

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：果凍新「視」界

關 鍵 詞：折射、橫向偏位移、視深

編 號：

果凍新「視」界

摘要

本實驗藉著生活廚房易於取得的果凍，嘗試觀察果凍的折射特性及透光現象情形。

一、在不同條件下，觀察自製果凍中的折射情形

(一)觀察果凍中是否會發生「折射」現象

(二)常壓下試驗推估不同溫度時，凝固態與膠體態洋菜果凍的折射率

(三)常溫下試驗推估不同濃度、不同酸鹼性(變色果凍)的果凍之折射率

二、體驗「水平」觀察：

(一)一層：

觀察平行透明果凍層紅光、綠光入射後的偏移距離、角度，可以發現綠光的偏位移較紅光大。

(二)多層：觀察果凍、塑膠尺、玻璃擺放順序改變後的入射角與最後折射角，會發現光線通過多層平行介質時，由一介質到另一介質的角度與中間介質無關。

三、體驗與模擬「垂直」觀察：

模擬水面上觀察水面下同深度的不同顏色物體時，會感覺紅色物體看起來比綠色物體較深（物體的視深不同，但實際深度確相同）。

壹、研究動機：

小學五上自然與生活科技領域中有「觀測太陽」、「水溶液」，當光線遇到洋菜果凍會發生什麼現象，基於好奇心，我們嘗試將不同色光打入不同透光層(如果凍)中，觀察光線折射等現象。

貳、研究目的：

- 一、觀察不同條件下紅光與綠光不同色光在洋菜果凍折射情形，驗證折射在果凍中可行性。
- 二、試著觀察與推估驗證果凍的折射後會產生橫向位移，記錄、比較偏移情形。
- 三、模擬在水面上觀察水面下物體時會產生「視深」變化。

參、研究設備及器材

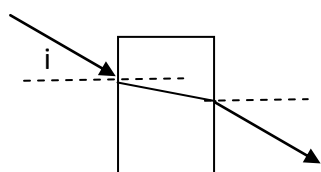
一、實驗器材與物品：

(一)物品：洋菜果凍粉、蝶豆花/黑豆水、薑黃等自製酸鹼指示劑、墨鏡

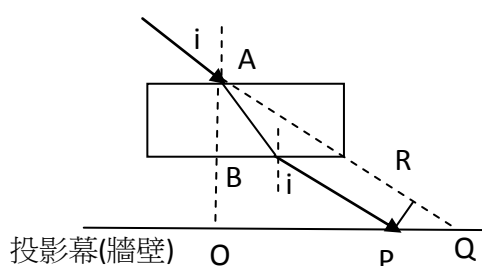
(二)器材：透明塑膠尺、玻璃片、溫度計、量角器、紅/綠雷射筆、電子秤、量筒

二、實驗裝置的示意圖：

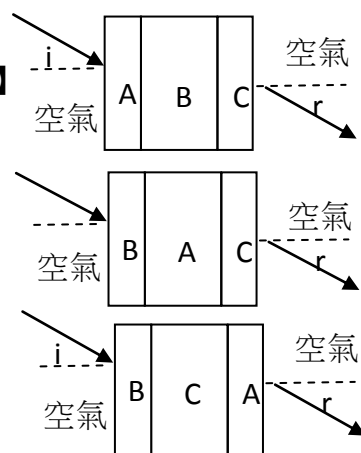
(一)【實驗 1】



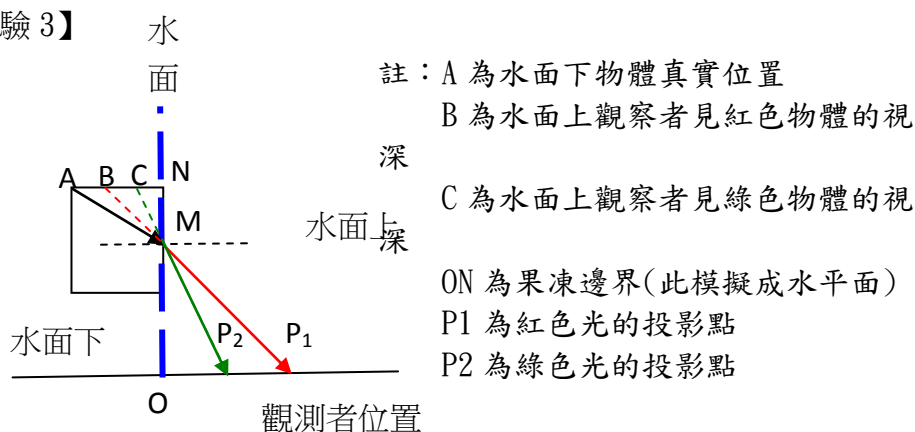
(二)【實驗 2-1】



【實驗 2-2】



(三) 【實驗 3】



肆、研究過程或方法

一、【實驗一】--觀察與量測不同條件下洋菜果凍的相對折射變化：

(一) 【實驗 1-1】-調配相同濃度果凍，常壓、「不同溫度」下，觀察記錄「凝固態(常溫約 20°C)」與「膠體態(較高溫約 50°C~70°C)」洋菜果凍內的折射情形

常壓下，10 克的洋菜粉加入 1200 的水煮沸約 10 分鐘，先於膠體態時，分別以紅光、綠光雷射筆分別以 30 度、45 度、60 度入射洋菜果凍，各量測三次果凍中的折射角度(取平均值);待溫度降至常溫時，再以 30 度、45 度、60 度入射洋菜果凍量測凝固態的折射角，再推估本樣品果凍當時的相對折射度〈表 1-1-1、表 1-1-2、表 1-1-3〉。

(二) 【實驗 1-2】-常溫、不同濃度果凍內的折射情形

常溫下，分別以 3 克的洋菜果凍粉分別加入 180cc、360cc、540cc 的水調配出不同濃度的果凍，待果凍凝固後(常溫下)以紅光、綠光雷射筆分別以 30 度、45 度、60 度入射洋菜果凍，量測洋菜果凍中的折射角度，再推估本樣品果凍當時的相對折射度〈表 1-2-1、表 1-2-2〉。

(三) 【實驗 1-3】-觀察記錄常壓常溫、不同酸鹼度洋菜果凍內的折射情形

常溫下，在 10 克的洋菜果凍粉加入 1200cc 的水調配出的洋菜果凍中，分別加入天然酸鹼指示劑蝶豆花溶液 5ml、黑豆水 5ml、薑黃溶液 5ml，再分別加入檸檬酸溶液 5ml、RO 水及小蘇打溶液 5ml，觀察洋菜果凍中的光束偏折的現象。待果凍凝固後以紅光、綠光雷射筆再分別以 30 度、45 度、60 度入射洋菜果凍，量測果凍中的折射角度，再推估本樣品果凍當時的相對折射度〈表 1-3-1、表 1-3-2〉。

二、【實驗二】--水平方向的透光觀察

(一) 【實驗 2-1】--「單層」果凍內，觀察紅光與綠光的折射情形(橫向偏位移)。

常溫常壓下，10 克的洋菜果凍粉加入 1200cc 的水調製洋菜樣品果凍，在洋菜果凍凝固後分別以紅光、綠光雷射筆以 30 度、45 度、60 度入射洋菜果凍，量測通過果凍後折射後的光束投影點，試著推算光束橫向偏位移距離，再透過本樣品果凍推論偏位移與入射角度有關〈表 2-1〉。再嘗試將光源與投影點互換，觀察折射線是否與與元入射線重合。

(二) 【實驗 2-2】--「多層平行介質」，觀察紅光、綠光的折射情形(最後折射角與中間介質及介質順序關係)。

常溫下，分別以 10 克的洋菜果凍粉加入 1200cc 的水調配出的果凍，待果凍凝固後以紅光、綠光雷射筆分別以 30 度、45 度、60 度入射果凍，量測果凍中的折射角度，再推估折射現象在透過多層平行介質後，折射角度的變化與入射角度的關係〈表 2-2〉。

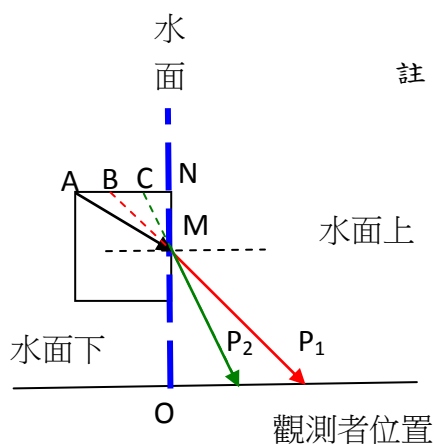
三、【實驗三】--觀察並量測投影幕上的相對位置(模擬自水面上觀測水面下物體的投影)。

(一) 常溫常壓下，10 克的洋菜果凍粉，加入 1200cc 的水，在洋菜果凍凝固後分別以紅光、綠光雷射筆以 30 度、45 度、60 度入射果凍，量測通過果凍後折射後的投影點位置〈表 3〉，進而推測相對視深的差異性。

(二) 觀察記錄 OP_1 、 OP_2 距離，近而反推 O_2B (紅色物體在水中的感覺深度)、 O_2C (綠色物體在水中的感覺深度)及 O_2A (物體在水中的實際深度)。

(三) 試驗光線的可逆性：

分別以紅光及綠光從 A 點入射果凍 M 點，記錄投影點 P_1 與 P_2 ，分別量測記錄 OP_1 、 OP_2 的距離。



註：A 為水面下物體真實位置
 B 為水面上觀察者見紅色物體的視深
 C 為水面上觀察者見綠色物體的視深
 ON 為果凍邊界(此模擬成水平面)
 P1 為紅色光的投影點
 P2 為綠色光的投影點
 量測 OP_1 、 OP_2 ，反推 NB、NC 及 NA

伍、研究結果

一、【實驗一】：不同條件下洋菜果凍中的相對折射變化記錄

表 1-1-1 紅光	紅光 入射 (觀察凝固態與膠體態果凍中的折射情形)						
	凝固態				膠體態		
入射 角度	折射角 $R_{紅}$	折射角 $R_{紅}$ (平均值)	相對折 射率	相對折 射率 (平均值)	折射角 $R_{紅}$	相對折射率	相對折射率 (平均值)
30°	26°	24.67°	1.14	1.2	29°	1.03	1.01
	24°		1.23		30°	1	
	24°		1.23		30°	1	
45°	30°	29.67°	1.41	1.43	37°	1.17	1.17
	29°		1.46		38°	1.15	
	30°		1.41		36°	1.20	
60°	40°	40°	1.35	1.35	45°	1.22	1.19
	41°		1.32		47°	1.18	
	39°		1.38		48°	1.17	

表 1-1-2 綠光	綠光 入射(觀察凝固態與膠體態果凍中的折射情形)						
	凝固態				膠體態		
入射 角度	折射角 $R_{綠}$	折射角 $R_{綠}$ (平均值)	相對折 射率	相對折 射率 (平均值)	折射角 $R_{綠}$	相對折射率	相對折射率 (平均值)
30°	22°	21.67°	1.33	1.35	29°	1.03	1.04
	21°		1.40		28°	1.07	
	22°		1.33		29°	1.03	
45°	27°	27.33°	1.56	1.54	44°	1.02	1.05
	29°		1.46		42°	1.06	
	26°		1.61		41°	1.08	
60°	36°	46.33°	1.47	1.46	50°	1.13	1.06
	37°		1.44		51°	0.91	
	36°		1.47		50°	1.13	

一、【實驗一】：不同條件下洋菜果凍中的相對折射變化記錄

表 1-1-3	凝固態 不同色光 入射 (觀察凝固態果凍中的折射角變化情形)							
	紅光				綠光入射			
入射 角度	折射角 凝R _紅	折射角 凝R _紅 (平 均值)	相對折 射率	相對 折射率 (平均值)	折射角 凝R _綠	折射角 凝R _綠 (平均值)	相對折 射率	相對 折射率 (平均值)
30°	26°	24.67°	1.14	1.2	22°	21.67°	1.33	1.35
	24°		1.23		21°		1.40	
	24°		1.23		22°		1.33	
45°	30°	29.67°	1.41	1.43	27°	27.33°	1.56	1.54
	29°		1.46		29°		1.46	
	30°		1.41		26°		1.61	
60°	40°	40°	1.35	1.35	36°	46.33°	1.47	1.46
	41°		1.32		37°		1.44	
	39°		1.38		36°		1.47	

(折射率)

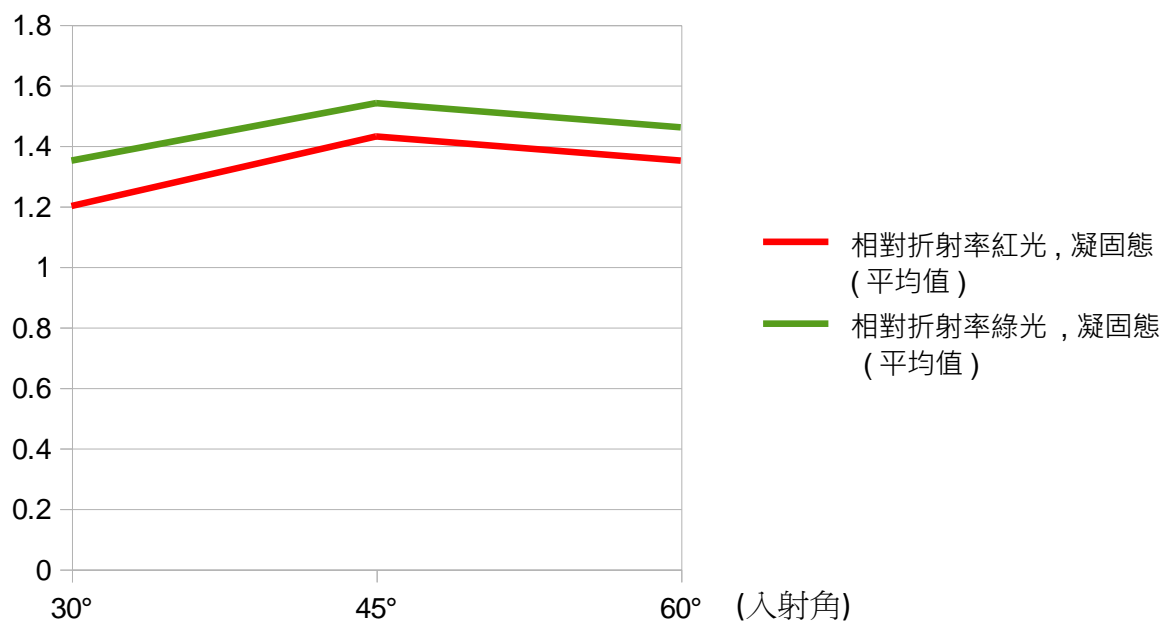


表 1-2-1 (紅光)	濃度較高 (加 180cc水)			濃度適中 (加 360cc水)			濃度較低 (加 540cc水)		
	折射角	折射率	折射角 (平均值)	折射角	折射率	折射角 (平均值)	折射角	折射率	折射角 (平均值)
30°	23°	1.279	1.25	28°	1.065	1.21	25°	1.183	1.17
	24°	1.229		24°	1.229		25°	1.183	
	24°	1.229		22°	1.335		26°	1.140	
45°	32°	1.334	1.32	33°	1.298	1.29	36°	1.203	1.21
	31°	1.373		32°	1.334		35°	1.233	
	34°	1.264		35°	1.233		36°	1.203	
60°	40°	1.347	1.34	40°	1.347	1.31	52°	1.099	1.11
	41°	1.319		41°	1.319		50°	1.131	
	40°	1.347		43°	1.269		52°	1.099	

(折射率-平均值)

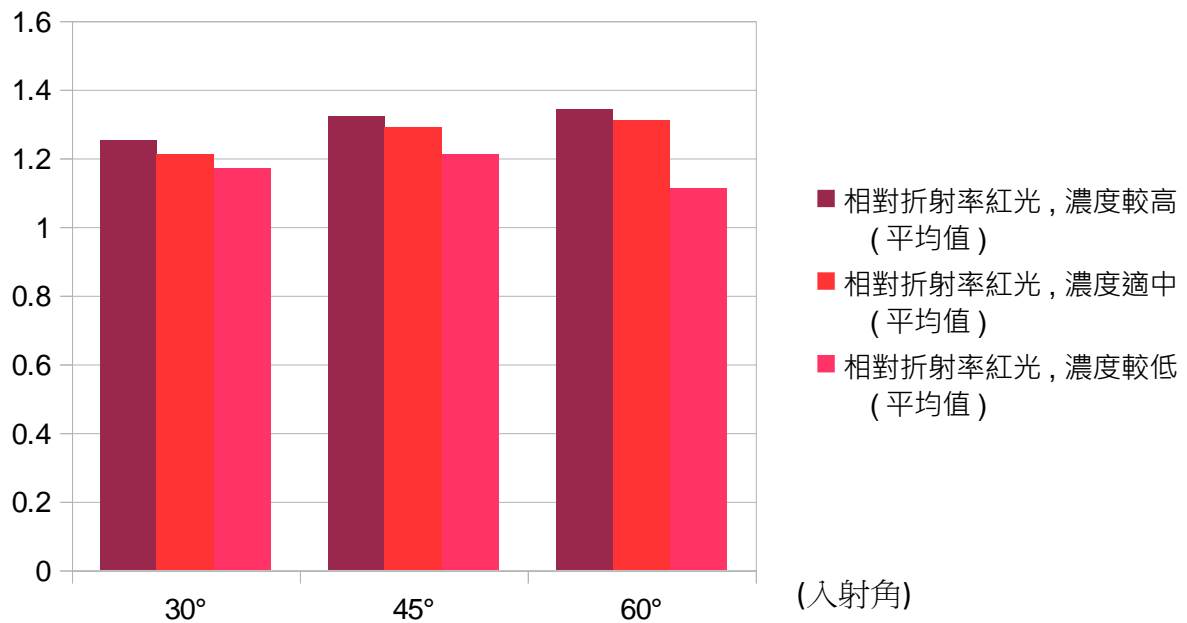


表 1-2-2 (綠光)	濃度較高 (加 180cc水)			濃度適中 (加 360cc水)			濃度較低 (加 540cc水)		
	折射角	折射率	折射角 (平均值)	折射角	折射率	折射角 (平均值)	折射角	折射率	折射角 (平均值)
30°	25°	1.183	1.22	25°	1.183	1.18	26°	1.140	1.15
	23°	1.279		25°	1.183		25°	1.183	
	25°	1.183		25°	1.183		26°	1.140	
45°	30°	1.414	1.43	31°	1.373	1.35	35°	1.233	1.23
	29°	1.458		32°	1.334		35°	1.233	
	30°	1.414		32°	1.334		35°	1.233	
60°	40°	1.347	1.36	40°	1.347	1.32	40°	1.347	1.30
	40°	1.347		42°	1.294		42°	1.294	
	39°	1.376		41°	1.319		43°	1.269	

(折射率-平均值)

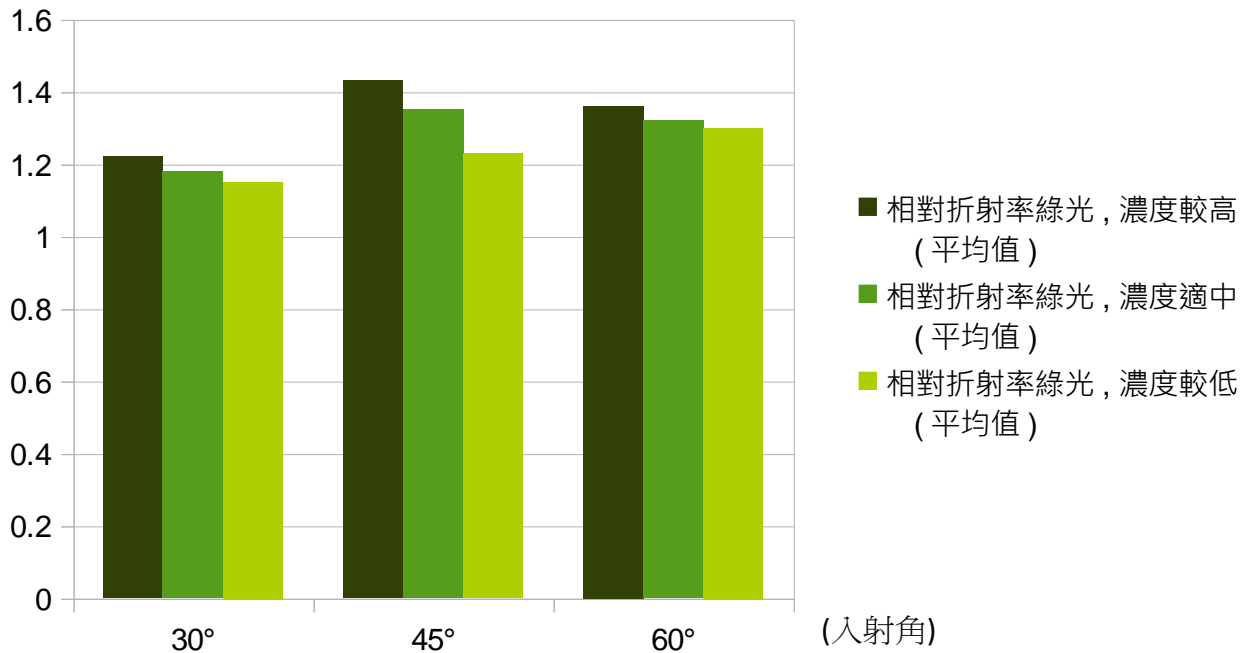


表 1-3-1 紅光		酸性		中性		鹼性	
		檸檬酸		RO 水		小蘇打水	
入射 角度	組別	折射角	折射率	折射角	折射率	折射角	折射率
30° 入射	蝶豆花組	25.1°	1.18	23.2°	1.28	21.5°	1.34
	黑豆水組	25.5°	1.15	24.7°	1.19	23°	1.30
	薑黃液組	27.5°	1.07	24.1°	1.22	22.5°	1.29
45° 入射	蝶豆花組	31.3°	1.35	30.3°	1.39	27.5°	1.51
	黑豆水組	32.5°	1.30	32.3°	1.32	29.5°	1.42
	薑黃液組	31°	1.37	30.3°	1.39	24.5°	1.68
60° 入射	蝶豆花組	39.3°	1.36	38.1°	1.40	35.2°	1.50
	黑豆水組	38.5°	1.38	37.5°	1.41	34.5°	1.52
	薑黃液組	35°	1.51	34.1°	1.54	29°	1.74

(入射角)

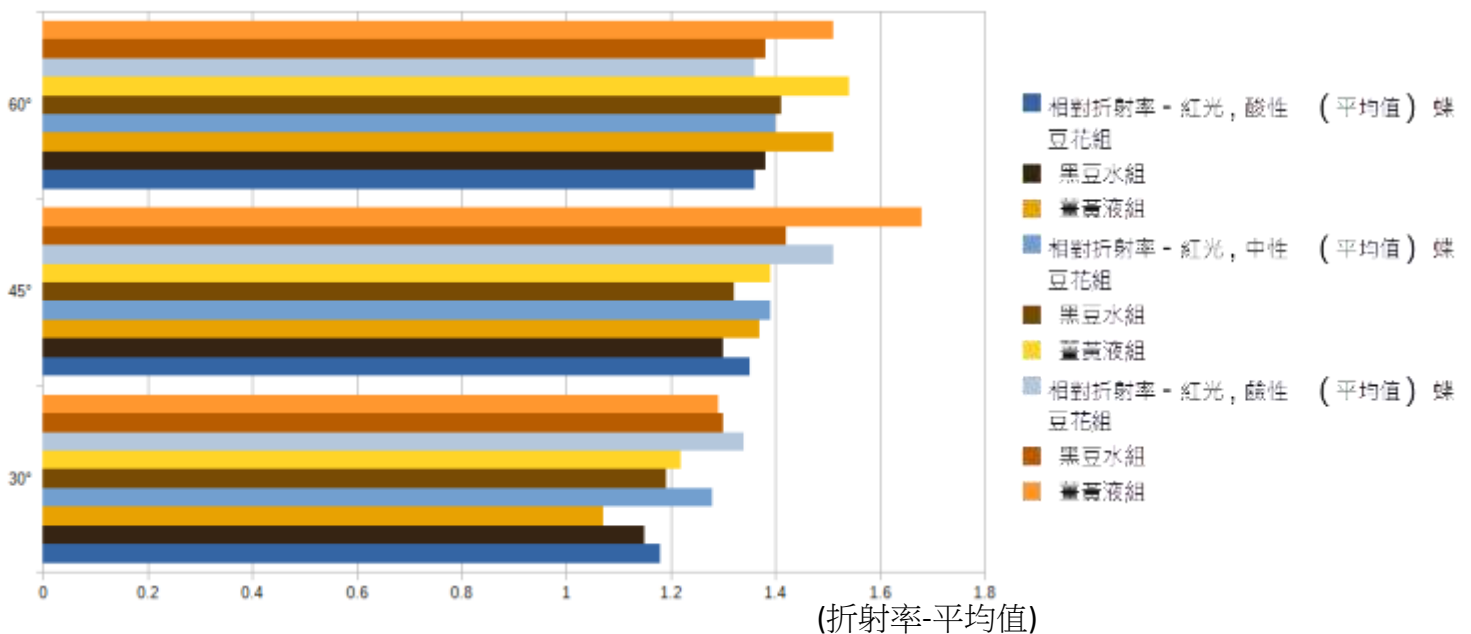
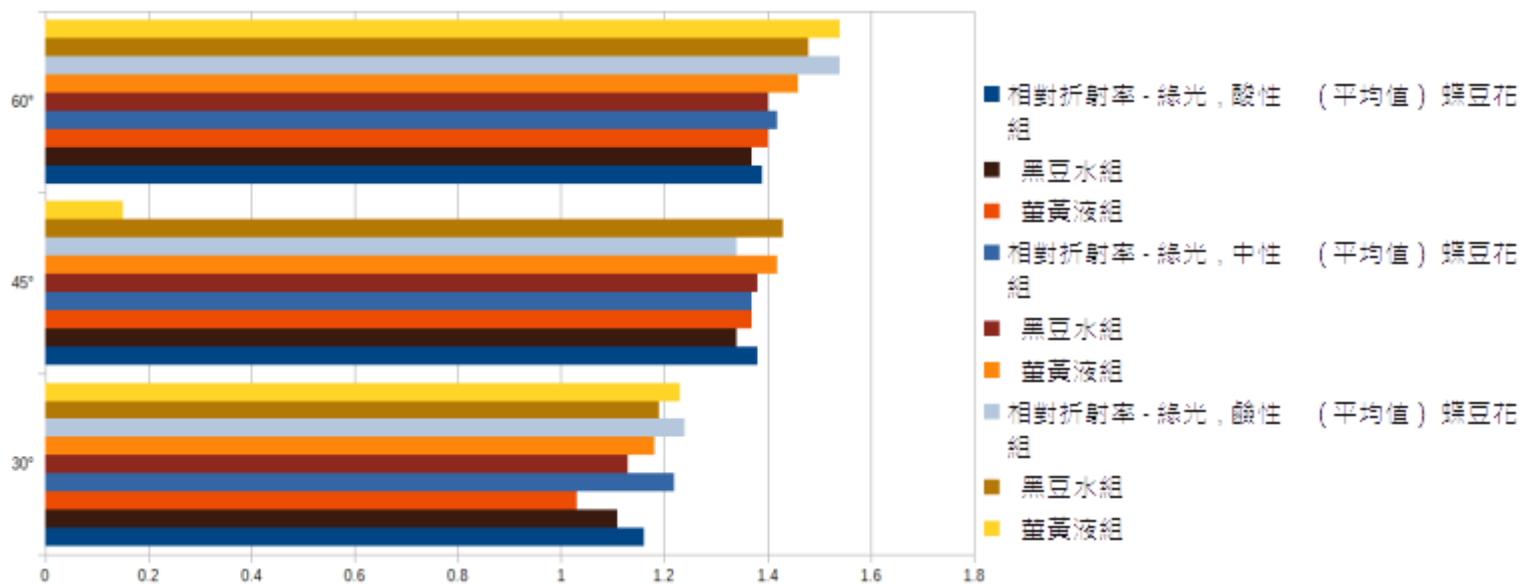


表 1-3-2 綠光		酸性		中性		鹼性	
		檸檬酸		RO 水		小蘇打水	
入射 角度	組別	折射角	折射率	折射角	折射率	折射角	折射率
30° 入射	蝶豆花組	25.3°	1.16	24.1°	1.22	23.5°	1.24
	黑豆水組	26.5°	1.11	26.1°	1.13	24.5°	1.19
	薑黃液組	29°	1.03	25.1°	1.18	24°	1.23
45° 入射	蝶豆花組	30.5°	1.38	30.1°	1.37	31.5°	1.34
	黑豆水組	31.5°	1.34	30.5°	1.38	29.4°	1.43
	薑黃液組	31°	1.37	29.5°	1.42	27.5°	1.51
60° 入射	蝶豆花組	38.3°	1.39	37.3°	1.42	34.2°	1.54
	黑豆水組	39.2°	1.37	38.1°	1.40	35.5°	1.48
	薑黃液組	38.1°	1.40	36.3°	1.46	34.1°	1.54

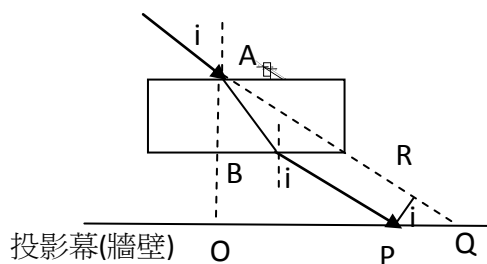
(入射角)



(折射率-平均值)

二、【實驗二】：水平方向的透光觀察記錄(橫向位移)

表 2-1	紅光 入射(偏位移, 單位: cm)				綠光 入射(偏位移, 單位: cm)			
	OP _紅	OQ _紅	PQ _紅	P _紅 R	OP _綠	OQ _綠	PQ _綠	RQ _綠
30°	9	11	2.1	1.82	8.5	11	2.5	2.17
45°	13	18.8	5.8	4.10	11	18.8	7.8	5.52
60°	15.1	33	17.9	8.95	13	33	20	10.00



註：OQ 為原光束在入射點(A)方向延長至投影點(Q)與透出面(B 點)垂直距離，P 為經過洋菜果凍折射後透出光束的投影點，PQ 為 P 與 Q 點的距離(cm)，PR 為光束經過洋菜果凍折射後的偏位移 (cm)， $\angle i = \angle QPR$

其中， $\overline{PR} \approx \overline{PQ} * \sin(\angle RPQ) = \overline{PQ} * \cos i$

(偏位移) cm

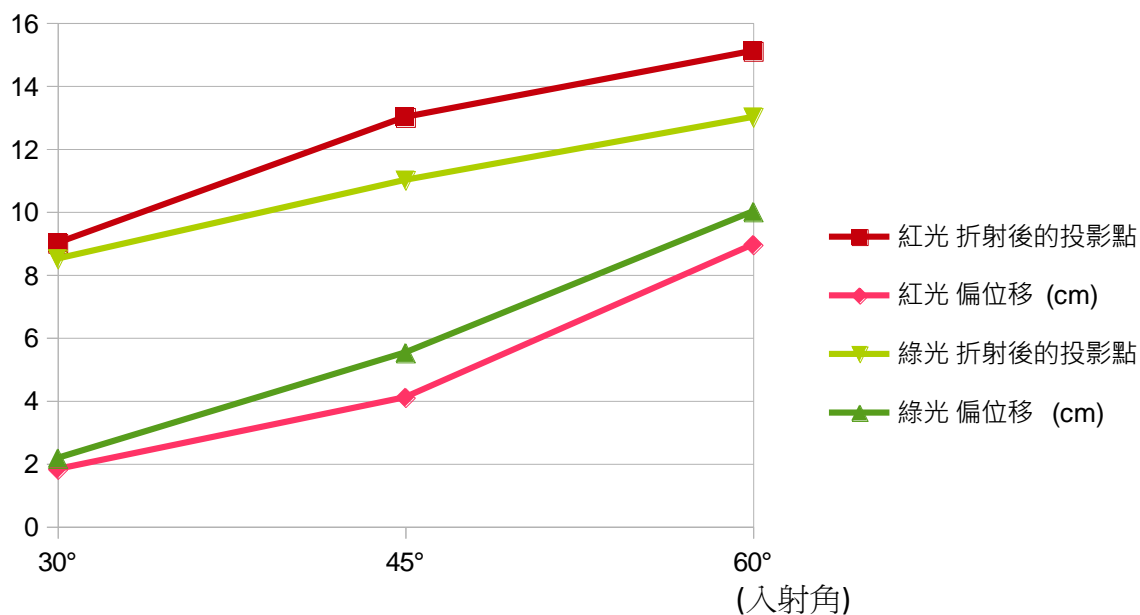
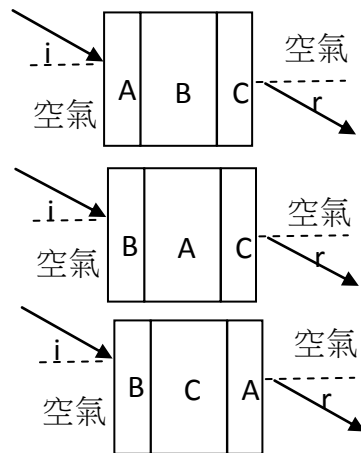


表 2-2		觀察紅光、綠光在「多層平行介質」的折射情形						
介質擺放順序	紅光入射				綠光入射			
	入射角 <i>i</i>	最後折射角 <i>r</i>			入射角 <i>i</i>	最後折射角 <i>r</i>		
		第 1 次	第 2 次	第 3 次		第 1 次	第 2 次	第 3 次
A-B-C	30°	29°	31°	32°	30°	31°	30°	29°
		平均	30.67°			平均	30.00°	
	45°	43°	46°	44°	45°	46°	42°	44°
		平均	44.33°			平均	44.00°	
	60°	59°	61°	60°	60°	62°	63°	55°
		平均	60.00°			平均	60.00°	
B-A-C	30°	30°	31°	28°	30°	32°	31°	29°
		平均	29.67°			平均	31.67°	
	45°	43°	46°	44°	45°	45°	47°	43°
		平均	44.33°			平均	45.00°	
	60°	61°	58°	60°	60°	60°	61°	62°
		平均	59.67°			平均	61°	
B-C-A	30°	29°	31°	29°	30°	30°	28°	32°
		平均	29.67°			平均	30.00°	
	45°	43°	45°	44°	45°	46°	45°	44°
		平均	44.00°			平均	45.00°	
	60°	58°	59°	61°	60°	62°	56°	60°
		平均	59.33°			平均	59.33°	

A：洋菜果凍。 B：透明塑膠直尺。 C：透明玻璃片



A：洋菜果凍。

B：透明塑膠直尺。

C：透明玻璃片。

多次試驗當紅光、綠光分別以入射角 i 入射不同排序的介質後，觀察記錄最後折射角 r 。

三、【實驗三】：觀察並量測投影幕上的相對位置(模擬自水面上觀測水面下物體的投影)。

表 3	紅光 入射	綠光 入射	可推論得知
	OP ₁ (紅光投影位置)	OP ₂ (綠光投影位置)	
30°	7.5	6.7	實深 > 視深B > 視深C
45°	9	7	
60°	15	9.5	

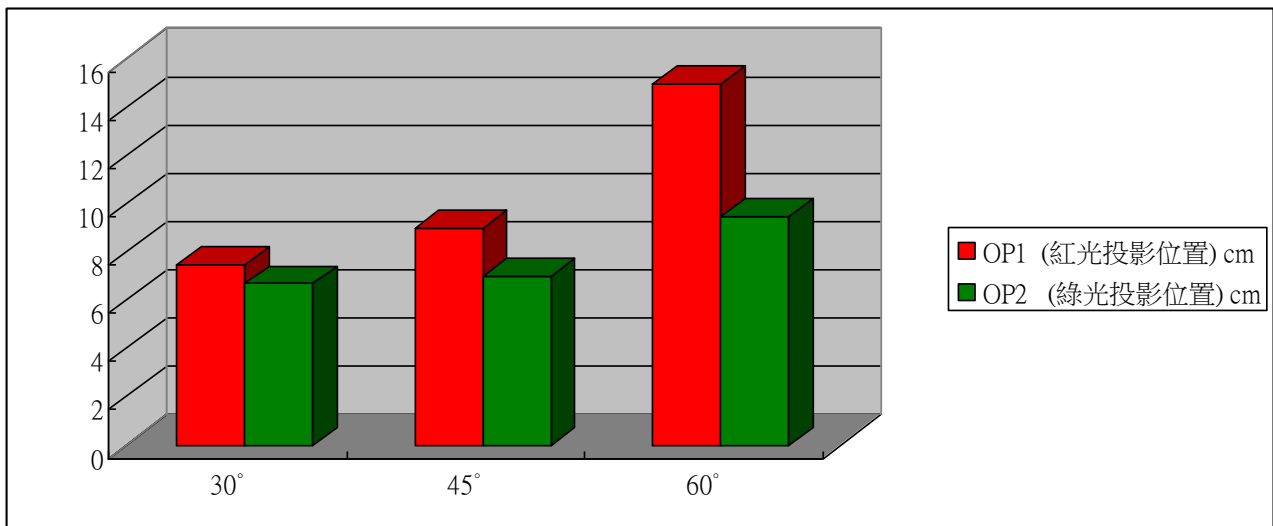
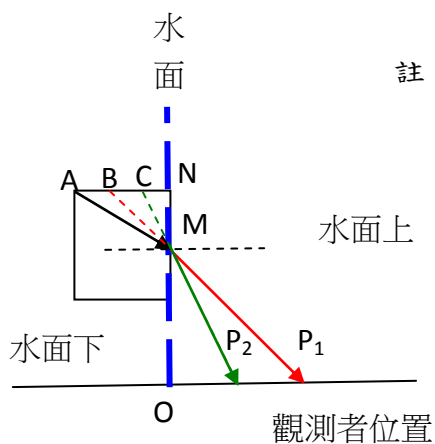


圖 3. 水面下同深度的紅綠光透過水面後的投影位置--紅色垂直位置較高於綠色，所以可反推該位置看到的水面下紅色物體的感覺深度較綠色物體深。

陸、討論

- 一、在做膠態洋菜果凍的折射率實驗時，發現折射率會隨溫度下降而改變，最後呈現凝固態時的洋菜果凍折射率。分別不同色光(紅色光、綠色光)以相同角度入射同一洋菜果凍時，可以觀察到綠色光在果凍中的折射情形較紅色光大，其折射角變得比紅色光的折射角小(表 1-1-3)，故可推得綠色光在相同介質(如洋菜果凍)中其折射率較紅光大。
- 二、「濃度」較大的洋菜果凍其硬度較大，但不同濃度的洋菜果凍，其折射率試驗並無明顯的差距(約略在 1.1~1.4 的範圍中)。故推論本試驗的濃度差異不大對折射率的影響程度較小。
- 三、在不同「酸鹼」度下，當入射角度漸漸變大時，洋菜果凍的折射率會些微變化，但不同酸鹼度的洋菜果凍中對光線透過後的折射率影響不大；微鹼性下的洋菜果凍折射率較酸性的洋菜凍折射率稍大。薑黃組的鹼性洋菜果凍其折射率也微較蝶豆花組、黑豆水組大。
- 四、在暗室中投影效果較明顯，但對眼睛的傷害會較大，建議戴上墨鏡再看亮光點。
- 五、實驗中發現光的行進路線有可逆性，為了較好量測到實驗數據，我們可以在水平方向量測入射角，將折射光投影在牆壁上，如此較能減少實驗誤差。
- 六、本試驗 2-1 的樣本洋菜果凍厚度不大，加上洋菜果凍的相對折射率不大，所以實驗產出的橫向位移在入射角較小時比較容易量測，當入射角角度增大可觀察到偏位移距離會加大，但可能因在果凍內發生折射與反射，使得測量誤差加大。不過多次嘗試錯誤試驗後，約略可推測偏位移與入射角度、介質厚度(如：果凍)以及射光在介質中的相對折射率有關。
- 七、由實驗 2-2 結果發現，光線在透過多層平行介質時，同在以空氣為首尾的介質，記錄資料顯示入射角與折射角不大會因為介質排列順序而改變，所以記錄到的最後折射角約略與入射角相同。
- 八、在模擬水面上觀察水下物的實驗中，為了減少眼睛的不適，我們將光線投影在牆壁上，再反推投影點的反向延長線，即可推論出所見的水下紅色物體會感覺比綠色物體深。
- 九、本樣品洋菜果凍的試驗過程中可以發現光線會直線前進、會透射發生折射現象、也可能會產生部份反射現象。

柒、結論

- 一、光線在洋菜果凍中會有發生「折射」與反射現象。入射光與折射光的行進路徑是可逆的。
- 二、溫度會改變洋菜果凍的凝固狀態，凝固態的洋菜果凍折射率較膠態狀態的洋菜果凍折射率大，洋菜果凍的相對折射率約在 1.3 ~ 1.5。
- 三、濃度與酸鹼度在本試驗中對洋菜果凍折射率的影響較小。
- 四、光線在通過平行洋菜果凍層時，會發生橫向偏位移現象。偏位移與入射角、介質的厚度(如：洋菜果凍層)、入射光相對折射率等有關。
- 五、光線在透過空氣及多層平行介質後，其入射角度與最後折射角度與平行多層介質的擺放順序或折射率較無關，符合司乃耳的折射定律(Snell's Law)。
- 六、模擬在水上觀察水面下物體時(同一深度)，紅色物體在水面上看下去感覺較綠色物體較深(會產生「視深」變化)；也就是物體的視深(感覺深度)不等於物體的實際深度。

捌、參考資料及其他

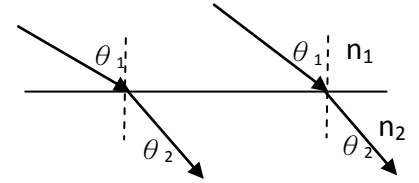
一、司乃耳定律 (Snell's Law) : https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s_law

(一) 入射線、折射線及界面的法線均在同一平面上，且入射線與折射線分別在法線兩側。

(二) 入射角的正弦(sin)與折射角的正弦(sin)比值為一常數。

$$\text{即 } \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \text{介質2對介質1的相對折射率。}$$

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



二、均一教育平台：光線折射、反射時光行進的方向有可逆性

<https://www.junyiacademy.org/junyi-science/>

(一) 兩相鄰介質中，折射率較大的(光速較慢者)為「光密介質」，折射率較小的(光速較快者)稱為「光疏介質」。

(二) 將光源至於原先成實像的位置，經過同一界面折射或反射後的成像會在原先光源的位置【光徑的可逆性】。

三、光線在經過平行版折射後會發生偏位移(RQ)：

(一) 由 $1 \cdot \sin \theta_i = n \sin \theta_r$

$$\cos r = \frac{d}{AB}$$

$$\sin(i - r) = \frac{PR}{AB}$$

可推得偏位移

$$\frac{PR}{\cos r} = \frac{\sin(i - r)}{\cos r} * d = \frac{\sin i * \cos r - \cos i * \sin r}{\cos r} * d = (\sin i - \cos i * \tan r) * d$$

$$= (\sin i - \cos i * \frac{\sin i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}) * d = d \sin i * (1 - \frac{\cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}})$$

如果入射角*i*很小時，偏位移 $PQ \approx d * i * (1 - \frac{1}{n})$ 。即當光透過折射較大的光

密介質時可能產生較大的偏位移。

(二) 偏(橫向)位移與介質的厚度、入射角度以及折射率有關。即當透過的介質越厚、或通過折射率較大的光密介質時可能產生較大的偏位移。

四、均一教育平台：<https://www.junyiacademy.org/junyi-science/junyi-physics/junyi-geometric-optics/v/ut7fVU8-t0k>

水面上往水面下看物體，由於光線的折射現象，產生了所見水中物體與實際物體所在位置有一小段差距，即所謂的「物體的視深 ≠ 物體的實際深度」。

五、洋菜：別名有石花菜、菜燕、洋菜膠、寒天、海菜膠、海燕窩、藻膠、牛毛菜、大菜等，是從海藻植物中提取的膠質。由日本美濃屋的太郎左衛門在 17 世紀 60 年代首次提取。<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B4%8B%E8%8F%9C>

