

彰化縣 107 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書（封面）

作品編號： 22017

國小組

數學類

組別：

自然與生活科技類

國中組

人文社會類

作品名稱：你濃我濃—自製折光計測定糖水濃度

彰化縣 107 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書

第一階段 研究訓練階段（由教師撰寫）

壹、近二年學校獨立研究課程之規劃

1. 學習獨立研究概念與研究方法、練習研究方法與步驟、激盪有興趣之主題。
2. 著手進行獨立研究資料蒐集、整理、分析、統整與撰寫。
3. 文獻閱讀與報告。
4. 修改研究報告成果、PPT 製作、訓練口頭報告、省思與分享。

貳、學校如何提供該生獨立研究訓練

1. 從解決問題概念切入，讓學生了解獨立研究的意義與目的，並了解研究方法與步驟，以備往後的研究所需。
2. 給予學生針對某研究的方法了解研究步驟。協助學生理解研究方法的運用，排除對繁瑣過程的恐懼。
3. 以討論的方式激盪學生有興趣的主題，並引導學生聚焦於可行方向，讓學生對廣泛的興趣聚焦於明確的主題。
4. 引導學生提出可討論的問題及欲達成的目的。讓學生針對感興趣的主題蒐集資料、整理資料、分析資料，對能統整相關的資訊，以符合研究目的與問題。
5. 研究內文進行撰寫。老師是提供協助的引導者，學生是整個研究的主角，給予學生對學習負責的機會。
6. 完成研究報告後，學生學習製作簡報 PPT，並學習如何對自己的研究報告做口頭報告，訓練口頭表達能力。
7. 最後，回顧獨立研究的過程，做省思與心得分享。

第二階段 獨立研究階段

壹、研究動機

現代糖尿病罹患人數日益成長，到底是什麼原因而導致呢？都是因為現在的含糖飲料含糖量太高了，人們攝取過多糖分所致，所以我就靈機一動，是否可以用一些科學方法找出它的含糖度呢？這樣一來就能避免喝到過甜的飲料。前陣子在姊姊的教科書中發現司乃耳定律，內容與折射有關，我就去網路上查了資料，發現折射角與糖水的濃度是有關係。於是，所以我在家裡先嘗試做了一個小實驗，我在陰暗處以雷射筆射清水和飲料，發現飲料偏折的角度比清水大，所以我決定向老師提出了我的想法，含糖飲料是不是會影響折射的現象，想以這主題更進一步的去設計實驗，也獲得老師的贊同與支持。

貳、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

為了要了解糖的濃度與折射角的關係，我們便使用同樣的水量加入不同重量的糖(砂糖與黑糖)，使用雷射筆進行折射實驗，探討糖的濃度與折射角度的關係，再利用老師所說的司乃耳定律計算出不同濃度的折射率，測試不同飲料的折射角度與折射率，推測出所含的糖(濃度)再檢測不同飲料之中糖的濃度。

一、研究目的有以下幾點：

- (一)了解不同的糖的顏色與溶解度。
- (二)自製雷射折光計
- (三)探討不同雷射光源與折射角度的關係。
- (四)探討不同種類糖的濃度與折射角度的關係。

二、研究設備及器材

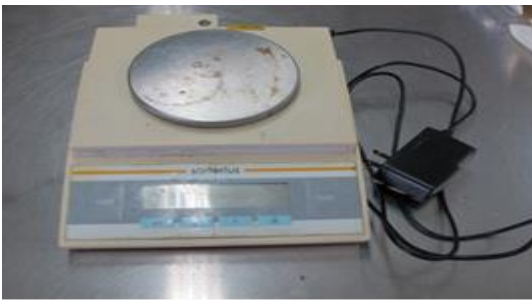

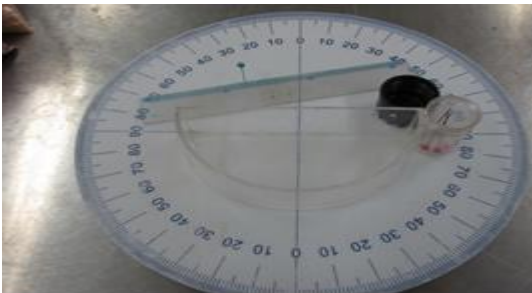
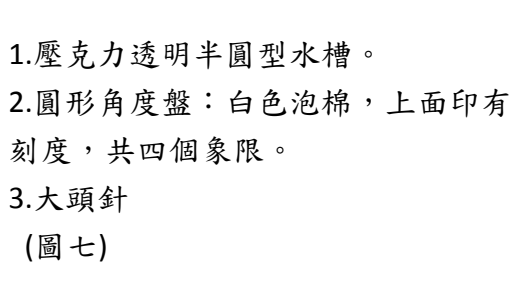


黑糖、砂糖(圖一)



雷射筆(左到右：紅、綠、藍)(圖二)

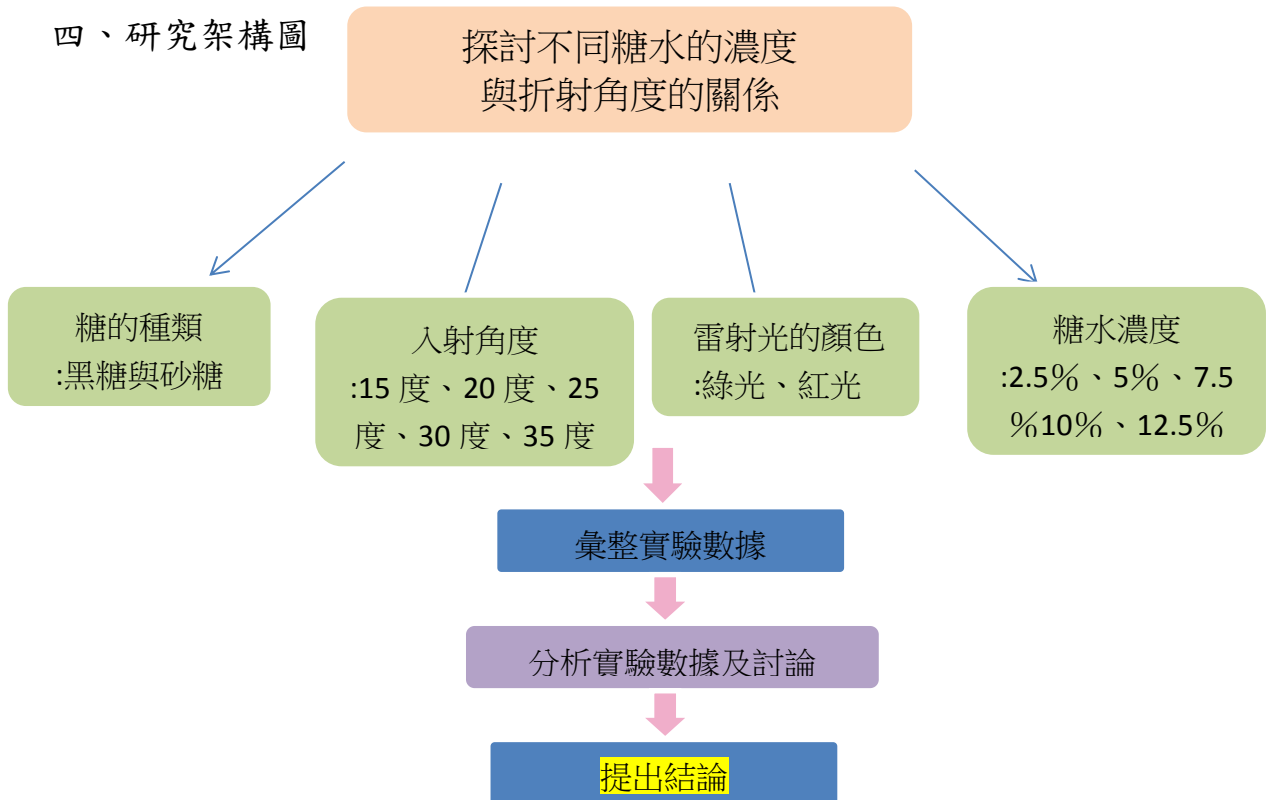


糖度計(圖三)	燒杯、量筒、試管、玻璃棒、滴管(圖四)
	
	 <p>膠帶、保鮮膜、剪刀 (圖六)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.壓克力透明半圓型水槽。 2.圓形角度盤：白色泡棉，上面印有刻度，共四個象限。 3.大頭針 <p>(圖七)</p>

三、擬定工作進度表

	十月	十一月	十二月	一月	二月
文獻探討	■	■			
擬定問題		■	■		
紀錄發現		■	■		
擬訂計畫					
進行實驗		■	■	■	■
撰寫報告				■	■

四、研究架構圖



參、彙整相關文獻

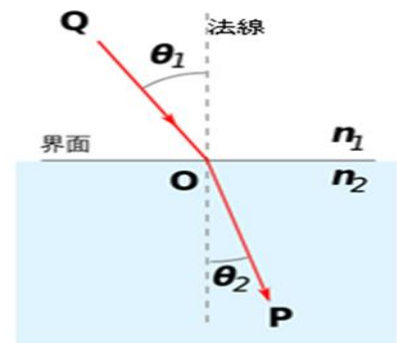
一、司乃耳原理：

當光波從一種介質傳播到另一種具有不同折射率的介質時，會發生折射現象，其入射角與折射角之間的關係，可以使用司乃耳定律（Snell's Law）來描述。司乃耳定律是利用荷蘭物理學家威理博·司乃耳來命名，又稱為「折射定律」。

司乃耳定律表明，當光波從介質 1 傳播到介質 2 時，假若兩種介質的折射率不同，則會發生折射現象，其入射光和折射光都處於同一平面，稱為「入射平面」，並且與界面法線的夾角滿足如下關係：

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

其中 n_1 及 n_2 別是兩種介質的折射率， θ_1 、 θ_2 分別是入射光、折射光與界面法線的夾角，分別叫做「入射角」、「折射角」。這公式稱為「司乃耳公式」。



二、糖度計：

光線從一種介質進入另一種介質時會產生折射現象，且入射角正弦之比恆為定值，此比值稱為折光率。含糖溶液中可溶性固形物含量與折光率在一定條件下（同一溫度、壓力）成正比例，故測定溶液的折光率，可求出含糖溶液的濃度（含糖量的多少）。

三、糖水濃度：

我們使用重量百分濃度調配糖水：

定義：每 100 公克的溶液中含有溶質的公克數。

$$\text{重量百分濃度} = \frac{\text{溶質公克數}}{\text{溶液公克數}} \times 100\%$$

肆、資料分析

(一)材料的選擇：

我們使用市面上較為常見的砂糖與黑糖來做實驗，用來探討不同濃度及糖度的砂糖與黑糖糖水是否會影響光的折射率，至於為何使用砂糖與黑糖是為了觀察顏色是否影響光的折射率。

(二)決定糖水濃度：

為了決定實驗所用的糖水濃度，我們首先測試糖水的溶解度，以 100ml 的水逐量溶解黑糖與砂糖(待完全溶解再添加)求取最大溶解度，最後選定室溫下最高濃度為 12.5%，因此調配了 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5% 的等間隔濃度砂糖及黑糖之糖水進行不同雷射光折射之實驗。

(三) 實驗裝置準備：

1. 準備實驗器材(燒杯、雷射筆、試管)。
2. 配置不同濃度的糖水。
3. 自製雷射折射器。

(四) 糖種類的替換

我們考量到糖水溶液顏色是否會影響的光的折射，所以我們選用了黑糖與砂糖，黑糖水與砂糖水的顏色明顯差異巨大，黑糖水的顏色較於砂糖水的深色，故我們猜測，在黑糖水折射出的光一定比砂糖水的光亮度相對弱，兩種不同的糖我們控制濃度一樣，去觀察在純度、熱量與成份上是否會間接的去影響光的折射率。

(五) 光的色彩的轉換

光源的部分，我們也在思考會不會雷射光因不同的顏色而折射角改變呢？所以我們選用了紅光、綠光，比較不同的光會不會因為顏色的差異而無法透射過糖水溶液，或者因為是否會不同顏色的光而造成偏折角度的不同，但因為藍光穿透過糖水之後會變得非常微弱，我們無法判斷其角度，所以我們並沒有加入實驗中。

伍、研究結果與討論

一、自製雷射折光計

為了避免任何人為因素影響，我們使用下列步驟自製折光計：



- (1) 將圓形角度盤與底座分開，並將雷射筆以膠帶固定於底座上
- (2) 避免因人為手持雷射筆時晃動導致數據不準確有誤差。



- (3) 調整圓形角度盤的位置以將指定的入射角度對準雷射筆的發射口，將雷射光射向圓形角度盤的圓心。



- (4) 放上壓克力透明半圓形水槽觀察反射光的夾角是否與入射光夾角相同，此步驟



- (5) 將待測試的不同%糖水溶液倒進已校正好的壓克力透明半圓形水槽內。

是為了確保入射光有射在圓形角度盤的圓心。



(6)使用雷射筆射圓心在另一端以大頭針插到折射光線的前進路徑上。



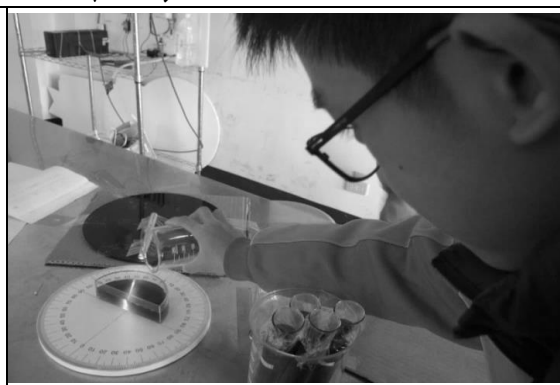
(7)再利用直尺，圓心與大頭針連線，量測折射角的角度。

二、以紅光射入不同濃度的黑糖糖水，測量折射率

1. 調配五種不同濃度的黑糖糖水(2.5%、5%、7.5%、10%、12.5%)。
2. 調整好入射角度，並利用壓克力半圓形水槽的反射角度協助校正。
3. 將糖水溶液倒入半圓形水槽，以紅色雷射筆照射，用大頭針標記折射角度。
4. 以直尺補助判別折射角度並記錄。
5. 重複測量每個濃度五種入射角，結果如表 5-1。



配置不同濃度糖水溶液



將黑糖糖水倒入半圓形水槽等待測量



以紅色雷射筆照射黑糖糖水以測量折射角



以大頭針標記光折射的光點

為了實驗的準確性，我們每一個濃度的相同入射角皆做了 3 次實驗，求取 n 值後再予以平均。實驗結果如表 4-1。

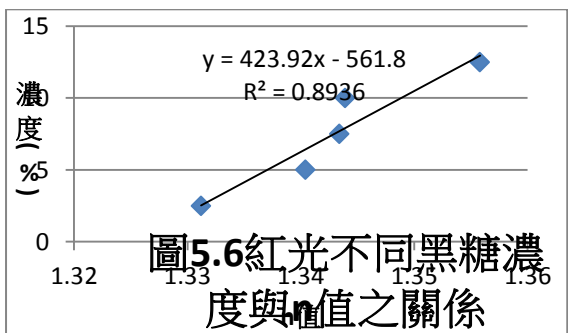
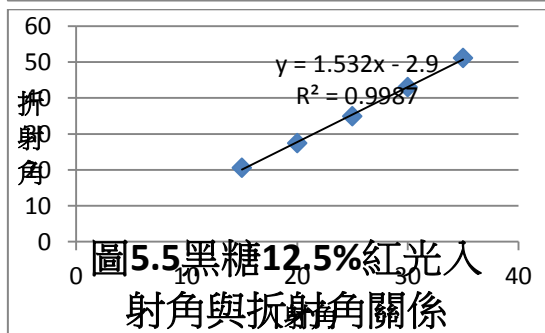
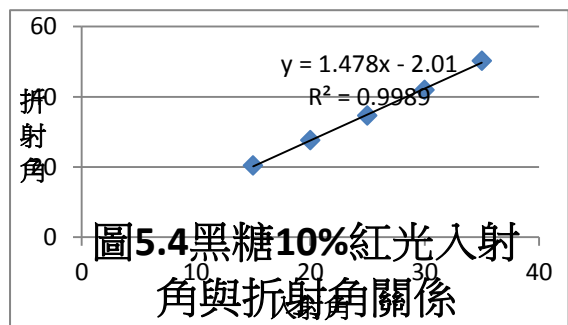
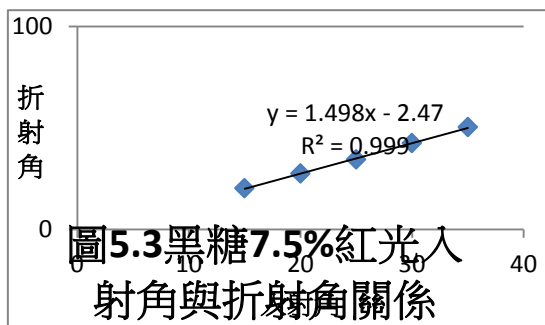
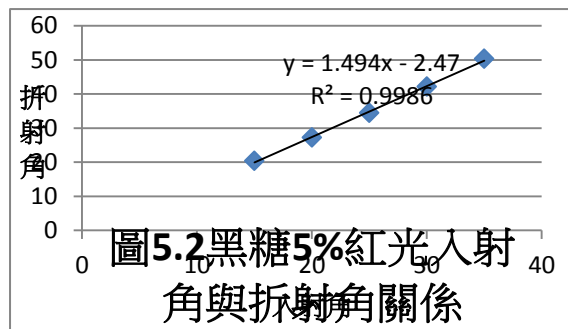
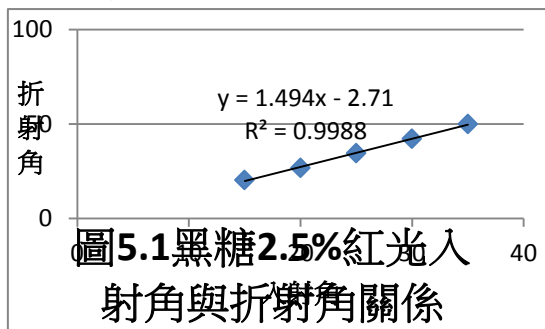
表 5-1 不同濃度的黑糖糖水的折射角

黑糖 紅光	入射角	折射角 1	n 值 1	折射角 2	n 值 2
濃度 2.5% (2.5 克黑糖加入 97.5 克水)	15 度	19.9 度	1.3151	19.8 度	1.3087
	20 度	26.1 度	1.2862	27.1 度	1.3319
	25 度	34.4 度	1.3368	35.4 度	1.3706
	30 度	42 度	1.3382	42.1 度	1.3408
	35 度	49.7 度	1.3296	49.9 度	1.3335
濃度 5% (5 克黑糖加入 95 克水)	15 度	20.5 度	1.3530	20.4 度	1.3467
	20 度	27.35 度	1.3432	27.4 度	1.3455
	25 度	34.4 度	1.3368	34.5 度	1.3368
	30 度	42.1 度	1.3408	42.2 度	1.3434
	35 度	50.5 度	1.3452	50.4 度	1.3433
濃度 7.5% (7.5 克黑糖加入 92.5 克水)	15 度	20.3 度	1.3404	20.75 度	1.3688
	20 度	27.2 度	1.3364	27.9 度	1.3681
	25 度	34.2 度	1.3300	34.6 度	1.3436
	30 度	42.6 度	1.3537	43.4 度	1.3741
	35 度	50.2 度	1.3394	50.2 度	1.3394
濃度 10% (10 克黑糖加入 90 克水)	15 度	20.65 度	1.3625	21.2 度	1.3972
	20 度	27.4 度	1.3455	28.1 度	1.3771
	25 度	34.6 度	1.3436	34.8 度	1.3470
	30 度	42 度	1.3382	43 度	1.3639
	35 度	50.3 度	1.3414	49.9 度	1.3335
濃度 12.5% (12.5 克黑糖加入 87.5 克水)	15 度	20.9 度	1.3783	20.85 度	1.3751
	20 度	27.4 度	1.3455	27.4 度	1.3455
	25 度	34.8 度	1.3504	35.25 度	1.3656
	30 度	42.7 度	1.3563	42.8 度	1.3588
	35 度	51 度	1.3549	51.5 度	1.3644

黑糖 紅光	入射角	折射角 3	n 值 3	平均角度	平均 n 值	平均
濃度 2.5% (2.5 克黑糖加入 97.5 克水)	15 度	20 度	1.3214	20.2 度	1.3341	2.5% 1.3312
	20 度	26.9 度	1.3228	26.7 度	1.3137	
	25 度	33.8 度	1.3163	34.4 度	1.3368	
	30 度	42.1 度	1.3408	42.0 度	1.3382	
	35 度	50.1 度	1.3375	49.9 度	1.3335	
濃度 5% (5 克黑糖加入 95 克水)	15 度	20.5 度	1.3536	20.4 度	1.3467	5% 1.3404
	20 度	27.1 度	1.3319	27.2 度	1.3364	
	25 度	34.3 度	1.3334	34.4 度	1.3368	
	30 度	42.2 度	1.3434	42.1 度	1.3408	

	35 度	50.1 度	1.3568	50.3 度	1.3414	
濃度 7.5% (7.5 克黑糖加入 92.5 克水)	15 度	20.6 度	1.3594	20.3 度	1.3404	7.5% 1.3434
	20 度	27.5 度	1.3500	27.5 度	1.3500	
	25 度	34.4 度	1.3368	34.4 度	1.3368	
	30 度	42.6 度	1.3537	42.4 度	1.3486	
	35 度	50.6 度	1.3472	50.3 度	1.3414	
濃度 10% (10 克黑糖加入 90 克水)	15 度	20 度	1.3214	20.4 度	1.3467	10% 1.3439
	20 度	27.5 度	1.3500	27.6 度	1.3545	
	25 度	34.5 度	1.3402	34.6 度	1.3436	
	30 度	42.3 度	1.3460	41.9 度	1.3356	
	35 度	50.6 度	1.3472	50.2 度	1.3394	
濃度 12.5% (12.5 克黑糖加入 87.5 克水)	15 度	20.1 度	1.3277	20.6 度	1.3594	12.5% 1.3558
	20 度	27.5 度	1.3500	27.4 度	1.3455	
	25 度	34.9 度	1.3538	34.9 度	1.3538	
	30 度	43.5 度	1.3767	43 度	1.3639	
	35 度	51 度	1.3549	51.1 度	1.3568	

我們分析 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5% 黑糖糖水入射角、折射角(紅色雷射筆)之圖表比較，結果如圖 5.1~5.5，3 次 n 值得平均與濃度之關係如圖 5.6。

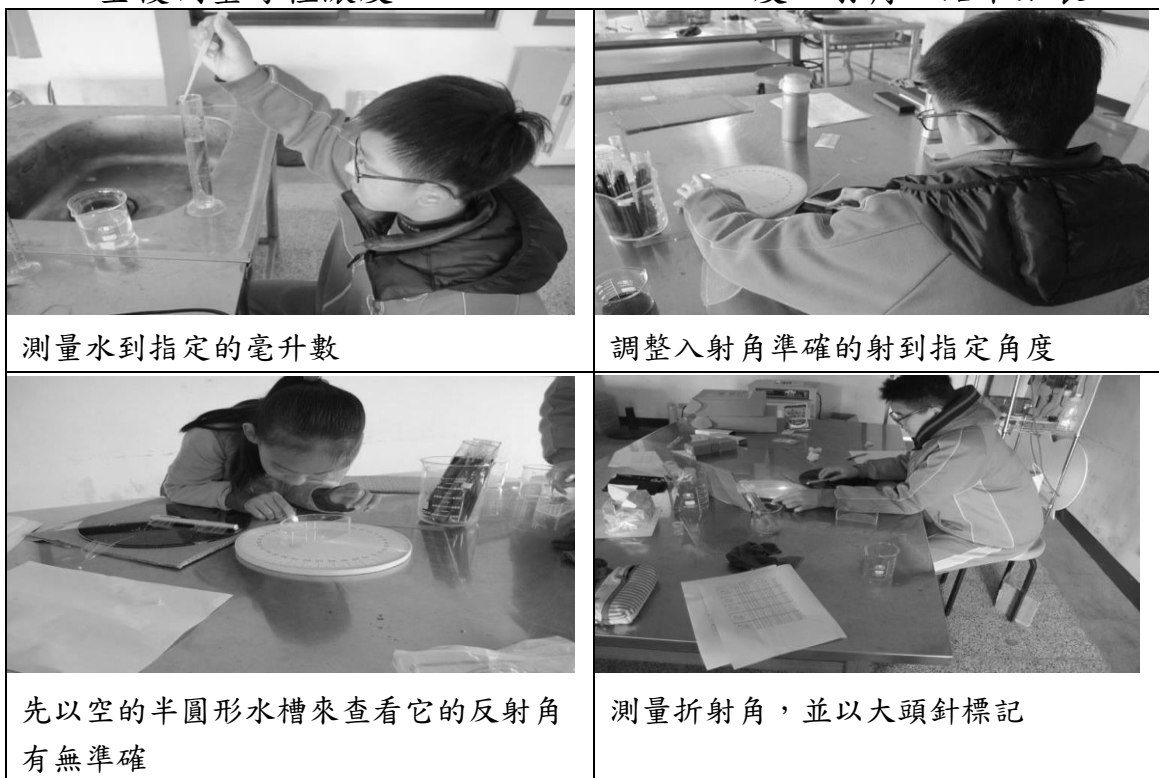


我們發現：2.5%、5%、7.5%、10%、12.5%黑糖糖水入射角愈大，折射角就愈大。而濃度越高的糖水溶液 n 值會比較高，同樣的濃度的糖水濃液就算不同入射角算出來的 n 值也會差不多。

由圖 5.6 我們可以反推一杯未知濃度黑糖水溶液的濃度，藉由我們自製雷射折射器進行折射實驗，由實驗中我們可以求得 n 值，再帶入回歸後的公式 $y=0.2108x+1.3271$ ，求得未知溶液的濃度。

三、以紅光射入不同濃度的砂糖糖水，測量折射率

1. 調配五種不同濃度的砂糖糖水(2.5%、5%、7.5%、10%、12.5%)。
2. 調整好入射角度，並利用壓克力半圓形水槽的反射角度協助校正。
3. 再將糖水溶液倒入半圓形水槽，以紅色雷射筆照射，並用大頭針標記折射角度。
4. 以直尺補助判別折射角度並記錄。
5. 重複測量每種濃度 15、20、25、30、35 度入射角，結果如表 5-2。



測量水到指定的毫升數

調整入射角準確的射到指定角度

先以空的半圓形水槽來查看它的反射角有無準確

測量折射角，並以大頭針標記

表 5-2 不同濃度的砂糖糖水(紅光)的折射角

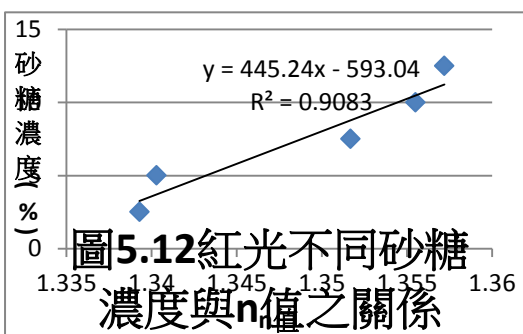
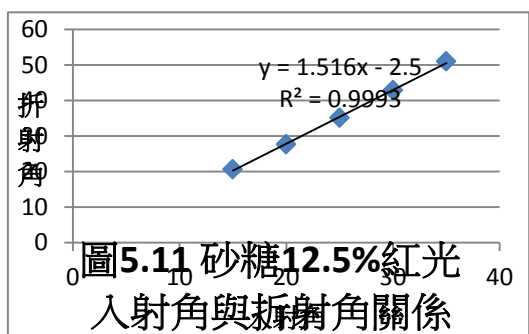
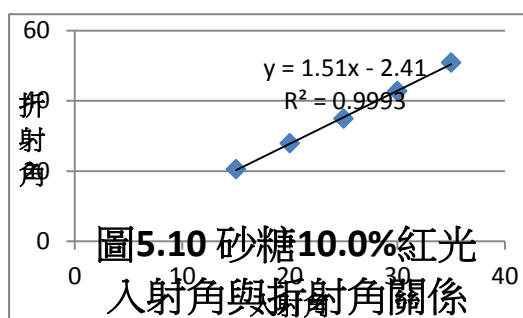
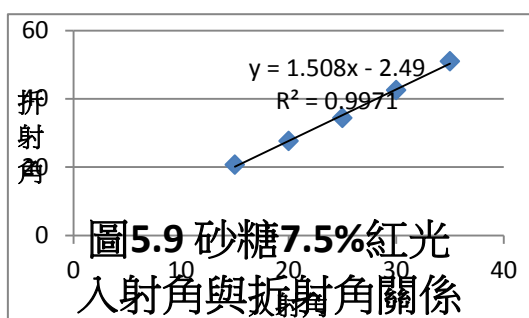
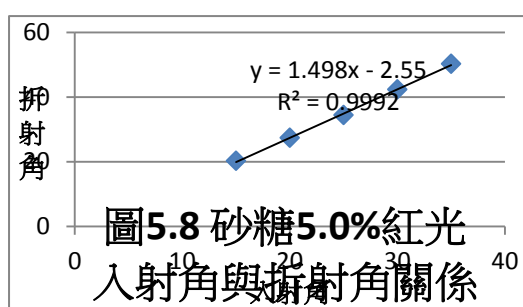
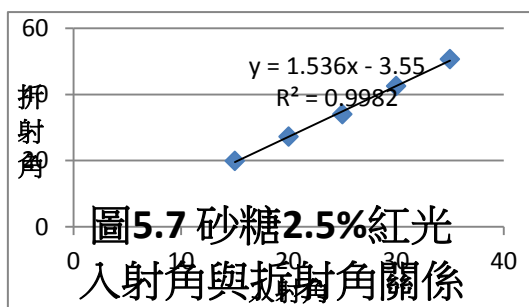
砂糖 紅光	入射角	折射角 1	n 值 1	折射角 2	n 值 2
濃度 2.5% (2.5 克砂糖加入 97.5 克水)	15 度	20 度	1.3214	19.75 度	1.3056
	20 度	26.8 度	1.3182	27.3 度	1.3410
	25 度	33.6 度	1.3094	33 度	1.2887
	30 度	42.4 度	1.3486	42.9 度	1.3614
	35 度	50.05 度	1.3365	51.9 度	1.3719

濃度 5% (5 克砂糖加入 95 克水)	15 度	20.2 度	1.3341	20 度	1.3214
	20 度	27.15 度	1.3341	27.6 度	1.3545
	25 度	34.5 度	1.3402	34.4 度	1.3368
	30 度	42.1 度	1.3408	42.4 度	1.3486
	35 度	50.1 度	1.3375	50.5 度	1.3452
濃度 7.5% (7.5 克砂糖加 入 92.5 克水)	15 度	20.3 度	1.3404	21.3 度	1.4034
	20 度	27.5 度	1.3500	28 度	1.3726
	25 度	35 度	1.3571	33.9 度	1.3197
	30 度	42.6 度	1.3537	42.5 度	1.3511
	35 度	50.85 度	1.3520	51 度	1.3549
濃度 10% (10 克砂糖加 入 90 克水)	15 度	20.6 度	1.3594	20.6 度	1.3594
	20 度	27.6 度	1.3545	27.8 度	1.3636
	25 度	34.4 度	1.3368	34.8 度	1.3504
	30 度	42.7 度	1.3563	42.5 度	1.3511
	35 度	50.4 度	1.3433	51.7 度	1.3682
濃度 12.5% (12.5 克砂糖 加入 87.5 克 水)	15 度	20.6 度	1.3594	21.1 度	1.3909
	20 度	27.5 度	1.3500	28 度	1.3726
	25 度	34.7 度	1.3470	35.6 度	1.3774
	30 度	42.6 度	1.3537	43 度	1.3639
	35 度	50.4 度	1.3433	52 度	1.3738

砂糖 紅光	入射角	折射角 3	n 值 3	平均折射 角度	平均 n 值	平均
濃度 2.5% (2.5 克砂糖加 入 97.5 克水)	15 度	20 度	1.3214	19.9 度	1.3151	2.5% 1.3393
	20 度	27.5 度	1.3500	27.2 度	1.3591	
	25 度	35.5 度	1.3740	34.0 度	1.3231	
	30 度	42.4 度	1.3486	42.5 度	1.3511	
	35 度	50 度	1.3355	50.65 度	1.3481	
濃度 5% (5 克砂糖加入 95 克水)	15 度	20.5 度	1.3530	20.2 度	1.3341	5% 1.3403
	20 度	27.5 度	1.3500	27.4 度	1.3455	
	25 度	34.3 度	1.3330	34.4 度	1.3368	
	30 度	42.5 度	1.3511	42.3 度	1.3460	
	35 度	50.1 度	1.3375	50.2 度	1.3394	
濃度 7.5% (7.5 克砂糖加	15 度	20.5 度	1.3530	20.7 度	1.3657	7.5% 1.3517
	20 度	27.5 度	1.3500	27.6 度	1.3545	

入 92.5 克水)	25 度	34 度	1.3231	34.3 度	1.3334	
	30 度	42.5 度	1.3511	42.5 度	1.3511	
	35 度	51 度	1.3549	50.95 度	1.3539	
濃度 10% (10 克砂糖加入 90 克水)	15 度	20.5 度	1.3530	20.5 度	1.3530	10% 1.3555
	20 度	28 度	1.3726	27.8 度	1.3636	
	25 度	35.5 度	1.3740	34.9 度	1.3538	
	30 度	43.1 度	1.3665	42.7 度	1.3563	
	35 度	50.5 度	1.3452	50.8 度	1.3510	
濃度 12.5% (12.5 克砂糖加入 87.5 克水)	15 度	20.3 度	1.3404	20.6 度	1.3594	12.5% 1.3572
	20 度	27.5 度	1.3500	27.6 度	1.3545	
	25 度	35.2 度	1.3639	35.1 度	1.3605	
	30 度	43 度	1.3639	42.8 度	1.3588	
	35 度	50.5 度	1.3452	50.9 度	1.3529	

我們分析 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5% 砂糖糖水入射角、折射角(紅色雷射筆)之圖表比較，結果如圖 5.7~5.11，3 次 n 值得平均與濃度之關係如圖 5.12。



我們發現 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5% 砂糖糖水入射角愈大，折射角就愈大，以 2.5% 砂糖水溶液而言，入射角分別為 15、20、25、30、35 度時，折射角分別為 19.9、27.2、34.0、42.5、50.61。換算成 n 值之後，我們發現濃度越高的糖水溶液 n 值會比較高，同樣的濃度的糖水濃液就算不同入射角算出來的 n 值也會差不多。

由圖 5.12 我們可以反推一杯未知濃度砂糖水溶液的濃度，藉由我們自製雷射折射器進行折射實驗，由實驗中我們可以求得 n 值，再帶入回歸後的公式 $y=0.204x+1.3335$ ，求得未知溶液的濃度。

四、以綠光射入不同濃度的黑糖糖水，測量折射率

1. 調配五種不同濃度的黑糖糖水(2.5%、5%、7.5%、10%、12.5%)。
2. 調整好入射角度，並利用壓克力半圓形水槽的反射角度協助校正。
3. 再將糖水溶液倒入半圓形水槽，以綠色雷射筆照射，並用大頭針標記折射角度。
4. 以直尺補助判別折射角度並記錄。
5. 重複測量每種濃度 15、20、25、30、35 度入射角，結果如表 5-3。



調配黑糖糖水



將底座固定在桌面上讓它不易飄移



照射半圓形水槽的的反射光調整入射角



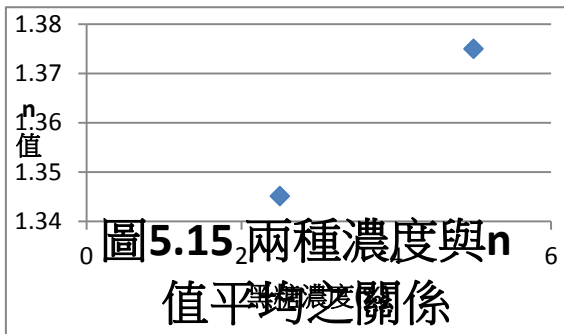
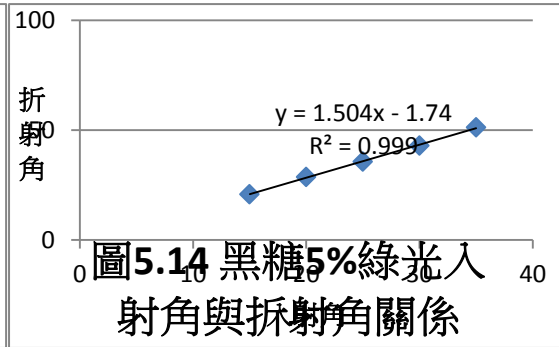
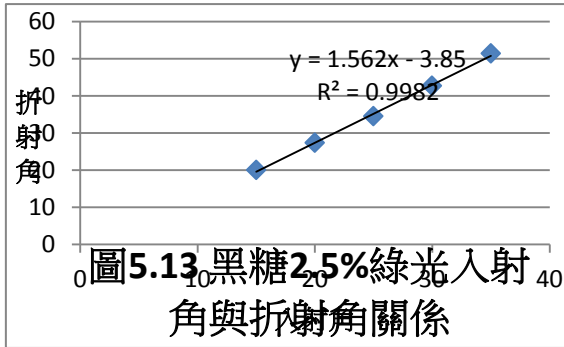
綠色雷射筆照射黑糖糖水得出折射角

由於我們發現以綠色雷射筆照射 7.5%、10% 及 12.5% 黑糖糖水時，看不到折射出來的光線，無法判定數據，所以我們只能量測 2.5%、5% 的折射率實驗。實驗結果如表 5-3。

表 5-3 不同濃度的黑糖糖水(綠光)的折射角

黑糖 綠光	入射角	折射角 1	n 值 1	折射角 2	n 值 2	
濃度 2.5% (2.5 克黑糖加入 97.5 克水)	15 度	20.6 度	1.3594	20 度	1.3214	
	20 度	27 度	1.3273	28.8 度	1.4085	
	25 度	33.7 度	1.3128	34.4 度	1.3368	
	30 度	42.1 度	1.3408	43.2 度	1.3690	
	35 度	51 度	1.3549	51.25 度	1.3596	
濃度 5% (5 克黑糖加入 95 克水)	15 度	21 度	1.3846	21.4 度	1.4097	
	20 度	28.45 度	1.3928	28.9 度	1.4130	
	25 度	34.45 度	1.3385	36.7 度	1.4141	
	30 度	42.5 度	1.3511	43.4 度	1.3741	
	35 度	51.3 度	1.3606	51.5 度	1.3644	
黑糖 綠光	入射角	折射角 3	n 值 3	平均角 度	平均 n 值	平均
濃度 2.5% (2.5 克黑糖加入 97.5 克水)	15 度	19.6 度	1.2960	20 度	1.3214	2.5% 1.3451
	20 度	26.5 度	1.3045	27.4 度	1.3455	
	25 度	35.5 度	1.3740	34.5 度	1.3402	
	30 度	42.4 度	1.3486	42.7 度	1.3563	
	35 度	51.5 度	1.3644	51.4 度	1.3625	
濃度 5% (5 克黑糖加入 95 克水)	15 度	20.1 度	1.3277	20.8 度	1.3720	5% 1.3750
	20 度	28.9 度	1.4130	28.7 度	1.4040	
	25 度	35.7 度	1.3807	35.6 度	1.3774	
	30 度	43 度	1.3639	42.9 度	1.3614	
	35 度	51.1 度	1.3568	51.3 度	1.3606	

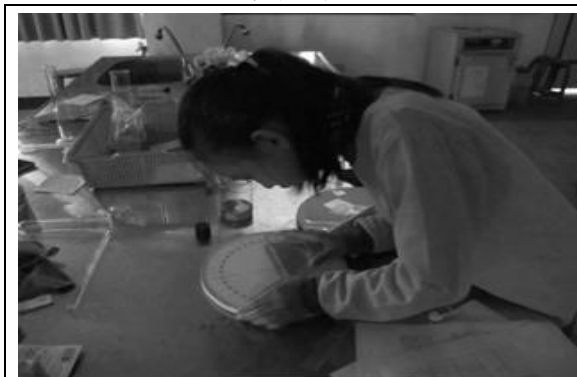
我們分析 2.5%、5% 黑糖糖水入射角、折射角(綠色雷射筆)之圖表比較，結果如圖 5.13~5.14，我們依然可以看出，入射角與折射角呈正相關的關係。3 次 n 值得平均與濃度之關係如圖 5.15，雖然只能做 2.5%、5% 兩種濃度，但從圖中一樣可以看出 n 值愈大濃度愈大的趨勢。



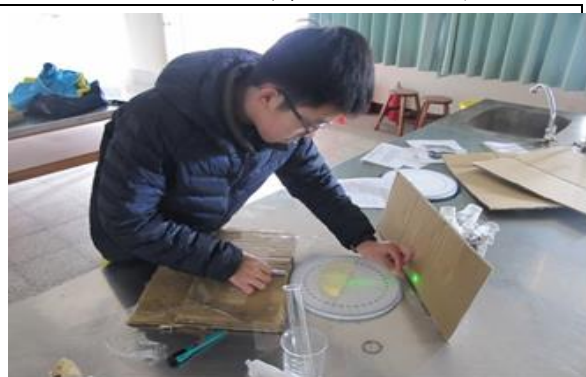
由實驗結果我們發現：綠光的穿透力比較弱，因為黑糖中含有糖蜜等雜質顏色較深，綠光在濃度較高(7.5%以上)的黑糖終究無法穿透。由圖5.6及圖5.15，我們也觀察到相較於紅光的而言，綠光在黑糖中的折射率較大，濃度皆為2.5%的黑糖水溶液，紅光與綠光的n值分別為1.3312及1.3451，濃度皆為5.0%的黑糖水溶液，紅光與綠光的n值分別為1.3404及1.3750。

五、以綠光射入不同濃度的砂糖糖水，測量折射率

1. 調配五種不同濃度的砂糖糖水(2.5%、5%、7.5%、10%、12.5%)。
2. 調整好入射角度，並利用壓克力半圓形水槽的反射角度協助校正。
3. 再將糖水溶液倒入半圓形水槽，以綠色雷射筆照射，並用大頭針標記折射角度。
4. 以直尺補助判別折射角度並記錄。
5. 重複測量每種濃度 15、20、25、30、35 度入射角，結果如表 5-4。



調整半圓形水槽到指定位置



綠色雷射筆照射砂糖糖水、標記折射角



用尺輔助對準圓心測量折射角



用尺輔助對準圓心測量折射角

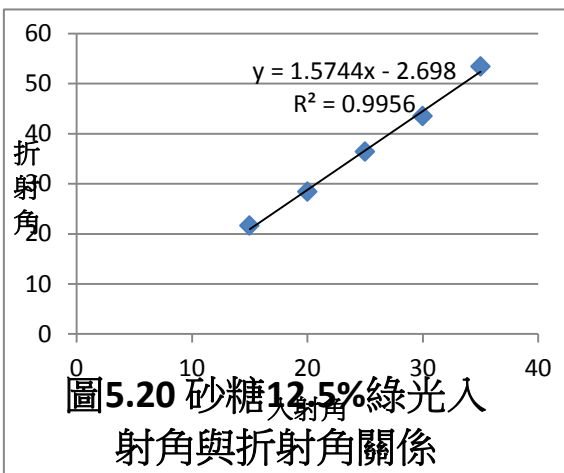
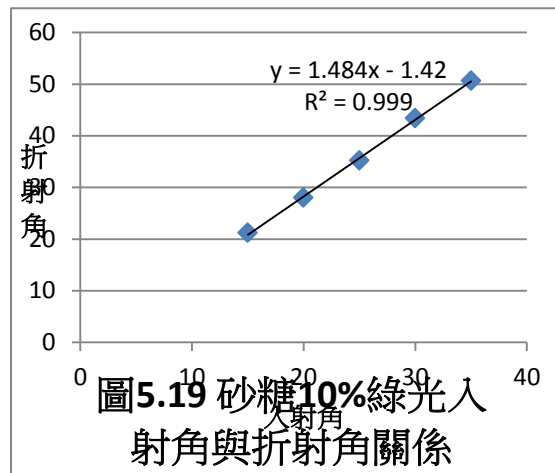
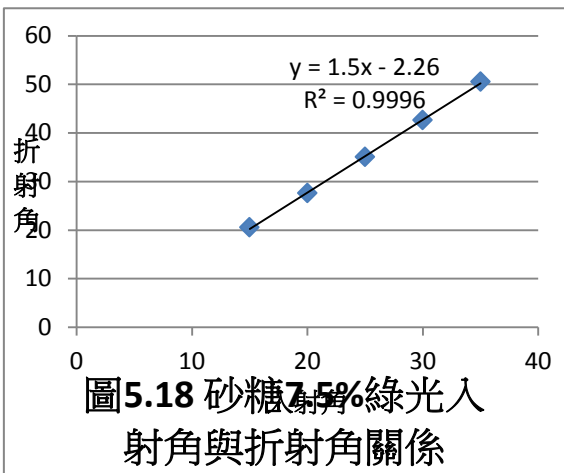
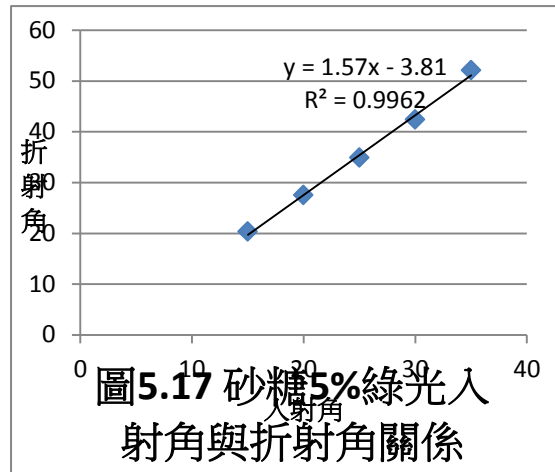
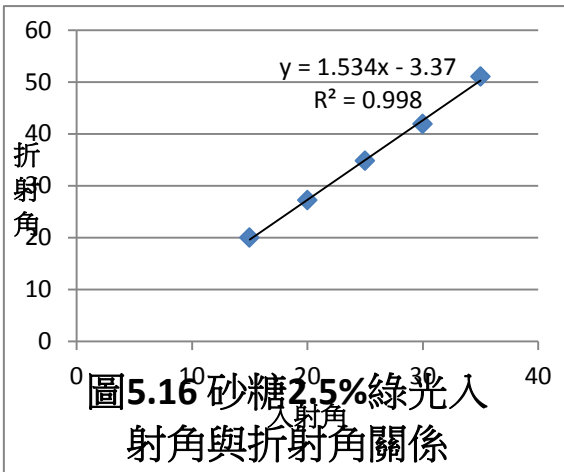
表 5-4 不同濃度的砂糖糖水(綠光)的折射角

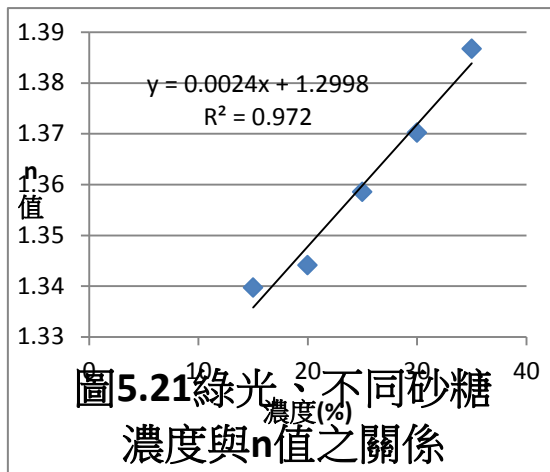
砂糖 綠光	入射角	折射角 1	n 值 1	折射角 2	n 值 2
濃度 2.5% (2.5 克砂糖加入 97.5 克水)	15 度	20.05 度	1.3246	20.25 度	1.3372
	20 度	27.3 度	1.3410	27.8 度	1.3636
	25 度	34.3 度	1.3334	34.75 度	1.3487
	30 度	42 度	1.3382	40.9 度	1.3094
	35 度	49.7 度	1.3296	53.5 度	1.3296
濃度 5% (5 克砂糖加入 95 克水)	15 度	20.45 度	1.3499	20.3 度	1.3404
	20 度	27.55 度	1.3523	27.5 度	1.3500
	25 度	34.45 度	1.3385	34.9 度	1.3538
	30 度	42.1 度	1.3408	42.4 度	1.3486
	35 度	50.6 度	1.3472	52.1 度	1.3757
濃度 7.5% (7.5 克砂糖加入 92.5 克水)	15 度	21 度	1.3846	20.5 度	1.3530
	20 度	28 度	1.3726	27.6 度	1.3545
	25 度	35.8 度	1.3841	35 度	1.3571
	30 度	42.7 度	1.3563	42.6 度	1.3537
	35 度	51.1 度	1.3568	50.5 度	1.3452
濃度 10% (10 克砂糖加入 90 克水)	15 度	21 度	1.3846	21.2 度	1.3972
	20 度	27.9 度	1.3681	28 度	1.3726
	25 度	35 度	1.3571	35.2 度	1.3639
	30 度	43.3 度	1.3716	43.4 度	1.3741
	35 度	51 度	1.3549	50.6 度	1.3472
濃度 12.5% (12.5 克砂糖加入 87.5 克水)	15 度	21.1 度	1.3909	21.6 度	1.4223
	20 度	28.9 度	1.4130	28.4 度	1.3906
	25 度	35.6 度	1.3774	36.4 度	1.4041
	30 度	43.7 度	1.3817	43.5 度	1.3767

	35 度	51.2 度	1.3587	53.41 度	1.3998
--	------	--------	--------	---------	--------

砂糖 綠光	入射角	折射角 3	n 值 3	平均角度	平均 n 值	平均
濃度 2.5% (2.5 克砂糖加入 97.5 克水)	15 度	19.8 度	1.3087	20 度	1.3214	2.5% 1.3397
	20 度	26.5 度	1.3045	27.2 度	1.3364	
	25 度	35.4 度	1.3706	34.8 度	1.3504	
	30 度	42.9 度	1.3614	41.9 度	1.3356	
	35 度	49.9 度	1.3335	51 度	1.3549	
濃度 5% (5 克砂糖加入 95 克水)	15 度	20.1 度	1.3277	20.2 度	1.3341	5% 1.3441
	20 度	27.7 度	1.3591	27.5 度	1.3500	
	25 度	34.6 度	1.3436	34.6 度	1.3436	
	30 度	41.5 度	1.3252	42 度	1.3382	
	35 度	50.35 度	1.3423	51 度	1.3549	
濃度 7.5% (7.5 克砂糖加入 92.5 克水)	15 度	20.8 度	1.3720	20.7 度	1.3657	7.5% 1.3585
	20 度	28 度	1.3273	27.8 度	1.3636	
	25 度	34.5 度	1.3402	35.1 度	1.3605	
	30 度	42.6 度	1.3537	42.6 度	1.3537	
	35 度	50.5 度	1.3452	50.7 度	1.3491	
濃度 10% (10 克砂糖加入 90 克水)	15 度	21 度	1.3846	21 度	1.3846	10% 1.3702
	20 度	28.2 度	1.3816	28 度	1.3726	
	25 度	35.8 度	1.3841	35.3 度	1.3740	
	30 度	43 度	1.3639	43.2 度	1.3690	
	35 度	50.8 度	1.3510	50.8 度	1.3510	
濃度 12.5% (12.5 克砂糖 加入 87.5 克 水)	15 度	21.2 度	1.3972	21.3 度	1.4034	12.5% 1.3867
	20 度	28.7 度	1.4040	28.6 度	1.3996	
	25 度	35.6 度	1.3774	35.8 度	1.3841	
	30 度	43.2 度	1.3690	43.4 度	1.3741	
	35 度	51.15 度	1.3577	51.92 度	1.3723	

砂糖糖水 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5% 折射角(綠色雷射筆)之圖表比較如圖 5.16~圖 5.20。五種不同濃度與平均 n 值關係圖如圖 5.21。





實驗結果我們發現：雖然綠光的穿透力比較弱，但在砂糖中雜質相較黑糖少，故即使較高濃度，綠光依舊可以穿透，而我們觀察到砂糖跟黑糖有一樣的現象，在綠光相較於紅光，折射率相對的較高的現象。

雷射綠光在 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5% 砂糖糖水入射角愈大，折射角就愈大，以 2.5% 砂糖水溶液而言，入射角分別為 15、20、25、30、35 度時，折射角分別為 20.0、27.2、34.8、41.9、51.0。換算成 n 值之後，我們發現濃度越高的糖水溶液 n 值會比較高，而同樣濃度的糖水濃液就算不同入射角算出來的 n 值也會差不多。

由圖 5.21 我們可以反推一杯未知濃度砂糖水溶液的濃度，藉由我們自製雷射折射器進行綠光砂糖溶液折射實驗，由實驗中我們可以求得 n 值，再帶入回歸後的公式 $y=0.0024x+1.2998$ ，求得未知溶液的濃度。

陸、評鑑與檢討

一、 我們親自用電腦查詢司乃耳和糖度計後，發現裡面有許多高中才會教到的概念，所以我們要反覆地詢問老師，才能對司乃耳定律更了解。研究中我們討論了不同入射角(15 度、20 度、25 度、30 度、35 度)和折射角與司乃耳定律的關係：

1. 入射角越大，偏折出來的折射角度會越大。
2. 我們發現司乃耳定律所說的，當光從介質傳遞到介質 2 時，若兩種介質的折射率不同，便會產生折射的現象。

3. 根據司乃耳定律，我們發現同樣的糖水濃度得出的 n 值都差不多。

二、以紅色雷射筆照射黑糖糖水與砂糖糖水的差異:

1. 黑糖在水中的溶解度較高，而砂糖在水中的溶解度較低。
2. 砂糖糖水折射角度較小，黑糖糖水折射角度較大。
3. 黑糖因為顏色較深，所以射出的光較於砂糖的暗。

三、以綠色雷射筆照射黑糖糖水與砂糖糖水的差異:

1. 砂糖糖水折射角度較小，黑糖溶液糖水角度較大。
2. 黑糖因為顏色太深，所以只能測到 2.5%、5.0% 兩個濃度。
3. 砂糖因為顏色較淺，綠光可以測出所有濃度的折射角。

四、紅光射黑糖與砂糖和綠光黑糖與砂糖的差異和共同點:

1. 砂糖糖水折射角度較小，黑糖糖水折射角度較大。
2. 黑糖溶解度較高，砂糖溶解度較低。
3. 黑糖糖水，只有紅光照的進去，綠光只能照到 2.5% 跟 5%。
4. 同樣的黑糖糖水，綠光測出來的折射角會較紅光大。
5. 同樣的砂糖糖水，綠光測出來的折射角會較紅光大。

五、我們發現糖水濃度越高，偏折角度越大，也就是折射率(n 值)越大，代表濃度愈高，雷射光傳播的越慢，與光速在固態.液態.氣態的狀態吻合，我們可以推知在濃度高的糖水中，糖分子相較於水分子較大，而糖分子越多越阻礙雷射光的前進。

六、同顏色的雷射光，砂糖糖水測得的 n 值比黑糖糖水大。

黑糖與砂糖最大的差異在於結晶法的差異，砂糖是利用離心力將糖漿內的糖蜜分離，從台糖的資訊上得知，他利用離心力去把糖蜜甩出，砂糖是在桶內的糖結晶，我們可以知道砂糖本身的分子量分子結構相較糖蜜來的大，而黑糖是同時保有糖蜜的成分，黑糖平均相砂糖結構較小，故黑糖的 n 值較小。我們也知道因為糖蜜(雜質)的原因，同樣濃度的黑糖與砂糖，砂糖糖水比較甜。

七、同樣濃度的糖水，綠色雷射筆測出的 n 值皆比紅色雷射筆測來的大。

我們從資料上的得知，綠光相較於紅光，在水中與玻璃的 n 值都較大。

而在這次糖水的實驗中更得到驗證，而測驗出來的 n 值差距相對於純水的 n 值差距更大有更大得級距，我們大膽推論是糖分子所造成的影響。

八、所以我們確實可以以折射角推估出含糖濃度，但因為不同的糖，內含的雜質比例與成分不同，還是會有些許差異，所以我們只要固定同一種糖，是可以從特定糖線性上的趨勢去推斷出含糖濃度，以下是本研究糖的濃度與 n 值推估

(1)紅色雷射光照射不同濃度黑糖溶液 $y=0.2108+1.3271$

(2)紅色雷射光照射不同濃度砂糖溶液 $y=0.2040+1.3335$

(3)綠色雷射光照射不同濃度砂糖溶液 $y=0.4804+1.3238$

柒、參考資料

1. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%96%AF%E6%B6%85%E5%B0%94%E5%AE%9A%E5%BE%8B>-維基百科(司乃耳定律)

2. <https://baike.baidu.com/item/%E7%B3%96%E5%BA%A6%E8%AE%A1/3193718>

糖度計原理

3. http://www.nani.com.tw/nani/jlearn/natu/ability/a2/3_a2_6.htm 重量百分濃度

4. <https://kknews.cc/zh-tw/health/891x65q.html> 紅糖、黑糖、白糖、冰糖.....都是糖
有什麼區別呢

5. <https://tw.answers.yahoo.com/question/index?qid=20081213000010KK03162> 可見光的比較

6. <http://www.taisugar.com.tw/Monthly/CPN.aspx?ms=1352&s=13383495&p=13383503> 台糖通訊

研究心得：

當初發現了飲料的折射角度竟然會比清水大，真的覺得很不可思議，為平常時根本不會發現這種事，也藉由這件事而發現司乃耳定律

的道理和一些有關折射的事物，希望以後可以更進一步的對折射進行探討。

當我們正式的擬訂計畫後發現這真的很費工夫，先對要做那些實驗進行討論，還要準備器材，甚至還要自己做出易主儀器，工作進度表也是一項難題，因為每個人都有自己的事，所以就要找出空閒的時間做實驗，當實驗做一小段後我們還要對實驗結果做討論與探討它的問題，最後再把他製作成表格。

未來展望：

本研究可以藉由自製雷射折射器，透過實驗的 n 值推估出糖的重量百分濃度。研究過程中也曾以市售茶類為實驗對象，但由於市售茶類中有比較多的雜質，且變因較為複雜，因此實驗尚須做些許的修正，之後的後續研究，我們期待能以不破壞容器，檢測出茶類的濃度、咖啡因的濃度等。