的莫耳濃度與折射率也有良好線性關係， r^2 值在 0.9980~0.9999 間，也有高度正相關性。

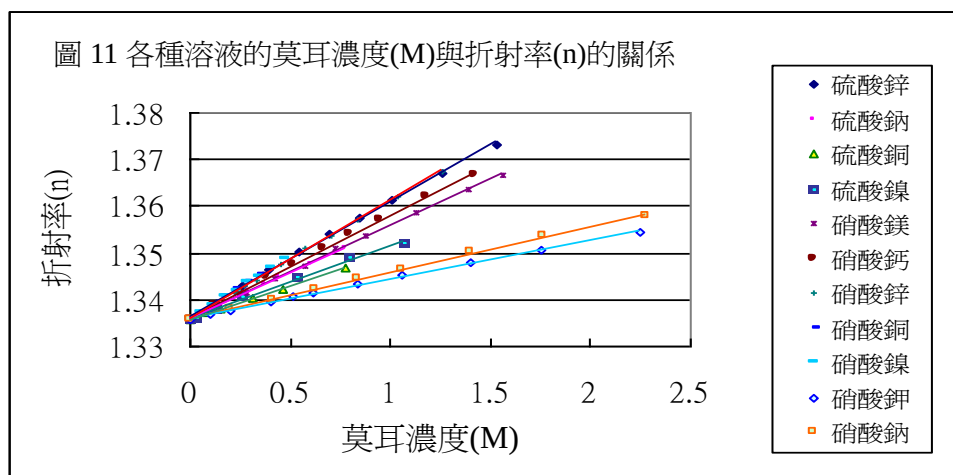


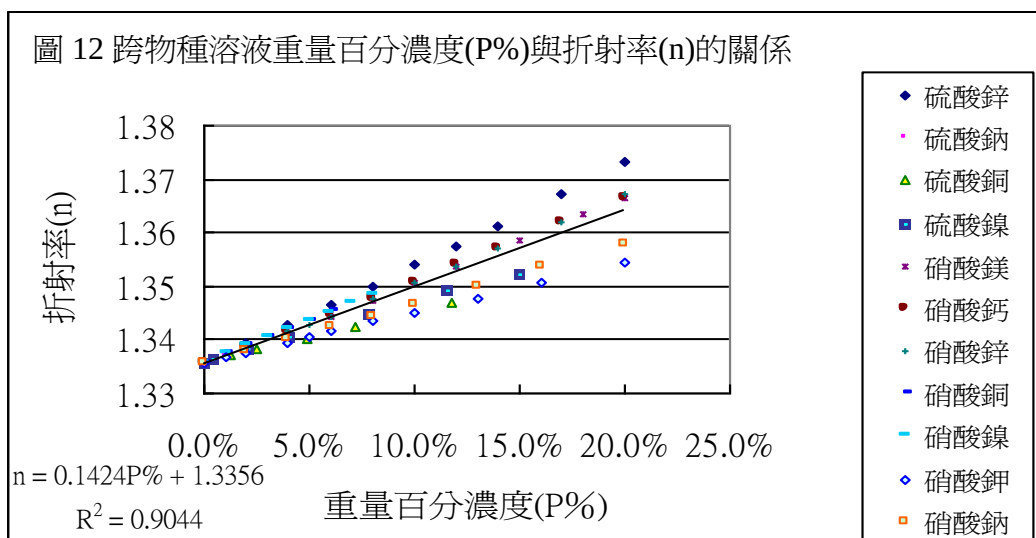
表 4 各種溶液的莫耳濃度(M)與折射率(n)的線性方程式及相關性

物質	$y=n, x=M$	r^2
硝酸銅	$y = 0.0281x + 1.3359$	0.9999
硝酸鎳	$y = 0.0269x + 1.3359$	0.9995
硝酸鋅	$y = 0.0251x + 1.336$	0.9996
硫酸鋅	$y = 0.024x + 1.3369$	0.9988
硝酸鈣	$y = 0.0216x + 1.3363$	0.9990
硝酸鎂	$y = 0.0198x + 1.336$	0.9994
硫酸鈉	$y = 0.0193x + 1.336$	0.9980
硫酸鎳	$y = 0.0164x + 1.336$	0.9995
硫酸銅	$y = 0.0138x + 1.336$	0.9999
硝酸鉀	$y = 0.0082x + 1.3363$	0.9982
硝酸鈉	$y = 0.0082x + 1.3362$	0.9990

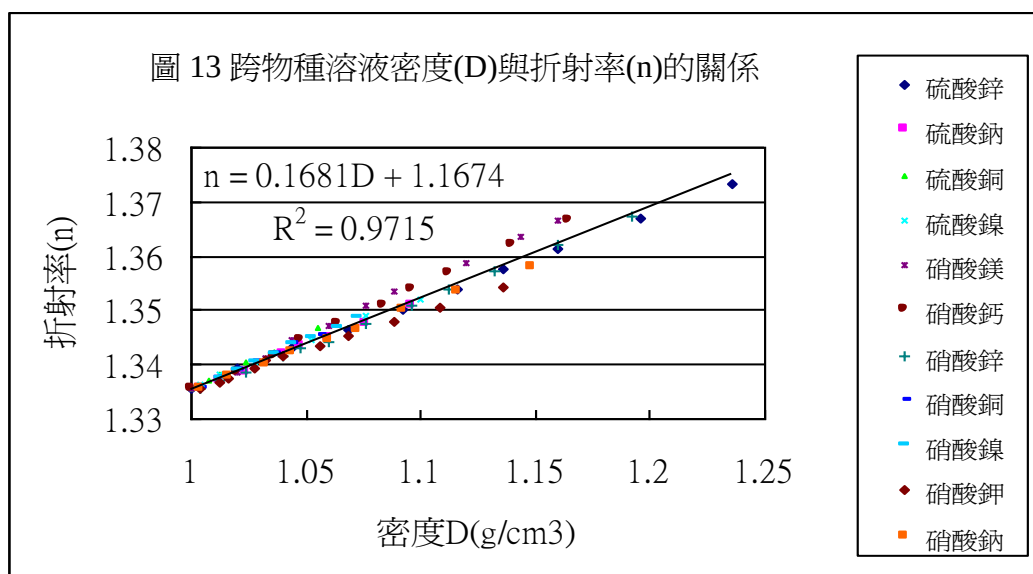
- (二) 由各種溶液莫耳濃度與折射率的關係曲線可以看出，當濃度為 0 時，此時溶液不含溶質，各溶液之折射率大約為 1.335，此值與水的折射率相符，實驗與理論相當接近。
- (三) 各種溶液之折射率與水折射率的差($\Delta n = n_{\text{溶液}} - n_{\text{水}}$)和體積莫耳濃度(M)成正比，不同溶液的($\Delta n/M$)之比值不同。表示體積莫耳濃度對於溶液折射率的影響，隨溶液種類而不同。

四、重量百分濃度、莫耳濃度、密度與折射率之關係在跨物種間之比較

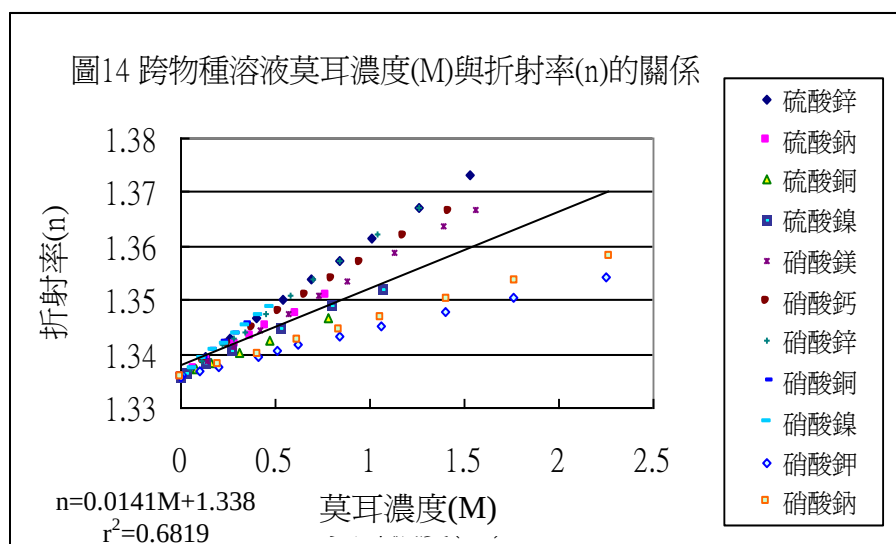
(一) 在針對跨物種的 P% 與折射率關係，如圖 12，得到其線性方程式為 $n=0.1424P\%+1.3356$ ， r^2 值為 0.9044，線性相關頗高。



(二) 在針對跨物種的密度與折射率關係，如圖 13，可以發現其線性方程式為 $n=0.1681 \times D + 1.1674$ ，其 r^2 值為 0.9715，換算 r 值後為 0.9856，其線性相關比 P% 與折射率之關係高！



- (三) 在針對跨物種的莫耳濃度與折射率關係，如圖 14，可發現其線性方程式為 $n=0.0141M+1.338$ ，其 r^2 值為 0.6819，換算 r 值為 0.8257，其線性相關性屬中度相關！



- (四) 由莫耳濃度、重量百分濃度及密度的定義來探討三個物理量對折射率之影響。三個物理量定義之數學關係式，就分母項來說，「莫耳濃度」是溶液的總體積、「重量百分濃度」是溶液的總質量、「密度」是溶液的總體積皆考量到溶液的整體性；而數學關係式之分子項，「密度」考慮的是整個溶液的質量、「重量百分濃度」所考慮的是溶質的質量、而「莫耳濃度」所考慮的是溶質的莫耳數。而溶液的折射率應是同時受溶質與溶劑一起影響的結果。因此，由密度之定義，分子項與分母項皆考量到溶質與溶劑所以密度與折射率之關係，在跨物種之關係所具有討論性也較大，相關性也較好。

四、各種溶液重量百分濃度與光斑位移的關係與應用

- (一) 將各溶液重量百分濃度與對應之光斑位移作圖，發現各種溶液的重量百分濃度與位移均各自有不錯的線性關係，如圖 15 所示。
- (二) 重量百分濃度與位移關係函數：由表 5 可發現硫酸鋅、硫酸銅、硫酸鎳、硝酸鈉、硝酸鉀五種溶液重量百分濃度與位移之關係曲線分散偏離，而其餘硫酸鈉、硝酸鎂、硝酸鈣、硝酸鋅、硝酸銅、硝酸鎳六種溶液之曲線幾乎在同一直線上。

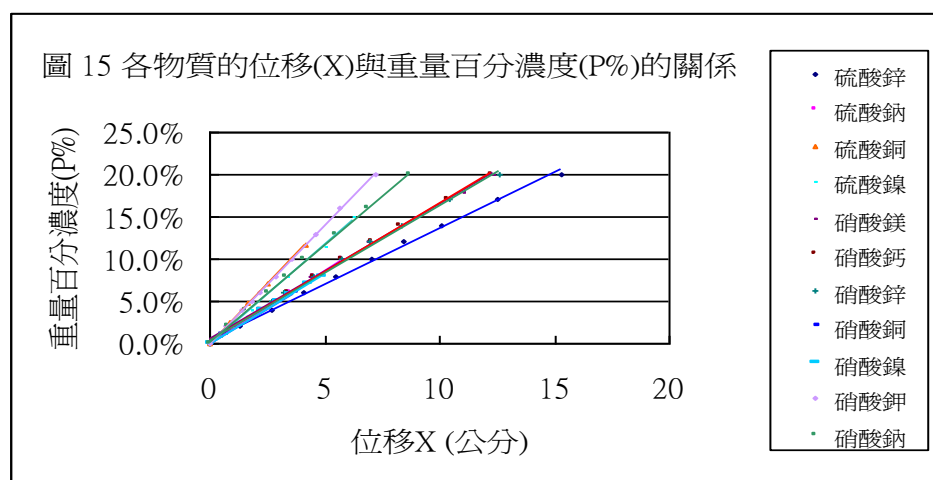
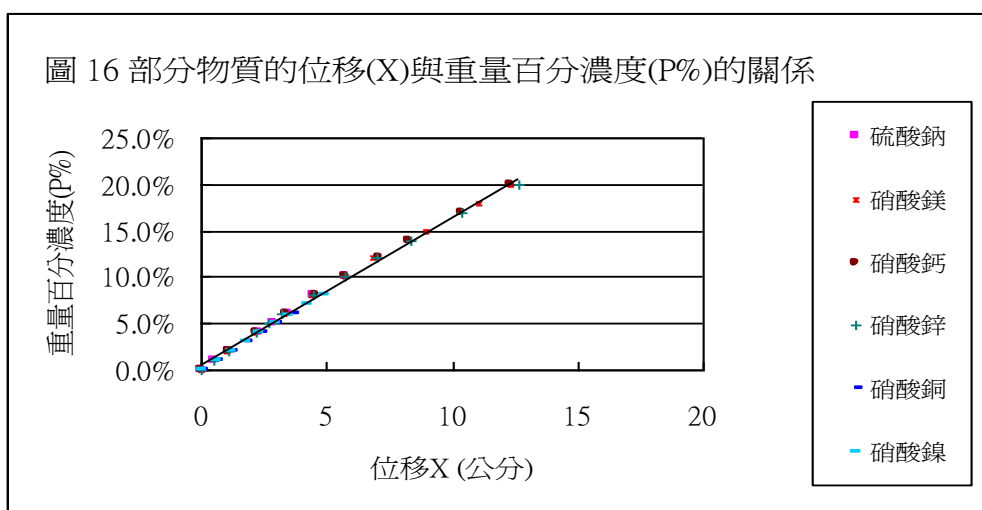


表 5 各物質的重量百分濃度(P%)與位移(X)的線性方程式及相關性

溶液	重量百分濃度與位移函數關係	r^2
硫酸鋅	$P\% = 0.013 X + 0.0067$	0.9975
硫酸鈉	$P\% = 0.0173 X + 0.0005$	0.9992
硫酸銅	$P\% = 0.0286 X - 0.0008$	0.9992
硫酸鎳	$P\% = 0.0237 X - 0.0014$	0.9985
硝酸鎂	$P\% = 0.0157 X + 0.0079$	0.9982
硝酸鈣	$P\% = 0.016 X + 0.0056$	0.9989
硝酸鋅	$P\% = 0.0157 X + 0.0065$	0.9969
硝酸銅	$P\% = 0.0165 X + 0.0003$	0.9998
硝酸鎳	$P\% = 0.0164 X + 0.0009$	0.9988
硝酸鉀	$P\% = 0.028 X - 0.0003$	0.9996
硝酸鈉	$P\% = 0.0228 X + 0.0039$	0.9993

- (三) 依實驗結果，選取曲線相近的六種溶液，設計成一個可測量溶液濃度之裝置，將此六種溶液重量百分濃度與對應之光斑位移作圖如圖 16，其關係式為 $P\% = 0.0162X + 0.0036$ 、 $r^2 = 0.9972$ ，呈現相當不錯的線性關係。



- (四) 以 $P\% = 0.0162X + 0.0036$ 之關係建立一個光斑位移與重量百分濃度之對照查核表，如下表 6。由光折射後打在屏幕上之刻度，便可得知相對應溶液的濃度。

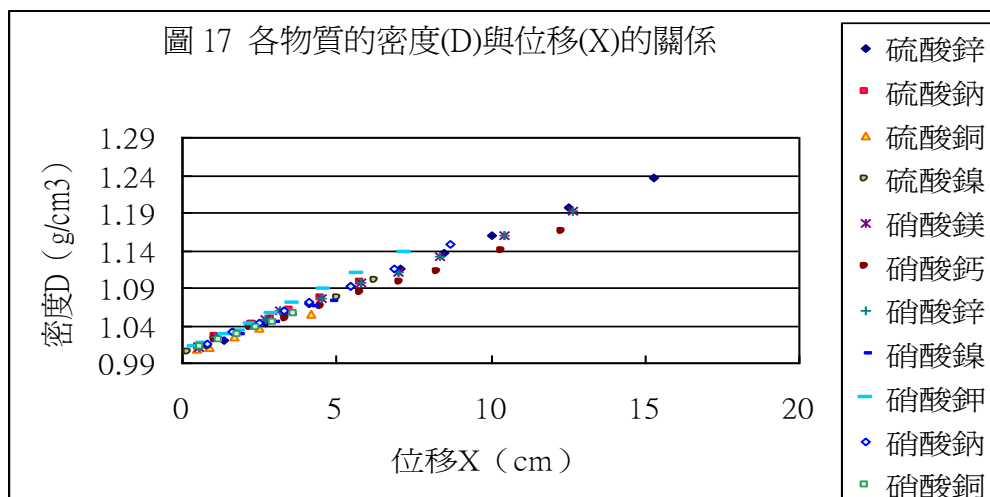
表 6 位移 X 與重量百分濃度 P% 對應查核表

(下表適用硫酸鈉、硝酸鎂、硝酸鈣、硝酸鋅、硝酸銅、硝酸鎳溶液)

X(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P%	1.98 %	3.60 %	5.22 %	6.84 %	8.46 %	10.08 %	11.70 %	13.32 %	14.94 %	16.56 %

五、各種溶液密度與光斑位移的關係與應用

(一) 將各溶液密度與對應之光斑位移作圖，發現各種溶液的密度與光斑位移均各自有不錯的線性關係，如圖 17 所示。

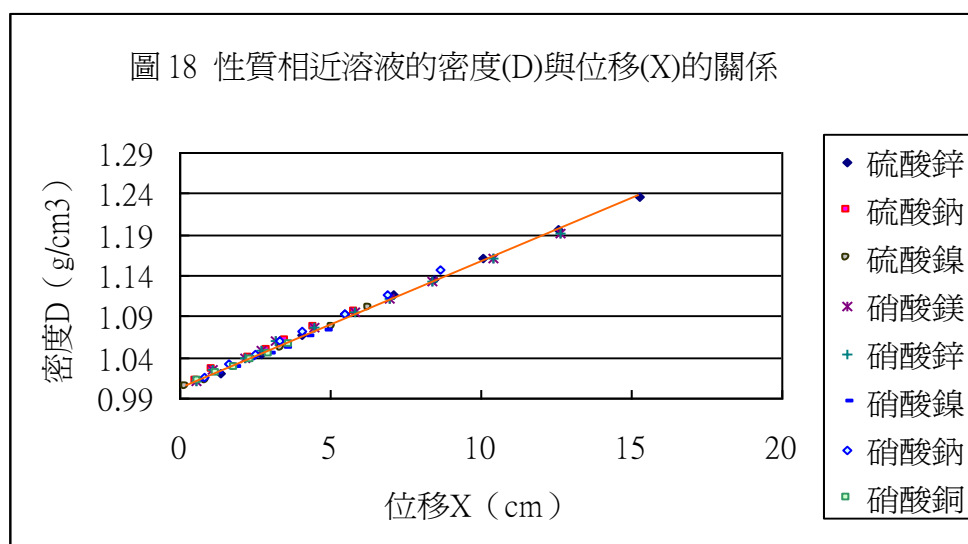


(二) 密度與位移關係函數：由表 7 可發現硫酸銅、硝酸鈣、硝酸鉀三種溶液密度與位移之關係曲線較分散偏離，而其餘硫酸鋅、硫酸鈉、硫酸鎳、硝酸鎂、硝酸鋅、硝酸銅、硝酸鎳、硝酸鈉八種溶液之曲線幾乎在同一直線上。

表 7 各物質密度(D)與位移(X)的線性方程式及相關性

溶液	重量百分濃度與位移函數關係	r^2
硫酸鋅	$D = 0.0154 X + 1.0042$	0.9984
硫酸鈉	$D = 0.0159 X + 1.0043$	0.9977
硫酸銅	$D = 0.013 X + 1.0016$	0.9953
硫酸鎳	$D = 0.0156 X + 0.9994$	0.9973
硝酸鎂	$D = 0.0147 X + 1.0087$	0.9981
硝酸鈣	$D = 0.0128 X + 1.0065$	0.9989
硝酸鋅	$D = 0.0147 X + 1.0087$	0.9981
硝酸銅	$D = 0.0142 X + 1.0029$	0.996
硝酸鎳	$D = 0.0141 X + 1.0031$	0.9988
硝酸鉀	$D = 0.0186 X + 1.0018$	0.9978
硝酸鈉	$D = 0.0164 X + 1.0041$	0.9987

(三) 依實驗結果，選取曲線相近的八種溶液密度與對應之光斑位移作圖，如圖 18，其關係式為 $D = 0.0153X + 1.0041$ 、 $r^2 = 0.9945$ ，呈現相當不錯的線性關係。



(四) 以 $D = 0.0153X + 1.0041$ 之關係建立一個光斑位移與密度之對照查核表，如下表 8。由光折射後打在屏幕上之刻度，便可得知相對應溶液的密度。

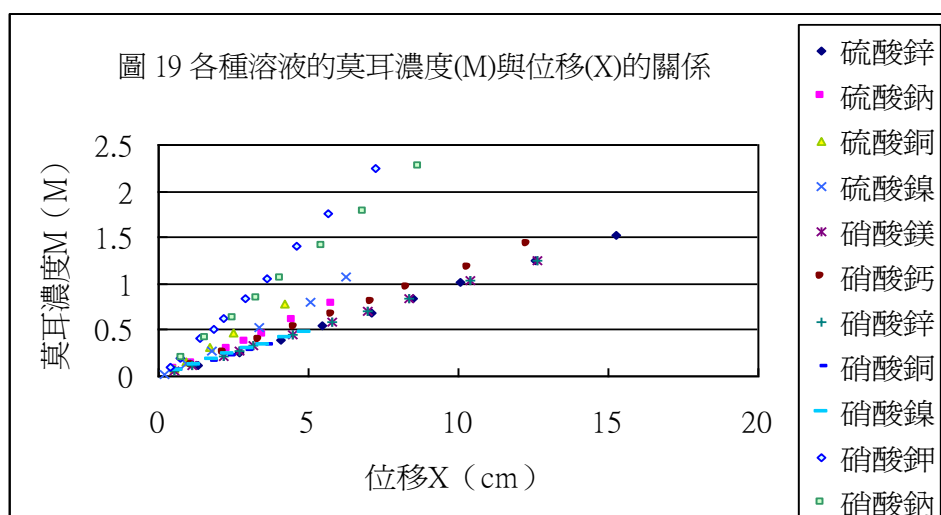
表 8 位移 X 與密度對應查核表

(適用硫酸鋅、硫酸鈉、硫酸鎳、硝酸鎂、硝酸鋅、硝酸銅、硝酸鎳、硝酸鈉液)

X(cm)	1	2	3	4	5	6	7
D(g/cm³)	1.01	1.03	1.05	1.06	1.08	1.09	1.11
X(cm)	8	9	10	11	12	13	14
D(g/cm³)	1.12	1.14	1.15	1.17	1.18	1.20	1.21

六、各種溶液莫耳濃度與光斑位移的關係與應用

(一) 將各溶液莫耳濃度與對應之光斑位移作圖，發現各種溶液的莫耳濃度與位移均各自有不錯的線性關係，如圖 19 所示。

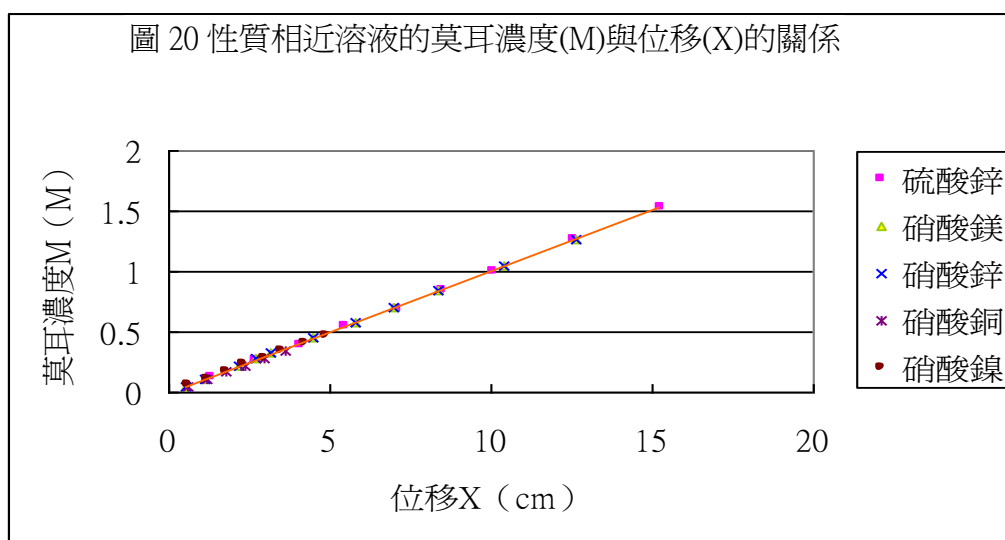


- (二) 莫耳濃度與位移關係函數：由表 9 可以發現硫酸鋅、硝酸鎂、硝酸鋅、硝酸銅、硝酸鎳五種溶液莫耳濃度與位移之關係曲線較接近，而其餘硫酸鈉、硫酸銅、硫酸鎳、硝酸鈣、硝酸鉀、硝酸鈉六種溶液之曲線較為分散。

表 9 各物質的莫耳濃度(M)與位移(X)的線性方程式及相關性

溶液	莫耳濃度與位移函數關係	r^2
硫酸鋅	$M = 0.1011 X - 0.0138$	0.9999
硫酸鈉	$M = 0.1345 X - 0.0092$	0.9985
硫酸銅	$M = 0.1899 X - 0.0134$	0.9997
硫酸鎳	$M = 0.1683 X - 0.023$	0.9966
硝酸鎂	$M = 0.0994 X + 0.0057$	0.9998
硝酸鈣	$M = 0.1149 X - 0.0036$	0.9999
硝酸鋅	$M = 0.0994 X + 0.0057$	0.9998
硝酸銅	$M = 0.0938 X - 0.0028$	1
硝酸鎳	$M = 0.0971 X - 0.0023$	0.9994
硝酸鉀	$M = 0.3155 X - 0.0481$	0.9989
硝酸鈉	$M = 0.2621 X - 0.0178$	0.9996

- (三) 依實驗結果，選取曲線相近的五種溶液數據作圖，如圖 20，其關係式為 $M = 0.1004X - 0.0058$ 、 $r^2 = 0.9994$ ，呈現相當不錯的線性關係。



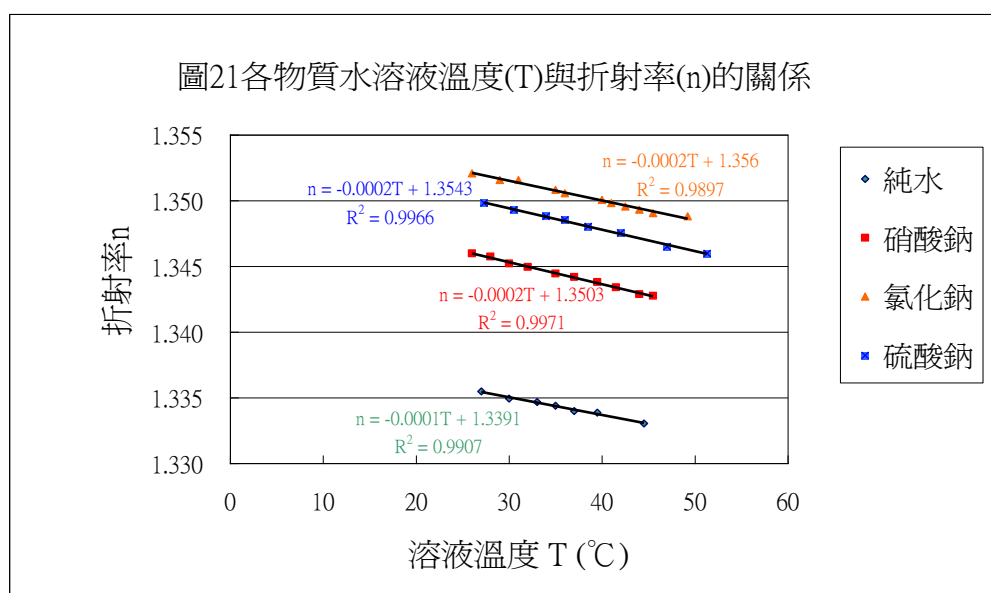
- (四) 以 $M = 0.1004X - 0.0058$ 之關係建立一個光斑位移與莫耳濃度之對照查核表，如下表 10。由光折射後打在屏幕上之刻度，便可得知相對應溶液的莫耳濃度。

表 10 位移 X 與莫耳濃度對應查核表
(適用硫酸鋅、硝酸鎂、硝酸鋅、硝酸銅、硝酸鎳溶液)

X(cm)	1	2	3	4	5	6	7
M (M)	0.094	0.19	0.295	0.395	0.496	0.596	0.69
X(cm)	8	9	10	11	12	13	14
M (M)	0.797	0.897	0.998	1.098	1.19	1.299	1.399

七、不同物質水溶液的溫度與折射率的關係：

- (一) 由圖 21，可發現各物質皆成線性關係，再由表 11 可知 r^2 值在 0.9897 到 0.9971 間，有高度相關性。除水外，硝酸鈉、氯化鈉、硫酸鈉濃度皆為 10%，我們以熱水配製藥品，並利用覆蓋來減少水蒸發，以溫度計測量溶液的溫度，並紀錄對應光斑的位移。由圖 21 可發現水溶液的溫度愈高，折射率會變小，反之，水溶液的溫度愈低，折射率會變大，在同一溫度下折射率大小關係：氯化鈉溶液 > 硫酸鈉溶液 > 硝酸鈉溶液 > 水。



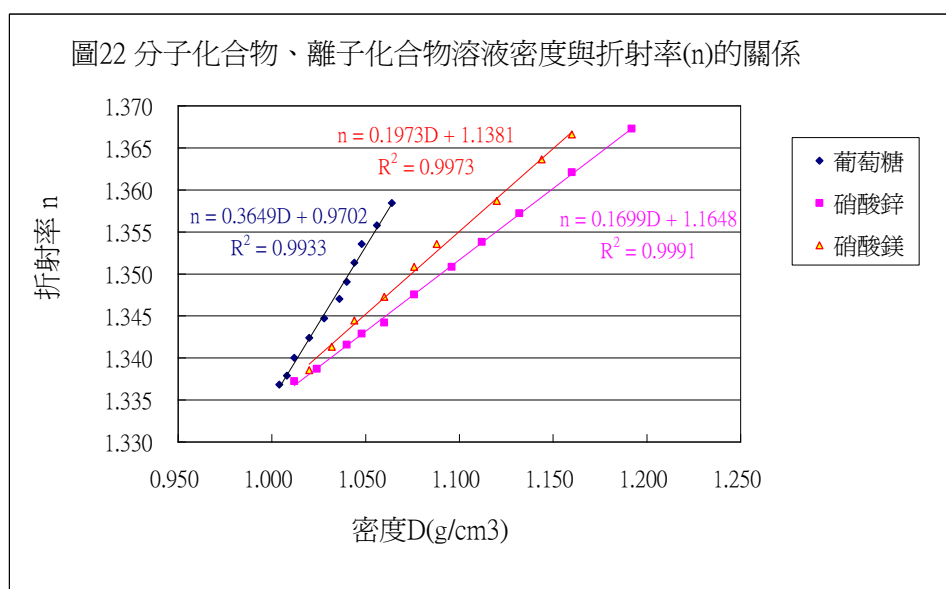
- (二) 因實驗時無法將溶液維持在一定的溫度，我們實驗操作的溫度在 18°C 至 21°C 之間，為了確認溫度不會對實驗數據造成太大影響，所以我們測量了四種不同溶液在同濃度、溫度不同時的折射率。由表 11 可發現，不同物質的水溶液中，在 18°C 及在 21°C 的 n 值差異並不大， Δn 值在 0.0006~0.0003 之間，雖然本實驗在測量時溶液沒有維持一定的溫度，但溫度變化在 18~21°C 的範圍，對折射率的影響小於濃度變化對折射率的影響，所以溫度對本實驗的準確性的影響是非常小的。

表 11 各物質水溶液溫度與折射率的線性方程式與相關性

物質	$y=n, x=T(^{\circ}\text{C})$	r^2	X=T=18 $^{\circ}\text{C}$ 時 n 值	x=T=21 $^{\circ}\text{C}$ 時 n 值	Δn 值
氯化鈉	$y = -0.0002x + 1.3560$	0.9897	1.3524	1.3518	0.0006
硫酸鈉	$y = -0.0002x + 1.3543$	0.9991	1.3507	1.3501	0.0006
硝酸鈉	$y = -0.0002x + 1.3503$	0.9999	1.3467	1.3461	0.0006
純水	$y = -0.0001x + 1.3391$	0.9989	1.3373	1.337	0.0003

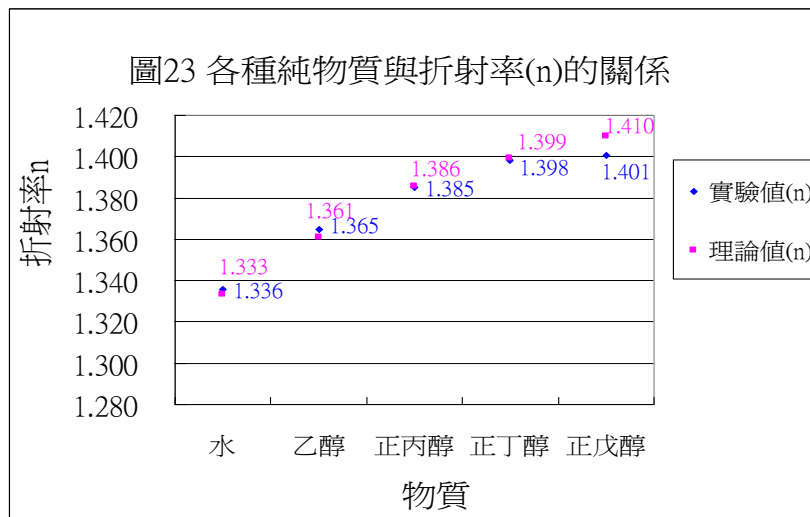
八、非電解質水溶液與電解質水溶液折射率之比較：

我們先前所做的實驗的溶液都是屬於電解質溶液，所以我們想知道，如果是非電解質，會對折射率造成什麼樣的影響？我們取葡萄糖(分子量=180)為非電解質的代表，取硝酸鋅(分子量=189.4)為分子量與葡萄糖較接近且無色的電解質及硝酸鎂(是密度與折射率關係中，斜率最大的電解質)來做比較，由圖 22 可看到葡萄糖的曲線的斜率明顯大於硝酸鎂、硝酸鋅的斜率。由此我們可得到初步的結論，在溶液密度相同時，非電解質的水溶液的折射率大於電解質的水溶液折射率。



九、純物質折射率的測量：

為了證實我們的實驗數據是準確的，我們測量水、乙醇、正丙醇、正丁醇、正戊醇等純物質的折射率，並將實驗值與理論值做比較，結果如圖 23 所示。我們由圖 23 發現，正丙醇、正丁醇、及水三種物質，折射率的實驗值與理論值相當接近，而正戊醇折射率的實驗值與理論值差異稍大，但 Δn 也僅有 0.009 的誤差，也是在我們可以接受的範圍內。



陸、 討論

一、實驗所得到的折射率差值在 1.33~1.34 之間，如果以半圓形水槽實驗，雷射光通過溶液的角度差，如下表 12。

表 12 入射角與折射角改變量

入射角 i	折射率=1.33 之折射角	折射率=1.34 之折射角	折射角改變量(°)
20	14.90°	14.79°	0.11°
40	28.90°	28.66°	0.24°
60	40.64°	40.27°	0.37°
70	44.95°	44.55°	0.40°

(一) 如果屏幕距離半圓型槽出光點 135 公分的地方時，雷射光斑的偏移最多只有 1 公分左右，很難仔細的觀察出光斑位置有什麼改變。

(二) 以本實驗三角形槽之裝置，光以 20°入射，而折射率在 1.33~1.34 間所產生光斑偏移大小大概是 3 公分左右，比半圓形槽放大了 3 倍之多，更容易觀察，也增加了靈敏度。

二、壓克力槽的厚度大約是 0.35 公分，雷射光經由三角形槽的一端入射，通過溶液由另一端射出時，其實共經過了 4 個界面，所以會產生 4 次的折射。而壓克力厚度的存在，會造成雷射光從不同濃度的溶液進入壓克力時，因入射角不同，也造成在壓克力內部折射角的大小不同，因此使雷射光產生偏移加大。但是關於這一點，我們經過計算，即使以光通過厚度 0.35 公分的壓克力來說，其實際出光點兩點之距離很小，如圖 25 中之 A、B 兩出光點之距離僅有 0.001 公分左右。相較於出光點與屏幕之距離來說是很小的，所以在理論推導時，我們忽略了壓克力板厚度。

圖 24 在忽略壓克力厚度時，以雷射通過不同濃度之溶液之光徑示意圖

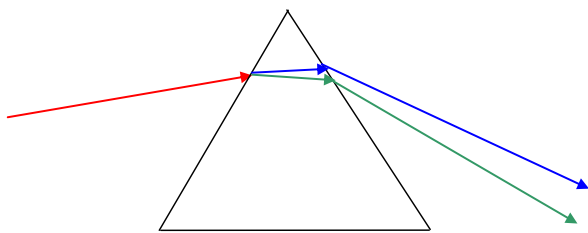
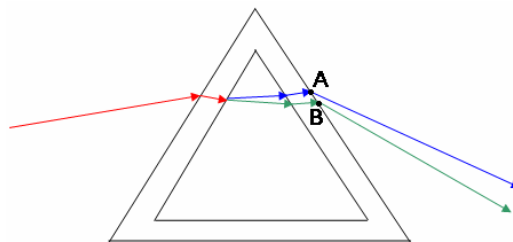


圖 25 雷射實際通過壓克力槽，經四次折射之光徑示意圖



三、入射角選定 20° 的原因

(一) 以電腦模擬計算，入射角愈小靈敏度愈好。

(二) 另外，因壓克力的折射率約為 1.4，若於三角槽中裝入水，經計算以入射角 = 14.33° 度左右入射，會在壓克力與空氣界面發生全反射，而找不到第二次的折射光，所以第一次的入射角必須大於 14.33° 度。

(三) 如果考慮溶液的折射率比水大，為了避免待測溶液發生全反射現象，所以將本實驗的入射角設定為 20° 度，以防止發生全反射。

四、實驗結果發現各種溶液的莫耳濃度與折射率的關係及重量百分濃度與折射率的關係均呈線性關係。在不同種類的溶液間，卻沒有比較一致的線性關係，但仍有些溶液性質是相近的。

五、實驗結果發現各種溶液之莫耳濃度與光斑位移的關係及重量百分濃度與光斑位移的關係也是呈線性關係。是在不同的溶液間，卻沒有較一致的線性關係，但仍有些溶液性質是相近的。

六、我們可利用各種溶液莫耳濃度與光斑位移及重量百分濃度與光斑位移所形成的獨特的線性關係，製作成測量這些性質相近的不同溶液濃度的儀器。

七、由各種溶液的密度與折射率的關係圖 11 及密度與光斑偏移大小之關係圖 17 及性質相近的溶液之密度與光斑位移關係圖 18，發現數據點大多落在同一直線上，這表示密度與折射率之關係及密度與光斑偏移大小之關係，在水溶液中有著跨物種而比較一致的線性關係。

八、可利用存在各種溶液間共同的密度與折射率的關係及密度與光斑偏移之關係，製作一個可以測量不同溶液密度還有折射率的工具，甚至還可以計算出光在不同濃度下的光速。

九、從水溫度與光斑偏移之關係，可以看出水的溫度變化 ($0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$) 對折射率變化的影響非常的小， Δn 等於 0.005，小於濃度、密度對折射率變化 ($\Delta n \approx 0.05$) 的影響。

十、可利用本實驗之裝置，非常準確的測出各種液態純物質的折射率。

柒、 結論

- 一、光通過水溶液時，它的溶液濃度、密度與折射率呈線性關係。
- 二、介質的溫度、濃度、密度，和介質折射率都有著依存的關係，但是溫度、濃度、密度並不是主要決定光在介質中光速的主要因素，對所有物質間並沒有共同一致的相對關係，真正影響介質傳播光速的快慢或許是由其他不知的物理量所影響，還有待我們再繼續去研究。
- 三、可利用本實驗的結果設計出測量各種液態純物質或水溶液的折射率、溫度、濃度、密度及介質傳播光速的工具。

捌、 未來展望

- 一、希望能夠研究出更多不同種類溶液的濃度、密度與折射率的關係，歸納之後使本實驗設計的原理實用性更高。
- 二、研究經過兩次以上的折射，放大折射角度，用以縮小儀器設計的體積，來提高靈敏度。
- 三、尋找影響物質折射率的真正因素。

玖、 參考資料及其他

- 一、南一出版社(民95)，國中八年級自然與生活科技課本。
- 二、康軒出版社(民94)，國中八年級自然與生活科技課本。
- 三、龍騰出版社(民95)，高中二年級物理課本。
- 四、黃榮茂、王禹文、林聖富、楊得仁等著(1987)，曉園出版社，化學化工百科辭典。

【評 語】 031605 折射玄機

優：1.儀器設計及製作簡單明瞭。

2.有效量測不用溶液之析射率。

缺：1.無法解釋遮縫產生之效應，而且解釋之內容似有錯誤。

2.量測精度並不特別突出。