

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

佳作

030819

微小旋光計

學校名稱：臺北市立大直高級中學(附設國中)

作者： 國二 蕭季萱	指導老師： 惠沁宜
---------------	--------------

關鍵詞：旋光度、旋光計、溶液分析

# 作品名稱

## 微小旋光計

### 摘要

許多物質有具旋光性，本研究進行物質旋光度的特性探討分析，並根據這些特性，發展出微小旋光計及其應用。物質的旋光度受溶液濃度、溫度、光程等因素所影響，本研究除探討影響物質旋光度的因素，也探討不同波長可見光對旋光度的影響。為了進行實驗測試，本研究共建立了三代的多波長旋光度自動測試儀，並發展軟體“旋光角自動測試顯示系統”，可以全自動進行不同波長下溶液旋光度的測試，自動記錄數據並顯示溶液的旋光度，讓實驗測試更快速準確。本研究並利用光學反射的原理，把整個旋光裝置微小化，並探討了微小化對溶液旋光度的影響。這個微小旋光計和特製的微小比色探棒，組合成可攜帶式比色計，可應用在快速液體分析和液體濃度判定。

### 壹、研究動機

常常聽到很多美容保健的食品強調含有左旋維他命，令我很好奇維他命為什麼有左旋和右旋之分。等到暑假時參加了化學科學營，才知道許多食品或藥物也都具有旋光性。到底什麼是旋光性？物質的旋光性是固定的性質還是會受其他因素而改變？我開始蒐尋並閱讀參考文獻，找尋這些問題的答案。

利用某些科學展覽開放參觀期間，我仔細研究一些科展的作品，也讀過一些跟比色相關的科展作品，發現有些作品使用照度計或光敏電阻偵測光源透過特定溶液的光線強度，來作為判斷溶液濃度的指標；但是準確率卻都沒有非常好。既然很多溶液有旋光性的特性，那麼溶液的旋光性是否能取代作為判斷溶液濃度的指標呢？我設計了一個旋光計，並將其微小化，成為準確好用又低成本的溶液分析裝置。

## 貳、研究目的

在這個研究中，要進行不同溶液的旋光度測量，測試並分析不同因素對溶液旋光度的影響。我把工作先分成兩大項：(1)溶液旋光度的特性探討；和(2)旋光計的微小化，這兩大工作再各自分為其他子項。各項研究工作構想如下：

微小旋光計	1. 溶液旋光度的特性分析	1-1 建立旋光性實驗測試平台
		1-2 測量溶液旋光度
		1-3 探討影響溶液旋光度的因素
	2. 旋光計的微小化	2-1 探討旋光計的微小化
		2-2 自製微小旋光計在分析溶液的應用

針對以上研究工作構想，設計並進行以下研究主題：

實驗設計內容		研究主題	研究內容
溶液旋光度的特性分析	研究一	自製旋光測試儀	1. 第一代自製旋光測試儀 2. 第二代自製旋光測試儀 3. 第三代自製旋光測試儀 4. 旋光度自動測試顯示系統
	研究二	溶液濃度對旋光度之影響	不同溶液濃度對旋光度之影響
	研究三	光程對旋光度之影響	不同光程對旋光度之影響
	研究四	色光波長與溶液旋光度的關係	不同波長色光對旋光度之影響
	研究五	溫度對旋光度之影響	不同溫度對旋光度之影響
旋光計的應用	研究六	旋光計的微小化	1. 自製微小旋光計 2. 微小化對溶液旋光度的影響

與教材的相關性

自然與生活科技 (2 上)	第 2 章 認識物質的世界	2-3 水溶液：水溶液的組成、溶液濃度的表示法、影響溶解度的因素
自然與生活科技 (2 上)	第 4 章 光與色的世界	4-1 光的直進、4-5 光與顏色

### 參、使用的器材與設備

設備	旋光測試	高亮度 LED 紅黃藍綠白等 5 色、紅光雷射筆 光譜儀(350 nm ~ 1050 nm，可見光及紅外光) 旋光性實驗測試平台 1 組(用樂高積木組成) 偏振片、電池、光纖、光敏電阻 3V 直流電源供應器 (GW DC power supply 130W) 12V 鉛酸電池及 3V 變壓器
	軟體平台	SpectraSuite LabVIEW 2009 Student Edition
	溶液製備	精密天平 刮杓 離心機 平底玻璃管、採樣管
試劑	測試物質	半乳糖Galactose ( $C_6H_{12}O_6$ , $M=180.16$ ) 蔗糖Sucrose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ , $M=342.29$ ) 乳糖Lactose ( $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$ , $M=360.32$ ) 葡萄糖Dextrose Anhydrous ( $C_6H_{12}O_6$ , $M=180.16$ ) 果糖Fructose ( $C_6H_{12}O_6$ , $M=180$ )

## 肆、研究過程及方法

### 引言

這個研究要進行各種不同物質的旋光性的特性探討，並嘗試將整個儀器微小化，增加旋光的應用，如在溶液比色、溶液分析等方面的應用。研究的測試開始前，要先自製旋光測試平台，才能進行物質的旋光性的測量。我也規劃進一步將旋光測試改為全自動測試與數據分析，以節省測試的人工操作時間，而且可提高數據及結果的正確性和準確度。

### 旋光性的介紹

許多食品或藥物是具有旋光性的光學異構物。旋光性是物質的光學特性。光束沿主軸前進在物質中傳播時，會在各方向都有偏振光。但若讓光束先通過偏振片，偏振片會像一片柵欄，只允許與柵欄平行的光波通過，則光束會變成只在一個平面上偏振的線偏振光，沿主軸方向前進，如圖1。

如果線偏振光在某些物質中傳播時，若偏振光的偏振面產生旋轉，這種現象叫做旋光活性，具有旋光活性的物質叫做旋光物質。面對光線射來的方向觀察時，使振動面沿順時針方向旋轉的旋光物質叫做右旋（dextrorotatory或right-handed）旋光物質，用「+」表示；使振動面沿逆時針方向旋轉的旋光物質叫做左旋（levorotatory 或left-handed）旋光物質，用「-」表示（邱文純, 2006；余樹楨，2010）。

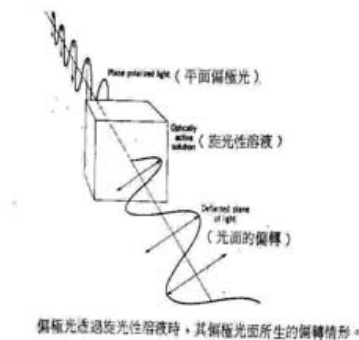


圖 1 光線的偏振和旋光 [詹宜澤，2006]

蔗糖、果糖及葡萄糖都具有旋光活性，能夠使通過它們的偏振光的偏振面旋轉一定的角度，這角度就稱為旋光度 $\alpha$ ，一般利用偏光儀量測物質的旋光度。溶液的旋光度與溶液中所含旋光物質的旋光能力、溶劑性質、旋光物質濃度、樣品管長度、光源波長和溫度等因素有關。各溶液之標準旋光度用比旋光度 $\alpha_D$ 來表示，定義是濃度1 g/mL的溶液放在長1 dm的樣品管中，用鈉燈光的D線(波長589.6 nm)所測出的旋光度（余樹楨，2010）。

## 研究一 自製旋光測試儀

要測量物質的旋光度，要有光源、偏振片、光接收器三項基本裝置；讓特定波長的光源，先通過前偏振片，使光束變成線偏振光，再通過待測溶液；如果溶液帶有旋光活性，則會使線偏振光所在的平面產生旋轉，再通過光接收器前面的後偏振片。如果後偏振片的柵欄方向和線偏振光平面平行，則線偏振光可全部通過偏振片，光接收器會接收到最大光強度。反之，如果柵欄方向和線偏振光平面垂直，則線偏振光無法通過，光接收器接收不到任何光強度。

在一般的實驗研究室中，有偏光儀就可以準確測試物質的比旋光度，但是光源、設備等價格都很高，沒辦法借回來作實驗。因此我想要自製一個旋光測試儀，好處是：

1. 研究中可測試不同波長的色光的旋光度差異，並非僅是鈉光燈；
2. 研究中可先用光譜儀當作光感測器，可以準確分析光源的波長。
3. 未來可廣泛應用在國高中的化學課程中，讓更多同學瞭解旋光的原理和操作。

但是自製旋光測試儀時，需要支架、馬達、齒輪、控制器等，材料和加工費用高，尺寸又不方便經常改變，馬達又很難控制，而且以我現在的國中階段，要做這些也很困難。幸好從我國小做科展時，家裡就有一套 LEGO 學生用設備，包括各式桿件、齒輪、馬達、NXT 控制器等，讓哥哥和我可以用來自製一些科展的簡單測量和控制，而我們也在家裡邊做邊學會寫 NXT 圖控程式，而且這些桿件讓我可以不斷嘗試不同的構造，方便我做出自製儀器。因此在本實驗中，我使用這些來完成我的自製旋光測試儀。

以下是我歷經幾次測試與設計的自製旋光測試儀：

### (一) 第一代自製旋光測試儀

我設計的旋光測試儀由上到下依序是光譜儀、旋轉盤、試管、試管座、光源座，如圖 1.1。各部份之說明如下：

1. 我使用 LEGO 桿件做了放試管和光源的底座，在試管座貼上偏振片，光源設計成滑動式，使用 5 種不同波長的高亮度 LED，可提供藍、綠、黃、紅、白等 5 色，如圖 1.2。
2. 使用 56 齒的旋轉盤，再透過蝸桿連接 NXT 馬達，形成減速比 56 的轉動機構；將偏振片貼在旋轉盤中間，再將量角器影印後貼在旋轉盤上，並裝了一根橘色金屬線來指示旋轉角度，如圖 1.3。這個馬達會連接到 NXT 上，可以透過程式來自動控制馬達的轉速和轉動角度。
3. 使用壓克力板做為支架，將試管和光源底座用螺絲鎖在底部，馬達和旋轉盤鎖在頂部，最後將光譜儀架在頂端，並在試管平台和旋轉盤各貼上偏振片，完成了第一代的自製旋光測試儀，如圖 1.1。

我先使用自製旋光測試儀進行簡單的旋光度測試。

研究步驟：

1. 將 LED 燈放在平台下端的軌道上。
2. 開啟光譜儀程式 SpectraSuite (圖 1.4)，並調整基本設定。
3. 將 LED 燈接上 3V 電池座，打開開關。
4. 旋開光譜儀的蓋子，讓光線進入，開始測量。
5. 觀察光譜儀顯示的光強度並記錄。

研究結果與討論：

1. 旋光性第一次實驗測試的測量過程如圖 1.5。
2. 觀察過程中發現在固定的偏振片角度下，光譜儀顯示的光強度會一直減弱，干擾實驗的觀察。經過單獨對 LED 光強度進行實驗，測試後證實是光源的問題，推斷是由於 AA 三號電池的容量不夠大，接上高亮度的 LED 後，過大的電流使電壓一直下降，導致 LED 光強度快速減弱。改善方法是改用電源供應器。
3. 由於光譜儀和馬達很重，架在壓克力板支架上，操作時讓支架容易晃動，而光譜儀的進光口很小，所以光強度很容易變動。改善方法是改將光譜儀和馬達架在下方。
4. 由於人眼辨識及手動操作不是很可靠，因此接下來的實驗將改用自己撰寫的程式辨識。

表 1.1 第一代自製旋光測試儀的缺點及改善方法

	原設計產生之問題	第二代改善方法
1. 電源	三號電池的容量不夠大，使高亮度 LED 光強度快速減弱。	改為使用電源供應器
2. 結構	操作時讓支架容易晃動，讓光強度很容易變動。	改將光譜儀和馬達架在下方
3. 結果觀察	人眼辨識及手動操作不是很可靠	改用自己撰寫的程式辨識



圖 1.1 第一代自製旋光測試儀

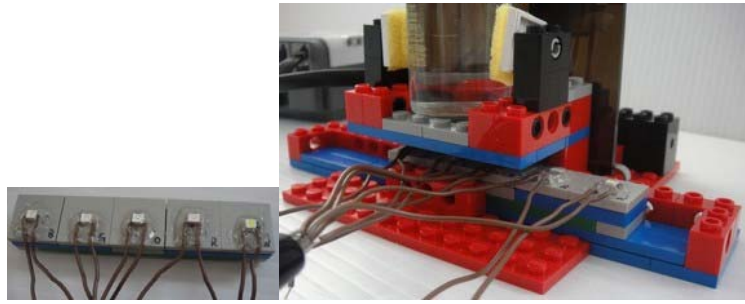


圖 1.2 滑動式 5 色高亮度 LED 光源座

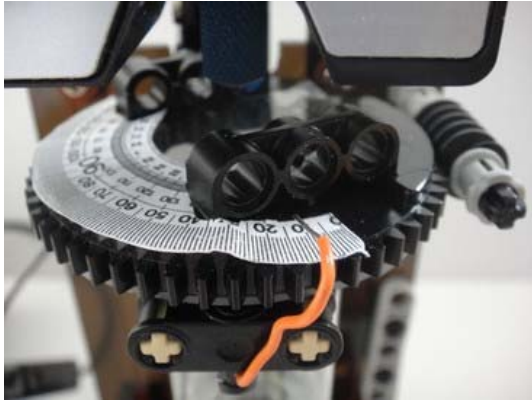


圖 1.3 透過程式控制的旋轉盤，並附有指示針

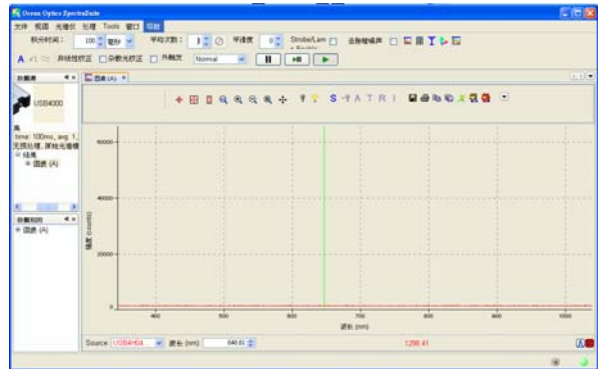


圖 1.4 光譜儀程式 SpectraSuite

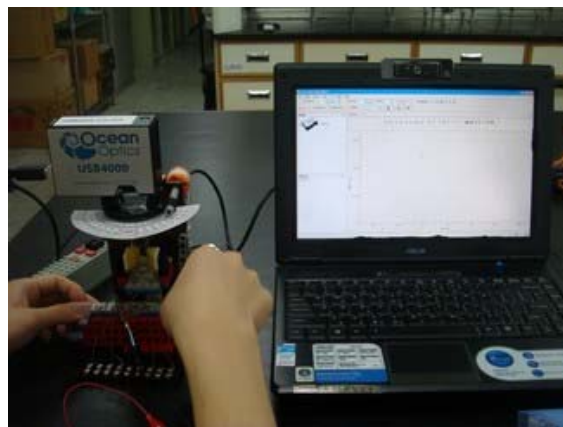


圖 1.5 使用第一代自製旋光測試儀進行實驗測試的過程

## (二) 第二代自製旋光測試儀

針對表 1.1 所列的自製旋光測試儀缺點，我在第二代自製旋光測試儀(如圖 1.6)中做了改進。

### 1. 電源的改善：

我改用單頻道 130 W 的直流電源供應器，以提供穩定的電壓給高亮度光源。

### 2. 結構的改善：

我重新設計了自製旋光測試儀的結構，把光譜儀放在最下面，光源放在頂端(如圖 1.7)，同時加強支撐桿件的穩固性。

### 3. 結果觀察的改善：



我寫了一個程式來控制旋轉盤的轉動，並自動讀取光譜儀的數據，自動找出最大光強度的數值和對應角度。

在旋光測試儀的結構上，我把光譜儀朝上放在最下面，再依序是旋轉盤、下偏振片、試管座、上偏振片、光源，同時把光源和試管座之間的距離改成可調式，可適用長短不同之試管。

因為要一邊觀察光強度的連續變化，一邊讀旋轉盤的角度，實驗時很不方便，所以我自己寫了一個程式，讓旋轉盤轉動、光強度顯示、和最大光強度分析等工作自動化，這樣不但可縮短實驗的時間，讓實驗更有效率，同時也比人工讀取要準確。

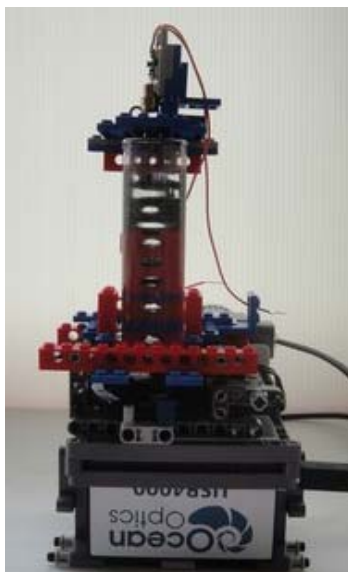


圖 1.6 改善後的第二代自製旋光測試儀。

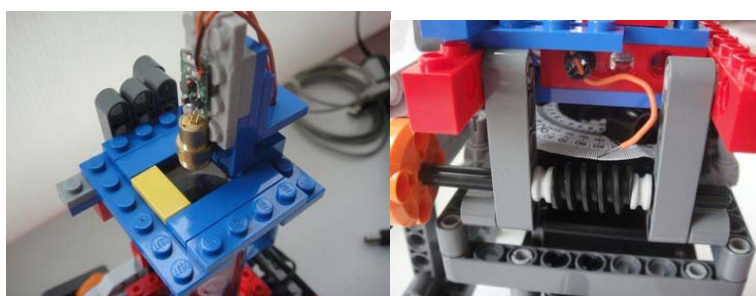


圖 1.7 第二代自製旋光測試儀。(a)上方的光源；(b)程式控制的旋轉盤及角度指示針。

研究結果與討論：

1. 使用第二代自製旋光測試儀進行了幾次的物質旋光度測試，但測試的結果不佳；原因在於：
  - (a) 光強度值的穩定性雖然比第一代改善，仍很容易上下跳動；
  - (b) 入光口與光譜儀之取光口無法對正且固定，導致進入光譜儀的光量容易因振動而改變；
  - (c) 光源的更換不易，每次更換後要重新校正，讓光源對正光譜儀之取光口；
  - (d) 整體架構不夠穩定，有必要再改善自製旋光測試儀。

### (三) 第三代自製旋光測試儀

針對第二代旋光測試儀的缺點，我在第三代自製旋光測試儀(如圖 1.8)中做了改進。第二代自製旋光測試儀在使用時，仍然有很明顯的光強度不斷的跳動的情形，關鍵在於光源和光譜儀取光口無法固定對正，因為我使用的是改變不同波長的色光，光源必須更換，但每更換一次就得花好久時間重新對準光譜儀取光口。因此我在架構上和光束的對正兩方面，做了大幅度的改變。細部的改善如以下說明，整理的精簡說明在表 1.2。

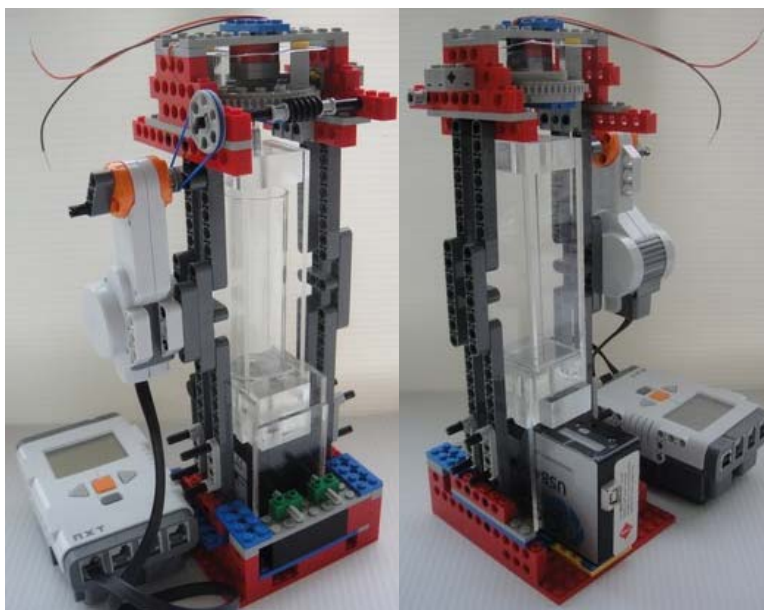


圖 1.8 改善後的第三代自製旋光測試儀。

#### 1. 電源的改善：

由於電源供應器體積過大，且不小心電壓旋鈕調大時，LED 很容易因為過大電流而燒毀，因此改用 12V 8Ah 的鉛酸電池，再加上變壓器，提供固定的 3V 電壓，讓自製旋光測試儀可以得到很穩定的電壓和光源強度。經過使用光譜儀測試後，確定在固定的偏振片角度下，光譜儀顯示的光強度穩定不變，證明這個方法是有效的。

#### 2. 結構的改善：

我將試管放置架使用壓克力板材質改為固定式，圖 1.9 是設計圖。我裁剪了幾塊壓克力板，自己黏合後，形成一個固定的試管放置架(如圖 1.10)，且讓馬達支架不再直接與試管放置架連結，讓試管在測試時不容易搖晃；而上下兩端各鑽了直徑 4.2 mm 的孔，形成光束通過的通道。

#### 3. 振動的改善：

偏光片旋轉盤靠減速齒輪讓馬達驅動，齒輪有時會打滑或咬合不正，使整個機構顫動。我改用皮帶來帶動偏振片旋轉盤(如圖 1.10)，減少了系統的振動幅度，讓整個旋光測試儀穩定的運轉。測試的結果顯示旋光測試儀的轉動穩定度改善很多。

#### 4. 光束對準的改善：

對於光束的校正對準，我想到一個創新的方法，便是使用光纖來導光；因為光線可以沿著光纖前進，而光纖可以彎曲，所以我先將 3 mm 的光纖穿過 4 mm 的中空鋁管，再將鋁管

黏在試管放置架上下的光束通道內(如圖 1.11)，這樣上下光束就永遠對準了，再也不需要任何校正了。

#### 5. 光源更換的改善：

下端光纖插入光譜儀取光口內，上端則固定住，讓 LED 光源來對準，並重新設計 LED 光源模組(如圖 1.12)。所以即使光源和光譜儀稍有移動，靠著光纖，光束永遠都對準而無偏差。測試的結果也顯示我的創意設計非常成功。

經過改善後的第三代自製旋光測試儀，解決了先前的許多問題，讓測試可以更方便、更準確。圖 1.13 為測試的過程。

表 1.2 第二代自製旋光測試儀的缺點及第三代改善方法

原設計產生之問題		第三代改善方法
1. 電源	電源供應器體積過大，且旋鈕操作不當時很容易燒毀 LED。	改用 12V 8Ah 的鉛酸電池，再加上變壓器，提供固定的 3V 電壓
2. 結構	操作時整體架構不夠穩定，仍會晃動，使光強度很容易變動。	改用壓克力板做成固定的試管放置架，讓馬達支架不直接與試管放置架連結。
3. 振動	齒輪有時會打滑或咬合不正，使整個機構顫動。	改用皮帶來帶動偏光片旋轉盤。
4. 光束對準	入光口與光譜儀之取光口無法對正且固定。	改為創新的光纖導光法，上下光束永遠對準，不再需任何校正。
5. 光源更換	光源更換後要重新對準。	下端光纖插入光譜儀取光口內，上端則固定住讓 LED 光源來對準。

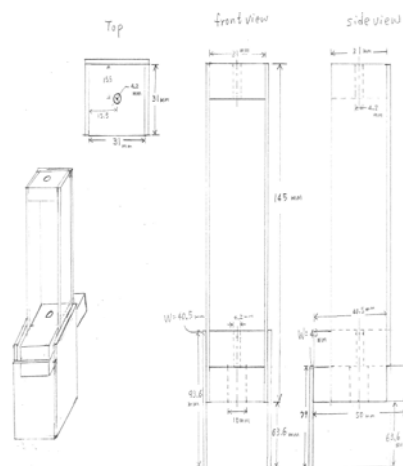


圖 1.9 壓克力板材質試管放置架的設計圖

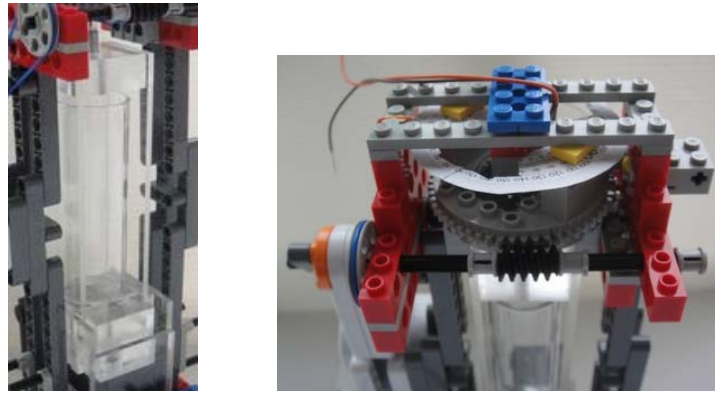


圖 1.10 (a) 固定的試管放置架； (b) 偏振片旋轉盤由皮帶帶動

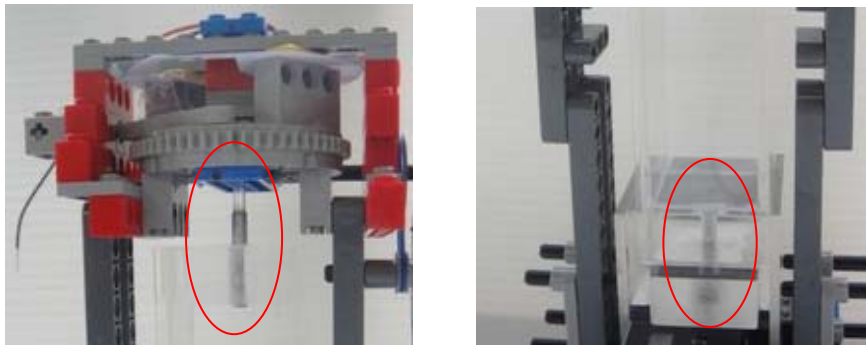


圖 1.11 使用光纖來導光，上下光束就永遠對準

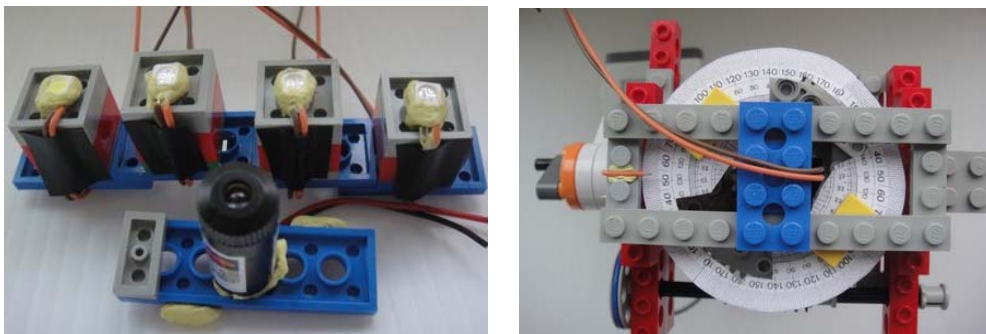


圖 1.12 各 LED 光源模組及置放在測試儀上方對準光纖

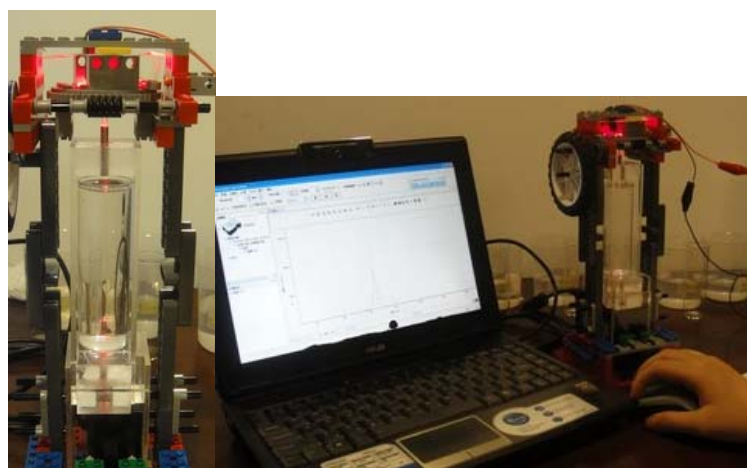


圖 1.13 使用第三代自製旋光測試儀的測試過程



#### (四) 旋光度自動測試分析系統

我使用 LabVIEW 程式來撰寫這個自動測試程式。為什麼要用 LabVIEW 程式呢？Java 或 Visual Basic 等程式對我而言實在太難了，我都沒有學過。但我在小學科展作品曾經使用過 Robolab 程式和 NXT 控制器；而 LabVIEW 和 Robolab 都使用相似的圖形介面，所以 LabVIEW 的基本功能對我來說蠻容易學習的。另外 LabVIEW 的圖形介面要撰寫自動測試程式比較容易，而且可以直接連上光譜儀。

圖 1.14 是程式的前面板和方塊圖。在前面板顯示了可見光和部分近紅外線的光譜。為了讓每次實驗時從旋轉盤零度開始，在測試儀上裝了觸碰感測器，程式中則讓馬達倒轉，直到壓下觸碰感測器、旋轉盤歸零時才停止(如圖 1.15)。

因為不容易一邊觀察光譜光強度峰值，一邊讀取旋轉盤，所以在程式中增加可以自動比較光強度峰值變化的功能，可以同時顯示最大光強度和對應的旋轉盤角度，如圖 1.16。

在每個迴圈中讓旋轉盤轉動小角度，但是造成馬達會有很明顯的連續瞬間停頓，造成結構的晃動。所以我改將馬達的轉動控制拉到迴圈外單獨進行(如圖 1.17)，讓馬達的轉動變得很順暢，解決了這個問題。同時最大光強度峰值及對應角度改為在迴圈結束後才計算。

為了讓旋轉盤在可能的旋光度範圍內轉動較慢，我設計了讓旋轉盤有高低兩種轉速，可以先用高速轉個角度後，再用低速掃瞄主要範圍，最後再用高速轉完剩餘角度。程式的前面板和方塊圖如圖 1.18。我把程式的改良過程整理在表 1.3。

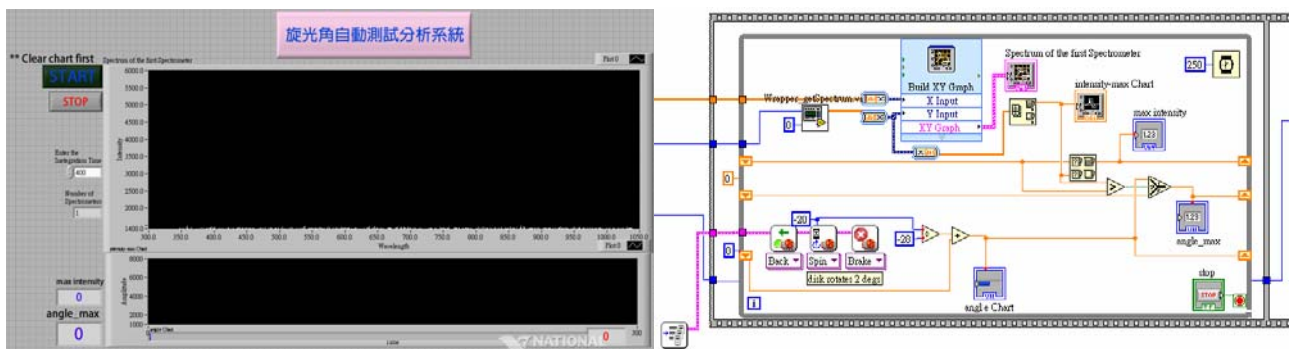


圖 1.14 程式的前面板和方塊圖

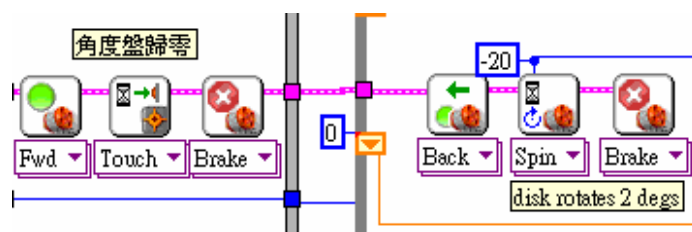


圖 1.15 旋轉盤先歸零後再開始光譜分析

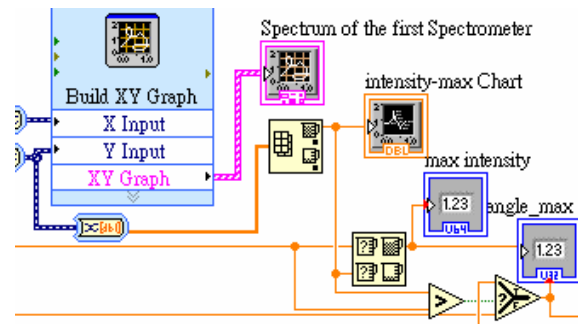
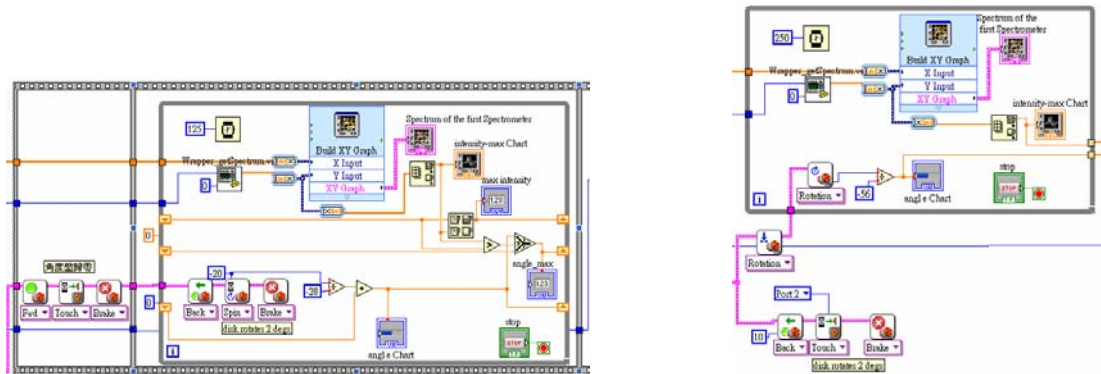


圖 1.16 自動求出最大光強度峰值及對應的旋轉盤角度



(a)

(b)

圖 1.17 旋轉盤轉動的程式 (a) 在迴圈中；(b) 改善後移到迴圈外

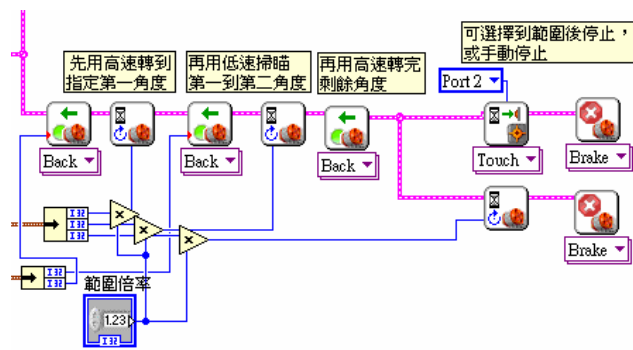
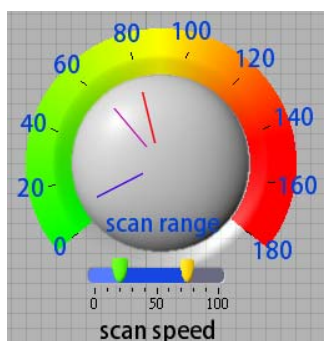


圖 1.18 增加高低兩種掃瞄轉速，前面板可選擇掃瞄範圍和掃瞄速度

表 1.3 旋光度自動測試分析系統的缺點及改善方法

原設計產生之問題		改善方法
1.	歸零：每次實驗時沒有從旋轉盤零度開始	加裝觸碰感測器，在實驗前讓馬達倒轉、旋轉盤歸零
2.	不容易同時觀察光強度和讀取角度	程式增加自動比較光強度變化，並顯示最大光強度和對應角度
3.	馬達連續瞬間停頓，造成結構的晃動	將馬達的轉動控制拉到迴圈外單獨進行
4.	轉速：旋轉盤只有一種轉動速度，速度高時不易觀察，速度低時耗時過久	旋轉改為兩段轉速，以低速掃瞄主要範圍

## 研究二 溶液濃度對旋光度之影響

各種旋光物質都有其於鈉光燈下所測出的標準比旋光度，但是溶液的濃度會讓旋光度增加或減少呢？在研究二中要由實驗來討論這些問題。我使用紅色 LED 光先測試不同溶液不同濃度下的旋光度，所測試的溶液包括蔗糖、半乳糖、葡萄糖、果糖。

各種溶液配製的方法，是先用電子秤分別稱取 15 g、20 g、25 g、30 g，倒入燒杯中，加入一些純水讓糖類完全溶解，再加純水到 100 ml，將液體倒入離心管中，使用離心機得到澄清的液體。但是由比旋光度的定義和參考資料 (張菁文等, 2005; 蔡秉芳等, 2007)，很清楚的知道旋光角和濃度變化是呈現線性比例，而我的實驗的目的在找出不同波長的光所產生的旋光角度差值，目的不在重做旋光角和濃度的實驗，所以我僅測試 15 g 和 30 g 兩組數據便足夠。

研究步驟：

1. 取不同濃度的不同溶液(如圖 2.1)，分別加入採樣瓶中到 9cm，並將採樣瓶放置在試管座上。
2. 開啟光譜儀程式，並調整基本設定
3. 調整變壓器電壓為 3V，用鱷魚夾接上電池。
4. 啟動測試軟體，讓旋轉盤自動旋轉 180°。
5. 記錄最大光強度峰值的角度，即為該溶液在該濃度下的旋光角。

研究二之結果與討論：

1. 實驗前對光源的測試如圖 2.2，證明改用電源供應器後，光源的光強度穩定；而自動測試的過程如圖 2.3，可自動顯示最大光強度及其對應角度。
2. 測試的結果如表 2.1。將各溶液的旋光角對濃度畫圖，如圖 2.4。
3. 測試結果可看出蔗糖、葡萄糖和半乳糖的旋光度會隨濃度的增加而增加，具有右旋特性，且三者的旋光角都很接近。而果糖的旋光度為負值，所以具左旋特性，但其值仍會隨濃度的增加而增加
4. 所以濃度愈高，對 632 nm 波長的紅色光產生的旋光角愈大。

表 2.1 不同濃度下的溶液旋光度 (紅光 LED，波長 632 nm)

	蔗糖	葡萄糖	半乳糖	果糖
15 g/100 ml	22	22	20	-16
30 g/100 ml	36	37	30	-28



圖 2.1 各種不同的醣類溶液

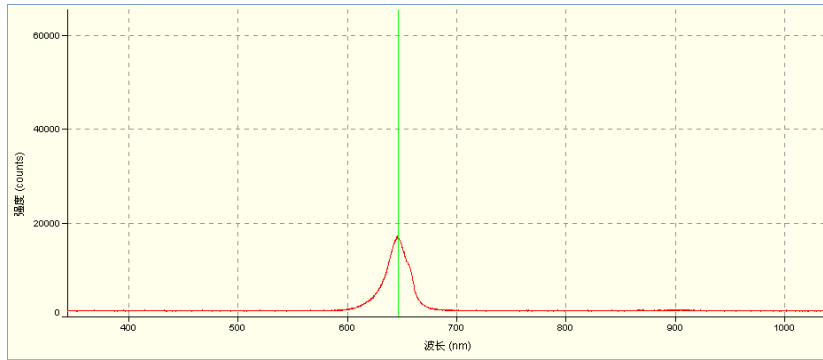


圖 2.2 無溶液時之光源光強度

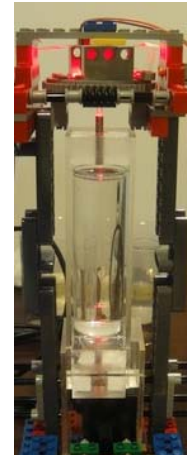
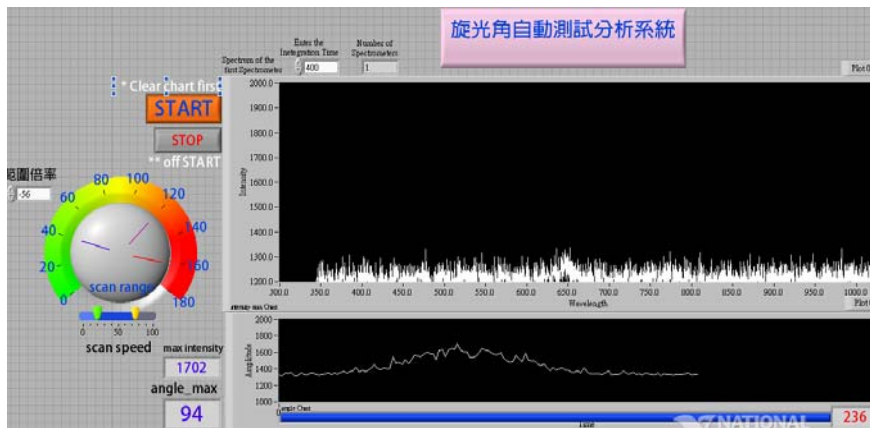


圖 2.3 無溶液時之自動測試

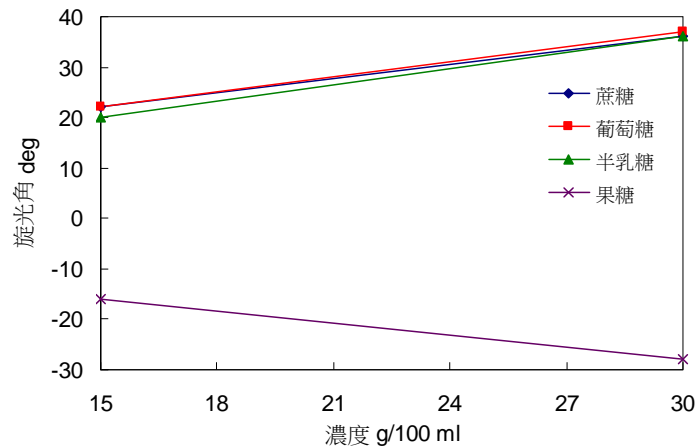


圖 2.4 各溶液的旋光角與濃度之關係

### 研究三 光程對旋光度之影響

從研究二中知道了濃度會影響溶液的旋光度，那光線行進的長度(光程)是否也會影響旋光度？我將溶液的高度分別取 3, 6, 9 cm (因為太短會不容易觀察到旋光度)，再測量旋光度。

研究步驟：

1. 分別取各種不同濃度的不同溶液，加入採樣瓶中，高度分別為 3, 6, 9 cm，並將採樣瓶放置



在試管座上，使用紅光 LED。

2. 其餘測試步驟如研究二的研究步驟 2~5。

研究三之結果與討論：

1. 實驗過程中發現若光程為 3 cm，其旋光角會很小，不容易觀察，因此實驗僅測試 6 cm 和 9 cm 兩種光程。實驗結果如表 3.1。
2. 將各溶液的旋光角對光程畫圖，如圖 3.1~圖 3.4。
3. 由結果分析可知，對同一濃度的溶液，對每個糖類，較長的光程會造成較大的旋光角，這結論跟旋光角的定義及參考資料都符合。

表 3.1 不同光程下的溶液旋光度 (定濃度、紅光)

		蔗糖	葡萄糖	半乳糖	果糖
光程 6 cm	15 g/100 ml	13	15	10	-12
	30 g/100 ml	28	27	18	-16
光程 9 cm	15 g/100 ml	22	22	20	-16
	30 g/100 ml	36	37	30	-28

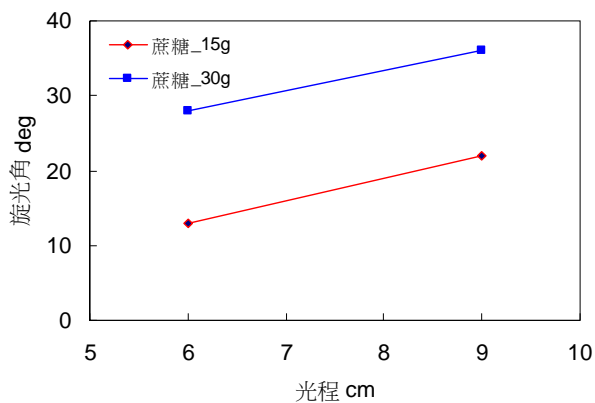


圖 3.1 蔗糖溶液的旋光角與光程之關係

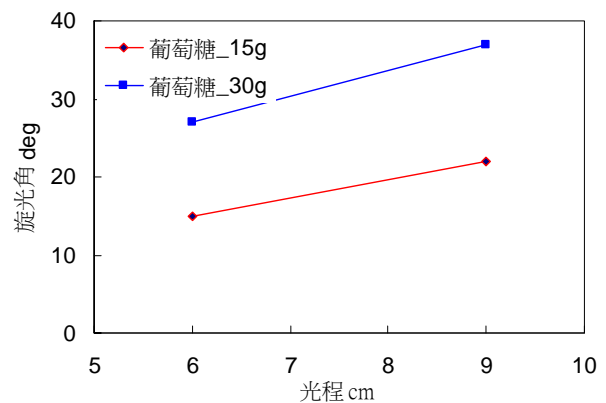


圖 3.2 葡萄糖溶液的旋光角與光程之關係

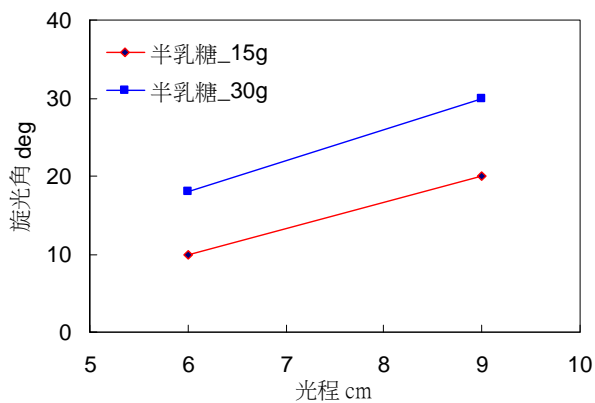


圖 3.3 半乳糖溶液的旋光角與光程之關係

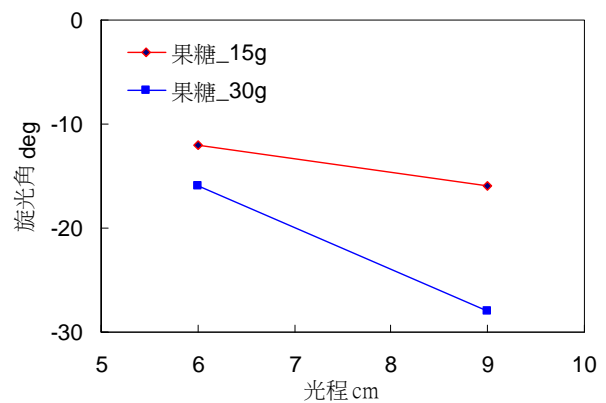


圖 3.4 果糖溶液的旋光角與光程之關係

## 研究四 色光波長與溶液旋光度的關係

對於色光波長與溶液旋光度的關係，我有問題要由實驗測試來瞭解。

1. 旋光物質都有其相對於鈉光燈的比旋光度，但是相對於藍、綠、紅等色光，會有不同的旋光度嗎？
2. 而旋光物質濃度會與其旋光度產生線性影響（張菁文等，2005；蔡秉芳等，2007），但是不同波長的光源是否會產生同樣的影響？

我使用不同波長的色光測試不同溶液不同濃度下的旋光度，包括白光、紅光、藍光等高亮度 LED 燈。所測試的溶液包括蔗糖、半乳糖、葡萄糖、果糖。各種溶液配製的方法同研究二。

為了瞭解不同波長的色光對溶液旋光度的影響，我定義了一個“旋光角差 $\Delta\alpha$ ”：

$$\Delta\alpha = \alpha_{\text{紅光}} - \alpha_{\text{藍光}} \quad (1)$$

此旋光角差 $\Delta\alpha$ ，代表一個白光經過前偏振片後形成的線偏振光，原先會在同一平面，但是經過旋光物質溶液後，會變成在曲面上。亦即射入白光，旋轉後偏振片，可以看到不同的色光。

研究步驟：

1. 安裝 LED 燈後，測試步驟如研究二的研究步驟 1~5。
2. 更換不同波長之 LED 燈，重覆以上步驟。

研究四之結果與討論：

1. 實驗的結果如表 4.1。
2. 將不同色光測試所得各溶液的旋光角對濃度畫圖，其結果如圖 4.1~4.4。
3. 由實驗結果可看出，光源波長愈長，其旋光角也較大，即紅光的旋光角比藍光的旋光角大。
4. 若比較各圖中的紅藍光之旋光角差 $\Delta\alpha$ ，如圖 4.5，可看出蔗糖和葡萄糖的 $\Delta\alpha$ 隨濃度增加而增加；但半乳糖和果糖的 $\Delta\alpha$ 反而隨濃度增加而減少。
5. 因此若要找具較大的紅藍光旋光角差 $\Delta\alpha$ 來進行分光，應使用高濃度之蔗糖或葡萄糖，才能得到較大之紅藍光旋光角差 $\Delta\alpha$ 。

表 4.1 不同色光對溶液旋光度的影響

光源 \ 溶液濃度 \ 溶液種類	蔗糖	葡萄糖	半乳糖	果糖	
紅色 LED (632 nm)	15 g/100 ml	22	22	20	-16
	30 g/100 ml	36	37	30	-28
藍色 LED (472 nm)	15 g/100 ml	20	20	15	-13
	30 g/100 ml	27	28	28	-36

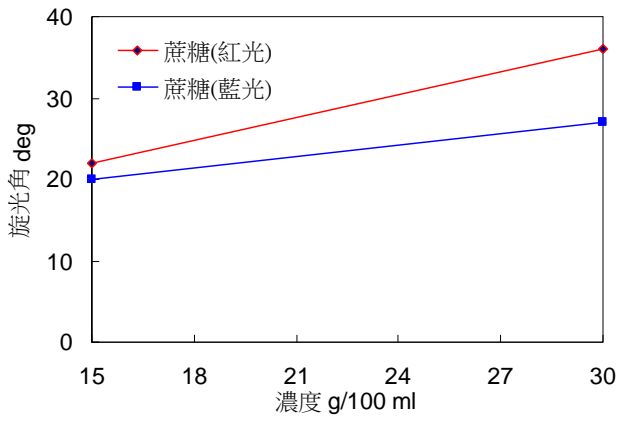


圖 4.1 蔗糖溶液的旋光角與光源波長之關係

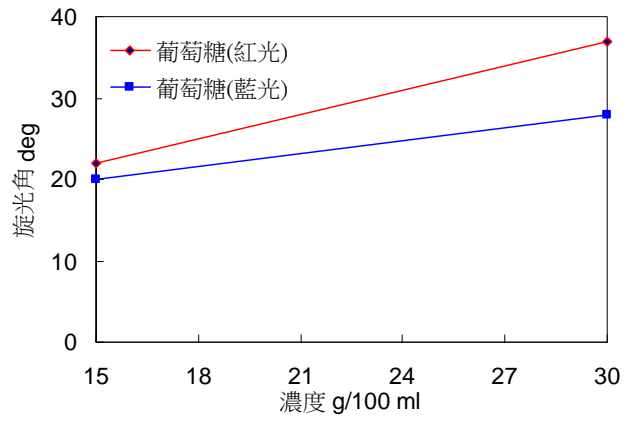


圖 4.2 葡萄糖溶液的旋光角與光源波長之關係

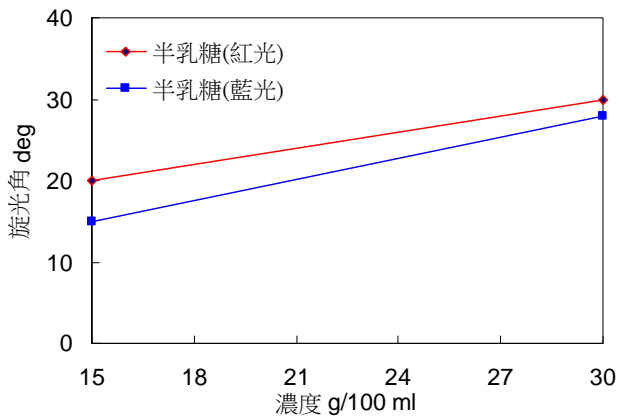


圖 4.3 半乳糖溶液的旋光角與光源波長之關係

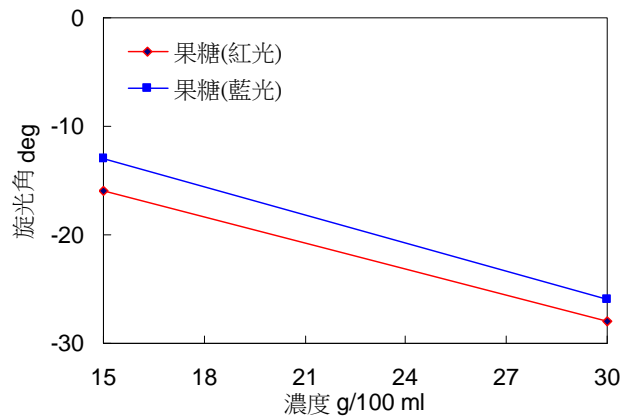


圖 4.4 果糖溶液的旋光角與光源波長之關係

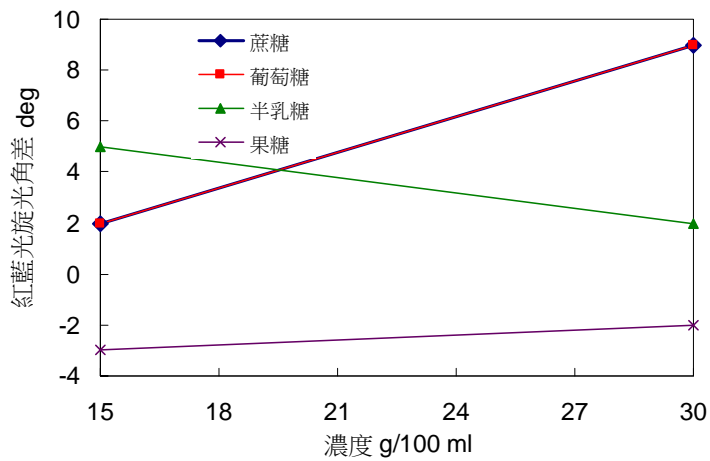


圖 4.5 各溶液的紅藍光之旋光角差

## 研究五 溫度對旋光度之影響

在本研究中，要瞭解溫度對液體旋光度的影響。測試方法為在 20 度、30 度、40 度、50 度 4 種溫度中進行，並記錄下研究結果。不同溫度的溶液可以將其放在設定好溫度的恆溫槽中，或是先加熱到 60 度，等其降溫到 50、40、30、20 度時，分別量測其旋光度。在研究中，採取後者的方法來得到不同溫度的溶液會較為方便。但因為相關的研究在詹宜澤等(2006)已有測試和探討，所以在這個部分可以直接引用她們的測試結果，不需要再做一次測試。

研究五之結果與討論：

1. 如參考資料所述，較低溫度的糖類溶液有較強的旋光度。
2. 因此本研究的應用上不要讓溶液溫度太高。

## 研究六 旋光計的微小化

### (一) 微小旋光計的構想

自製的旋光計可以測出各種液體的旋光度，但是光程都要很長，才能有較明顯的旋光度可觀察。是否可以將旋光計縮小，但仍維持相同的光程呢？我想到了一個方法，可以在固定長度的試管中調整出不同的光徑長，就是使用鏡面反射的原理，只要將光源和接收端放在同一側，相同的溶液高度，就可得到兩倍的光程，同時兩端的入光口和取光口都使用光纖，讓光源的放置更有彈性。圖 6.1 是這個微小旋光計的構想圖。

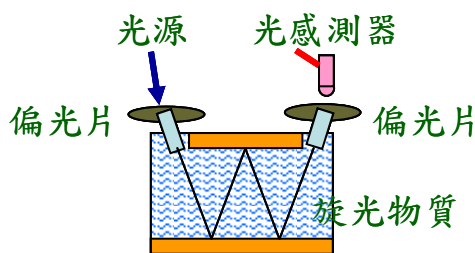


圖 6.1 微小旋光計的構想圖

但靠反射得到的光程改變，對旋光角的影響是否仍維持直射時的兩倍改變關係，則需要實驗測試來驗證。我製作了下面微小旋光計測試器，來檢查反射後，旋光角度是否會改變。設計的過程如下：

1. 找一方型塑膠盒，盒壁上黏塑膠橫桿，使反射鏡可以卡住，因此可以調整反射鏡在底部或中間的位置。圖 6.2 是切割鏡子的過程。
2. 上端設兩開口，一個是光源入口，一個是取光口，並以光纖以適當的角度插入後黏好固定，使光線可如圖 6.1 般，剛好由光源入口，經鏡面全反射，到達取光口。
3. 光源入口和取光口上各自裝上偏光片，再分別與光源或光感測器連結。

4. 灌入濃度 30 g/100 ml 的蔗糖溶液做為旋光物質後，就完成了旋光計微小化測試器，如圖 6.3。(此為測試器，所以體積還有點大，但微小旋光計之體積會大幅縮小)。
5. 將底部反射鏡分別放在底部及中間的位置，此時兩者光程相同，均為 9 cm，分別測其旋光角，並與研究二 30 g/100 ml 蔗糖溶液在光程 9 cm 下所測得之旋光角互相比較。



圖 6.2 鏡子切割的過程

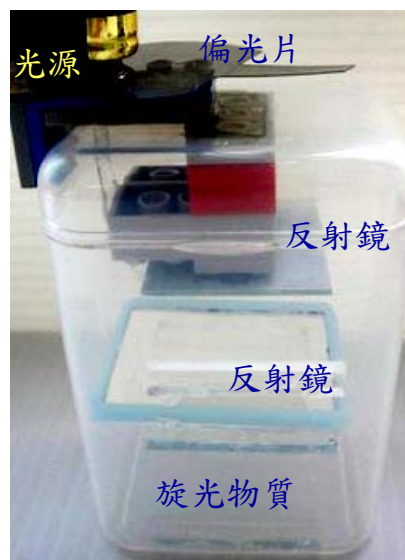


圖 6.3 旋光計微小化測試器

表 6.1 不同反射次數的蔗糖溶液旋光角 (光程 9 cm，濃度 30 g/100 ml)

反射次數	無反射	一次反射	三次反射
旋光角	36	35	35

研究小結論：

1. 測試結果，研究二的蔗糖溶液旋光角為  $36^\circ$ ，而光源在底部一次反射、和在中間三次反射所得到之旋光角均為  $35^\circ$ 。
2. 雖然旋光角有誤差，但所用的儀器解析度沒有這麼好，因此三者的數據仍視為相同；因此初步認為光線的反射並不影響其偏振特性及方向性。
3. 確認微小旋光計的構想是可行的。此一微小旋光計將可減小體積，操作方便。

## (二) 微小比色計的製作

完成了旋光計微小化的測試後，便開始製作微小旋光計。微小旋光計用壓克力作本體材料，我自己裁切並黏合壓克力，設計圖及過程如圖 6.4。微小旋光計的尺寸設計僅有 6.4 x 3 x 1.4 cm，體積很小，約為兩指寬，我讓光線反射 4 次，光線的行程 10 cm，等於我把旋光計的尺寸縮小為 1/4。

光線用光纖導入及導出，在光線導出口安裝偏振片和 5 mm 光敏電阻偵測光強度，如圖 6.5，

並連結到一掌型電錶以顯示其電阻值來代替光強度，如圖 6.6。在微小旋光計灌入旋光物質溶液，整個裝置經測試後，可表示出不同偏光角度下的光強度，因此可以找到旋光角，顯示這個微小旋光計是成功的。

此微小旋光計若要用在比色或其他溶液分析，根據研究四的結果，微小旋光計內灌入高濃度 30 g/100 ml 的蔗糖溶液，則在偏振片旋轉 27 度時，即為藍光的光強度；在偏振片旋轉 36 度時，量到的則為紅光的光強度。這樣依據偏振片旋轉角度，便可以知道各種色光的光強度，比起傳統比色實驗僅量測強度，此法也多了更多判別溶液的指標了。

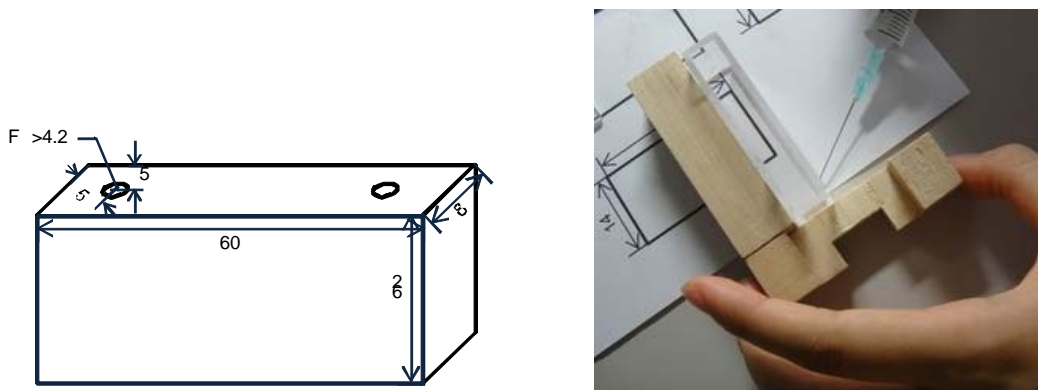


圖 6.4 微小旋光計的設計圖及壓克力黏合過程

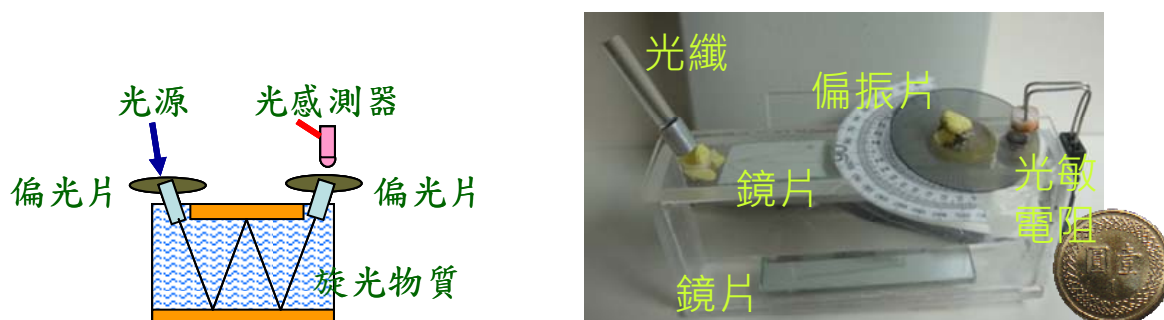


圖 6.5 微小旋光計的構想圖與實體圖



圖 6.6 微小旋光計及顯示裝置



### (三) 微小旋光計的應用：可攜式比色計

微小旋光計首先可以應用在發展可攜式比色計。在化學的實驗中，常常有許多有色溶液要調配出適當的濃度，而溶液的顏色可用來做為判別有色溶液濃度的指標，因此用比色法可決定有色溶液之濃度。其他研究多使用光強度來做為比色，但若使用旋光溶液的旋光性，由特定溶液的色光波長，來做為比色的依據，則可多些指標，增加準確度。

為了讓整個比色計體積小、成本低、容易攜帶，因此研究中應用了微小旋光計，並應用相同光學反射原理，設計了溶液探頭。這個可攜式比色計是希望改善各參考文獻中龐大的比色計(如圖 6.7)，將比色計做成如掌上型三用電錶一樣大小，體積小、成本低、容易攜帶，讓學校的化學實驗中，每組學生都可以很容易的使用這個比色計進行化學實驗的濃度判定。所以我在可攜式比色計中加上自己的創意，設計成像電錶量測一樣，有個溶液探頭，使用時，只要像量測溫度一般，將溶液探頭插入裝有溶液的燒杯中，就可直接量測，不需要再將溶液倒入特定測試容器內。整個可攜式比色計的構想圖如圖 6.8。



圖 6.7 龐大的比色計(李銘哲等，2003，及沈冠宇等，2006)

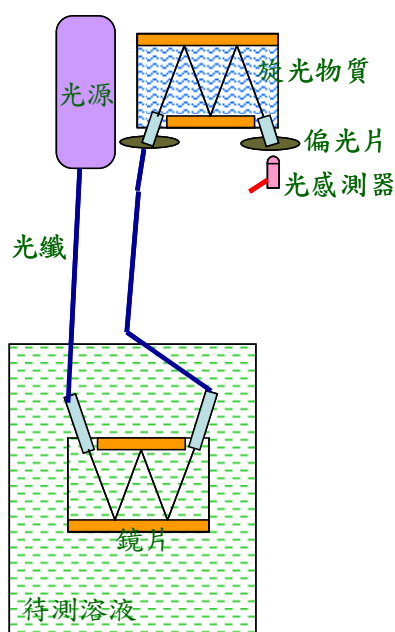


圖 6.8 結合微小旋光計和光纖的可攜式比色計的構想圖

圖 6.9 為可攜式比色計的溶液探頭，使用壓克力製成，尺寸僅有 2.4 x 2.4 x 1.2 cm，相當輕巧，可以直接插入燒杯中量測溶液。這個可攜式比色計結合了光源、溶液探頭、和微小旋光計，可以讓學生在學校的化學實驗中，很容易的進行化學實驗的濃度判定。

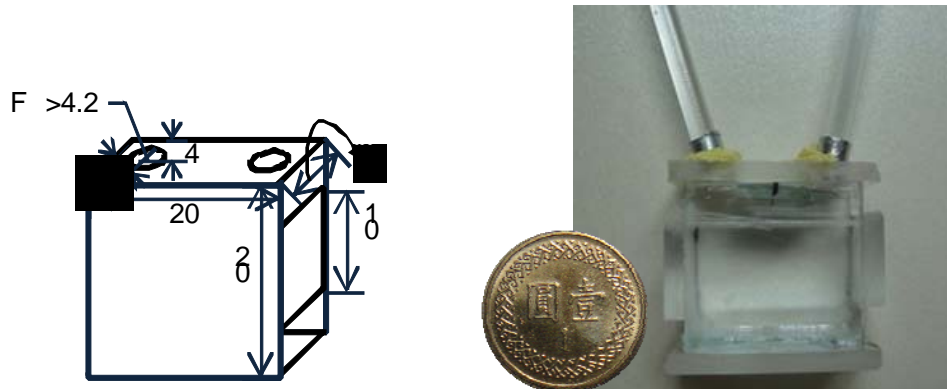


圖 6.9 可攜式比色計的溶液探頭之設計圖及實體圖

#### (四) 微小旋光計的應用：生活中的應用

微小旋光計在生活上，將可以用來判別旋光物質的濃度，如判斷美容保健食品中是否真的有左旋維他命、判斷水果或果汁之糖類種類及濃度、或判別顏色的組成，具有很多生活上的應用。



## 伍、結論

- 一、本研究進行溶液旋光度的影響變因探討，並將影響關係量化，可瞭解各項變數如何影響溶液之旋光度。
- 二、本研究建立了第一代到第三代的自製旋光測試儀，並不斷改良，可用於旋光度之自動測試。
- 三、研究中建立了旋光度自動測試分析系統，可以自動記錄並分析旋光度數據，增加實驗的效率和精確性。
- 四、研究中發現濃度、光程都會對旋光度有比例關係的改變。
- 五、研究中發現應使用高濃度之蔗糖或葡萄糖，才能得到較大之紅藍光旋光角差 $\Delta\alpha$ 。
- 六、應用光學反射原理，設計製作了微小旋光計。且微小化的設計，其光反射並不影響旋光角。
- 七、製作出的微小旋光計尺寸僅有 6.4 x 3 x 1.4 cm，體積很小，可以用來測量旋光角，或知道各種色光的光強度。
- 八、應用微小旋光計設計製作了可攜式比色計，使用溶液探頭直接插入溶液中量測，體積小，可作為溶液比色判別。

## 陸、參考資料

- [1] 邱文純 (2006)，”維生素 C 的旋機”，科學發展 406 期，52 ~ 57 頁。
- [2] 余樹楨 (2010)，”晶體的旋光特性”，科學發展 449 期，52 ~ 56 頁。
- [3] 張菁文、張明芳、李貞儀、陳奕寧 (2005)，”醴寶寶的旋光世界”，第 45 屆全國科展高中化學組作品說明書。
- [4] 蔡秉芳、許雅雯、潘怡安、賴泓茵 (2007)，”水果抗氧化的「旋」機”，第 47 屆全國科展高中組生活與應用科學科作品說明書。
- [5] 詹宜澤、張允澤、李忠諺、張智皓 (2006)，”我的光會轉彎”，第 46 屆全國科展高中化學組作品說明書。
- [6] 沈冠宇、彭裕文、楊富雄、高維鴻 (2006)，”自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用”，第 46 屆全國中小學科展化學科作品說明書。
- [7] 李銘哲、陳意曉、陳佑銘、李景煊 (2003)，”大家一起來比色—比色法實驗器材的創新及改良”，第 43 屆全國中小學科展化學科作品說明書。

## 【評語】 030819

本作品利用旋轉偏極片與多重反射製作微小型旋光計，作者在機構設計上頗富巧思。若在實驗之資料擷取上，多取數據點，使其更具統計意義，更能反應研究之價值。在旋光色散現象上，亦可更加著墨。本作品可與市售之血糖計比較，完整呈現其工作特性與範圍。