

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

第三名

080104

引「光」入室

—探究影響寶特瓶燈泡照明表現的各種因素

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 羅珮綺 小六 姚又方 小六 黃大衛 小六 吳英碩	指導老師： 李偲華 游時銘
---	-----------------------------

關鍵詞：寶特瓶燈泡、照明、光線射出檢測儀

摘要

本研究從菲律賓「A Liter of Light」計畫出發，想探究影響寶特瓶燈泡在室內照明表現的各種因素。我們發現瓶子的有無、瓶蓋的透明與否對空間照度表現影響很大，而瓶身顏色、曲度、瓶底紋路能在空間裡達到「以光作畫」的效果，且瓶中水位高低、平移距離、瓶身距地面高度、瓶口與燈源距離，都能因應需求而調整出適宜的照度。此外我們還研發出「寶特瓶燈泡光線射出位置檢測儀」，能準確驗證光源入射與射出位置的相對關係，更在置入白粉筆粉末的滿水瓶中觀察到雷射光源不同角度射入瓶中的行進路徑。我們用一整年的假日、週三下午等時間完成此研究，發現物理世界中的奧妙之處，付出再多的辛苦也值得。

壹、研究動機

在炎炎夏日隨手來瓶冰涼的飲料是件最過癮的事，有次在豔陽下，飲料咕嚕咕嚕暢快下肚之前，我猛然發覺手中的寶特瓶竟然發出刺眼的光芒，引起我和同學的好奇，在資料查詢中，赫然瀏覽到菲律賓當地有個團體將一個裝滿水的透明寶特瓶裝在屋頂上，使陽光照進屋內，就像是一盞燈，為處在黑暗中的家庭帶來光明。然而，這樣的「寶特瓶燈泡」所引進的光線在屋內的照明情形是如何呢？為揭開這神秘的面紗，我們決定著手進行更深入的研究。

貳、研究目的

- 一、探究影響寶特瓶燈泡在室內照明表現的各種因素。
- 二、研發創意檢測儀器檢驗光透過滿水寶特瓶的入射光及射出光的關聯性。

參、研究設備及器材

項目	內容
材料	各式寶特瓶、除膠劑、牙刷、LED 投射燈、雷射筆、紙箱、美耐板、角鋼、釘子、螺絲、螺帽、木板、黑絨布、鋁製凹槽、布尺、黑色噴漆、塑膠片、白布、水、水管、漏斗、量杯、太陽能板、電線、變壓器、鐵絲、塑膠瓦楞板、黑色膠布、粉筆
工具	扳手、螺絲起子、鋸子、美工刀、剪刀、照度計、三用電表、相機、腳架

肆、研究過程及結果

子題一：居家環境的照明重要嗎？

- (一) 研究方法：利用網路上的資料、圖書館的書籍、訪談燈具照明公司負責人找尋相關資料。
- (二) 資料整理：

1. 菲律賓的「A Liter of Light」計畫

菲律賓貧窮地區的人多住在鐵皮屋內，沒有錢負擔電費，所以通常生活在黑暗中。這些房屋又因為建造得非常接近，所以能透過窗戶進入屋內的日光很少。

據報導，當地有團體發起「A Liter of Light」活動，將裝滿水和一點漂白水的透明寶特瓶裝在屋頂上，使陽光照進屋內，像是一盞燈（如圖 1-1）。加漂白水是為防止黴菌生長，使這種寶特瓶燈泡能持續使用五年時間，達到為「低收入社區及處在黑暗中家庭帶來光明」的目的。



圖 1-1：菲律賓的「A Liter of Light」計畫

2. 居家環境應注意哪些照明問題？

根據中華民國國家照明標準(CNS)所規範住宅內各空間活動所需的照度標準如表 1-1 所示：

表 1-1：中華民國國家照明標準(CNS)規範住宅內各空間活動所需的照度標準一覽表

照度	起居間	書房	兒童房	客廳	廚房 餐廳	臥房	工作室	更衣室	洗手間	走廊 樓梯	倉儲室	玄關	車庫	庭園
2000~1000	◎手藝	—	—	—	—	—	◎手工藝	—	—	—	—	—	—	—
1000~750	◎縫紉	◎寫作	◎作業	—	—	—	◎縫紉	—	—	—	—	—	—	—
750~500	◎閱讀	◎閱讀	◎閱讀	—	—	◎看書	◎工作	—	—	—	—	◎鏡子	—	—
500~300	—	—	—	—	◎餐桌	◎化妝	—	◎修臉	—	—	—	◎清潔	◎檢查	—
300~200	◎團聚	—	◎遊玩	◎桌面	◎調理	—	◎洗衣	◎洗臉	—	—	—	◎裝飾櫃	—	—
200~150	◎娛樂	—	—	◎沙發	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎宴會
150~100	—	—	全般	—	—	—	全般	全般	—	—	—	全般	—	◎聚餐
100~75	—	全般	—	—	全般	—	—	—	全般	—	—	—	—	—
75~50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎門牌	—	—
50~30	全般	—	—	全般	—	—	—	—	—	全般	全般	◎信箱	全般	陽台 全般
30~20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20~10	—	—	—	—	—	全般	—	—	—	—	—	—	—	—
10~5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎走道	—	◎走道
5~2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2~1	—	—	—	—	—	深夜	—	—	深夜	—	—	安全燈	—	安全燈

註：有「◎」記號之場所，可用局部照明取得該照度。

因為一般人在工作之餘最常聚在家裡的起居間或客廳從事各種家庭活動，該活動空間在全般照明方面，依 CNS 所規範的照度標準為 30-75Lux，因此**本實驗探究中提到的最低環境照度值是採用 CNS 在該空間所規範的全般照明最小照度，為 30 Lux。**

4. 照明相關名詞及定義

- (1) **照度**：物體或被照面上，被光源照射所呈現的光亮程度稱為照度，其單位為勒克斯(Lux)。
- (2) **配光均勻度**：是指光線的分布均勻程度。光線分布越均勻、視覺感受越舒服，越不會造成眼睛的疲勞。配光均勻度公式，其值越接近 1 越好。 配光均勻度 = 最低照度 / 平均照度

子題二：實驗用寶特瓶的準備、固定燈具的方式、實驗屋的設計與組合

(一) 實驗用寶特瓶的準備



圖 2-1：除去寶特瓶上的包裝塑膠貼紙及殘膠的方法

(二) 實驗屋的設計與組合

代數	第一代-紙箱版	第二代-夾心板組合	第三代-角鐵版
圖片			
規格	長 26.5cm 寬 23.5cm 高 27cm	長 65cm 寬 120cm 高 120cm	長 160cm 寬 160cm 高 150cm
製作方式	將紙箱的箱底朝上，開一圓洞以便讓寶特瓶嵌入；箱子側面有一開口，以便我們放置照度計讀取箱底處的照度值。	在兩個美耐板展示架上用 2 木條支撐另一塊瓦楞紙板，開一圓洞以便讓寶特瓶嵌入，使用照度計讀取地面上的照度值。	用角鐵、螺帽組合一堅固鐵架，上下各放置一塊木板，上方木板鑿一圓洞讓寶特瓶嵌入，四周懸掛黑絨布以隔絕其它光線進入。
使用心得	<ul style="list-style-type: none"> ♥優點：材料環保，組裝、收納容易。 ✖缺點：箱子尺寸過小，無法完整呈現出寶特瓶燈泡光線的照射範圍。 	<ul style="list-style-type: none"> ♥優點：學校現有材料組合。 ✖缺點：白色美耐板展示架的寬度不夠，在燈源的照射下，地面上會產生板子的陰影區，影響地面照度的判讀。 	<ul style="list-style-type: none"> ♥優點：尺寸夠大可觀察到寶特瓶燈泡在屋內完整分布情形。角鐵實驗屋非常堅固，不易晃動。 ✖缺點：實驗屋尺寸大，不易拆裝搬移。

(三) 固定燈具的方式

代數	第一代-夾在天花板	第二代-木框	第三代-移動凹槽
圖片			
固定方式	將 LED 燈夾在教室隔音天花板板間的鋁條。	將燈源夾在自製立體木框上，再置於角鐵實驗屋上方。	將燈源固定於角鐵實驗屋上的鋁製凹槽。
使用心得	<ul style="list-style-type: none"> ♥優點：不需另作固定層架。 ✖缺點：燈源難以流暢地左右前後調整，且天花板太高，調整燈源需用梯子輔助。 	<ul style="list-style-type: none"> ♥優點：重量輕，容易移動。 ✖缺點：調整燈源時，很難固定只調整橫向或縱向，在調整光源上相當耗時。 	<ul style="list-style-type: none"> ♥優點：需要調整燈源時，可以流暢地只調整橫向或縱向部分，效率提高不少。 ✖缺點：製作時間較費時。

(四) 實驗環境說明及實驗屋各部位名稱定義：

實驗屋天花板



圖 2-3：實驗屋上方黑色木板正中心鑿一個直徑 12.5cm 圓洞，以便更換不同的寶特瓶。

燈源區



圖 2-4：實驗屋上方角鐵鎖 2 支鋁製凹槽，兩鋁製凹槽間以木塊固定另 2 支鋁製凹槽 AB，移動木塊可讓燈源進行南北向調整。

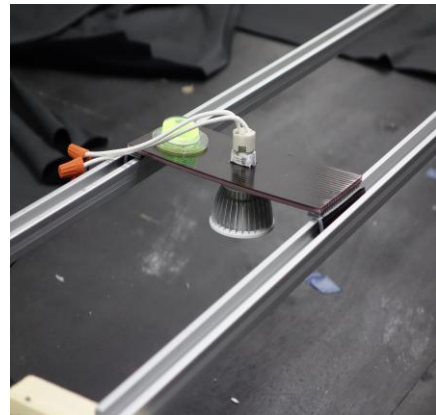


圖 2-5：兩鋁製凹槽間以塑膠瓦楞板嵌入燈具，移動塑膠瓦楞板可讓燈源進行東西向的調整。

實驗屋外圍



圖 2-6：四周懸掛黑色絨布，以防止屋外光線的干擾，以及避免屋內光線在布上的反射情形。

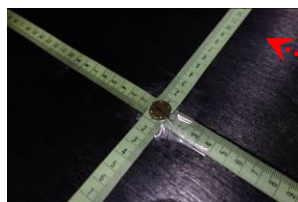


圖 2-2：實驗屋全貌

實驗屋的高度 **150cm**

是經由計算得來的喔！

一般大樓一層樓約高 3 公尺，以我們六年級小朋友的平均身高 150-160cm 來看，天花板大約距我們的眼睛高度 150cm，所以我們特別規劃實驗屋的高度為 150cm，這樣實驗屋地面的照度表現就能代表我們站著時眼睛所接收到的亮度。



實驗屋外圍



圖 2-7：角鐵末端套上塑膠保護套。

實驗屋木頭地板

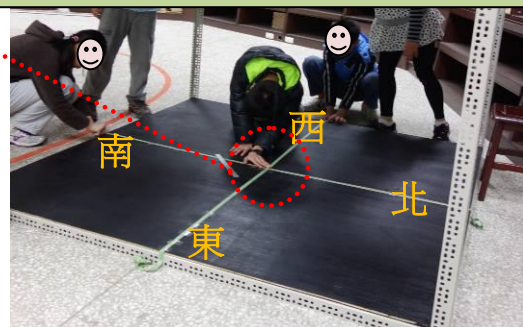


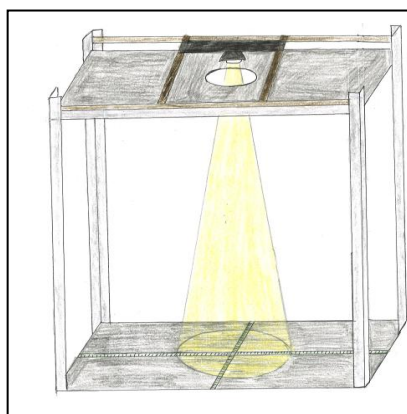
圖 2-8：在實驗屋黑色地板上找出中心點定義為 0cm，在中心點東西南北(以指北針定位)四方位黏上布尺，以便量測四方位不同距離照度值。



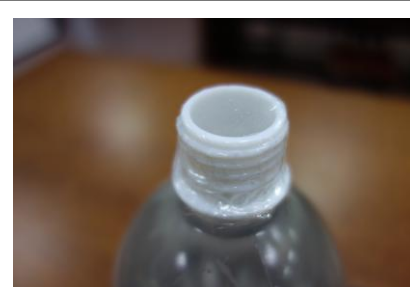
子題三：寶特瓶的瓶身樣式、瓶蓋樣式如何影響實驗屋內空間的照明表現？

(一) 研究方法

1. 蒐集七種尺寸接近的寶特瓶，加以觀察，並進行實驗前光源置中校準(如圖 3-1)。
2. 實驗屋上方木板圓洞在不置入任何寶特瓶情形下，在黑色木地板中心點為基準(0cm)，分別以照度計測量東、西、南、北方 0 cm、5 cm ~80cm 處的照度值，每個方位每個距離點皆測量 5 次照度值加以平均，並計算東西南北方 0~25cm、0~50cm 配光均勻度。
3. 將七種寶特瓶依序進行保留瓶蓋、取下瓶蓋、以保鮮膜取代瓶蓋(如圖 3-2)，先嵌入紙箱瓦楞板圓洞中(如圖 3-3)進行實驗，寶特瓶口與燈源相距 8cm。



←圖 3-1：光源置中校準後，木地板上以中心點為準，四方位距中心點同樣距離所測得的照度值要趨於一致。



↑圖 3-2：以保鮮膜取代瓶蓋頂部。



←圖 3-3：每種寶特瓶的瓶身直徑不盡相同，因此會先將瓶身嵌入紙箱瓦楞板中，再置於實驗屋木板圓洞上實驗。

(二) 研究結果

表 3-1：7 種寶特瓶其瓶蓋樣式、瓶身樣式、瓶底樣式、瓶高、瓶子容量一覽表


編號	1	2	3	4	5	6	7
名稱	可口可樂 空瓶	CCLemon 空瓶	美粒果 空瓶	健酪 空瓶	竹碳水 空瓶	麥飯石 空瓶	雪碧 空瓶
瓶蓋樣式							
瓶身樣式							
平底樣式							
瓶高	30cm	29.2cm	28.7cm	30.7cm	29.3cm	31.3cm	30cm
容量	1330ml	1360ml	1340ml	1600ml	1560 ml	1590ml	1330ml

表 3-2：空洞時，其東西南北向不同距離之照度、均勻度一覽表

樣式 距離	照度				
	東	西	南	北	平均值
0	597.60	597.60	597.60	597.60	597.60
5	576.80	586.20	583.00	576.80	580.70
10	553.00	554.00	551.50	557.40	553.98
15	509.80	503.80	502.40	519.20	508.80
20	447.60	437.60	439.20	461.60	446.50
25	379.40	374.40	366.60	394.40	378.70
30	283.80	260.20	264.00	291.60	274.90
35	165.28	145.68	142.12	151.06	151.04
40	55.22	45.72	48.80	47.98	49.43
45	14.24	11.04	15.14	12.34	13.19
50	0.60	0.54	0.60	0.44	0.55

樣式 距離	照度					
	東	西	南	北	平均值	
55	0.14	0.20	0.18	0.18	0.18	
60	0.16	0.18	0.20	0.20	0.19	
65	0.12	0.20	0.18	0.26	0.19	
70	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20	
75	0.14	0.14	0.22	0.16	0.17	
80	0.18	0.20	0.14	0.16	0.17	
配光 均勻度	0-25cm	0.74	0.74	0.72	0.76	0.74
	0-50cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 3-3：7 種不同樣式有瓶蓋寶特瓶其不同距離之四方位照度平均值、配光均勻度一覽表

瓶子種類 照度(Lux) 距離	可口可樂	CCLemon	美粒果	健 酪	竹炭水	麥飯石	雪 碧	
	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	
0 cm	54.25	116.48	77.58	39.64	120.20	67.26	59.80	
5 cm	59.73	101.89	91.67	45.60	134.72	87.44	64.74	
10 cm	79.40	108.69	75.53	47.27	125.01	103.28	84.79	
15 cm	90.44	97.40	55.77	38.01	86.31	104.41	81.54	
20 cm	50.86	82.86	40.53	22.02	57.88	73.16	51.02	
25 cm	38.24	82.71	25.01	13.88	50.02	53.07	37.58	
30 cm	38.77	71.92	15.75	10.79	46.73	38.20	29.95	
35 cm	25.55	46.45	10.91	8.94	30.22	24.50	15.85	
40 cm	11.28	26.45	7.66	6.57	15.32	16.01	6.98	
45 cm	6.80	16.35	5.85	4.85	9.05	10.37	4.07	
50 cm	4.33	11.01	4.36	3.75	6.19	5.76	3.02	
55 cm	3.29	8.16	3.64	3.08	4.98	4.45	2.64	
60 cm	2.70	6.17	2.92	2.56	3.81	3.27	2.00	
65 cm	2.39	4.93	2.48	2.21	3.09	2.49	1.75	
70 cm	1.92	3.69	2.07	2.06	2.63	1.98	1.47	
75 cm	1.47	3.14	1.88	1.93	2.37	1.71	1.21	
80 cm	1.19	2.44	1.66	1.78	2.40	1.49	0.96	
配光 均勻度	0-25cm	0.62	0.84	0.41	0.40	0.52	0.65	0.55
	0-50cm	0.10	0.16	0.12	0.17	0.10	0.11	0.07

表 3-4：7 種不同樣式無瓶蓋寶特瓶其不同距離之四方位照度平均值、配光均勻度一覽表

瓶子種類 照度(Lux) 距離	可口可樂	CCLemon	美粒果	健 酪	竹炭水	麥飯石	雪 碧	
	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	空 瓶	
0 cm	353.40	375.40	248.00	79.36	474.80	306.60	257.80	
5 cm	326.15	339.00	221.53	88.41	378.30	308.40	239.40	
10 cm	296.50	296.70	178.05	101.69	268.55	372.40	230.50	
15 cm	278.30	229.15	133.48	84.77	239.85	371.90	211.70	
20 cm	177.95	163.17	87.48	50.69	181.83	232.25	178.56	
25 cm	127.40	126.83	52.21	25.14	151.00	176.40	116.42	
30 cm	90.06	101.31	30.93	14.32	107.15	117.88	77.97	
35 cm	58.12	71.27	19.31	9.26	76.33	79.67	45.11	
40 cm	31.40	41.58	13.58	6.68	50.31	44.49	20.11	
45 cm	18.27	24.60	10.22	5.37	32.74	24.36	11.54	
50 cm	11.65	16.62	7.86	4.41	20.32	13.72	7.73	
55 cm	8.11	12.14	6.03	3.71	13.09	8.81	5.67	
60 cm	6.04	9.04	4.72	3.21	9.17	6.49	4.45	
65 cm	4.75	7.10	3.83	2.80	6.86	5.16	3.42	
70 cm	3.81	5.50	3.14	2.41	5.45	4.32	2.74	
75 cm	3.09	4.37	2.59	2.21	4.58	3.93	2.09	
80 cm	2.54	3.64	2.23	2.03	3.93	3.41	1.73	
配光 均勻度	0-25cm	0.49	0.50	0.34	0.35	0.53	0.60	0.57
	0-50cm	0.07	0.10	0.09	0.10	0.11	0.07	0.06

表 3-5：7 種不同樣式以保鮮膜取代瓶蓋寶特瓶其不同距離之四方位照度平均值、配光均勻度一覽表

瓶子種類 照度(Lux) 距離	可口可樂 空 瓶	CCLemon 空 瓶	美粒果 空 瓶	健 酪 空 瓶	竹炭水 空 瓶	麥飯石 空 瓶	雪 碧 空 瓶	
0 cm	279.70	298.10	232.25	104.16	328.50	290.25	236.45	
5 cm	276.55	280.05	208.35	112.44	294.40	284.30	216.05	
10 cm	283.90	246.12	206.21	119.72	235.62	302.30	203.62	
15 cm	230.86	199.96	183.91	111.28	197.23	313.65	192.11	
20 cm	149.51	166.41	116.00	81.61	141.94	263.20	149.67	
25 cm	96.58	131.30	80.02	54.78	107.19	193.61	92.51	
30 cm	66.30	95.48	53.32	35.86	88.45	132.84	63.17	
35 cm	47.68	65.28	38.36	22.45	65.46	81.45	35.27	
40 cm	30.35	37.93	26.87	15.34	40.10	48.56	17.42	
45 cm	19.05	23.02	18.59	11.55	23.15	29.98	10.79	
50 cm	13.05	15.99	12.85	9.06	14.65	17.98	7.29	
55 cm	8.88	11.61	10.22	7.38	10.80	11.51	5.33	
60 cm	6.48	8.97	8.06	6.12	8.52	8.32	3.99	
65 cm	4.76	6.74	6.40	5.37	7.17	6.20	3.19	
70 cm	3.79	5.18	5.52	4.63	5.93	4.56	2.56	
75 cm	2.92	4.28	4.56	4.09	5.16	3.54	2.00	
80 cm	2.42	3.38	3.91	3.60	4.64	2.90	1.65	
配光 均勻度	0-25cm	0.46	0.60	0.47	0.56	0.49	0.71	0.51
	0-50cm	0.10	0.11	0.12	0.15	0.11	0.10	0.07

(三) 研究發現

1. 觀察七種寶特瓶的外觀時發現其瓶身顏色、瓶身紋路、瓶底紋路各有特色，如表 3-6 所示：

表 3-6：七種寶特瓶其瓶身顏色、瓶身紋路、瓶底紋路一覽表

項目 瓶子種類	瓶身顏色	瓶身紋路	瓶底紋路
可口可樂空瓶	無色透明	光滑無紋路	5 個非常明顯柱狀突起
CCLemon 空瓶	無色透明	光滑無紋路	5 個非常明顯柱狀突起
美粒果空瓶	半透明霧面	橫向及直向凹凸紋路	向中心凹入
健 酪 空 瓶	不透明的乳白色	橫向及直向凹凸紋路	向中心凹入
竹炭水空瓶	無色透明	橫向凹凸紋路	向中心凹入
麥飯石空瓶	無色透明	橫向及直向凹凸紋路	像鳳梨的橫切片
雪 碧 空 瓶	透明的綠色	光滑無紋路	5 個非常明顯柱狀突起

2.將表 3-2 繪製成圖 3-3 發現「空洞」(實驗屋上方圓洞沒有嵌入任何寶特瓶)時：

①東、西、南、北方位四條折線圖幾乎吻合，表示四個方位距中心點同一距離所測得的照度值趨於一致，顯示光源位於圓洞正中央，確實達成光源置中校準的目標。

②東、西、南、北方位所測得的照度值隨著距中心點距離的增加而遞減，且下降的幅度非常明顯：中心點的照度值最高為 592.6Lux，40cm 處的平均照度值為 49.43 Lux，45cm 處的平均照度值就降為 13.19 Lux，50cm 之後的平均照度值已趨近於 0 Lux。

③承②，各方位取中心點 0~25cm 配光均勻度介於 0.72~0.76，而 0~50cm 配光均勻度卻已趨為 0，顯示 25-50cm 內照度值衰退得極快。

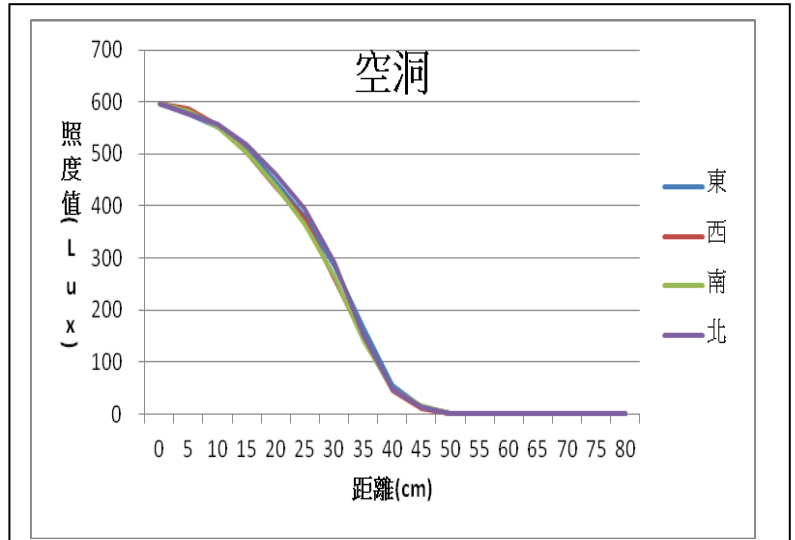


圖 3-3：空洞東西南北向不同距離與照度關係圖

3.將表 3-3~3-5 繪製成圖 3-4~3-6，綜合三種不同瓶蓋樣式的七種寶特瓶發現：

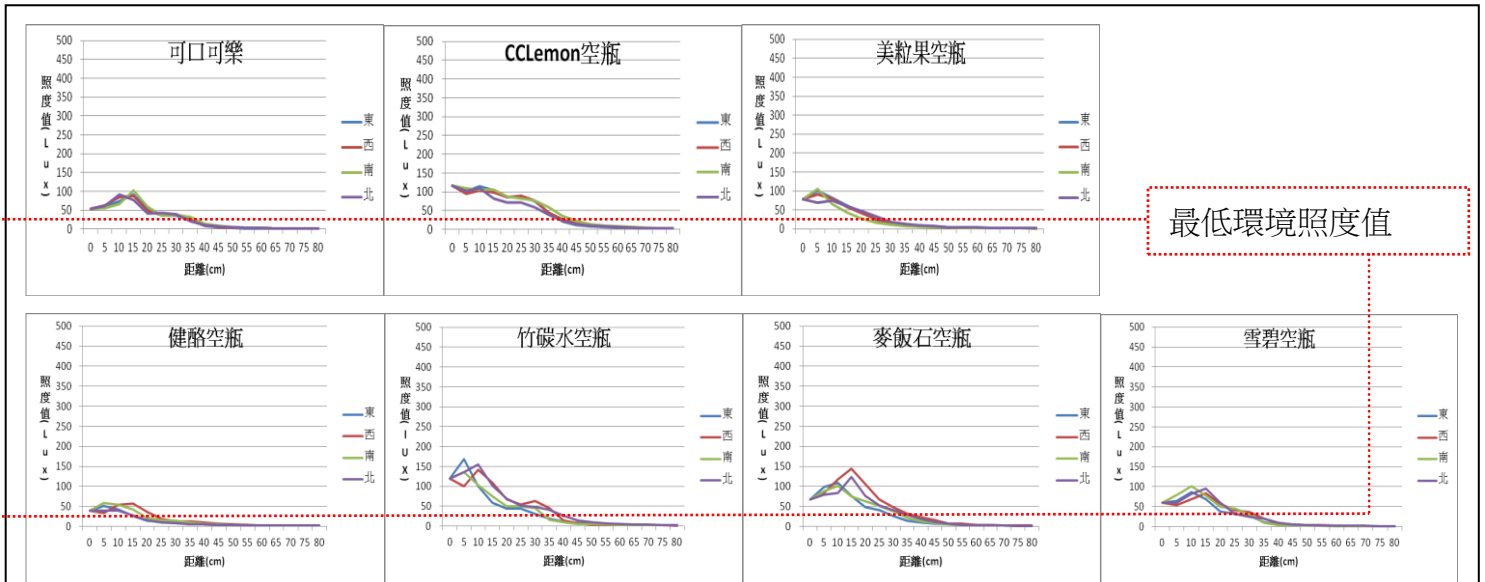


圖 3-4：7 種不同樣式有瓶蓋寶特瓶其東西南北向不同距離與照度關係圖

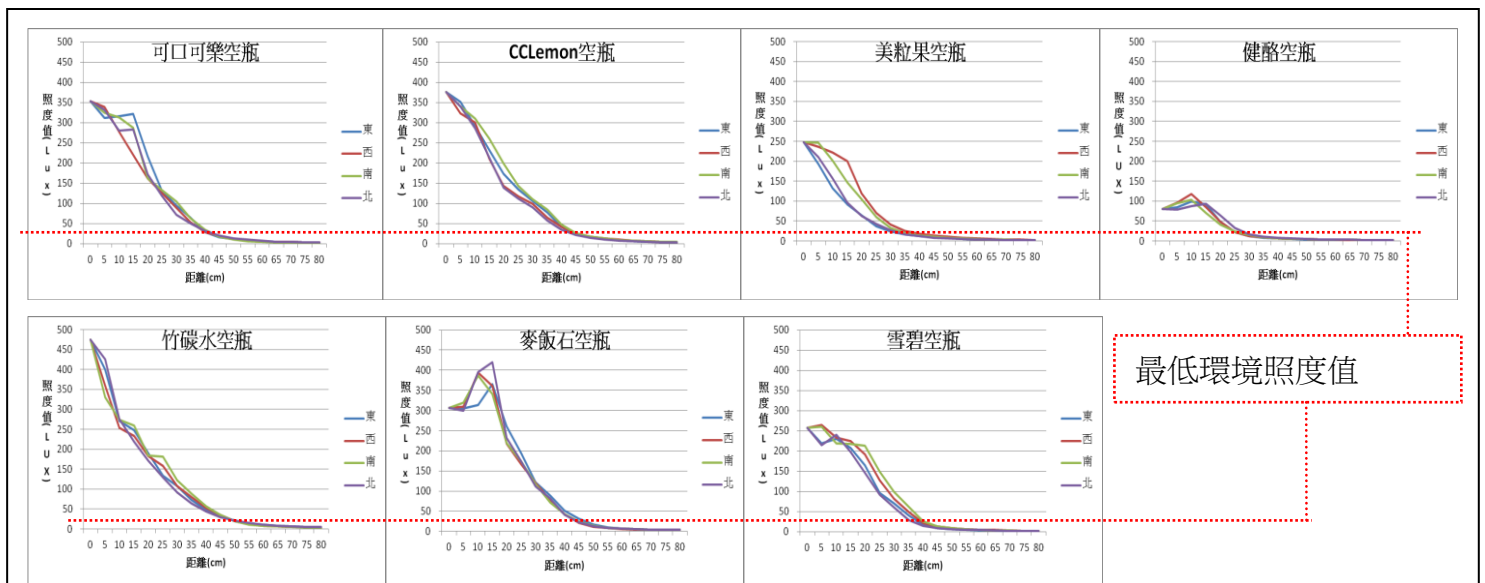


圖 3-5：7 種不同樣式無瓶蓋寶特瓶其東西南北向不同距離與照度關係圖

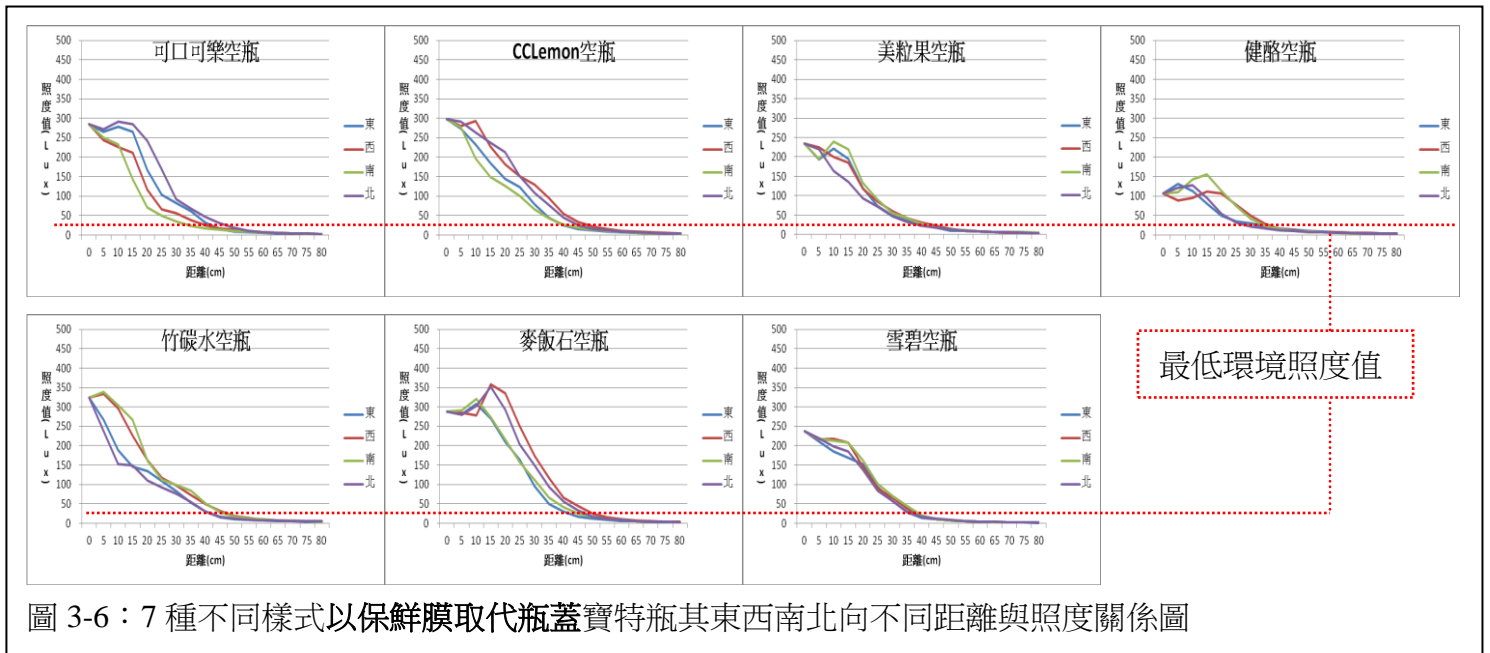


圖 3-6：7 種不同樣式以保鮮膜取代瓶蓋寶特瓶其東西南北向不同距離與照度關係圖

- ①以平均照度值來看，空洞在 50cm 處的照度值趨於 0Lux，而置入寶特瓶後在 50cm 處的照度值仍有 3.02~11.1Lux，甚至在實驗屋邊緣 80cm 處的照度值仍大於 1Lux 以上，由此可見，**置入寶特瓶可有效延緩光線衰退情形。**
- ②就整體配光均勻度來看，不論瓶蓋樣式，0-50cm 的配光均勻度(0.06-0.17)都遠低於 0-25cm 的配光均勻度(0.34-0.84)。
- ③七種寶特瓶就瓶蓋樣式不同其最大照度值為：無塑膠瓶蓋 > 瓶口包覆保鮮膜的 >> (遠遠大於) 有塑膠瓶蓋，可見**不透明的塑膠瓶蓋會影響光源的接收效果。**
- ④大體而言七種寶特瓶就瓶蓋樣式不同其平均照度值大於最低環境照度(30Lux)的最遠距離為：無塑膠瓶蓋 = 瓶口包覆保鮮膜 > 有塑膠瓶蓋。而沒有瓶蓋比有瓶蓋的寶特瓶其大於最低環境照度(30Lux)的最遠距離大約多了 5~10cm。
- ⑤以③④的分析來看，雖然在最大照度值及大於最低環境照度(30Lux)的最遠距離方面，無塑膠瓶蓋的表現略好於瓶口包覆保鮮膜的寶特瓶，但**為了避免水的翻覆及水接觸空氣易滋生細菌等問題，所以之後將以瓶口包覆保鮮膜的寶特瓶進行試驗。**

子題四：寶特瓶的瓶身樣式、瓶蓋樣式、裝水與否如何影響實驗屋地面上的光照情形？

(一) 研究方法

- 1.在實驗屋地板上鋪上白布(長 160cm*寬 160cm)。
- 2.分別將這七種寶特瓶依序進行保留瓶蓋、取下瓶蓋、以保鮮膜取代瓶蓋方式，以及在七種寶特瓶內裝滿水，以保鮮膜包覆瓶口，嵌入實驗屋進行實驗觀察。

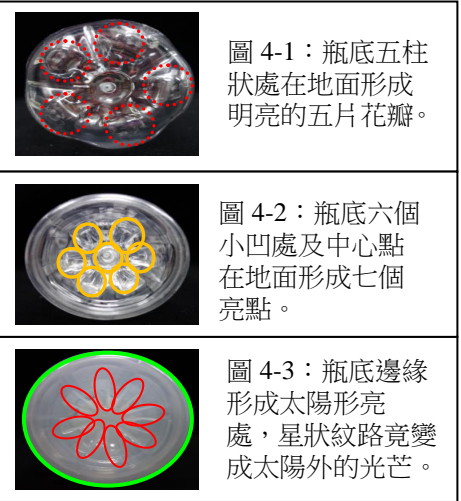
(二) 研究結果

表 4-1：各式寶特瓶在瓶蓋樣式不同、滿水與否下，其投影在白布上樣貌一覽表

瓶種類		可口可樂	CCLemon	美粒果	健酪	竹碳水	麥飯石	雪碧
水位								
空	有塑膠瓶蓋							
	無塑膠瓶蓋							
瓶	保鮮膜瓶口							
	保鮮膜瓶口							

(三) 研究發現

- 1.因「雪碧」瓶身是透明綠色，所以當有塑膠瓶蓋的空瓶或是瓶口包覆保鮮膜的滿水瓶時，其投射在白布上的光線是詭異的綠色！而其他六種寶特瓶，不論瓶蓋樣式或是否裝滿水都呈白色。
- 2.有塑膠瓶蓋的寶特空瓶，除「CCLemon 瓶」外，其餘投射在白布上的光線正中間都有一小區黑色，和子題三的數據中顯示除了「CCLemon 瓶」，其餘寶特瓶的最亮點不在 0cm 的結果相符。
- 3.承 2，大多無塑膠瓶蓋的寶特空瓶，其投射在白布上的光線正中間是最亮的，原先的黑色區域不見了，證明原先的黑色區域是受到瓶蓋的影響所致。只有「健酪瓶」及「麥飯石瓶」正中間繼續留有一小區黑色，推測是因受瓶底紋路過於複雜、集中於中心的影響。



- 4.瓶口包覆保鮮膜的寶特空瓶，其投射在白布上的光線情形和無塑膠瓶蓋的寶特瓶投射在白布上的光線情形極為相似。
- 5.瓶口包覆保鮮膜的寶特瓶裝滿水後，其投射在白布上的光照範圍明變大了。
- 6.瓶口包覆保鮮膜的寶特瓶裝滿水後，其投射在白布上的光線情形大異其趣！「可口可樂」和「雪碧」明顯呈現五片花瓣的形狀，用手觸摸確認這花瓣部分即是瓶底柱狀處所造成的(如圖 4-1 處)；「CCLemon」雖然瓶底也有 5 個柱狀處，但因弧度和「可口可樂」、「雪碧」不同，沒有顯現出深裂的花瓣狀；「美粒果」呈現清晰可辨的七個亮點是瓶底的六個小凹處及中心點所形成的(如圖 4-2 處)；「健酪」呈現明顯的太陽光芒放射狀，發現圓圈處是平底邊緣(如圖 4-3 處)，而圓圈外的光芒處竟然是平底的星狀紋路所造成的(如圖 4-3 處)，實在是太出乎意料之外了；「竹碳水」受瓶底五星凹紋影響而有明顯的海星形狀；「麥飯石」受瓶底深裂紋路影響而呈現有如太陽花的形狀。



「CCLemon 瓶」整體得分最高！

就七種不同寶特瓶(瓶口包覆保鮮膜)最大照度、最低環境照度(30Lux)的最遠距離、0-25cm 及 0-50cm 配光均勻度、地面上的光照情形來進行評比，最好~最差分別給予 7~1 分，最後以整體得分來決定哪一種瓶子最適合當作實驗屋內的寶特瓶燈泡。發現「CCLemon 瓶」的總體得分最高(如表 4-2)，所以接下來都以「CCLemon 瓶」進行實驗！

表 4-2：七種不同寶特瓶(瓶口包覆保鮮膜)其各面向評比得分一覽表

瓶子種類	最大照度值	達到 30Lux 最遠距離	0-25cm 配光均勻度	0-50cm 配光均勻度	地面上光照情形	總得分
可口可樂瓶	4	7	1	3	6	21
CCLemon 瓶	5	7	6	5	7	30
美粒果瓶	2	3	2	6	2	15
健酪瓶	1	1	5	7	3	17
竹碳水瓶	7	7	3	5	5	27
麥飯石瓶	6	7	7	3	4	27
雪碧瓶	3	3	4	1	1	12



子題五：寶特瓶水位的高低如何影響室內空間的照明表現？

(一) 研究方法

- 1.分別在「CCLemon」瓶中不裝水、裝水 200ml、400ml~全裝滿 1360ml，在瓶口包覆保鮮膜後，嵌入實驗屋進行實驗，實驗時瓶口距離燈源 8cm，瓶口距實驗屋天花板 11cm(如圖 5-1)。
- 2.分別以照度計測量中心點東、西、南、北方 0 cm、5 cm、10 cm ~80cm 處的照度值，每個點皆測量 5 次照度值，以取得平均值。
- 3.算出瓶內不同水位的 0~25cm 及 0-50cm 配光均勻度。

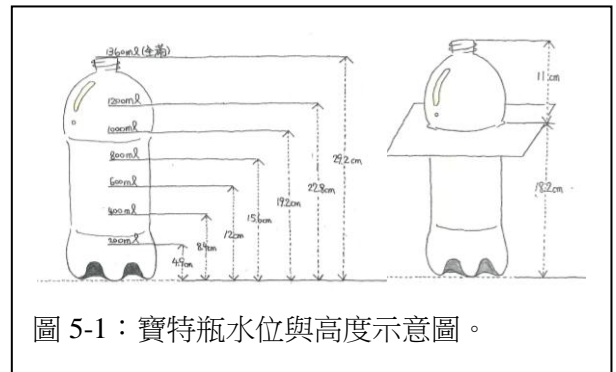


圖 5-1：寶特瓶水位與高度示意圖。

(二) 研究結果

表 5-1：寶特瓶內不同的水位其東西南北向不同距離之照度、配光均勻度一覽表

水位 照度(Lux) 距離	空瓶	200ml	400ml	600ml	800ml	1000ml	1200ml	1360ml
0cm	298.10	180.10	196.62	198.20	199.34	208.55	197.72	248.20
5 cm	280.05	137.63	142.89	140.64	148.39	150.01	145.11	236.63
10 cm	246.12	101.10	105.65	97.92	98.00	97.82	109.04	210.99
15 cm	199.96	86.00	97.87	87.60	88.28	92.83	98.85	205.44
20 cm	166.41	90.66	103.10	92.92	90.34	93.76	90.48	182.36
25 cm	131.30	86.76	108.43	97.66	81.99	76.56	72.26	132.65
30 cm	95.48	83.84	101.01	91.43	79.34	67.00	53.09	87.52
35 cm	65.28	66.08	78.84	75.21	69.78	63.15	42.58	56.57
40 cm	37.93	45.81	51.78	48.79	50.11	54.25	34.98	39.67

45 cm	23.02	30.66	33.00	30.59	32.46	37.73	26.89	28.13	
50 cm	15.99	20.85	22.60	19.80	20.10	23.62	19.38	20.75	
55 cm	11.61	13.91	13.42	12.90	13.66	14.49	14.70	15.60	
60 cm	8.97	9.96	9.67	9.21	10.25	10.32	12.07	11.75	
65 cm	6.74	7.71	7.53	7.46	8.40	8.03	9.56	8.80	
70 cm	5.18	5.93	6.06	6.07	6.64	6.40	7.82	6.88	
75 cm	4.28	4.59	5.02	4.74	5.33	5.43	6.64	5.19	
80 cm	3.38	3.73	3.88	3.83	4.41	4.41	5.53	4.34	
配光 均勻度	0-25cm	0.60	0.77	0.78	0.74	0.70	0.64	0.61	0.65
	0-50cm	0.11	0.25	0.24	0.22	0.23	0.27	0.24	0.16

(三) 研究發現

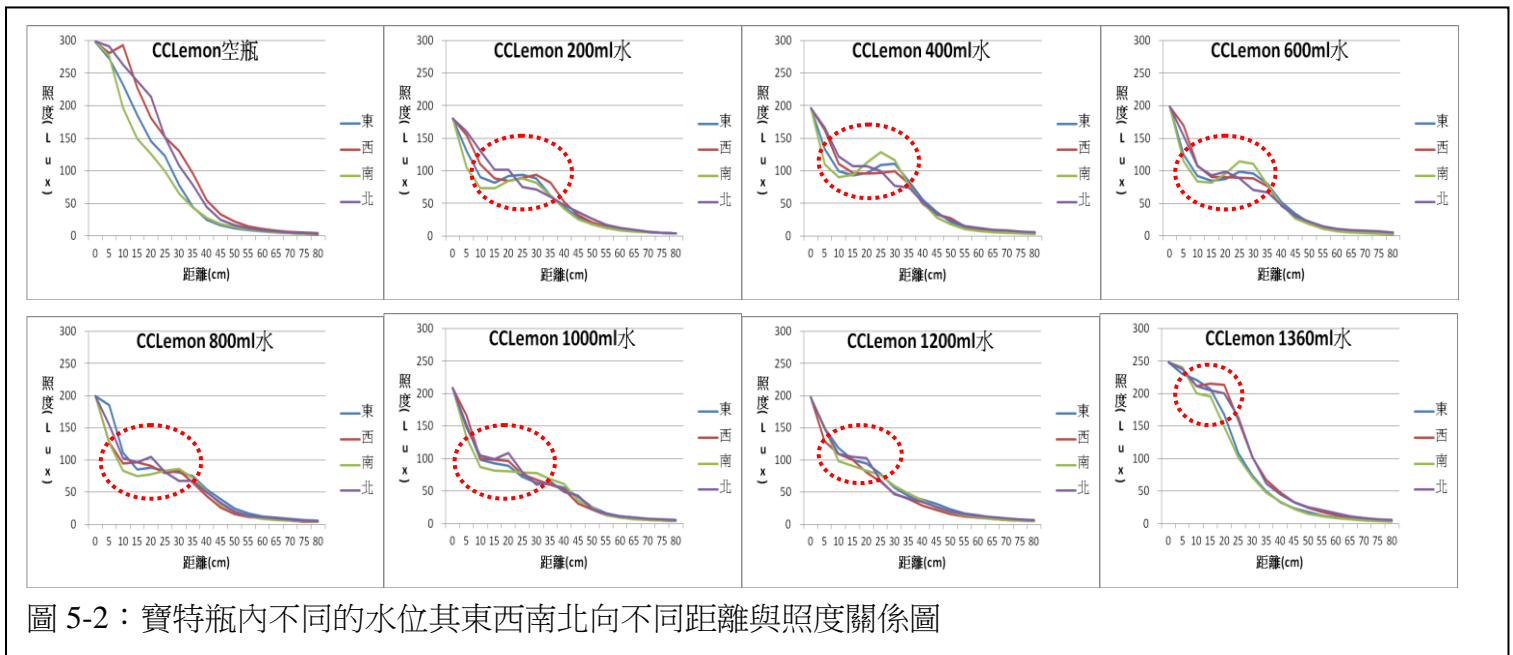


圖 5-2：寶特瓶內不同的水位其東西南北向不同距離與照度關係圖

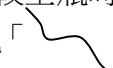

- 1.加水後不論水位的多寡，其同一距離東、西、南、北向的照度值較空瓶時一致。
- 2.「CCLemon」裝水 200ml~1360ml 時，其距離和照度的關係圖呈現「」型，中心點最亮，接著照度隨著距離的增加而下降，過程中都有一小段照度穩定區，如圖 5-2 中的紅色  處，其曲線呈近乎水平。
- 3.承 2，不同的水位，這照度穩定區位置如表 5-2 所示。
- 4.不論水位的多寡，0-25cm 及 0-50cm 的配光均勻度皆優於空瓶。
- 5.裝水 200ml~1200ml 時最大照度值介於 180.1~208.55Lux，但全裝滿 1360ml 時的最大照度值大大增為 248.2Lux。
- 6.裝水 200~1200ml 時，其 0-50cm 平均照度值介於 80.94~94.71Lux，但裝滿水 1360ml 時，其平均照度值大大增為 131.72Lux；當寶特瓶裝水 200~1200ml 時，其 0-80cm 平均照度值介於 55.22~63.69Lux，但裝滿水 1360ml 時，其平均照度值大大增為 88.32Lux。**在裝滿水 1360ml 時，其平均照度幾乎是其他水**

表 5-2：寶特瓶內不同水位其照度穩定區及其平均照度值一覽表

水位(ml)	照度穩定區	照度穩定區平均照度
200	10-30 cm	89.67 Lux
400	10-30 cm	103.21 Lux
600	10-30 cm	93.51 Lux
800	10-30 cm	87.59 Lux
1000	10-20 cm	94.80 Lux
1200	10-20 cm	99.46 Lux
1360	10-20 cm	199.60 Lux

位的 1.5 倍。

7.因裝滿水時，最大平均照度值及 0-80cm 平均照度值遠高於其他水位，所以皆以此水位進行接下來的實驗。

子題六：燈源不動，裝滿水寶特瓶平移時如何影響實驗屋內空間的照明表現？

(一) 研究方法

1.固定燈源與瓶口距離為 8cm，將瓶口包覆保鮮膜且裝滿水的

「CCLemon 瓶」嵌入實驗屋上方木板圓洞正中央，再依序往東、西、南、北方向移動瓶身 1cm、2cm (如圖 6-1)進行實驗。

2.其餘步驟如子題五的步驟 2-3，取得照度值及配光均勻度。

(二) 研究結果

表 6-1：偏移寶特瓶身其東西南北向不同距離之照度、配光均勻度一覽表

位置 照度(Lux) 距離	置中	往東移 1cm	往東移 2cm	往西移 1cm	往西移 2cm	往南移 1cm	往南移 2cm	往北移 1cm	往北移 2cm	
	0 cm	248.20	185.40	175.81	132.15	114.27	174.52	149.47	163.84	143.37
5 cm	236.63	182.25	164.39	139.87	117.70	176.43	148.63	169.88	139.42	
10 cm	210.99	166.23	149.99	141.61	113.97	169.60	139.73	164.31	133.12	
15 cm	205.44	148.82	143.27	123.85	104.37	178.82	136.23	142.17	115.04	
20 cm	182.36	128.68	125.29	110.16	93.31	159.47	122.39	118.83	99.89	
25 cm	132.65	102.08	94.75	87.91	81.89	116.36	94.30	94.81	78.16	
30 cm	87.52	78.02	70.40	70.82	67.26	81.35	71.58	75.45	65.52	
35 cm	56.57	67.52	56.25	56.10	54.03	58.51	57.16	62.63	57.34	
40 cm	39.67	48.68	43.12	48.28	44.44	43.12	42.98	52.83	48.55	
45 cm	28.13	35.09	33.64	40.50	37.80	31.13	32.07	39.72	37.97	
50 cm	20.75	23.65	23.83	32.27	28.46	22.31	23.60	26.67	25.92	
55 cm	15.60	15.93	15.68	22.52	19.53	16.40	16.72	16.69	16.77	
60 cm	11.75	10.28	10.58	14.90	12.47	11.68	11.88	10.72	9.69	
65 cm	8.80	7.01	7.90	9.26	8.79	8.51	8.65	7.22	6.71	
70 cm	6.88	4.92	5.97	5.94	6.49	5.98	6.78	5.35	4.92	
75 cm	5.19	4.08	4.28	4.43	5.02	4.72	5.49	4.02	3.47	
80 cm	4.34	3.19	3.52	3.52	4.00	3.70	4.12	4.63	3.01	
75 cm	5.19	4.08	4.28	4.43	5.02	4.72	5.49	4.02	3.47	
80 cm	4.34	3.19	3.52	3.52	4.00	3.70	4.12	4.63	3.01	
配光 均勻度	0-25cm	0.65	0.67	0.67	0.72	0.79	0.72	0.72	0.67	0.66
	0-50cm	0.16	0.22	0.24	0.36	0.37	0.20	0.25	0.26	0.30

◎「置中」：表示寶特瓶位在實驗屋天花板正中央。

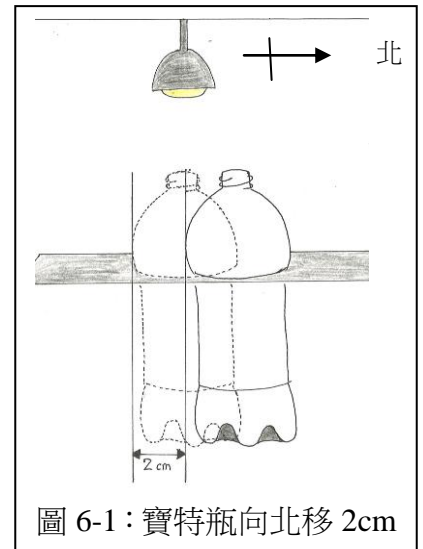
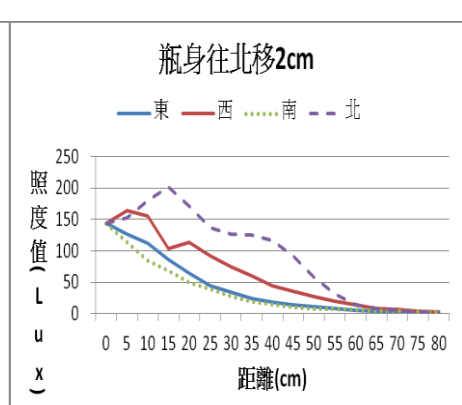
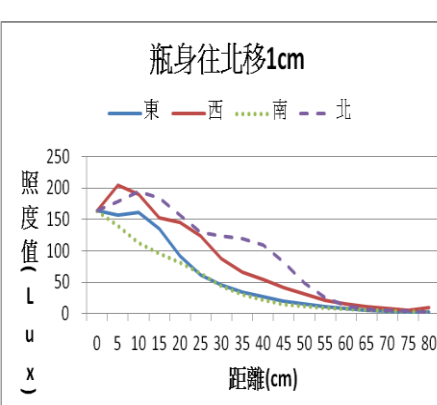
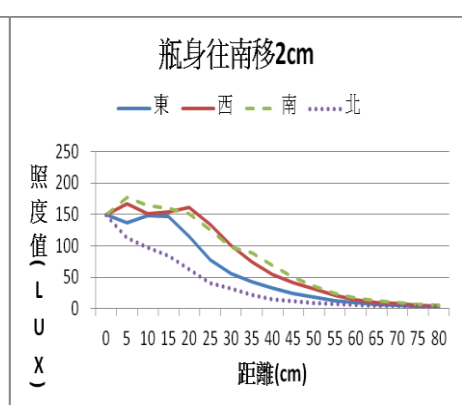
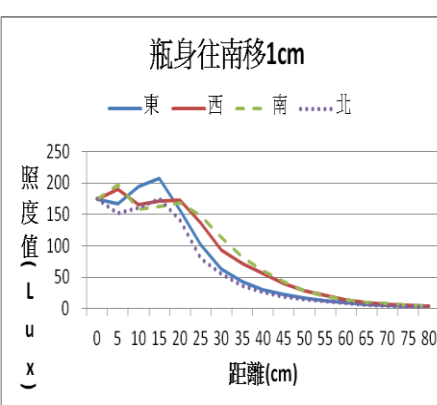
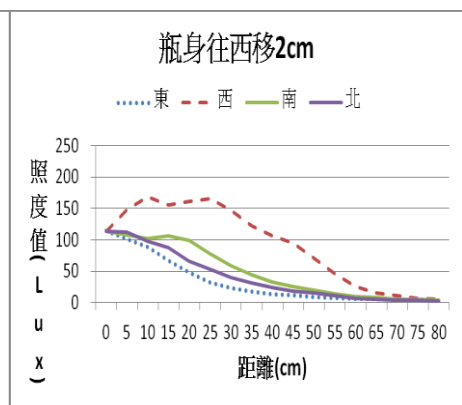
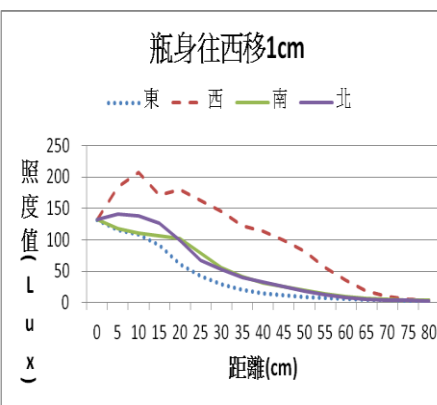
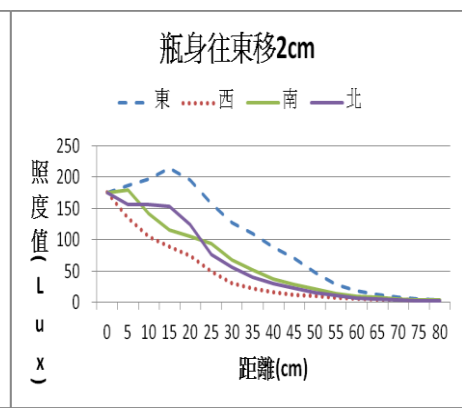
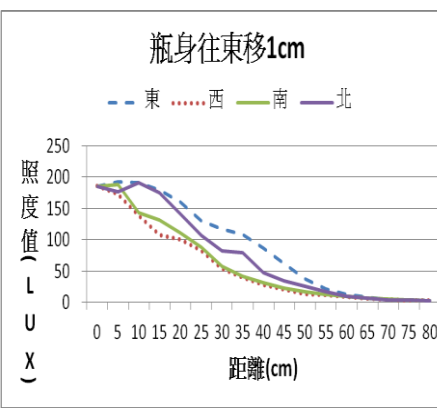
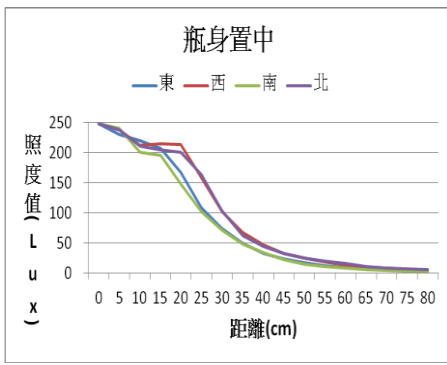


圖 6-1：寶特瓶向北移 2cm



- (三) 研究發現
- 將表 6-1 繪製成圖 6-2, 發現:
1. 不論瓶身從實驗屋天花板正中央往哪個方位移動, 整體平均照度值都比原先的低, 且偏移越多, 平均照度值降得越多。
 2. 當瓶身往某方移動 1cm 時, 其該方位照度值會提高 (如圖 6-2 中 — — — 處), 而對面方位的照度值會降低 (如圖 6-2 中 ······ 處); 當瓶身往某方移動 2cm 時, 其該方位照度值會提得更高 (如圖 6-2 中 — — — 處), 而對面方位的照度值會降得更低 (如圖 6-2 中 ······ 處)。
 3. 當瓶身往某方偏移時, 其該方位配光均勻度會較大, 而對面方位的配光均勻度會較低。
 4. 當瓶身往某方偏移 1-2cm 時, 其最大照度值多會位在該方位的 0-10cm 間。

圖 6-2：偏移寶特瓶身其東西南北向不同距離與照度關係圖

子題七：地面量測高度不同如何影響實驗屋內空間的照明表現？

(一) 研究方法

1. 固定燈源與寶特瓶口的距離為 8cm，將瓶口包覆保鮮膜且裝滿水的「CCLemon 瓶」嵌入實驗屋上方木板的圓洞正中央。
3. 依序將實驗屋木地板從原位(0cm)向上抬升至 20cm~100cm 高(如圖 7-1)。
4. 測量照度值並計算配光均勻度。



圖 7-1：將地板升高 20cm 及 60cm 示意圖

(二) 研究結果

表 7-1：不同地面量測高度其東西南北向不同距離之照度、配光均勻度一覽表

距離	高度 照度(Lux)	距地面	距地面	距地面	距地面	距地面	距地面
		高度 0cm	高度 20cm	高度 40cm	高度 60cm	高度 80cm	高度 100cm
0 cm		248.20	255.80	364.00	633.80	1271.90	3325.60
5 cm		236.63	240.90	343.60	627.15	884.45	2385.15
10 cm		210.99	227.70	313.25	575.80	422.35	1558.60
15 cm		205.44	216.06	247.10	347.05	222.37	434.40
20 cm		182.36	160.50	172.81	170.39	131.34	147.25
25 cm		132.65	109.73	130.21	104.41	77.75	31.94
30 cm		87.52	69.38	72.71	57.53	58.66	18.26
35 cm		56.57	44.63	47.42	29.44	22.23	13.04
40 cm		39.67	32.21	30.21	18.09	13.52	8.23
45 cm		28.13	22.55	17.79	11.87	8.61	5.67
50 cm		20.75	15.55	12.71	8.25	5.68	3.94
55 cm		15.60	10.97	9.14	6.19	4.82	3.32
60 cm		11.75	8.40	6.83	4.81	4.09	2.77
65 cm		8.80	6.26	5.25	3.96	3.63	2.42
70 cm		6.88	4.83	4.29	3.11	3.03	2.10
75 cm		5.19	3.96	3.44	2.72	2.67	1.89
80 cm		4.34	3.14	2.87	2.32	2.04	1.52
配光 均勻度	0-25cm	0.65	0.54	0.50	0.25	0.15	0.02
	0-50cm	0.16	0.12	0.08	0.04	0.02	0.01

(三) 研究發現：

將表 7-1 繪製成圖 7-2 發現：

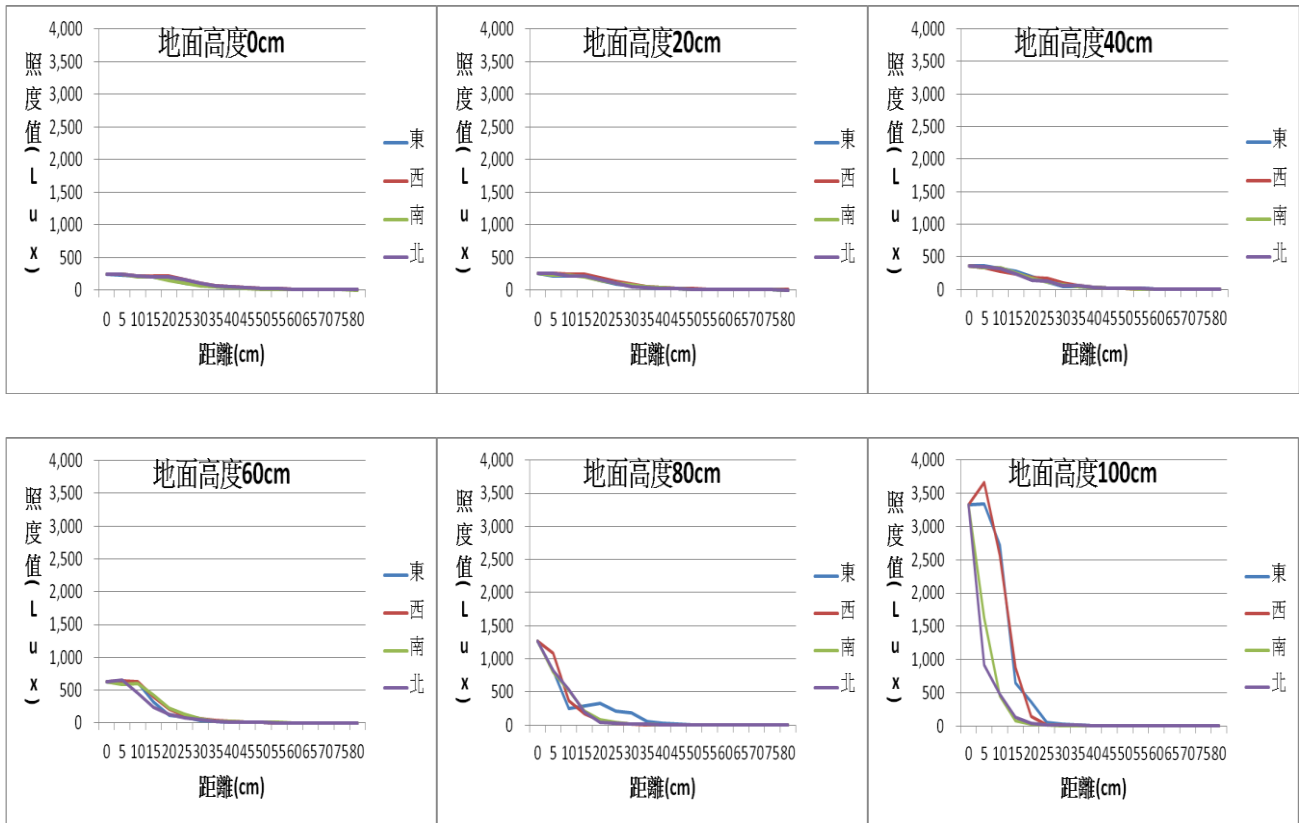


圖 7-2：不同地面量測高度其東西南北向不同距離與照度關係圖。

1. 不論地面量測高度為何，中心點(0cm) 的平均照度值都是最亮的，從中心點開始，隨著距離的增加，照度值也隨著降低。
2. 地面測量高度每增加 20cm，其所測量到的中心點平均照度值也隨之急劇增加。
3. 地面測量高度每增加 20cm，其所測量到的四方位照度值就越不一致。
4. 地面測量高度增加，中心點(0cm)-80cm 的光線衰退情形越快速，配光均勻度值就越低。

子題八：燈源與裝滿水寶特瓶口間的距離如何影響實驗屋內空間的照明表現？

(一) 研究方法

1. 依序移動瓶身使瓶口距燈源 2~10cm(如圖 8-1)進行實驗。
2. 其餘如子題五的步驟 2-3，取得照度值及配光均勻度。

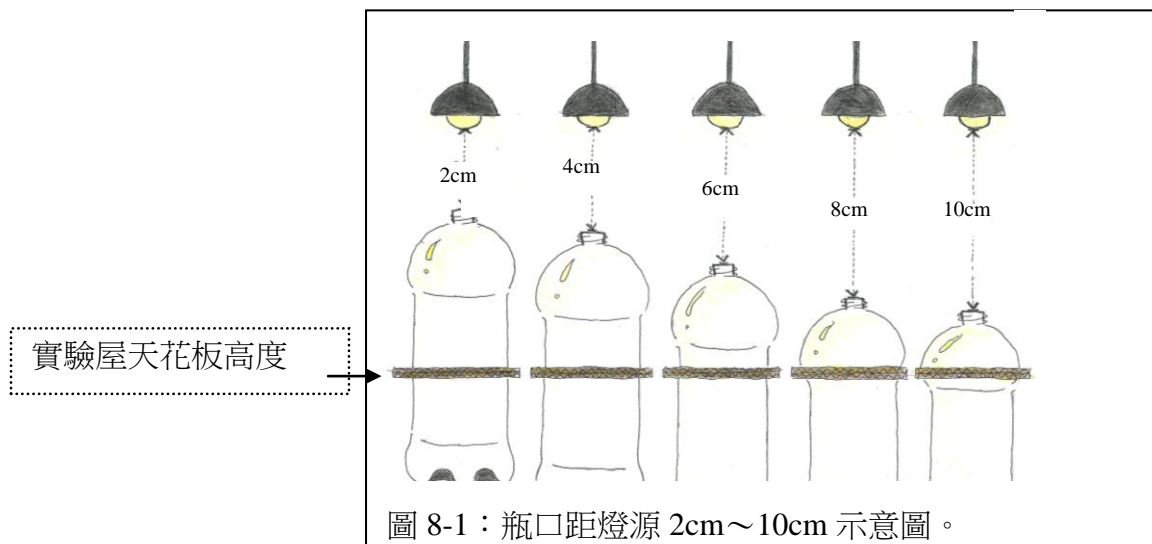


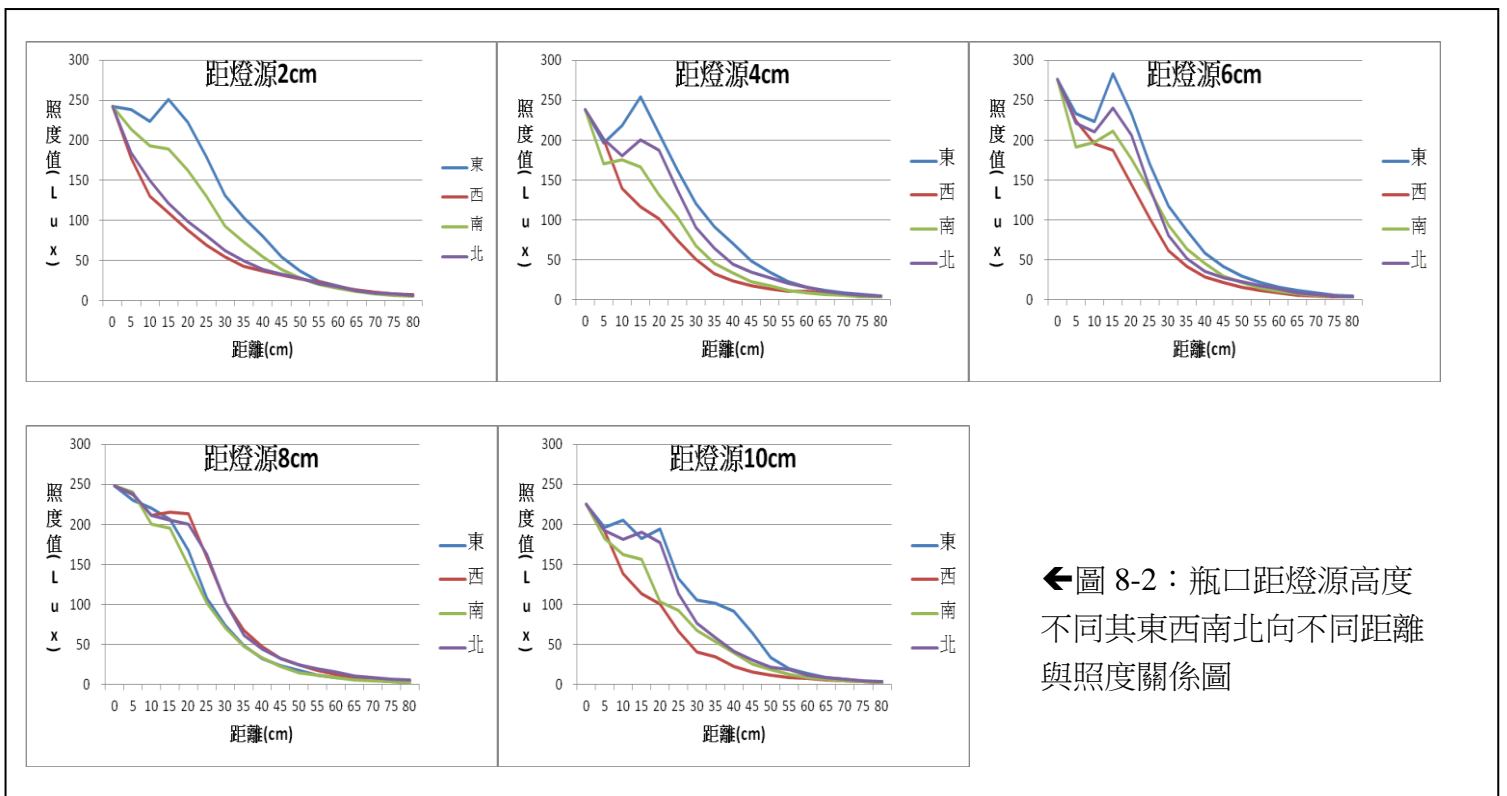
圖 8-1：瓶口距燈源 2cm~10cm 示意圖。

(二) 研究結果

表 8-1：燈源與裝滿水寶特瓶口不同距離其東西南北向不同距離之照度、配光均勻度一覽表

燈距 照度(Lux) 距離	瓶口距	瓶口距	瓶口距	瓶口距	瓶口距	
	燈源 2cm	燈源 4cm	燈源 6cm	燈源 8cm	燈源 10cm	
0 cm	242.00	238.80	276.40	248.20	225.20	
5 cm	203.44	192.35	217.50	236.63	190.59	
10 cm	174.42	178.36	206.55	210.99	172.06	
15 cm	167.64	184.61	230.58	205.44	160.50	
20 cm	143.16	157.23	190.37	182.36	144.07	
25 cm	115.14	119.79	136.88	132.65	101.45	
30 cm	85.42	82.45	88.31	87.52	72.81	
35 cm	67.57	58.69	61.35	56.57	62.16	
40 cm	52.72	43.50	42.51	39.67	49.11	
45 cm	39.91	31.01	30.34	28.13	34.45	
50 cm	30.39	23.71	22.74	20.75	21.62	
55 cm	22.47	16.88	16.49	15.60	15.34	
60 cm	17.12	13.21	12.36	11.75	10.67	
65 cm	12.77	9.50	8.83	8.80	7.71	
70 cm	9.96	7.32	6.91	6.88	5.83	
75 cm	7.92	5.35	5.05	5.19	4.22	
80 cm	6.61	4.28	4.10	4.34	3.52	
配光 均勻度	0-25cm	0.65	0.67	0.65	0.65	0.61
	0-50cm	0.17	0.20	0.17	0.16	0.19

(三) 研究發現



←圖 8-2：瓶口距燈源高度不同其東西南北向不同距離與照度關係圖

1.將表 8-1 繪製成圖 8-2 發現：

- (1)距燈源越近，寶特瓶在實驗屋天花板內的瓶身越短。
- (2)瓶口距燈源 2~8cm 時，距燈源越遠，不同距離東西南北所測得的照度值越趨於一致，但一旦瓶口距燈源 10cm 時，所測得的照度值落差明顯增大。
- (3)不論寶特瓶口距燈源的距離為何，最大照度值都在實驗屋木地板正中央(0cm)處，最大照度值： $6\text{cm} > 8\text{cm} > 2\text{cm} > 4\text{cm} > 10\text{cm}$ ，其中瓶口距燈源 6cm 最大照度值最高為 276.4Lux。

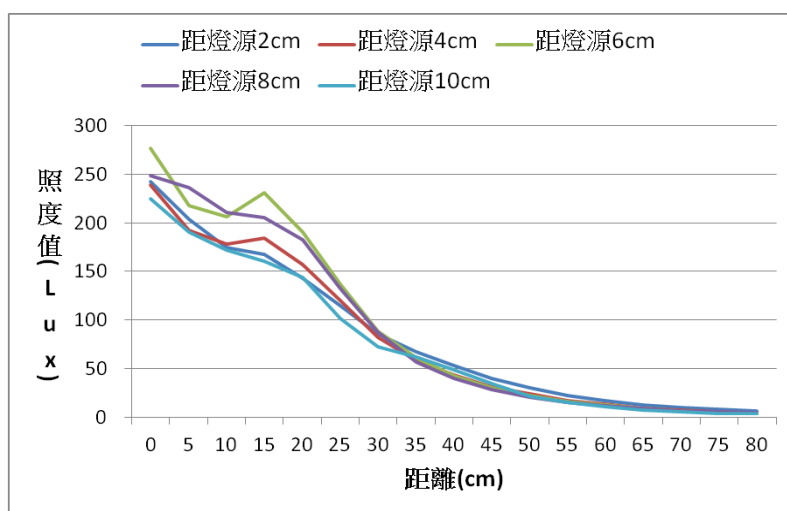




圖 8-3：瓶口距燈源高度不同其距離與平均照度關係圖

2. 將表 8-1 繪製成圖 8-3 發現：實驗屋木地板中心點(0cm)~30cm 間，平均照度值： $6\text{cm} > 8\text{cm} > 4\text{cm} > 2\text{cm} > 10\text{cm}$ ；但在實驗屋木地板 30cm~80cm 間，不論瓶口距燈源高度為何，其照度值極為接近。



「瓶身頂部」、「瓶底」的曲度會影響照明情形嗎？

在子題三~八中得知「寶特瓶燈泡」的瓶蓋瓶底樣式、水位、距燈源距離……深深影響室內照明，但是還讓我們好奇的是瓶身頂部(如圖 8-4  處)、瓶底的曲度(如圖 8-4  處)是否也會影響照明表現呢？因為一直無法找到現成的物品能自由改變曲度，最後綜合多次試驗之後的心得，我們自創一款能改變水面上下曲度的設計來解開我們的疑惑。



←圖 8-4：瓶身頂部、瓶底曲度示意圖

子題九：瓶身不同的曲度如何影響照明表現？

(一) 研究方法：

- 1.平台設計：設計一個長 50cm*寬 46cm*高 48cm 平台，平台上有一直徑 12.5 公分的圓洞(如圖 9-1)，平台下方以正中央為中心點(0cm)黏貼東西南北方位布尺。
- 2.«塑膠水盆»的設計：將直徑 10cm*高 7cm 塑膠水管、塑膠透明片相互疊合，在水管與塑膠透明片間夾單層塑膠袋，形成一盆狀加水 200ml。
- 3.改變「塑膠水盆」上下面曲度的設計：裁剪一片直徑 13cm 的透明圓形塑膠片，以相互疊合的方式形成平面、凹面、凸面。
- 4.逐次改變「塑膠水盆」上/下透明塑膠片的曲度為平/平、平/凹、平/凸、凸/平、凸/凹、凸/凸、凹/平、凹/凹、凹/凸。(如圖 9-2~9-4)
- 5.以平台下中心點為基準(0cm)，分別以照度計測量東西南北方 0 cm、2cm ~14cm 處的照度值，並計算 0-14cm 配光均勻度。
- 6.測量光源上 5cm 處照度值，檢視不同曲度下的反光情形。

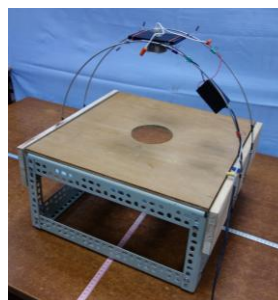


圖 9-1：實驗平台

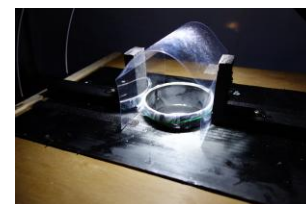


圖 9-2：塑膠水盆上面透明塑膠片曲度為「凸」時。



圖 9-3：塑膠水盆下面透明塑膠片曲度為「凸」時。



圖 9-4：塑膠水盆下面透明塑膠片曲度為「凹」時。

(二) 研究結果：

表 9-1：「塑膠水盆」上下透明塑膠片曲度不同，其不同距離之照度值一覽表

曲度 照度(Lux) 距離	上/下透明塑膠片的曲度								
	平/平	平/凹	平/凸	凸/平	凸/凹	凸/凸	凹/平	凹/凹	凹/凸
0cm	7288.00	373.60	11764.00	7028.00	326.00	11236.00	7178.00	390.40	11934.00
2 cm	6266.00	412.30	12206.00	6157.00	341.00	12132.00	6305.00	378.00	11346.00
4 cm	4449.00	484.50	3866.00	4272.00	440.70	3253.00	4425.00	498.50	3035.00
6 cm	1882.20	831.60	390.40	1767.50	754.20	395.10	1895.40	779.10	381.90
8 cm	265.41	1153.80	134.02	215.35	1118.10	149.18	205.33	1122.60	132.94
10 cm	42.24	907.10	59.12	50.43	874.10	81.69	47.89	822.60	59.38
12 cm	22.62	272.70	35.63	28.29	273.40	42.30	25.08	297.40	34.78
14 cm	13.71	71.64	26.18	16.05	72.98	26.31	13.78	67.81	25.63
平均	2528.65	563.41	3560.17	2441.83	525.06	3414.45	2511.94	544.55	3368.70
0-12cm 配光均勻度	0.0054	0.1272	0.0074	0.0066	0.1390	0.0077	0.0055	0.1245	0.0076
燈源上照 度(Lux)	333	339	335	442	445	440	276	270	284

(三) 研究發現：

將表 9-1 繪成圖 9-5、9-6，發現：

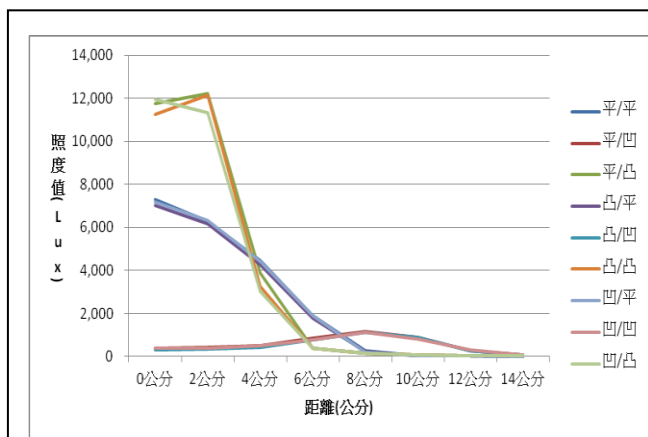


圖 9-5：上/下曲度不同，距中心點距離與照度

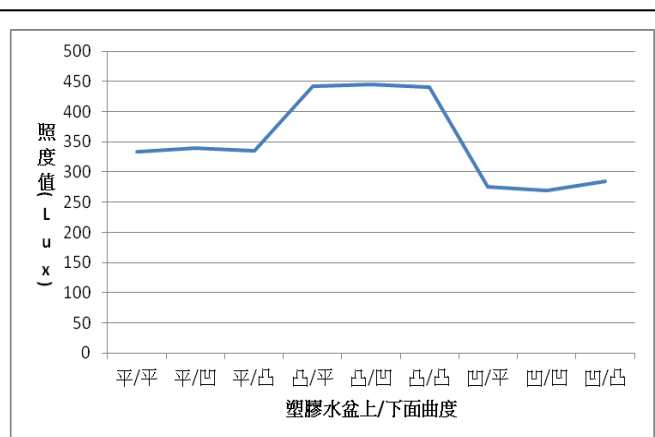


圖 9-6：上/下曲度與平均照度關係圖

1. 「塑膠水盆」上/下曲度為平/凸、凸/凸、凹/凸時，其不同距離的照度表現極為接近；為平/平、凹/平、凸/平時，其不同距離的照度表現極為接近；為平/凹、凸/凹、凹/凹時，其不同距離的照度表現極為接近。
2. 「塑膠水盆」上/下曲度不同時，平均照度值：平/凸 > 凸/凸 > 凹/凸 > 平/平 > 凹/平 > 凸/平 > 平/凹 > 凸/凹 > 凹/凹。
3. 承 1、2 的發現說明本實驗中，桌面上的照度值受水盆下曲度的影響較大。
4. 從塑膠水盆下的曲度比較最大平均照度值：凸 > 平 > 凹。
5. 與水盆下面曲度為「平」時比較(如圖 9-8)，水盆下面曲度為「凸」時，亮度非常集中，亮度範圍較小(如圖 9-7)；水盆下面曲度為「凹」時，中央亮度較暗，但亮度範圍較大(如圖 9-9)。

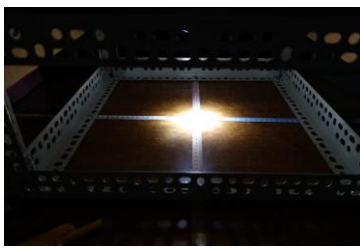


圖 9-7：水盆下面曲度為「凸」時，亮度較集中。

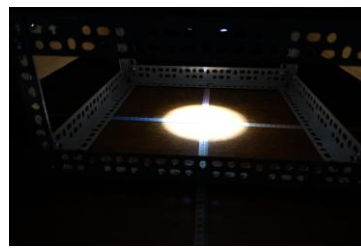


圖 9-8：水盆下面曲度為「平」時的亮度表現。



圖 9-9：水盆下面曲度為「凹」時，亮度較分散。

6.0-12cm 配光均勻度：凸/凹>平/凹>凹/凹>凸/凸>凹/凸>平/凸>凸/平>凹/平>平/平。顯示水盆下面曲度為「凹」時，光的衰退速度較緩和。

7.光源上照度：凸/凹>凸/平>凸/凸>平/凹>平/凸>平/平>凹/凸>凹/平>凹/凹，光源上所測得的照度值是因光源照射到水盆上方的曲面所造成的反光現象，數據顯示水盆上方為「凸」時，反光情形較為嚴重；水盆上方為「凹」時，反光情形較不顯著。

子題十：研發設計「寶特瓶燈泡光線射出位置檢測儀」

(一)「寶特瓶燈泡光線射出位置檢測儀」設計：

1.準備一支「CCLemon」空瓶，以美工刀切割為三段，分別噴上黑色漆，命名為上段黑色 A、中段黑色 B、底部黑色 C。

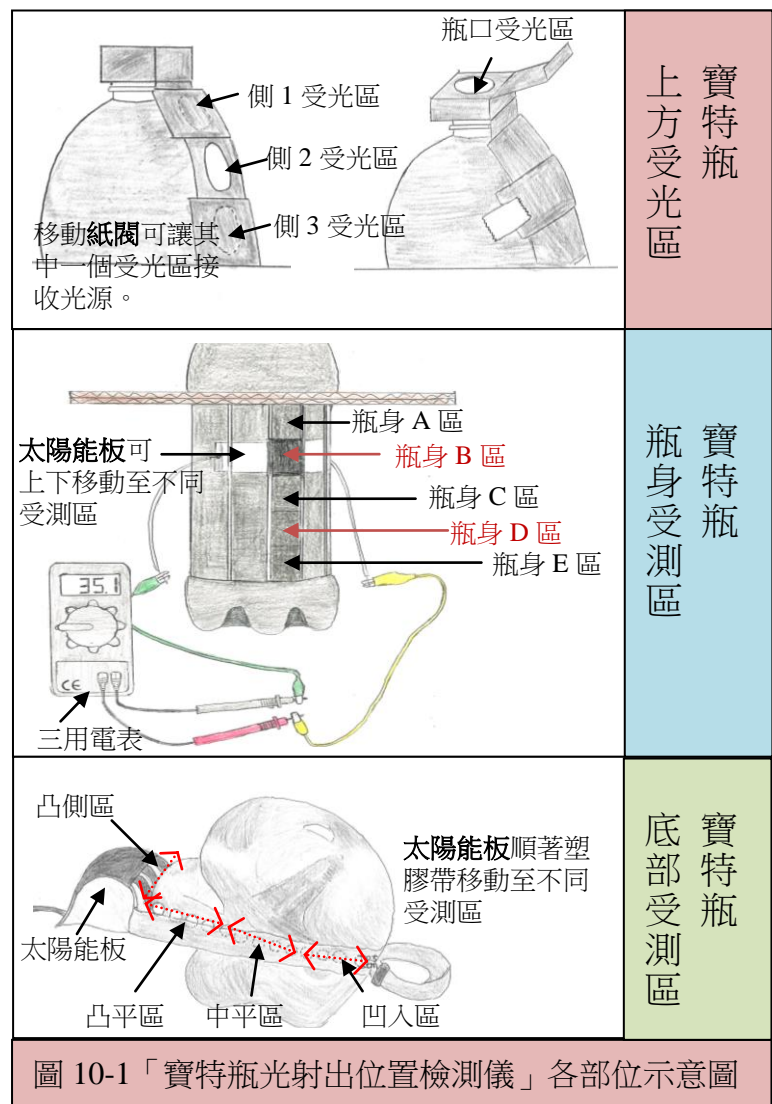
2.**寶特瓶上方受光區**：將上段黑色 A套入另一支透明「CCLemon 瓶」上方，再以透明片及黑色西卡紙設計一受光區。(如圖 10-1)。

3.**寶特瓶瓶身受測區**：將中段黑色 B套入透明「CCLemon 瓶」瓶身上，再將打滿一整排直徑 0.5cm 圓洞的黑色透明片、黑色西卡紙、太陽能板設計成一太陽能板受測區。(如圖 10-1)。

4.**寶特瓶底部受測區**：將底部黑色 C打滿一整排直徑 0.5cm 圓洞，再以黑色塑膠板、太陽能板、黑色膠帶設計成一太陽能板受測區，套入透明「CCLemon 瓶」瓶底(如圖 10-1)。

(二)「寶特瓶燈泡光線射出位置檢測儀」平台設計

在實驗平台上方木板定義出八方位。在平台弧形鐵絲上移動 LED 投射燈，可以改變燈源光線的投射角度。



子題十一：用「寶特瓶燈泡光線射出位置檢測儀」檢測光源位置如何影響寶特瓶光的射出位置。

(一) 研究方法：

1. 光源調整至寶特瓶口正上方位置(定義為 0 度角)。
2. 將「寶特瓶燈泡光線射出位置檢測儀」置於平台上方圓洞中。
3. 施測寶特瓶上方受光區的瓶口受光區：
 - ① 將寶特瓶上方受光區、寶特瓶瓶身受測區及寶特瓶底部受測區瓶底凸側區(A 排)對準北方。
 - ② 先移動紙閥開啟寶特瓶上方受光區的瓶口受光區，依序讀取寶特瓶瓶身受測區所接收到的電壓數值，再轉動寶特瓶瓶身受測區至東北、東、東南、南、西南、西、西北等方位(如圖 11-1)。
 - ③ 同時移動太陽能曲板依序讀取寶特瓶底部受測區接收到的電壓數值，再順時針轉動寶特瓶底部受測區至 B 排、C 排、D 排、E 排方向(如圖 11-2)。
 - ④ 每個受測區皆使用三用電表測量 5 次電壓值(待電壓值穩定 5 秒後再讀取)加以平均。
4. 移動紙閥依序進行寶特瓶上方受光區的側 1 受光區、側 2 受光區、側 3 受光區的施測。
5. 在弧形鐵絲上往北移動光源至 30、60 度角(如圖 11-3)，其餘如步驟 2~4。

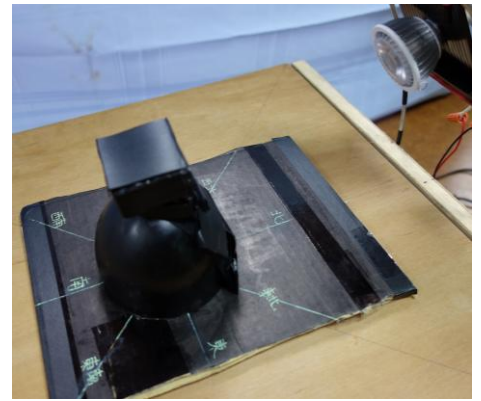


圖 11-1：在平台上方木板定義出北~西北等八方位。

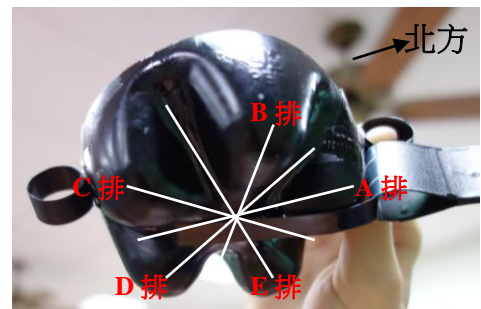


圖 11-2：寶特瓶底部受測區 A~E 排方向示意圖。

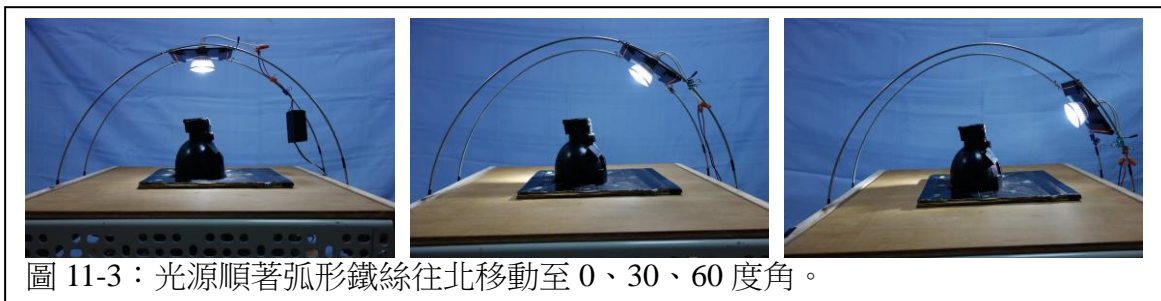


圖 11-3：光源順著弧形鐵絲往北移動至 0、30、60 度角。

(二) 研究結果：

表 11-1：當光源 0、30、60 度，開啟不同受光區時，其瓶身各受測區的太陽能板電壓值一覽表
單位：mv

光源 受光區 受測區	光源 0 度				光源 30 度				光源 60 度				
	瓶口 受光區	側 1 受光區	側 2 受光區	側 3 受光區	瓶口 受光區	側 1 受光區	側 2 受光區	側 3 受光區	瓶口 受光區	側 1 受光區	側 2 受光區	側 3 受光區	
北	A 區	38.44	3.30	1.30	1.60	26.34	160.82	45.82	5.66	1.20	397.20	497.00	317.00
	B 區	68.12	4.20	1.20	1.90	53.30	189.64	59.80	6.84	1.40	151.40	450.80	534.60
	C 區	64.50	3.92	0.94	2.20	39.90	248.20	82.46	8.66	1.50	27.60	117.52	500.80
	D 區	81.50	4.58	0.98	1.78	30.28	330.40	121.70	12.10	1.62	25.44	72.68	212.40
	E 區	111.76	8.22	0.96	0.90	45.44	360.60	161.46	17.82	2.00	31.76	56.42	59.72

東北	A 區	40.46	3.80	1.02	1.48	5.82	71.70	21.30	4.50	1.10	170.90	408.00	116.80
	B 區	53.92	5.18	1.16	1.38	7.36	84.92	27.84	5.50	1.12	69.54	240.40	268.40
	C 區	64.62	5.78	1.30	1.10	8.66	89.80	33.84	7.62	1.32	28.82	94.32	263.80
	D 區	74.98	6.30	1.30	1.46	13.00	162.34	61.86	10.04	1.50	24.50	71.86	110.16
	E 區	132.90	9.44	1.76	0.94	14.72	197.18	68.80	7.40	2.10	26.26	43.94	48.72
東	A 區	42.76	4.40	1.82	1.48	18.36	152.36	29.42	4.58	1.20	59.86	113.98	48.32
	B 區	60.88	4.86	2.10	1.92	33.60	135.84	40.76	8.22	1.30	38.70	84.56	57.00
	C 區	73.34	4.36	1.94	1.54	29.42	136.72	46.14	16.16	1.30	21.04	51.32	38.70
	D 區	99.62	6.72	1.60	1.32	25.52	195.76	62.36	7.84	1.26	17.80	37.90	27.90
	E 區	166.36	8.32	2.94	1.80	39.70	236.20	73.84	6.80	1.70	26.38	46.70	24.06
東南	A 區	36.18	4.08	3.50	1.40	23.56	152.32	75.88	20.34	1.20	29.60	171.94	395.60
	B 區	59.20	4.56	3.30	1.50	38.54	137.14	49.74	16.92	1.20	39.38	54.38	34.18
	C 區	60.40	4.92	2.12	1.40	33.14	153.44	59.94	11.70	1.40	45.00	37.20	30.20
	D 區	65.16	4.98	2.10	1.66	35.10	229.00	53.64	10.52	1.40	24.68	41.86	35.48
	E 區	149.36	8.44	1.90	2.10	52.04	356.20	136.70	16.52	1.50	37.56	48.32	57.48
南	A 區	44.06	5.02	1.66	1.40	7.04	213.40	84.84	83.10	1.16	48.28	346.40	657.80
	B 區	86.98	6.80	2.98	1.26	5.30	152.26	108.30	223.20	1.48	96.70	42.54	334.40
	C 區	83.04	6.70	3.24	1.30	21.16	231.80	296.40	274.40	1.40	52.26	76.58	99.68
	D 區	93.52	4.30	3.24	1.54	3.54	285.40	150.94	2.88	1.34	25.90	56.10	87.40
	E 區	169.90	5.60	3.12	1.94	9.60	73.36	18.08	2.68	1.48	39.28	60.50	112.64
西南	A 區	40.76	4.24	3.38	1.34	24.40	148.10	78.80	16.80	1.32	25.56	160.00	356.00
	B 區	67.38	5.04	3.10	1.48	34.60	131.30	55.30	12.40	1.50	37.70	49.22	31.48
	C 區	68.36	4.70	2.30	1.48	28.64	148.10	57.20	9.16	1.44	49.24	35.80	28.50
	D 區	84.98	5.14	2.16	1.34	33.66	239.20	85.22	9.96	1.40	22.80	38.48	37.90
	E 區	157.08	6.92	1.62	2.10	54.20	355.20	135.34	12.92	1.80	38.36	50.80	58.58
西	A 區	55.86	4.30	2.00	1.30	18.60	145.30	27.54	3.66	1.20	63.10	114.14	48.20
	B 區	80.94	4.78	2.16	1.34	31.66	135.40	36.66	7.14	1.30	38.48	91.30	57.00
	C 區	76.96	4.22	1.86	1.70	23.22	133.30	42.46	15.26	1.22	29.82	51.44	40.52
	D 區	96.32	5.56	1.54	1.80	23.32	185.56	66.38	7.72	1.30	21.22	36.20	29.98
	E 區	160.24	7.56	2.54	1.74	41.60	238.60	77.34	9.86	1.50	33.94	48.58	31.24
西北	A 區	47.20	4.00	1.04	1.34	5.74	79.68	24.96	5.58	1.12	172.26	428.00	113.24
	B 區	52.04	5.46	1.10	1.20	8.66	81.60	27.24	6.80	1.16	65.02	243.80	256.20
	C 區	59.86	5.50	1.50	1.10	9.44	88.92	31.70	7.24	1.30	33.26	96.36	267.60
	D 區	75.34	7.00	1.44	1.22	11.44	162.58	62.04	10.00	1.40	30.46	71.46	99.76
	E 區	137.80	10.24	1.70	1.06	14.54	198.10	67.34	7.82	2.06	27.62	48.88	52.72

表 11-2：當光源 0、30、60 度，開啟不同受光區時，其瓶底各受測區的太陽能板電壓值一覽表
單位：mv

光源 受光區 受測區		光源 0 度				光源 30 度				光源 60 度			
		瓶口 受光區	側 1 受光區	側 2 受光區	側 3 受光區	瓶口 受光區	側 1 受光區	側 2 受光區	側 3 受光區	瓶口 受光區	側 1 受光區	側 2 受光區	側 3 受光區
A 排	凹入	460.80	505.40	8.12	4.78	291.00	348.00	297.20	148.00	5.40	177.40	91.86	55.28
	中平	532.40	479.20	21.80	14.54	377.40	564.60	392.00	267.40	13.34	118.90	92.96	48.18
	凸平	575.60	278.20	27.46	14.96	363.40	511.80	424.80	193.00	20.76	84.64	56.96	55.50
	凸側	512.80	195.40	32.22	19.43	327.20	520.80	408.60	239.80	33.72	104.12	163.60	165.64
B 排	凹入	473.80	188.80	11.78	5.78	297.60	405.80	355.20	185.60	4.66	55.74	86.70	28.56
	中平	538.80	503.40	21.98	17.36	354.20	421.40	358.00	257.20	15.32	65.96	60.06	43.08
	凸平	579.00	389.40	27.98	13.28	385.20	436.60	364.20	300.20	15.52	45.70	39.60	26.58
	凸側	495.20	252.40	14.28	11.04	350.60	456.00	402.60	243.80	20.00	110.88	147.50	119.90
C 排	凹入	493.40	118.00	7.62	3.58	274.80	435.00	477.20	365.60	7.38	89.20	112.42	37.28
	中平	545.00	513.60	40.90	11.72	277.60	370.20	374.40	311.80	16.78	41.82	44.34	32.36
	凸平	557.20	534.80	54.36	23.12	305.00	363.00	371.80	299.00	14.16	44.52	40.46	27.66
	凸側	524.20	382.00	36.00	12.56	282.80	422.20	358.00	228.40	29.64	159.76	135.98	84.64
D 排	凹入	489.60	114.40	7.82	3.94	275.80	433.00	476.20	356.20	7.12	85.42	106.46	39.68
	中平	553.40	532.40	36.72	10.98	279.80	374.80	381.60	317.00	17.06	37.30	40.76	35.48
	凸平	559.20	545.80	58.46	21.28	307.40	370.60	375.00	299.80	15.12	43.44	39.56	32.06
	凸側	537.60	362.60	34.82	12.78	278.40	419.00	359.20	232.80	29.48	156.62	134.46	87.48
E 排	凹入	470.40	172.00	10.06	5.66	298.60	405.60	357.80	185.40	5.46	57.98	80.90	33.70
	中平	541.00	501.40	19.92	15.06	357.20	417.80	355.60	250.60	14.06	63.58	61.70	41.32
	凸平	584.80	427.00	28.08	13.78	380.80	430.20	361.80	302.20	14.52	47.16	44.62	31.70
	凸側	511.20	260.60	12.98	10.86	345.00	457.00	402.40	244.00	19.90	108.66	146.50	117.14

(三) 研究發現：

1. 將表 11-1、11-2 繪製成圖

11-4~11-9，發現：

(1) 當光源 0 度時：

① 瓶口受光區受光時，瓶身各受測區的太陽能板所接收到的電壓值介於 36.18~169.9mv，各方位的電壓值都為：E 區 > D 區 > C 區 > B 區 > A 區。

② 側 1 受光區受光時，各方位受測區中的最大值，南方（光源的對面方位）落在 B 區 (6.8mv)，其他方位落在 E 區。

③ 側 2 受光區、側 3 受光區受光時，瓶身各受測區的太陽能板測得電壓值都小於 4mv。

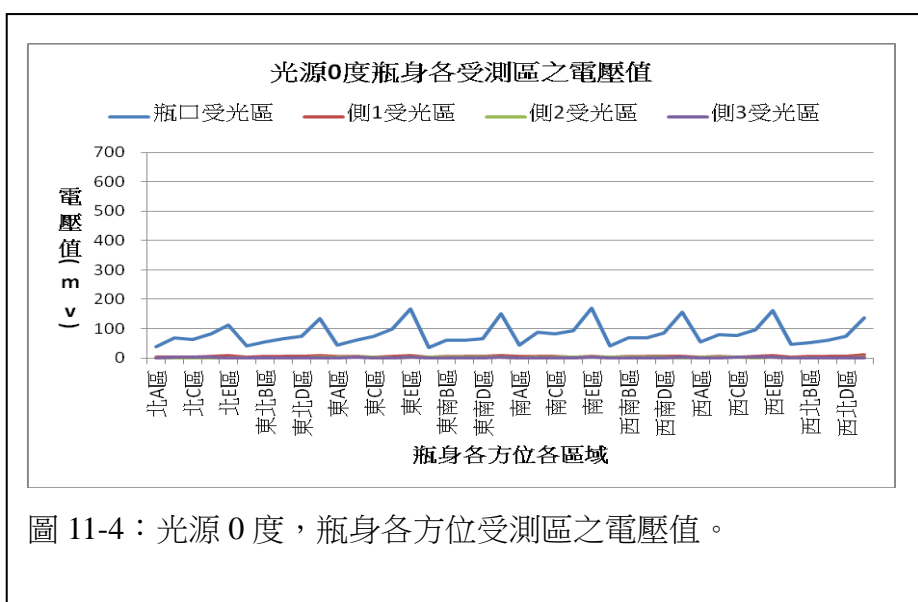


圖 11-4：光源 0 度，瓶身各方位受測區之電壓值。

④瓶底各受測區整體平均電壓值：瓶口受光區 > 側1受光區 > 側2受光區 > 側3受光區。

⑤由瓶口受光區受光時，瓶底各排方向電壓值表現：凸平區 > 中平區 > 凸側區 > 凹入區；但側1受光區受光時，瓶底各排方向電壓值表現：B、E排相似（中平區 > 凸平區 > 凸側區 > 凹入區），C、D排相似（凸平區 > 中平區 > 凸側區 > 凹入區）。

⑥承⑤，光源0度，瓶口受光區受光時，亮點多集中於瓶底的凸起處；側1受光區受光時，其瓶底所射出的光線偏向南方居多。

⑦整體而言，**光源0度，瓶口受光區及側1受光區受光時，由寶特瓶底射出的光線大大高於瓶身所射出的光線。這和我們在子題三~四的實驗發現，卸除不透明瓶蓋有助於地面照度的提升，以及地面樣貌**

受瓶底紋路的影響最大之結果不謀而合。

(2) **當光源30度時：**

①瓶身各受測區整體平均電壓值：側1受光區 > 側2受光區 > 瓶口受光區 > 側3受光區。

②因受光區位於北方，故受光區位置改變時，其對面方位（南方）各區所接受到的光線量也會改變：**受光區位置從側1下移至側3，對面方位（南方）各區所測得的**

較大電壓值位置從D區上移至C區，這是不同角度的人射光經由水進行折射後光線從不同位置射出的證明。

③因受光區位於北方，而側1受光區、側2受光區受光時，瓶身北方受測區太陽能板也能測得較高的電壓值，此射出的光線是光源反射後所造成的結果。

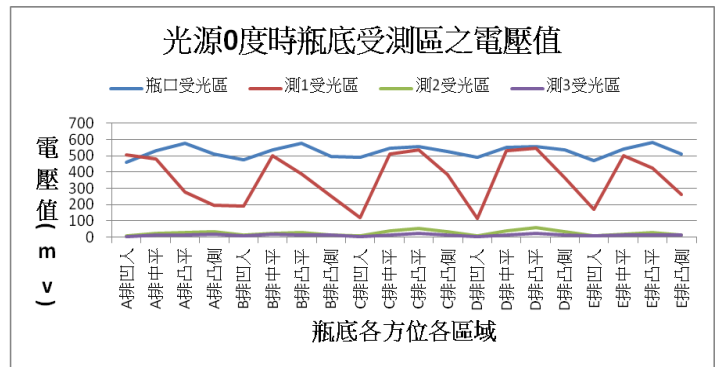


圖 11-5：光源 0 度，瓶底各方向受測區之電壓值。

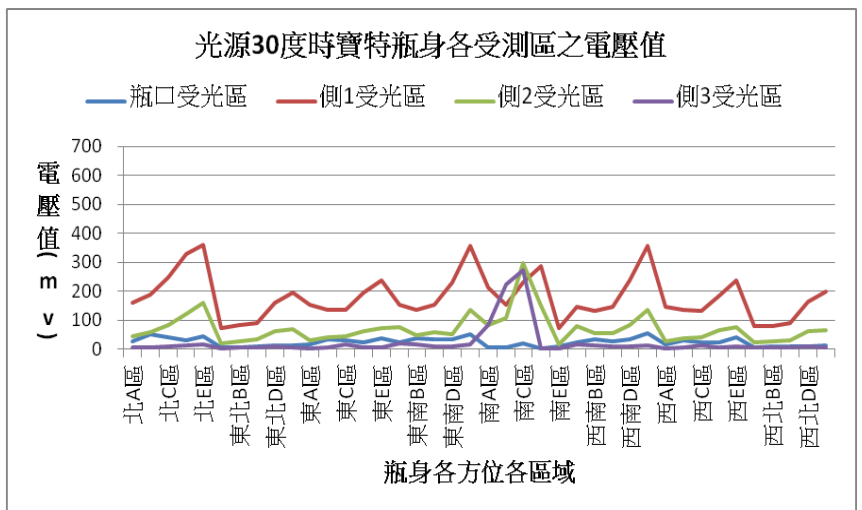


圖 11-6：光源 30 度，瓶身各方位受測區之電壓值。

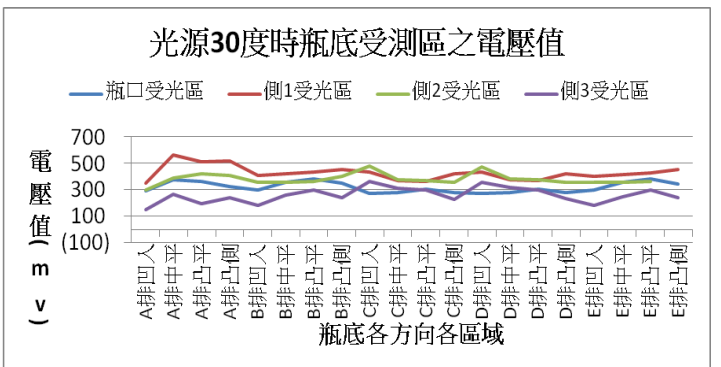


圖 11-7：光源 30 度，瓶底各方位受測區之電壓值。

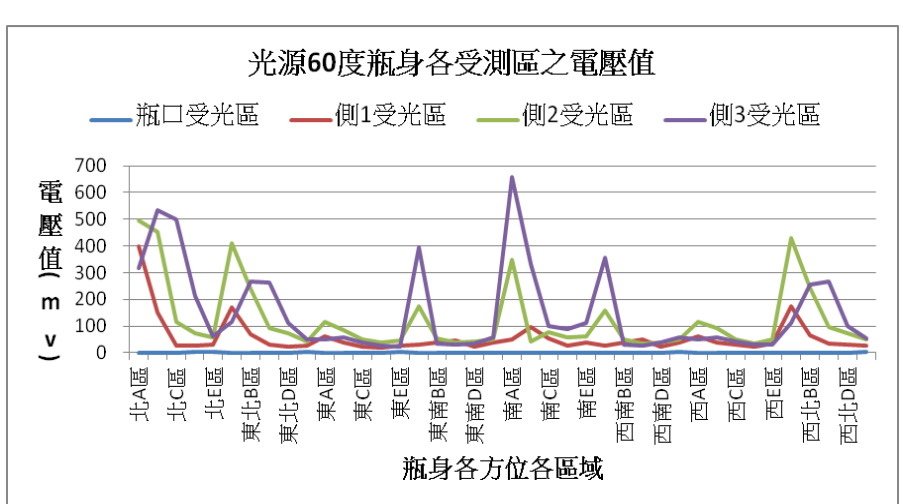


圖 11-8：光源 60 度，瓶身各方位受測區之電壓值。

④瓶底各受測區整體平均電壓值：側1受光區 > 側2受光區 > 瓶口受光區 > 側3受光區。

(3) **當光源 60 度時：**

①瓶身各受測區整體平均電壓值：側3受光區 > 側2受光區 > 側1受光區 > 瓶口受光區。

②因光線位於北方60度，所以當側3受光區受光時，光線幾乎為直射，而射出光線也多集中於瓶身南方A區。

③受光區從側3上移至側2，各受測區所接受到較大電壓值位置則會從B區上移至A區。

④整體上，瓶底各側光區所側得平均電壓值：側2受光區 > 側1受光區 > 側3受光區 > 瓶口受光區。

⑤光源60度角時，光源由瓶身射出較多，由瓶底射出較少。

(4) 當光源30、60度，不論受光區位置，瓶身的東北、西北方及東南、西南方及東、西方的各受測區有對稱性的電壓值高低表現，且瓶底電壓值B、E排相似，C、D排相似。

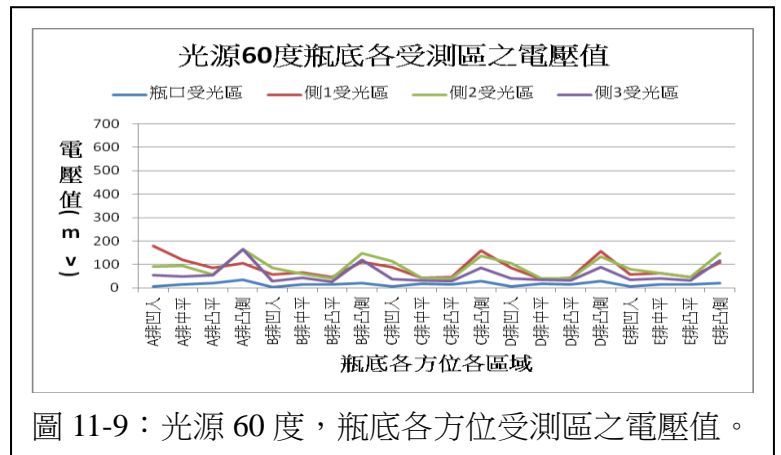


圖 11-9：光源 60 度，瓶底各方位受測區之電壓值。

子題十二：探究不同角度的雷射光源其光的行進路徑。

(一) 研究方法：

- 1.調整雷射筆光源至寶特瓶口正上方位置。
- 2.在寶特瓶內放入5公克的白粉筆粉末後，搖晃瓶身使寶特瓶內的白粉筆粉末均勻地分布，再將寶特瓶圓洞中，並關閉實驗室燈光進行觀察。
- 3.將雷射光筆光源在弧形鐵絲上往北移動至15、30、45、60、75度角進行實驗(如圖12-1)。

(二) 研究結果：

表12-1：雷射光源不同角度時，雷射光行進路徑樣貌一覽表

光源角度	0度	15度	30度	45度	60度	75度
瓶身內光路徑樣貌						

(三) 研究發現：

- 1.雷射光筆光源射入滿水瓶時，無法呈現雷射光的行進路徑，但有趣的是在滿水寶特瓶中置入5公克的白粉筆粉末，均勻分布水中時，雷射光的行徑路徑就顯現了(如圖12-2)。推測是因為在雷射光經過水中的粉筆粉末受光照後產生反射的關係。
- 2.白粉筆粉末剛開始均勻分布滿水瓶中時，雖然可顯現光的行進路徑，但整瓶都呈現紅色光，待部分粉筆粉末沉澱於瓶底時的光路徑最為清晰。於是，我們決定從白粉筆粉末剛開始均勻分布

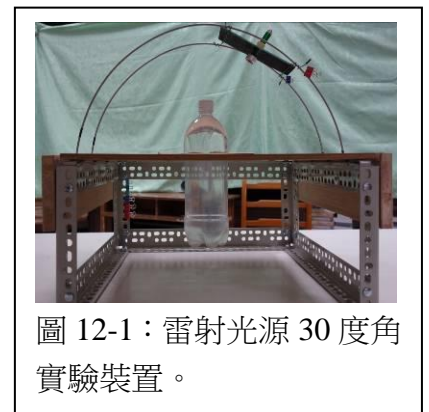


圖 12-1：雷射光源 30 度角實驗裝置。

滿水瓶開始至9分鐘，每1分鐘拍攝一張照片(如表12-2)，發現在1~2分鐘時，雷射光的行進路徑顯現得最清晰。

- 3.當雷射光源為0度時，光線是從瓶口直線前進到瓶底的。
- 4.當雷射光源為15度時，光源入射到瓶內時會產生偏折現象。透過圖12-3的照片可以看出光源在瓶外穿入瓶壁時會發生偏折。
- 5.當雷射光源為30度時，射入光及瓶壁內的反射光亮度差不多。
- 6.當雷射光源為45~75度時，射入光的亮度大大強於瓶壁內的反射光的亮度。

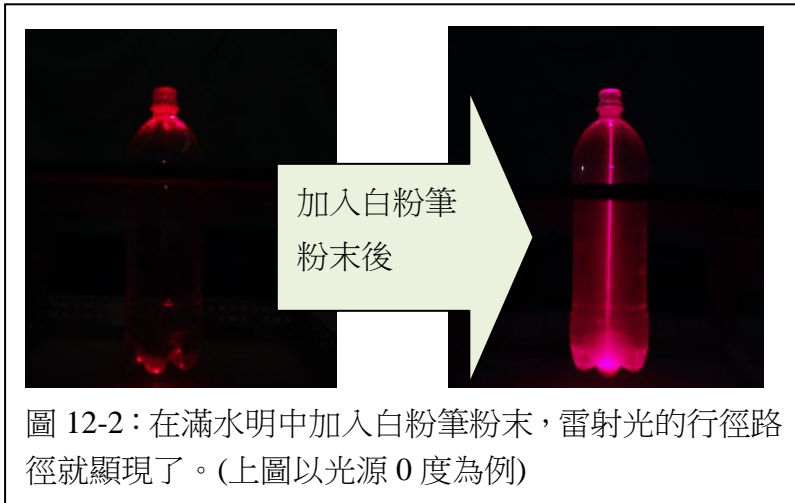


圖 12-2：在滿水明中加入白粉筆粉末，雷射光的行徑路徑就顯現了。(上圖以光源 0 度為例)



圖 12-3 光源原應直線前進(如白色虛線部分)，但在穿入瓶壁時會發生第 1 次偏折。

表12-2：0~9分鐘間，每隔一分鐘雷射光在置入白粉筆粉末的滿水瓶中行進路徑樣貌一覽表

時間	0分鐘	1分鐘	2分鐘	3分鐘	4分鐘
樣貌					
時間	5分鐘	6分鐘	7分鐘	8分鐘	9分鐘
樣貌					

伍、結 論

一、瓶子的有無、瓶蓋的透明與否對室內空間的照明表現影響很大。

- (一) 在子題三中得知，在天花板置入空寶特瓶不僅能有效延緩室內光線的衰退情形，還能提高室內光線的配光均勻度。
- (二) 在子題三、四中得知，以保鮮膜代替寶特瓶蓋，會增強天花板上方寶特瓶接收光線的效果，使得室內空間照度值提高，更能讓達到最低環境照度(30Lux)的範圍增大。

二、瓶身顏色、瓶底紋路、曲度能在室內空間裡達到「光作畫」的效果。

- (一) 有顏色的寶特瓶身會降低室內空間的照度，會縮短達到最低環境照度(30Lux)的範圍，最有趣的是可以改變空間的色彩。

1. 在子題三中得知，不論瓶蓋樣式，綠色透明的「雪碧瓶」及不透明乳白色的「健酪瓶」，其在實驗屋內的照度值是全部寶特瓶中最低的，達到最低環境照度(30Lux)的範圍也是最小的。

2. 在子題三、四中得知，光源經由綠色透明的「雪碧瓶」在實驗屋中射出光線，室內空間會呈現綠色的情境！
- (二) 光源經由滿水寶特瓶射出光線投影在室內地板的圖樣，受瓶底紋路的影響最大。

在子題四中得知，在黑色木地板上鋪上白布，不同的滿水寶特瓶光投射在白布上的光線所呈現的樣貌很有看頭！這些漂亮的不同花紋都是因為瓶底的不同紋路所形成的，大致可分為以下五種有趣的樣貌：

1. **櫻花型**：「可口可樂瓶」和「雪碧瓶」明顯呈現出五片花瓣的形狀，用手檢測確認這五片花瓣部分即是瓶底的五個柱狀處所造成的(如圖 12-4)。
2. **太陽光芒型**：「健酪瓶」呈現明顯的太陽光芒放射狀，用手觸摸發現圓圈處是平底邊緣，而圓圈外的光芒處竟然是平底的星狀紋路所造成的，在瓶底中心的星狀紋路投射到地面時卻跑到邊緣外邊，實在是太不可思議了！(如圖 12-5)
3. **海星型**：「竹碳水瓶」受瓶底五星凹紋影響而在地面上有明顯的海星形狀(如圖 12-6)。
4. **太陽花型**：「麥飯石瓶」受瓶底深裂紋路影響而呈現有如太陽花的形狀(如圖 12-7)。
5. **七星陣型**：「美粒果瓶」呈現清晰可辨的七個亮點，



圖 12-4：「櫻花型」的室內地板圖樣

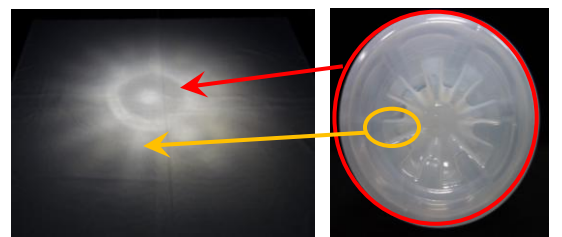


圖 12-5：「太陽光芒型」的室內地板圖樣

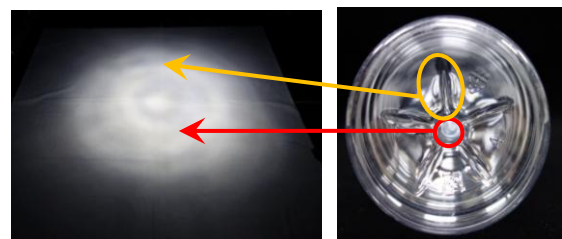


圖 12-6：「海星型」的室內地板圖樣

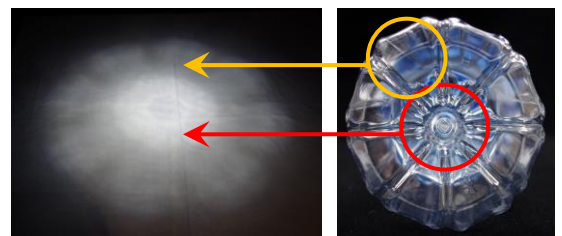


圖 12-7：「太陽花型」的室內地板圖樣

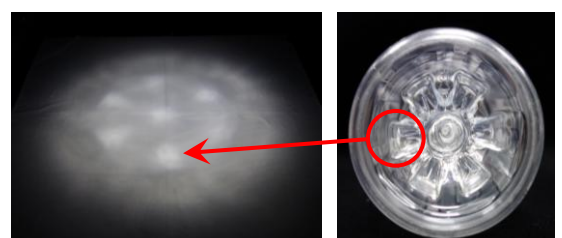


圖 12-8：「七星陣型」的室內地板圖樣

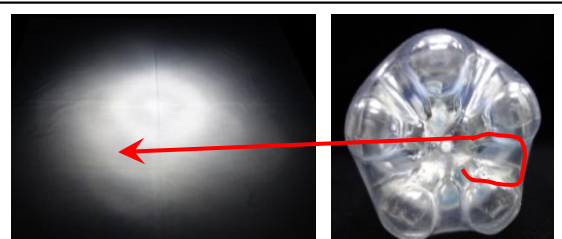


圖 12-9：「鳳仙花型」室內地板圖樣

用手觸摸確認這七個亮點即是瓶底的六個小凹處及中心點所形成的(如圖 12-8)。

6. **鳳仙花型**：「CCLemon」瓶底雖也有 5 個柱狀，但因弧度關係，沒有顯現出深裂的花瓣狀(如圖 12-9)，反而是配光均勻度較好的寶特瓶，是最佳的選擇。

(三) 在子題九中得知，寶特瓶瓶身頂部及瓶底不同曲度，能營造出聚光或散光效果。

- 桌面的照度值受水盆下曲度的影響較大，光源上方的反光情形受水盆上曲度的影響較大。
- 與水盆下面曲度為「平」時比較，水盆下面曲度為「凸」時，亮度非常集中，亮度範圍較小；水盆下面曲度為「凹」時，中央亮度較暗，但亮度範圍較大。
- 水盆上方為「凸」時，反光情形較為嚴重；水盆上方為「凹」時，反光情形較不顯著。

三、寶特瓶中水位的高低、平移的距離、瓶身距地面的高度、瓶口與燈源的距離，都能因應工作環境需求而調整出適宜的照度表現。

(一) 從子題五中得知，滿水位的寶特瓶能呈現最大平均照度值及較優的配光均勻度，裝滿 1360ml 水的寶特瓶，其平均照度值幾乎是其它水位的 1.5 倍呢！

(二) 從子題六得知，平移寶特瓶身有助於將光線引至特定位置，使平移至該方位的照度值及配光均勻度大幅提升。

(三) 想要有舒適的照明，瓶身需和地面、燈源保持良好的距離。

- 在子題七中得知，燈源不動，地面測量高度每向上增加 20cm，其所測量到的中心點平均照度值也隨之急劇增加，但是中心點(0cm)-80cm 的光線衰退情形越快速(如圖 12-10)。

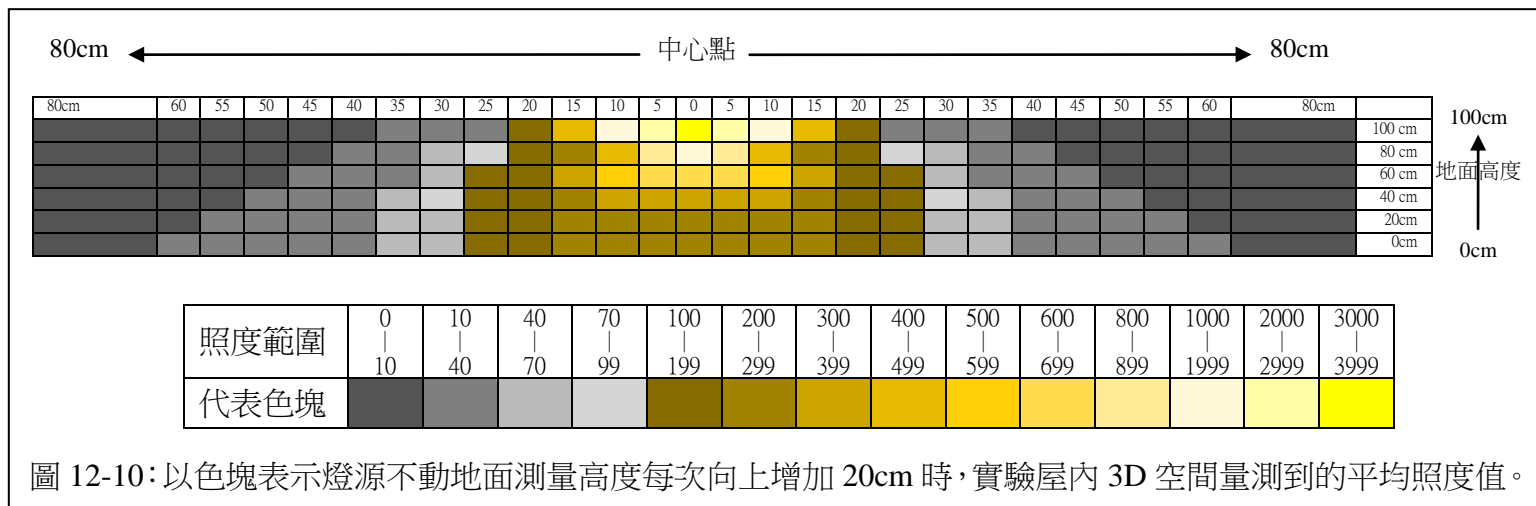


圖 12-10: 以色塊表示燈源不動地面測量高度每次向上增加 20cm 時，實驗室內 3D 空間量測到的平均照度值。

- 在子題八中得知，固定天花板，改變瓶口與燈源的距離，可以調整室內的照度表現，本實驗中燈源距瓶口 6cm 時其中心照度值最大，燈源距瓶口 8cm 時其四方位的照度值最一致。

四、在子題十一中，利用研發設計的「寶特瓶燈泡光線射出位置檢測儀」能準確驗證光源入射位置與從寶特瓶射出光線位置的相對關係。

- 光源 0 度時，瓶口受光區及側 1 受光區能接收最多、次多的光，而其從瓶底射出的光線大大高於瓶身所射出的光線。這和我們在子題三~四的實驗中，發現卸除不透明瓶蓋有助於地面照度的提升，以及地面樣貌受瓶底紋路的影響最大之結果不謀而合。
- 光源 30 度時，側 1 受光區及側 2 受光區能接收最多、次多的光，而其從寶特瓶底射出的光線高於瓶身所射出的光線。
- 光源 60 度時，側 3 受光區及側 2 受光區能接收到最多的光，而其從寶特瓶身射出的光線高於瓶底所射出的光線。

- (四) 實驗中能證明不同角度的入射光經由水進行折射後光線會從不同位置射出。
- (五) 發現光源斜射進入滿水寶特瓶時，也有反射光線的現象產生。

五、子題十二中，在置入白粉筆粉末的滿水瓶中能觀察到不同角度雷射光源射入瓶中的行進路徑。

- (一) 在滿水瓶中置入白粉筆粉末能顯現出雷射光的行進路徑，是因為在雷射光經過途徑中的粉筆粉末受光照後產生反射。
- (二) 雷射光源角度不同時，射入瓶中會產生直線前進、偏折或反射的現象。
 1. 當雷射光源為 0 度時，光線的行進路徑是從瓶口直線前進到瓶底的。這與子題十一中光源 0 度時，瓶口受光區接收到的光線多從瓶底射出的結果相符。而當雷射光源為 15 度時，光源入射到瓶內時會產生偏折現象。
 2. 當雷射光源為 30 度時，入射光及反射光的亮度一致，可推測光源 30 度入射到瓶內時會產生大部份的反射現象。這與子題十一中光源 30 度時，側 1 受光區接收到的光線，在北方(與光源同向)E 區所測得的電壓值比南方 D 區多的結果相符。
 3. 當雷射光源為 45~75 度時，入射光的亮度大大強於反射光的亮度，可推測光源 45~75 度入射到瓶內時會產生大部份的折射及少部分的反射現象。其中雷射光源 60 度與子題十一光源 60 度時，在南方(光源對面)A 區所測得的電壓值最大的結果相符。

陸、參考資料

- 一、Bryan Milner 原著 (2008)。10 分鐘物理課。五南出版社。
- 二、郭治編著 (2001)。多彩的光。國際村文庫書店。
- 三、馬偉棟、曾首義、段新穎編譯 (1997)。物理迷宮——從驚訝到醒悟。凡異出版社。
- 四、<http://www.greeninside.com.tw/?p=1409>。

【評語】 080104

1. 能就時事中選題材，具新意。
2. 能製作實驗所需各項道具，具創意。
3. 報告中能配合實驗物展示，清楚明白。