

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

最佳創意獎

080803

光的足球世界

學校名稱：屏東縣高樹鄉高樹國民小學

作者：	指導老師：
小四 東佑旭	東志賓
小四 徐于洋	戴咏秀
小四 陳垣達	
小六 東恩綺	

關鍵詞：光的反射

摘要

光的足球世界是運用光的反射現象來進行類似足球的遊戲，在設計光的足球場地時，需要平坦的面，以雷射筆照射的光源做為光球，透過鏡子球員旋轉角度傳接光球，可使光球射入球門。

而光足球比賽著重趣味性，規則上比較有彈性，可採用回合制或攻防限時賽，兩人或多人分組比賽，藉由比賽可以學習光反射的特性「入射角等於反射角」，以此結合自然與生活科技相關光的單元。

從這次的試驗中我們發現越接近球場中央，且離球門越近，進球的角度越大，在進行比賽時，最後一位負責射門的球員位置很重要，擺得恰當，進球率就高。

壹、研究動機

我們都喜歡踢足球，平常在學校的下課時間，都會和同學一起到操場比賽，但是遇到下雨天就不能出去踢球了，讓大家覺得很掃興。有一次在『科學發明王』上看到有類似足球的遊戲，正好四上自然課教到『光的世界』，想到可以利用光進行反射，就像足球員踢球一樣，所以我們將「光」和「足球」這兩個結合作成光的足球遊戲，這樣就可以在室內進行足球賽了。

貳、研究目的

- 一、設計一個光的足球場地。
- 二、探討制定光足球遊戲比賽的規則。
- 三、探討足球場上的最佳射門點對進球的影響。

參、研究設備及器材

- 一、製作光的足球場地材料：瓦楞板一塊、紅光雷射筆一支、方形鏡子五個、輪形量角器五個、厚紙板一張、瓦楞紙盒一個、空寶特瓶一個、方形石塊一個、碎紙少許、熱熔膠、手電筒、塑膠鏡片、鋁箔紙
- 二、測量工具：布尺、量角器、棉線

肆、研究過程或方法

一、設計光的足球場地(設計與製作過程)

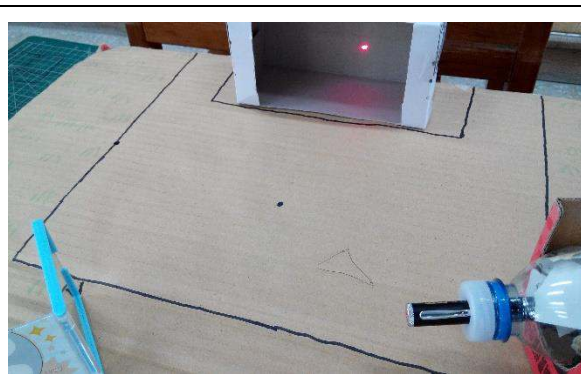
(一)材料選擇

1.球場：一開始使用紙箱，參考書中足球場地繪製在瓦楞紙板上，進行光反射實驗時，發現紙板摺痕的地方不平整，使得反射的光點忽上忽下，不容易控制，後來改以瓦楞板來製作足球場地。

2.光球：因為要做室內的遊戲，因此不考慮陽光作為光源，第一想到的是手電筒，但手電筒的光是發散出去的，且在白天不明顯；第二個考慮雷射筆，可以投射一個光點或一條光束，而紅光雷射筆是普遍使用的且較為便宜。

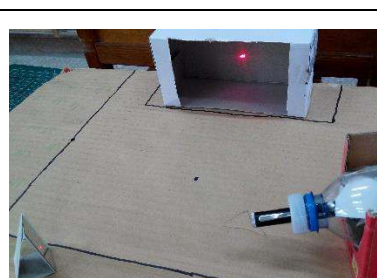


圖一：手電筒的光無法反射成光點

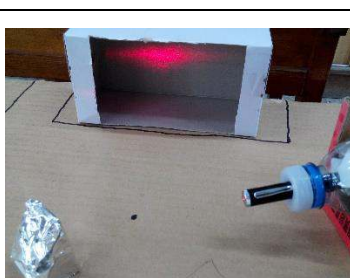


圖二：雷射筆可以反射成一個光點

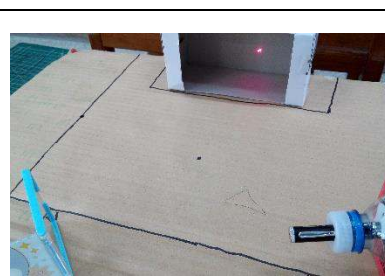
3.球員：主要是用來反射光，考慮到需有平平的面，因此一開始使用安全鏡片，後來想到鋁箔紙亮亮的面會運用在烤箱裡烘烤食物，應該也會反射光源，因此決定來個實驗，以雷射筆測試安全鏡片、鋁箔紙及鏡子三種物體的反射效果。



圖三：安全鏡片



圖四：鋁箔紙



圖五：鏡子

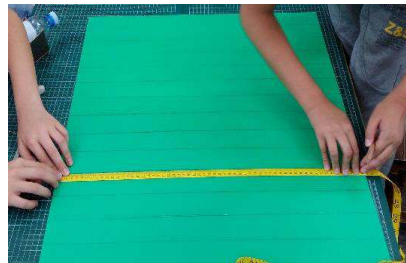
結果發現，鋁箔紙會將光源散開，不能聚焦，不適合做為光的球員。安全鏡片和鏡子都適合，但由於安全鏡片依附在美勞材料包中，不能單獨購置，最後選擇較容易購買的鏡子作為球員。

4.球門：考慮到要能挺立的，因此使用厚紙板來製作。

5.發球機(雷射筆架設臺)：在實驗的過程中發現，當以手持雷射筆發射時，由於身體的晃動，會使光源搖擺不定，位置忽高忽低，一直按壓電源開關，也會造成手指疼痛，因此想到要製作一個雷射筆的架設臺，並且能夠自動開啟電源的裝置。按照雷射筆的長度，選擇 300c.c.的寶特瓶，做為發球機，架設臺則以方形盒製作。

(二)製作方式：

1.球場：在 60×100 的瓦楞板上以布尺繪出 5 公分方格，共繪出 12×20 個方格，短邊底部作為球門放置區，對邊為光球發射區。

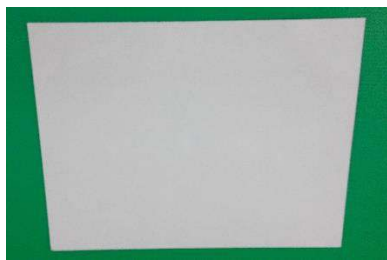
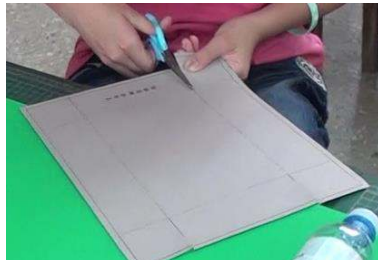
		
圖六： 60×100 的瓦楞板	圖七： 以布尺每 5 公分做記號	圖八： 將兩對邊的點連成一直線

2.球：紅光雷射筆。

3.球員：先將鏡子的外蓋拆除，在輪形量角器轉盤上熱熔膠，再將鏡子垂直黏合在輪形量角器上。

		
圖九：鏡子與輪形量角器	圖十：以熱熔膠黏合	圖十一：完成鏡子球員

4.球門：在 A4 大小的厚紙板四邊，離邊 5 公分處各畫一條直線，形成四個交點，再將交點任一邊的直線剪開，沿著線摺成方形盒，並黏貼好四個角落。

		
圖十二： A4 大小的厚紙板	圖十三： 四交點任一邊的直線剪開	圖十四： 黏貼成四方盒

5.發球機(雷射筆架設臺)：先將瓦楞紙盒割開，在紙盒的一組對邊分別割出一樣大小的 U 形圖案，將之取下，即形成 U 形底座；再將 300cc 空寶特瓶內塞入一些碎紙，用來支撐雷射筆，避免雷射筆傾斜，在瓶蓋上挖一孔穿入雷射筆，使雷射筆的電源開關剛好卡在洞口，成開的狀態；最後將方形石塊放置在紙盒裡，增加底座重量，再將寶特瓶架設在 U 形底座上，即完成自動發球機。

			
圖十五： 瓦楞紙盒、寶特瓶、石塊	圖十六： 割開瓦楞紙盒	圖十七： 割出 U 形圖案	圖十八： 石塊放入 U 形底座
			
圖十九： 寶特瓶內塞入一些碎紙	圖二十： 開關剛好卡在洞口	圖二十一： 寶特瓶架設在 U 形底座上	

二、制定光的足球比賽規則

(一)首先參考世界盃足球比賽規則，其球場規格為長方形，長度 90 至 120 公尺，寬度 45 至 90 公尺。上場球員為 11 人，其中一人是守門員，由中場(中圈)開球，因為人的因素，會有犯規的行為，而有罰球區、罰球點、角球區、越位、罰球、角

球等規定與判定，而光的足球賽中，球員是鏡子，省去人為因素，保留 11 人在場上的規則與中場開球。但由於光是直線前進，為避免一開球就直射球門，因此規定至少要經過一次反射。分上下兩半場各 10 分鐘，射進球門最多次獲勝。



圖二十二：
世界盃十一人制足球賽規則場地圖



圖二十三：
首次模仿繪製光足球場地圖

(二)在改用鏡子球員後，先以五個鏡子球員做試驗，發覺只要改變發球角度，反射一次就能進球，然而守門員佔據中央很容易被反射回來；且在 11 人制足球賽場地上，要放置 22 個鏡子球員太過擁擠，因此決定減少球員數量，並考慮是否需要守門員。

(三)再次上網發現適合國小學生的五人制樂樂足球簡易規則，縣市及全國比賽場地規格是長28 公尺，寬15 公尺，主要球員人數五人，且沒有守門員，因人為因素有相關罰則，主要著重遊戲，學校辦理教學活動及班級競賽活動時相關規則可適時調整。

三、測量最佳射門點

(一)首先在 12x20 個方格的球場上設定直行為 X 軸，共有 11 行；橫列為 Y 軸，共有 19 列，扣除底端放置球門的位置，設計 18 列，由於原第一列為發球區，設定為第 0 列，將鏡子球員可放置的位置設為第一列至第十七列，並在球門的最前端以奇異筆畫上黑點，作為測量的標的。

(二)於每個定位點(y,x)，用棉線替代光源，從發球位置至球門兩端，以量角器測量進

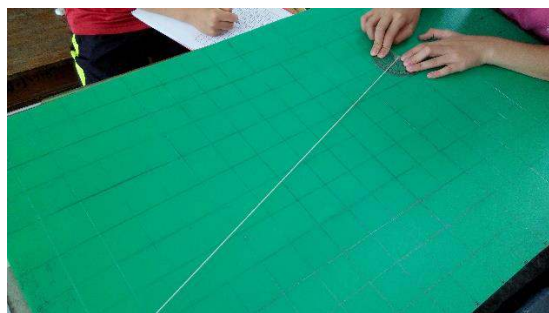
球角度並記錄下來。



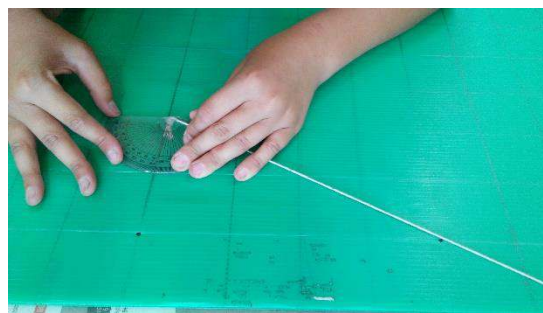
圖二十四



圖二十五



圖二十六



圖二十七

(三)每一個定位點測量三次，將三次所得數據平均，並加以歸納統整，找出最適合進球的角度及進球點。

伍、研究結果

一、設計一個光的足球場地，需要球場、球門、光源及球員，在製作過程中，除了球門維持使用厚紙板製作外，其他材料都經過試做與比較的過程。

(一)球場材質的試做與比較

表一 球場材質比較表

	平整狀況	受潮程度	環保狀況
紙箱	摺痕處易造成傾斜	易受潮	環保
瓦楞板	較平整	不易受潮	不環保

從表一可以知道，使用紙箱雖然環保，但會造成傾斜，也容易受潮而使表面不平整，而瓦楞板雖然不環保，但相對於紙箱較適合作為光足球場。

(二)光源材質的測試與比較

表二 光源材質比較表

	光源反射狀況	光源持續度	使用時間
手電筒	光源發散	開關打開可持續亮	需在黑夜或暗室使用
雷射筆	光源集中成點狀	需一直按壓開關	皆可

從表二可以知道，手電筒的好處是可以持續發出光源，但卻不能聚光，使用上有比較大的限制，因此雷射筆相對於手電筒較適合作為光球。

(三)球員的試做、測試與比較

表三 球員材質比較表

	反射光源狀況	形狀大小	取得狀況
安全鏡片	反射後光源成點狀	可自由裁剪	不易購得
鋁箔紙	反射後光源發散呈扁平狀	可自由裁剪	容易購得
鏡子	反射後光源成點狀	固定	容易購得

從表三可以知道，鋁箔紙不適合作為球員，安全鏡片和鏡子都適合做為球員，但考慮是否容易取得，還是選擇鏡子。

二、比較世界盃足球賽與樂樂足球賽的規則，作為制定光之足球賽比賽規則的參考。

表四 足球規則比較表

	世界盃足球賽規則	樂樂足球賽規則
場地規定	長 90 至 120 公尺，寬 45 至 90 公尺 分球門區、罰球區、角球區	長 28 公尺，寬 15 公尺 分罰球區、角球區
球員限制	11 人制，其中一名守門員	5 人制，無守門員
比賽時間	上下半場各 45 分鐘	上下半場各 20 分鐘
開球位置	中場開球	中場開球
相關罰則	有	有
比賽目的	著重技巧	著重遊戲

從表四可以知道，樂樂足球比賽的規則著重在遊戲，5 人制且無守門員，是比較接近光足球賽的構想。

三、足球場上最佳射門點的測量結果。

(一)利用量角器與棉線進行進球角度的測量，將各定位點所測得角度紀錄下來，如圖二十八至圖四十五所示。

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-0	101°~115°	12	103°~116°	14	105°~113°	10	12
2-0	96°~114°	18	99°~113°	14	96°~108°	12	14.66
3-0	91°~105°	14	96°~107°	11	94°~105°	9	11.33
4-0	87°~104°	17	94°~105°	11	90°~104°	14	14
5-0	86°~100°	14	87°~100°	13	88°~100°	12	13
6-0	78°~96°	18	84°~95°	11	81°~96°	15	14.66
7-0	78°~93°	15	82°~92°	10	81°~95°	14	13
8-0	79°~93°	13	91°~90°	13	78°~95°	14	13.33
9-0	70°~89°	19	73°~89°	14	74°~85°	11	14.66
10-0	68°~83°	15	71°~80°	17	78°~80°	7	11.66
11-0	65°~80°	15	71°~80°	11	65°~79°	14	13.33

圖二十八 第 0 列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-1	100°~115°	15	100°~114°	14	101°~112°	11	13.33
2-1	95°~109°	14	96°~109°	13	98°~110°	12	13
3-1	95°~108°	12	91°~107°	16	90°~106°	12	13.33
4-1	90°~103°	13	90°~100°	10	92°~103°	11	11.33
5-1	85°~97°	12	88°~100°	14	88°~100°	12	12.66
6-1	83°~96°	13	84°~95°	11	81°~98°	17	13.66
7-1	80°~95°	15	82°~93°	11	80°~92°	12	12.66
8-1	76°~90°	14	80°~90°	10	79°~90°	11	11.66
9-1	78°~85°	13	75°~86°	11	73°~87°	14	12.66
10-1	72°~85°	13	72°~83°	11	70°~82°	12	12
11-1	70°~79°	9	71°~81°	10	68°~80°	12	10.33

圖二十九 第 1 列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-2	101°~114°	13	100°~114°	13	101°~115°	14°40'	13.33
2-2	97°~110°	13	98°~111°	13	98°~111°	13°39'	13
3-2	94°~106°	14	94°~109°	15	91°~109°	10°39'	13
4-2	90°~105°	15	91°~105°	14	93°~106°	13°42'	14
5-2	87°~101°	14	85°~102°	17	86°~100°	14°45'	15
6-2	83°~97°	14	83°~99°	16	80°~96°	16°46'	15.33
7-2	79°~94°	15	79°~93°	14	76°~93°	17°46'	15.33
8-2	76°~90°	14	75°~90°	15	74°~90°	16°45'	15
9-2	73°~87°	14	71°~87°	16	70°~85°	15°48'	15
10-2	69°~82°	13	68°~82°	14	67°~81°	14°41'	13.66
11-2	66°~79°	13	64°~78°	14	61°~79°	15°00'	14

圖三十 第2列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-3	103°~117°	14	100°~115°	15	101°~115°	14°45'	14.33
2-3	98°~114°	14	96°~112°	16	98°~112°	14°44'	14.66
3-3	95°~110°	15	95°~110°	15	95°~110°	15°45'	15
4-3	91°~107°	16	90°~106°	16	90°~106°	16°45'	16
5-3	86°~103°	17	85°~102°	17	88°~105°	15°44'	16.33
6-3	82°~99°	17	86°~102°	16	84°~100°	16°40'	16.33
7-3	78°~95°	17	80°~93°	15	79°~93°	16°48'	16
8-3	74°~90°	16	78°~93°	15	71°~90°	18°40'	16.33
9-3	70°~86°	16	68°~85°	19	70°~81°	17°50'	16.66
10-3	67°~82°	15	65°~80°	15	68°~82°	14°40'	16.66
11-3	63°~78°	15	63°~75°	12	65°~78°	13°40'	13.33

圖三十一 第3列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-4	103°~118°	15	105°~115°	14	101°~120°	19	
2-4	100°~115°	15	100°~118°	18	100°~116°	16	
3-4	95°~111°	16	98°~111°	13	95°~111°	16	
4-4	90°~108°	18	91°~105°	15	90°~107°	17	
5-4	86°~105°	19	87°~105°	18	86°~103°	17	
6-4	81°~99°	18°	80°~105°	20	80°~100°	20	
7-4	77°~95°	18°	77°~94°	17	77°~95°	18	
8-4	71°~81°	18°	73°~90°	17	71°~90°	19	
9-4	67°~85°	17°	64°~85°	16	69°~88°	11	
10-4	66°~80°	14°	64°~80°	16	65°~80°	13	
11-4	61°~78°	14°	64°~79°	18	60°~75°	15	

圖三十二 第4列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-5	104°~120°	16	120°~115°	15	105°~121°	16	
2-5	100°~117°	17	120°~101°	19	101°~117°	16	
3-5	96°~114°	18	91°~115°	19	95°~111°	19	
4-5	90°~110°	20	91°~111°	20	90°~110°	20	
5-5	86°~105°	19	85°~104°	20	85°~105°	20	
6-5	80°~100°	20	80°~100°	20	80°~100°	20	
7-5	77°~97°	20	95°~75°	19	75°~94°	21	
8-5	71°~80°	19	90°~70°	20	70°~90°	20	
9-5	67°~86°	19	85°~66°	19	66°~81°	18	
10-5	67°~85°	18	80°~62°	18	61°~80°	19	
11-5	59°~76°	17	74°~58°	16	61°~74°	15	

圖三十三 第5列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-6	106°~123°	17	106°~123°	17	105°~123°	16	
2-6	101°~120°	17	103°~120°	17	103°~119°	19	
3-6	98°~115°	17	96°~115°	19	96°~115°	19	
4-6	90°~115°	20	90°~110°	20	90°~119°	20	
5-6	85°~106°	21	85°~105°	20	85°~107°	22	
6-6	82°~104°	22	80°~104°	20	80°~103°	23	
7-6	77°~98°	21	74°~95°	21	73°~95°	22	
8-6	70°~90°	20	70°~90°	20	67°~90°	23	
9-6	65°~85°	20	65°~85°	20	65°~85°	20	
10-6	61°~81°	20	60°~80°	20	60°~79°	19	
11-6	60°~77°	17	55°~73°	18	55°~73°	18	

圖三十四 第6列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-7	105°~124°	19	106°~123°	19	108°~125°	18	
2-7	101°~120°	18	103°~121°	18	101°~119°	19	
3-7	96°~119°	23	99°~119°	20	96°~116°	20	
4-7	90°~111°	21	90°~115°	25	90°~114°	24	
5-7	85°~107°	22	85°~104°	24	85°~109°	24	
6-7	80°~105°	25	79°~102°	22	80°~105°	25	
7-7	75°~97°	22	75°~99°	24	75°~95°	20	
8-7	69°~90°	21	90°~68°	22	70°~90°	20	
9-7	65°~81°	22	86°~65°	21	64°~85°	21	
10-7	61°~81°	20	59°~80°	21	61°~80°	21	
11-7	55°~75°	20	76°~56°	20	55°~75°	20	

圖三十五 第7列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-8	104~128	21	110~130	20	110~129	19	
2-8	105~125	20	105~125	22	102~128	22	
3-8	99~123	24	97~120	23	96~120	24	
4-8	90~115	25	92~115	23	90~114	24	
5-8	85~110	25	85~110	22	83~110	25	
6-8	78~104	26	80~105	25	80~103	23	
7-8	72~99	27	77~98	27	74~97	25	
8-8	63~90	25	65~90	25	70~91	21	
9-8	60~83	23	60~82	22	60~83	23	
10-8	53~80	25	53~75	20	58~78	20	
11-8	50~71	21	50~70	20	55~74	19	

圖三十六 第8列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-9	110~130	20	110~130	20	109~130	21	
2-9	105~125	22	102~125	22	104~125	23	
3-9	96~121	25	91~98	25	96~121	25	
4-9	90~115	25	113~90	25	92~111	27	
5-9	85~108	23	81~112	20	81~110	20	
6-9	80~104	24	75~104	20	75~104	29	
7-9	72~97	26	69~95	26	66~96	24	
8-9	66~87	27	61~90	20	60~90	30	
9-9	61~83	22	55~81	26	56~85	29	
10-9	53~75	20	50~75	25	52~76	24	
11-9	52~70	18	49~70	21	49~72	23	

圖三十七 第9列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-10	110~134	24	110~131	21	110~131	21	
2-10	105~132	25	105~129	24	105~128	23	
3-10	96~125	29	95~123	27	99~123	27	
4-10	90~120	30	90~119	29	90~118	28	
5-10	80~111	31	82~111	29	81~111	30	
6-10	73~105	32	74~105	31	72~103	33	
7-10	64~95	31	68~100	32	69~100	31	
8-10	61~90	29	60~90	30	60~90	30	
9-10	53~80	27	56~80	26	56~81	27	
10-10	49~72	23	50~73	25	50~75	25	
11-10	44~65	21	45~67	22	45~66	21	

圖三十八 第10列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-11	116~136	20	115~135	20	115~138	23	
2-11	106~130	24	106~131	25	109~131	24	
3-11	100~128	28	99~121	22	99~126	27	
4-11	90~120	30	90~120	30	90~120	30	
5-11	81~115	34	80~115	35	82~115	33	
6-11	72~108	36	71~109	38	72~109	35	
7-11	65~100	35	65~100	35	65~99	34	
8-11	57~90	31	56~90	34	57~89	32	
9-11	51~80	29	50~80	30	50~80	29	
10-11	45~71	26	45~71	34	45~72	27	
11-11	40~64	24	40~61	21	41~65	24	

圖三十九 第11列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-12	119~148	29	120~142	22	120~142	22	
2-12	117~137	26	114~140	26	110~138	28	
3-12	102~110	31	102~135	23	102~134	32	
4-12	90~126	38	90~129	39	91~127	36	
5-12	81~120	39	81~120	39	82~120	38	
6-12	71~111	40	70~110	40	70~112	40	
7-12	60~100	40	64~105	41	62~102	40	
8-12	54~90	36	53~90	35	52~90	38	
9-12	45~80	35	46~80	34	45~79	34	
10-12	40~70	30	40~71	31	40~70	30	
11-12	35~65	35	37~61	30	36~61	25	

圖四十 第12列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-13	125~147	23	125~149	24	124~149	25	
2-13	115~145	30	119~145	26	110~145	35	
3-13	105~139	34	105~140	35	105~140	35	
4-13	90~131	41	91~132	41	90~134	42	
5-13	80~126	46	80~125	45	80~123	45	
6-13	65~115	50	69~116	47	69~115	46	
7-13	62~116	44	59~105	48	59~106	47	
8-13	50~90	40	49~91	43	48~90	42	
9-13	41~80	39	40~77	37	40~77	39	
10-13	36~69	33	35~66	31	35~35	30	
11-13	34~56	22	30~55	25	32~31	26	

圖四十一 第13列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-14	130°~155°	25	130°~154°	24	138°~151	23	
2-14	120°~150°	30	125°~155°	30	130°~150	30	
3-14	126°~145	34	108°~148°	40	105°~145	40	
4-14	90°~140	50	90°~145	55	90°~140	50	
5-14	101°~132	53	60°~131	71	131°~175	44	
6-14	61°~121	60	64°~124°	60	120°~160	40	
7-14	51°~110	59	30°~110	60	110°~50	60	
8-14	40°~90	50	40°~90	50	90°~40	50	
9-14	35°~95	40	30°~91	41	32°~94	42	
10-14	30°~60	30	25°~60	35	29°~60	31	
11-14	25°~49	24	15°~39°	24	25°~50	25	

圖四十二 第 14 列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-15	140°~163	23	142°~164	41	140°~160	20	
2-15	129°~161	32	30°~160°	30	129°~158	29	
3-15	115°~159	46	111°~150	39	116°~151	35	
4-15	91°~149	58	90°~145	55	90°~142	52	
5-15	71°~140	69	71°~135°	64	75°~135	60	
6-15	55°~120	75	60°~124°	64	62°~124	62	
7-15	45°~115	70	45°~113°	65	44°~115	66	
8-15	40°~35	55	90°~35°	55	35°~40	55	
9-15	70°~29	46	71°~28°	43	71°~38	29	
10-15	55°~35	70	55°~22°	33	35°~55	30	
11-15	20°~44	24	42°~19	23	25°~45	22	

圖四十三 第 15 列進球角度測量記錄

	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-16	150°~161	17	145°~162	17	145°~163	18	
2-16	142°~165	25	135°~160	25	135°~163	28	
3-16	120°~160	40	116°~155	39	120°~160	40	
4-16	90°~155	65	90°~151	61	90°~152	62	
5-16	65°~150	85	64°~145	81	65°~150	85	
6-16	45°~141	96	47°~135	88	49°~136	87	
7-16	31°~124	93	35°~121	86	38°~131	83	
8-16	21°~91	70	30°~90	60	30°~90	60	
9-16	145°~61°	42	22°~60	38	25°~62	37	
10-16	21°~49	26	20°~49	29	20°~41	21	
11-16	20°~35	15	19°~35	16	16°~35	19	

圖四十四 第 16 列進球角度測量記錄

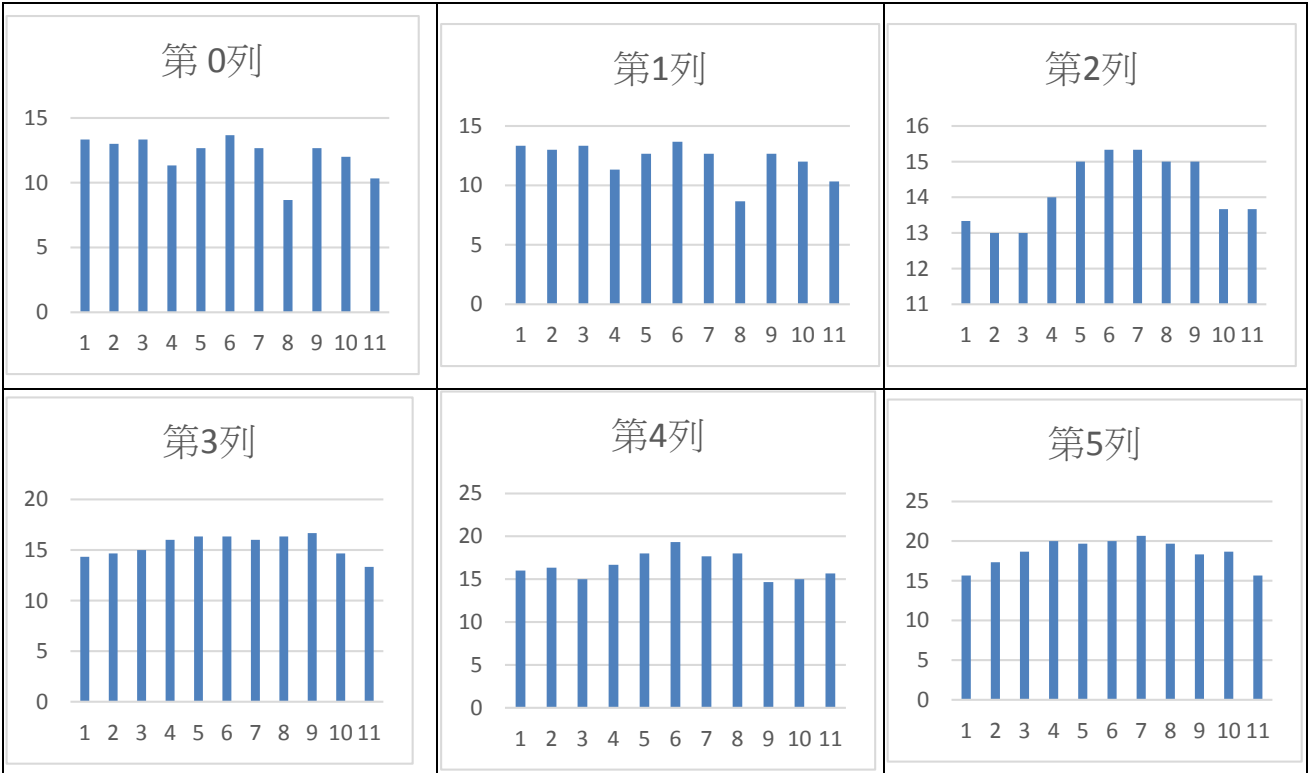
	第一次	角度	第二次	角度	第三次	角度	平均
1-17	142°~174	19	165°~175	10	171°~165	9	
2-17	152°~169	17	159°~174	17	150°~170	20	
3-17	139°~190	35	174°~140	34	139°~105	34	
4-17	90°~169	97	90°~169	79	90°~166	76	
5-17	68°~163	115	48°~165	117	60°~146	86	
6-17	29°~158	129	30°~159	129	30°~155	125	
7-17	20°~143	122	25°~140	117	21°~144	119	
8-17	15°~90	75	18°~90	72	10°~90	74	
9-17	11°~44	33	10°~45	35	16°~50	34	
10-17	10°~26	16	10°~20	17	10°~20	10	
11-17	9°~20	11	10°~20	10	10°~20	10	

圖四十五 第 17 列進球角度測量記錄

(二)將三次測量結果(圖二十八至圖四十五)之平均數加以整理如表五所示，並利用 Excel 製成每列進球角度直線圖，如圖四十六所示。

表五：光之足球座標及角度表

光之足球座標及角度表											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	13	13	13	11	13	14	13	9	13	12	10
1	13	13	13	11	13	14	13	9	13	12	10
2	13	13	13	14	15	15	15	15	15	14	14
3	14	15	15	16	16	16	16	16	17	15	13
4	16	16	15	17	18	19	18	18	15	15	16
5	16	17	19	20	20	20	21	20	18	19	16
6	17	18	18	23	21	22	21	21	20	20	18
7	19	19	21	23	23	24	22	22	21	21	20
8	19	19	21	23	23	24	22	21	21	21	20
9	20	22	25	26	27	27	25	27	26	16	21
10	22	24	27	29	30	32	31	30	27	24	21
11	21	26	24	30	34	36	35	32	29	29	23
12	22	27	29	38	39	40	40	36	34	30	30
13	24	30	38	42	45	48	46	42	38	31	24
14	24	30	40	52	56	53	60	50	41	32	24
15	28	30	40	55	64	67	67	55	39	31	23
16	17	26	40	63	84	90	87	63	39	25	17
17	12	18	34	82	106	128	118	73	35	15	13





圖四十六：每列進球角度圖

由表五顯示橫坐標愈接近中間（行 6）可射進球門的角度愈大；愈靠近兩端（行 1、11）射進球門的角度愈小。並由圖四十六可知第一列到第四列每個定位點進球角度差距並不明顯（20 度以下），而五至九列中間（行 6）進球角度明顯接近 30 度，而兩端仍保持 20 度左右，

中間行進球角度是兩端的 1.5 倍；十至十四列中間（行 6）進球角度明顯接近 60 度，而兩端仍保持 20 度左右，中間行進球角度是兩端的 3 倍；第 15 列中間行（行 5、6、7）皆超過 60 度；第十六列中間行（行 5、6、7）皆超過 80 度且兩端（行 1、11）已低於 20 度，中間行進球角度是兩端的 4 倍；第十七列中間行（行 5、6、7）皆超過 100 度且兩端（行 1、11）更低於 20 度，中間行進球角度是兩端的 8 倍，由以上得知在進球位置愈近球門且愈中間行進球角度愈大；兩端進球角度並不會因接近球門而變大，反之愈小。

陸、討論

一、光的足球場地必備的條件有哪些？

(一)球場的必要性

當光源經由鏡子反射時，若鏡子傾斜，會造成反射角度過低或過高的現象，阻礙鏡子順利傳接光球，所以球場需要平整的面。若不考慮其他需求，只要平整的面就可以當做球場，那麼平整的桌面或地面也是可以作為球場的。所以，球場不一定需要。

(二)球門的必要性

球門有一個既定的範圍，在光足球賽中它是一個目標，可以讓我們清楚看到光球是否射進球門，判斷是否得分的依據，所以球門是必須的。

(三)球員的要求

當我們在試驗射門時，發現光源經過一次反射後，第二個球員要再傳給第三個球員，光源有時偏高、有時偏低，我們必須以手調整鏡子的仰角，當我們為了調整下一個球員的位置而放手時，光源就偏了，這是我們所遇到的難題之一，也讓我們體認到球員在反射光球時需要垂直於球場，如果鏡子前傾，會造成反射的光點高度過低，直接反射在球場上；如果鏡子後仰，會造成反射的光點高度過高，其他球員接不到光球，或反射的光點高過球門的現象。因此在製作的時候要注意與球場呈垂直。

(四)光球的來源

穩定的光源對於光足球賽來說是很重要的，光源一偏就像鏡子傾斜一樣，無法讓光球射進球門，所以光源需要考慮到架設高度，且要能與球場平行。而手持雷射筆的光源雖然高度適中，但容易晃動、傾斜，為了解決這個問題，曾經尋找過能像手電筒一樣，打開開關就能持續亮著的雷射筆，但無所獲。因而利用手邊可得物品自製光

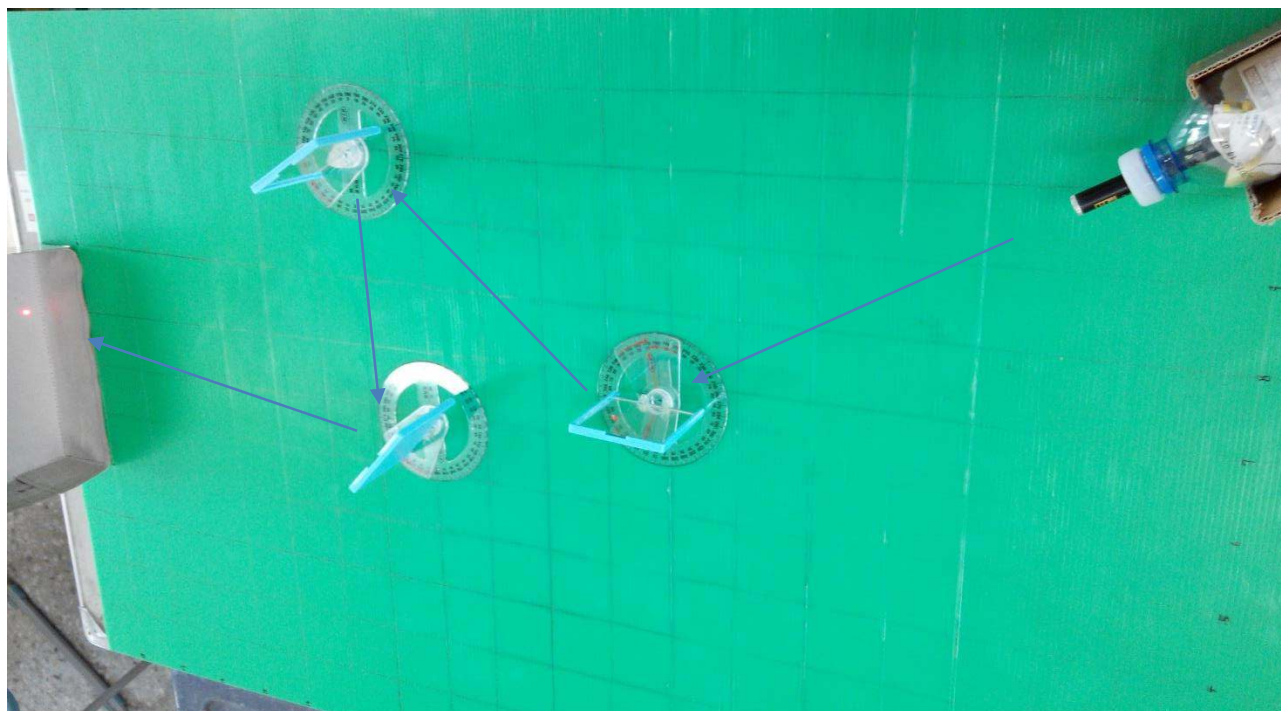
源發射器。

所以，在製作光的足球場地時，球門、球員與光球是必須的，而球場可以就地取材。

二、光足球遊戲比賽的規則是否需如一般足球賽嚴謹？

在討論光足球遊戲比賽規則時，我們先依照一般足球規則試驗，但罰球、角球等這些足球的罰則在這遊戲中似乎不適用，因此就從人數及守門員來考慮。而光足球遊戲是屬於室內遊戲，可以操作的人數應該不限，兩人玩，或是多人分組玩皆可，主要著重在趣味性，從遊戲中學習、驗證光的反射現象。而在比賽規則上依據場地大小制定每隊五名球員，無守門員，採用計時賽或回合制比賽，計時賽就如一般比賽分上下場，各 10 分鐘，至少須經過三名球員的反射進球才算得分，由防守方先將一名球員擺在場上，再由攻方擺上，如此一次一個，依序擺完五個若未能進球，則攻守交換，因此球場使用一般足球場的半場規格。

另一種回合賽制，如圖四十七，分五回合，由一方先將至少三名球員擺在球場上，再開啟光源，光球確實傳接經至少三名球員而進球門則算得分，光球未經三名球員而進球則不算分，回合結束換對方，如此輪流五回合，得分最高者獲勝。



圖四十七：回合制，先擺好在場上的球員位置，再開啟光源，進球得分。

除了以上兩種比賽方式，我們也討論過設計鏡子旋轉角度的比賽、有守門員的比賽可以增加難度，或是有障礙的光足球比賽，因此在設定光的足球賽規則上有很多的可能，相對於一般足球賽較為彈性。

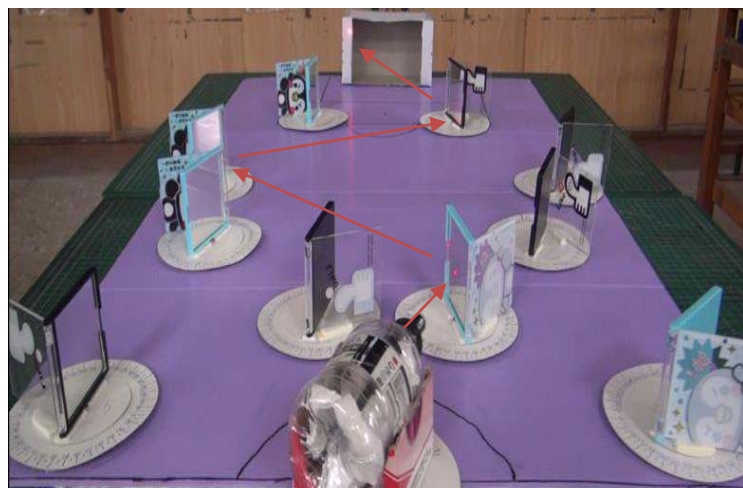
三、光足球場上的最佳射門點對進球的影響為何？

一開始進行光足球試驗時，我們只是隨意擺放球員位置，只注意到旋轉球員的角度來互相配合，以求順利將光球射入球門。但這樣的隨意擺放似乎沒有一個系統，每次換一個位置，就要再重新嘗試，後來決定把球員固定，光源可移動，來尋找進門角度，如圖四十八、圖四十九。但是我們還是遇到一些困難：



圖四十八

困難一：當光源射向第一面黑色鏡片時，只能傳接至第二面鏡片(虛線所示)，無法傳接到同組其他鏡片上，再來就直接射門(紅線所示)，如此防守方(藍色鏡片)便無作用，操作受限。

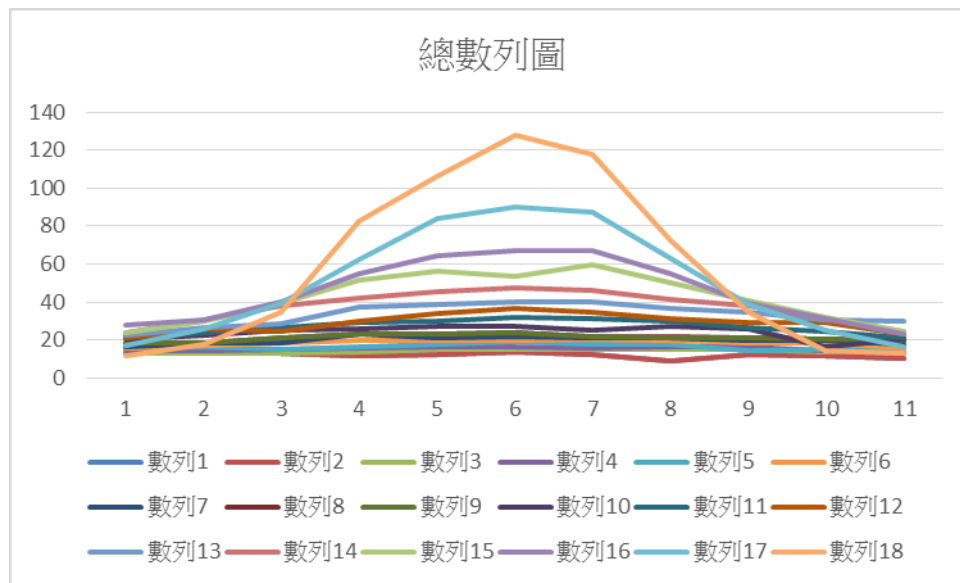


圖四十九

困難二：另外，當光球左右傳接進入球門時，我們發覺中間的球場並沒有使用到，而且在調整鏡子角度時並不容易，能順利傳接的角度範圍很小，這引發我們想知道那些位置比較容易進球。

那要如何測量？按照前鋒、中鋒、後衛的位置？還是要把場地分區塊測量？在大家思考討論後，決定畫格線做點的測量。在測量每個位置的進球角度後，再將表五光之足

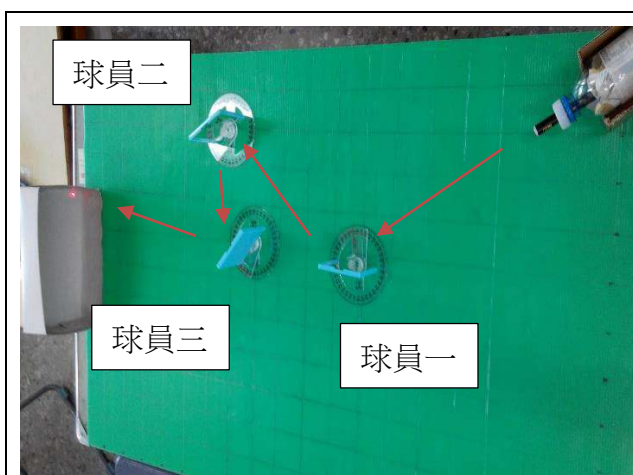
球座標及角度表制成總數列圖(折線圖)，如圖五十所示。



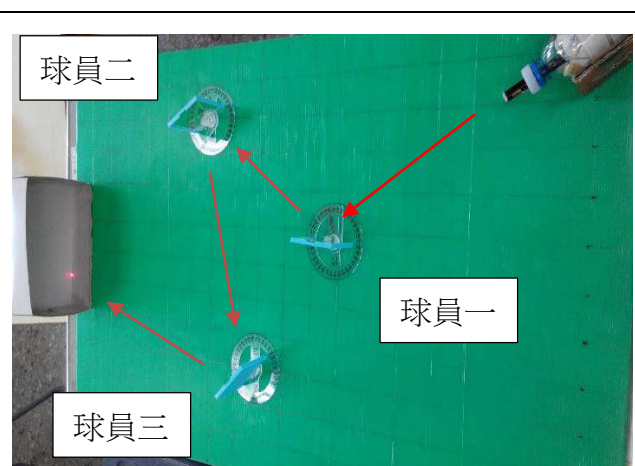
圖五十：總數列圖

由圖五十顯示，每條數列的兩端進球角度較小，而越接近中央(行 6) 每條數列進球角度差距越大，因此當射門球員的位置愈近球門且愈中間，可以進球的角度愈大；如在兩端位置射門，則角度不會因接近球門而變大，反而愈小。

藉由這個結果，我們再以三個球員進行測試，如圖五十一、圖五十二，光源、球員一、球員二之位置皆無改變，最後射門球員三的位置於第 11 列，球員角度不變，從行 7(圖五十一)至行 3(圖五十二)的平行距離皆可以射進球門。



圖五十一



圖五十二

柒、結論

- 一、光的足球場地需要平坦的面，光源則採用雷射筆照射出來的光做為光球較為明顯，而球員需要能反射光源並使光源聚集不會分散，以鏡子較為恰當，透過鏡子旋轉角度傳接光球，可使光球射入球門。
- 二、光足球遊戲比賽的規則著重在趣味性，可以有很大的彈性，可以兩人對戰，或多人分組玩；在時間的控制上，可以採用回合制或攻防限時賽。
- 三、在光的足球場上越接近球門，鏡子球員可進球的角度範圍越大，可容許的誤差也比較大；越接近中間位置，鏡子球員可進球的位置越多，所以不管傳接多少次球，最後一位鏡子球員越接近中間位置，且離球門越近，射進球門的機會越高。
- 四、光足球遊戲運用光的反射現象，不但具有學理性，也兼具趣味性，可做為學習光的特性時的引起動機。

捌、參考資料

蘇建中（2014）· 自然與生活科技四上· 台南市：南一。

Gomdori Co.（2013）· 科學發明王 3 光與影子· 臺北市：三采文化。

池內豐（2010）· 漫畫少年足球百科· 臺北市：三采文化。

維基百科· 取自 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%BF%80%E5%85%89%E7%AC%94>

11 人制足球賽規則· 取自 <http://www.cgps.tyc.edu.tw/worldcup/history/history08.htm>

樂樂足球比賽規則· 取自

<http://workshop.naer.edu.tw/blog/wpblog/sport/archives/2010/546.asp>

【評語】 080803

1. 很有趣的科學玩具，有創意！
2. 最後的研究方向，宜著重在角度位置與進球與否的探討，做出明確的歸納分析，才更具研究價值。