

作品名稱：自製簡易糖濃度測定器

國中組 應用科學科 第二名

縣市：高雄市

作者： 邱建豪、林祐偉

林珈羽、蔡宜庭

校名：高雄市立三民國中

指導教師： 李宛修、許景喬

關鍵詞：糖濃度、旋光效應



自製簡易糖濃度測定器

一、研究動機

家住糖廠這本書中介紹測量甘蔗甜度的過程與測量器，書上有這樣敘述：

甘蔗成熟了，採收之前先用工具採一點甘蔗汁，測量甜度，夠甜才能採收。

1. 使用有凹槽的錐子，由蔗莖取汁。
2. 將甘蔗汁滴入測量器。
3. 測量器的功用類似高倍放大鏡，透過陽光可測知甘蔗汁的甜度。

看完這段敘述我百思不解，透過陽光便可以知道甜度嗎？於是我找了同學與老師一起研究，試圖找出有關測定糖甜度的原理，並試圖製作簡易的糖濃度測定器。

二、研究目的

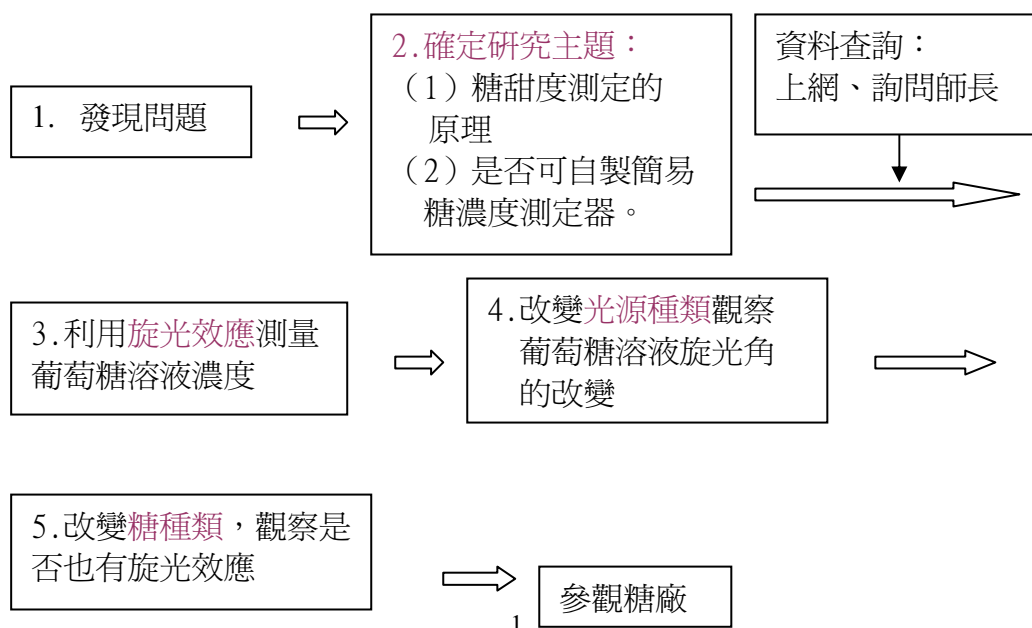
- (一) 了解葡萄糖的旋光效應及濃度、高度對旋光效應有何影響。
- (二) 光源種類是否會影響葡萄糖的旋光效應。
- (三) 果糖、半乳糖、注射用葡萄糖、嬰兒食用葡萄糖、蔗糖、豐年果糖、砂糖等糖類是否有旋光效應。
- (四) 利用糖的旋光效應自製一個簡單的糖濃度測定器。

三、研究器材

- (一) 儀器設備：250mL 燒杯、1000mL 燒杯、10mL 量筒、50mL 量筒、試管（其底部是圓形）、10cm 平底試管、12cm 平底試管、玻棒、濾紙、漏斗、試管夾、鐵架、乳頭滴管、偏振片、電子天平、電源供應器、抽氣過濾裝置、加熱板、變壓器
- (二) 光源：手電筒（白熾光），雷射筆（單色光，波長 650nm）、鈉燈
- (三) 試藥：葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖（以上四種皆為試藥一級）、嬰兒食用葡萄糖、注射用葡萄糖、砂糖、豐年果糖、食鹽、甘蔗汁

四、研究過程與方式

(一) 研究流程簡圖



1. 根據書上敘述：「將甘蔗汁滴入糖測定器，透過陽光就可以測知甘蔗汁的甜度」，這引起我們的研究動機，透過陽光就可以知道甜度嗎？怎麼測量糖呢？
2. 經由上網、詢問師長、等資料搜尋得知葡萄糖有旋光效應。
3. 我們先由最簡單的葡萄糖做起，發現旋光角與濃度、高度成正比。
4. 改變不同光源，測同一種葡萄糖溶液，則會得到不同的旋光角，但此旋光角與葡萄糖的濃度、高度皆有成正比的趨勢。
5. 改成果糖、半乳糖、注射用葡萄糖、嬰兒食用葡萄糖、蔗糖、豐年果糖、砂糖等不同糖類，也發現有與上述第 4. 項相同的旋光效應。

(二) 研究步驟

1. 試驗

(1) 試驗一：偏振片的實驗

兩片偏振片疊在一起，光線可以完全通過；旋轉 90 度之後，交疊的兩片偏振片完全變黑，光線無法穿過。(如照片一)

(2) 試驗二：利用偏振片觀察燒杯中的糖溶液

燒杯中裝葡萄糖溶液，上下各放置一片偏振片，在下面一片偏振片下放置手電筒。(如照片二)

【結果】 旋轉偏振片，發現葡萄糖溶液顏色出現變化。

(3) 試驗三：利用偏振片觀察試管中的糖溶液

由於燒杯體積過大，於是改成一般的試管（其底部是圓形）進行試驗。(如照片三)

(4) 試驗四：訂製平底試管，利用偏振片觀察平底試管中的糖溶液

由於一般的試管（其底部是圓形）會讓光線發散，於是訂製平底試管進行試驗。(如照片四)

【結果】 效果較一般試管佳，於是利用平底試管進行實驗。

2. 實驗一：葡萄糖的旋光效應

利用電子天平秤量葡萄糖質量，分別配製 5%、10%、15%…直至 60% 的溶液，分別裝入平底試管中，並以自製的 360 度環形刻度盤中間黏夾一片偏振片來測量角度（我們就稱其為環形偏振片）。

(1) 取 5% 溶液裝入平底試管中，並使其高度為 4 公分，再將其放在兩片偏振片中，下層偏振片下放置一手電筒，觀察通過兩片偏振片及溶液的光線。

(3) 改變高度，將 5% 溶液裝入平底試管中，並使其高度為 8 公分，再將其放在兩片偏振片中（如 (1) 之裝置）觀察通過的光線。

(3) 改變濃度，將 5% 溶液之試管取出，換成 10% 溶液之試管，進行 (1)、(2) 兩步驟。

(4) 依次將濃度為 15%、20% …60% 等葡萄糖溶液放入兩偏振片中，進行 (1)、(2) 兩步驟。

3. 實驗二：以雷射光為光源觀察葡萄糖的旋光效應

【改進】 由於實驗一的環形偏振片面積大雖易觀察，但因構造簡略，讀取刻度時不夠精準，所以從本實驗開始改以刻度能精確讀取的旋轉式偏振片來從事底下的實驗（如照片五）。

經由實驗一的結果發現，以手電筒為光源時，出現紅、藍色光的角度有成一直線的趨勢，於是將光源改變成單色光，我們以市面上購得的雷射

筆(雷射光波長為 650nm) 進行實驗一，發現光線只有亮暗的區別。

觀察到的光線最暗表示光線無法通過第二片偏振片，此時將葡萄糖溶液放入兩片偏振片中間，我們需再旋轉偏振片，光線才會再次變暗，以此方法重複實驗一的步驟。(如照片六)

4. 實驗三：鈉燈為光源，進行實驗一

雷射筆的雷射光強度較弱，所以改用光強度較強的鈉燈，重複實驗一的步驟。(如照片七)

5. 實驗四：改變糖種類看濃度與旋光角關係

因鈉燈效果最明顯，所以用鈉燈進行實驗四。

改變糖的種類，重複實驗一的步驟，觀察其他糖類是否也有旋光效應。

6. 實驗五：自製糖濃度測定器

為簡化實驗裝置，我們利用身邊即可取得的材料製作簡易糖濃度測定器。(如照片八、九) 其中此測定器的底座以珍珠奶茶杯，內黏長角夾及小試管(用以插放雷射筆)來製作；以空茶葉紙罐做為該測定器的器身部分；茶葉罐的底蓋中央挖一個直徑約兩公分的圓洞黏貼一片偏振片；頂蓋中央也挖一個相同的圓洞且在其上面黏貼一面由文具店購得刻有 360 度角度的環形量角器，且在該環形量角器內面置一片附有指針可旋轉的偏振片；量角器的外圍再放置環形濃度對照表，以此生活上易取得的回收資源來取代實驗室的器材，如此即構成我們自製的糖濃度測定器。

五、研究結果(因數據及圖片數量多，僅截取液面高度 8 公分者呈現)

(一) 實驗一：利用偏振片看葡萄糖的旋光效應

透過偏振片看葡萄糖溶液，發現光線依次出現藍、黃、橙、紅等顏色，因藍色及紅色最為明顯，所以取藍、紅色紀錄。

θ_b ：表初看見藍色的角度 θ_r ：表初看見紅色的角度

表二

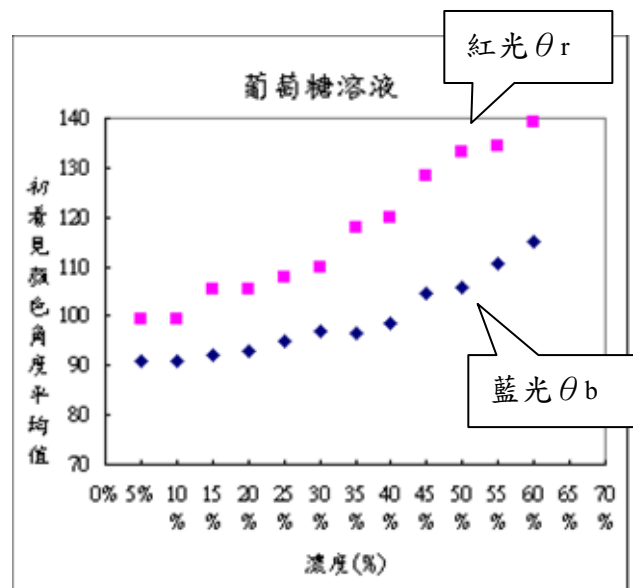
圖二

葡萄糖溶液

液面高度 8 公分

操縱變因：溶液濃度

葡萄糖濃度	θ_b (°) 平均值	θ_r (°) 平均值
60%	115.00	139.00
55%	110.50	134.50
50%	106.00	133.00
45%	104.50	128.50
40%	98.50	120.00
35%	96.50	118.00
30%	97.00	110.00
25%	95.00	108.00
20%	93.00	105.50



15%	92.00	105.50
10%	91.00	99.50
5%	91.00	99.50

(二) 實驗二：用雷射光觀察葡萄糖的旋光效應

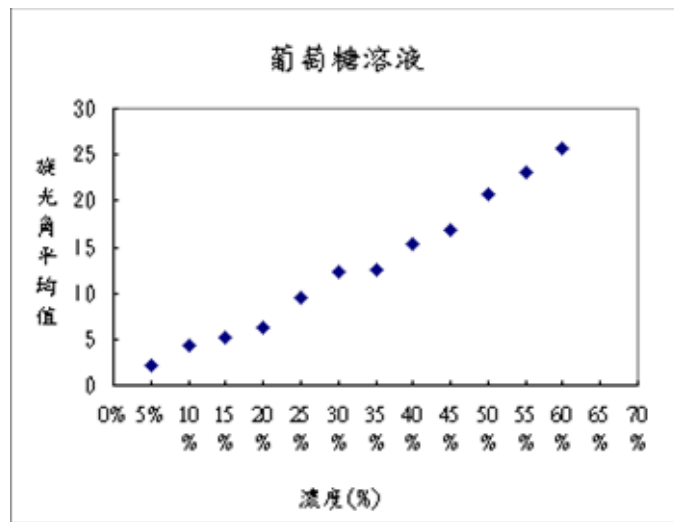
表四 圖四

葡萄糖溶液

單色光種類：雷射筆(波長 650nm)

液面高度為 8 公分

葡萄糖 溶液濃度	旋光角平均值 (單位：度)
60%	25.75
55%	23.00
50%	20.63
45%	16.92
40%	15.25
35%	12.50
30%	12.25
25%	9.42
20%	6.25
15%	5.25
10%	4.42
5%	2.25



(三) 實驗三：用鈉燈看葡萄糖溶液的旋光效應

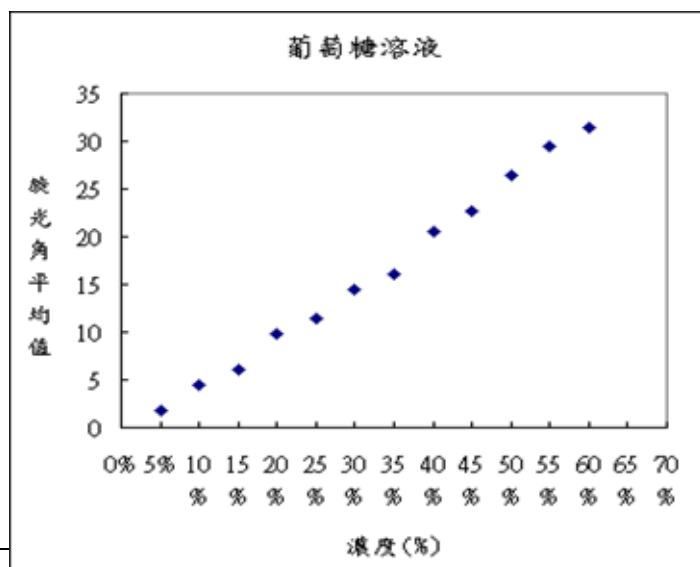
表六 圖六

葡萄糖溶液

單色光種類：鈉燈

液面高度為 8 公分

葡萄糖 溶液	旋光角平均值 (單位：度)
60%	31.50
55%	29.50
50%	26.50
45%	22.75
40%	20.50
35%	16.00
30%	14.50
25%	11.50
20%	9.75



15%	6.00
10%	4.50
5%	1.75

(四) 實驗四：用鈉燈看各種糖類的旋光效應

糖種類有 1、果糖 2、半乳糖 3、注射用葡萄糖 4、嬰兒食用葡萄糖
5、蔗糖 6、豐年果糖 7、砂糖

(實驗結果與葡萄糖結果相似故略而未貼出)

六、討論

- (一) 葡萄糖溶液只能配製至 60%左右，濃度更高時，即使加熱也沒有辦法完全溶解，所以我們取其整數 60%開始做實驗，而實驗時我們也將實驗觀察的速度加快，以免高濃度的溶液因為溫度下降而讓糖沉澱析出。嚴格說來，若考慮所有的變因，溫度也應該是一個控制變因，但是恆溫裝置在操作上較為困難，所以我們沒有做到這個部分，所以溫度也應該是造成實驗誤差的一個原因。
- (二) 因環形偏振片架設完成後容易搖動，應該是儀器沒有固定架的原因，所以我們就改用旋轉式偏振片，因旋轉式偏振片可以固定在鐵架上，所以就不容易移動，因此讀取角度也較精準。
- (三) 由圖一、二所得的曲線發現，只有圖一中藍色光 (θ_b) 的曲線沒有呈一直線這樣的趨勢，這可能是因為出現藍色光的角度範圍較大，再加上外界太亮造成觀察時的誤差，所以這些可能是造成圖一中藍色光的曲線未成一直線的原因。
- (四) 圖九中，半乳糖溶液濃度 15%的圖點也很奇怪，推測原因應該是因為溶液濃度較低，觀察時出現了誤差，若時間許可，可以多做幾次實驗，這樣的實驗誤差應該可以減少。
- (五) 以手電筒為光源照射兩片偏振片中的葡萄糖溶液，發現出現藍色、紅色的角度會隨溶液濃度的增加而增加，其圖形有成一直線的趨勢(參考圖一、二)，而且液面高度越高，其趨勢越明顯，可知葡萄糖的旋光效應不但與濃度有關，應與裝入試管的溶液高度也有關。
- (六) 將光源由手電筒(多色光)改成雷射筆(單色光)，通過的光線不再出現藍、黃、橙、紅等顏色，只有亮或暗的區別。因偏振片的特性為：光線無法通過角度差 90 度的兩片偏振片，於是我們先將兩偏振片調整成角度差 90 度，使通過光線最暗，然後再將葡萄糖溶液放至兩偏振片中間，發現此時通過的光線並不是最暗，我們需再旋轉偏振片才會再次變最暗，如此顯示了光線經過葡萄糖溶液時產生了旋轉，稱此旋轉的角度為旋光角。
- (七) 利用雷射筆進行實驗所得之旋光角與溶液濃度成正比(參考圖三、圖四)，若我們固定濃度，將液面高度 8 公分的旋光角平均值(參考表四)除以液面高度 4 公分的旋光角平均值(參考表三)，其數值大約為 2(參考表二十一及圖二十一)，由此可知旋光角與濃度、高度皆成正比。唯在低濃度時，因角度變化太小，此趨勢有明顯的不準確性。
- (八) 將光源由光強度較弱的雷射筆改成光強度較強的鈉燈時，則其亮暗區別更為明顯，且觀察也更為容易。若我們固定濃度，將液面高度 8 公分的旋光角平均值(參考表六)除以液面高度 4 公分的旋光角平均值(參考表五)其數值大約為 2(參考表二十二及圖二十二)，這結果與

實驗二用雷射筆觀察的結果相同，皆顯示旋光角與溶液濃度及高度皆成正比。

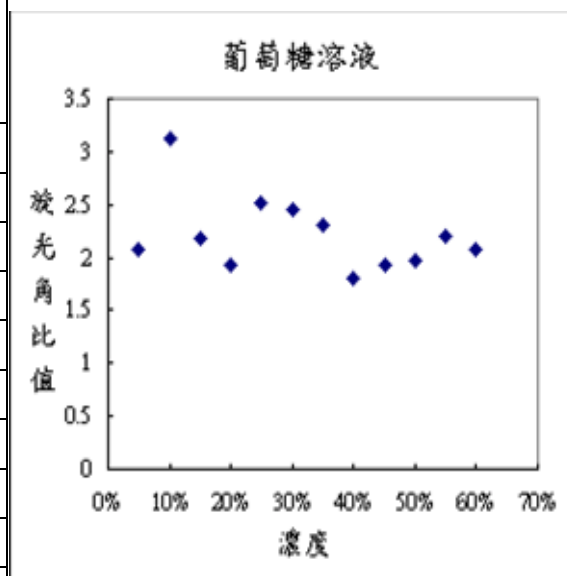
表二十一

單色光種類：雷射光

葡萄糖溶液濃度相同時，液柱高 4 公分與 8 公分之旋光角比值

葡萄糖溶液	4 公分旋光角平均值	8 公分旋光角平均值	旋光角平均值比值
60%	12.42	25.75	2.07
55%	10.50	23.00	2.19
50%	10.50	20.63	1.97
45%	8.75	16.92	1.93
40%	8.42	15.25	1.81
35%	5.42	12.50	2.31
30%	5.00	12.25	2.45
25%	3.75	9.42	2.51
20%	3.25	6.25	1.92
15%	2.42	5.25	2.17
10%	1.42	4.42	3.12
5%	1.08	2.25	2.08

圖二十一



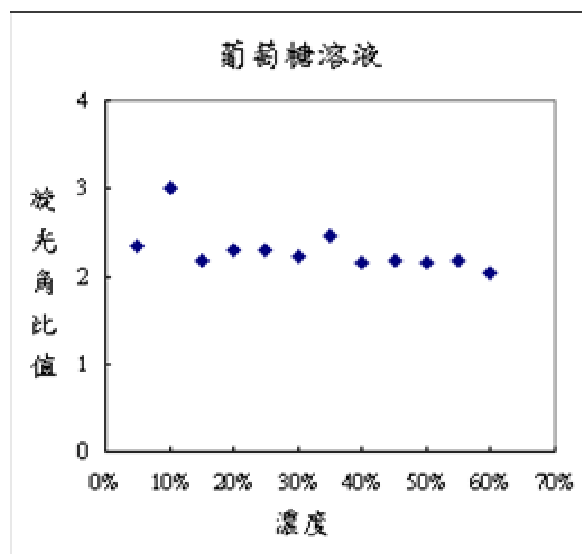
表二十二

單色光種類：鈉燈

葡萄糖溶液濃度相同時，液柱高 4 公分與 8 公分之旋光角比值

葡萄糖溶液	4 公分旋光角平均值	8 公分旋光角平均值	旋光角平均值比值
60%	15.50	31.50	2.03
55%	13.50	29.50	2.19
50%	12.25	26.50	2.16
45%	10.50	22.75	2.17
40%	9.50	20.50	2.16
35%	6.50	16.00	2.46
30%	6.50	14.50	2.23
25%	5.00	11.50	2.30
20%	4.25	9.75	2.29
15%	2.75	6.00	2.18

圖二十二



10%	1.50	4.50	3.00
5%	0.75	1.75	2.33

(九) 實驗二及三的結果讓我們想了解其他糖類是否也有這樣的結果，於是我們利用果糖、半乳糖、注射用葡萄糖、嬰兒食用葡萄糖、蔗糖、豐年果糖、砂糖進行鈉燈實驗。實驗的結果顯示旋光角都與濃度（圖七至圖二十）及高度（因圖片數量較多，故放於附件一中）成正比。其中半乳糖、蔗糖溶液濃度只能配製至 45% 左右，因此取濃度 45% 進行實驗。

七、結論

- (一) 我們自製的『簡易糖濃度測定器』只需利用家中隨手可得的器材即可製作，已達到實驗簡單化的目的。
- (二) 自製的『簡易糖濃度測定器』價格便宜、製作簡單，而且實用又方便，雖然不能如糖廠的『測糖計』精準，但已能準確地測量出糖類的大約濃度。
- (三) 因搜尋資料方面花費了較多時間，因此實驗測量部分時間不足，若能有更多時間投入實驗測量，就能使我們的「糖濃度對照表」更精準及豐富。
- (四) 糖濃度對照表：將我們實驗所得三種糖溶液的實驗數據取其平均值列於一張表中，並將其製作成環狀對照表，放置在簡易糖濃度測定器上。使用時只要測得糖溶液的旋光角，再對照此環狀對照表，即可得知溶液的大約濃度，若想得到更精確的濃度，可採用內插法計算，就可求得精確的濃度了。
- (五) 我們利用自製的簡易糖濃度測定器去觀察食鹽溶液，我們發現食鹽溶液並沒有旋光效應。
- (六) 我們嘗試利用自製的簡易糖濃度測定器觀察甘蔗汁，但由於甘蔗汁的顏色太深，光線無法通過，所以無法測量甘蔗汁的濃度。
- (七) 缺點：同樣是葡萄糖，但試藥一級葡萄糖、注射用葡萄糖、嬰兒食用葡萄糖所得的旋光角卻不完全相同，可能是各種葡萄糖的純度不同或是其有左旋及右旋的區別，所以我們自製的『簡易糖濃度測定器』只限制於使用我們實驗過的糖類、並不是所有的糖類都可以使用。
- (八) 自製的簡易糖濃度測定器最後簡化為利用雷射筆作為光源，因為雷射筆比較容易取得，而且價格便宜，不需再插電源。
- (九) 經由參觀糖廠，我們了解到目前糖廠中用來測定甘蔗是否可採收的儀器有許多種，其中最主要的儀器為錘度計及甜度計，其所測得的錘度及甜度皆可換算為糖度，只要錘度或甜度夠即可採收，沒有計算糖的濃度。（見附件二）

八、參考資料

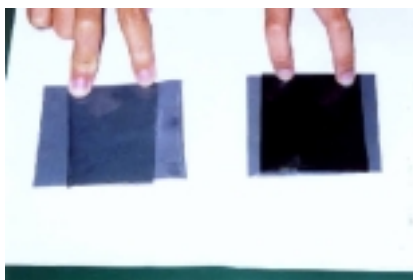
- (一) 物質結構的探索 凡異出版社
- (二) 創造性物理實驗 方鴻輝、劉貴興 著
- (三) 台灣糖業股份有限公司工作手冊
- (四) 家住糖廠 信誼基金出版社

附件一 不同糖類的旋光角比值（結果與葡萄糖相似，省略）

附件二 參觀糖廠之資料（省略）

照片

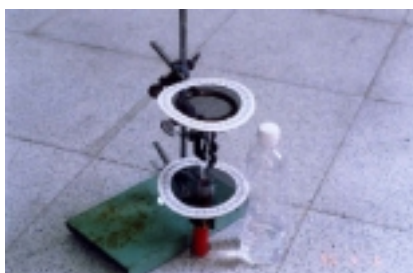
照片一



照片二



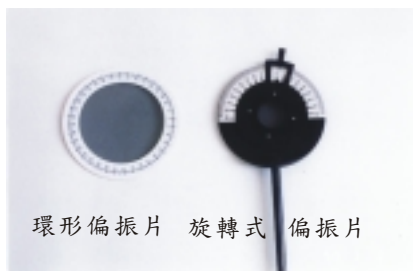
照片三



照片四



照片五



環形偏振片 旋轉式 偏振片

照片六



照片七



照片八



照片九



評語：

- 1.簡化測定器具創意。
- 2.測定器的功用在於能用於真實樣品，在於本作品應可再加入這方面的探討。
- 3.測定器與制式測定器之間的量測差異應探討原因。

作者簡介

邱建豪

我生長在一個不錯的家庭，從小父母就呵護我、照顧我，因為我是長子，所以我從小就下定決心，要好好讀書，孝順父母。我從小認真學習，常常問一些「別人覺得很奇怪」的問題。我也很喜歡運動，只要我有興趣，我就去學。我更常常廣交朋友，因為朋友是我的精神大支柱。

林佑璋

我的家庭幸福美滿，和家人、同學相處愉快。由於父親的工作是警察，作息較不正常，但我一家人仍十分珍惜相處的時間，所以我的家庭安樂富足。在學校並未擔任幹部，所以和同學的相處時間較多，參加比賽的時間也較，多像這次可以參加科展。

林珈羽

我對任何事情都很有興趣，尤其是球類運動、電腦及樂器。個性很倔、不易溝通、意見很多，一旦有想做的事，也無法阻止。常有些 **special great** 的 **idea**，但常常心有餘而力不足！反正，認何事都可以交給我，穩“妥當”的拉！未來想當個電腦高手，且學好英文，環遊世界去！

蔡宜庭

我的家庭幸福美滿，由於父母親的工作都是老師，所以在學習方面，父母親都會給我一些意見，讓我在學習時可以事半功倍。參加這次的科展，由於父母親的支持，我可以盡全力參與這次的實驗，這樣的經驗真的很好。