嘉義縣國民中小學
科學展覽會作品說明書

屆　　別：65

科　　別：物理

組　　別：國小組

作品名稱：讓紙彈飛part 2

關 鍵 詞：紙彈　準確度　偏移率

編　　號：A126

附件 8：作品說明書封面

嘉義縣第 65 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書（封面）

科　　別：物理科

組　　別：　國小組

作品名稱：　讓紙彈飛…更高

關鍵詞：紙彈　　偏移率　　　（最多三個）

編號：（系統自動產生）

附件 9：

作品說明書內文

裝

作品名稱　讓紙彈飛…更高

壹、研究動機

上學期在上完第四單元「力與運動」後，老師安排了一個延續的課程，老師說這個是他以前帶學生的實驗，特別交待「這個很危險」，印象最深的是還要學生簽「安全注事項意向書」，原以為老師跟大其詞，後來在操操作的時驚訝的發現，這小小的一張便條紙，竟然可以經易的射得四、五樓高，所以後來老師開的科展題目，我們就選擇做「讓紙彈飛—更高」。

貳、研究目的

一、檢證先前研究「讓紙彈飛」研究成果

(一)紙彈外觀長度、與寬度對飛行距離與準確度的影響。

(二)正方形製作的對角捲紙彈的紙彈射程與準確度。

(三)透過測量紙彈重心位置，比較不同紙彈重心位置的影響。

二、透過製作工藝的改變，改變紙彈重心，比較不同重心的響影。

(一)以 76mm*76mm 便條紙製作開口夾角 20°、30°、40°不同的紙彈，比較效果。

(二)以 76mm*101mm 長方形便條紙製作開口夾角 20°、30°、40°不同的紙彈，比較效果。

訂

(三) 以對角線 107㎜*80m 菱形，製作兩種規格紙彈。

1.以 107㎜ 對角線為軸心，長度 53.5㎜、開口 30°的長紙彈，開口 30°。

2.以 80㎜ 對角線為軸心，長度 40㎜、開口 30°的短紙彈。

(四)加入 1M 釘書針為軸心，製作 76㎜*76㎜，開口 30°的標準紙彈。

參、研究設備及器材

76㎜*76㎜、76㎜*101㎜ 便條紙、#18 橡皮筋、皮尺、1m 鋁尺、舊課桌、12 吋水管接頭、珍珠板

肆、研究過程或方法

一、文獻探討:

(一)物體在飛行過程，會受重力、推動力與空氣作用力的影響。

(二)本實驗推動力以#18 號橡皮筋為動力，有彈性疲乏與極限的問題。

(三)氣體通過飛行器表面，受製於飛行器形狀，會產生不同方向的「力」。速而造成飛行器上升、或偏移，速度愈快影響愈大。

(四)重心會影響飛行姿態與穩定性。

線

(五)重心，指的是物體的質心，物體綜合受力的點，對稱物體的重心位於軸心上，等腰三角形可用懸吊的方式測出重心。大小不同的等似三角形，其重心

位置相等。

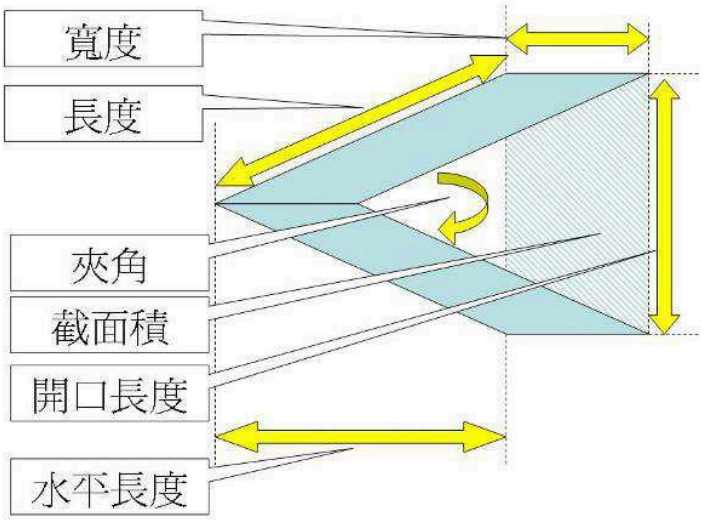
(六)依「讓紙彈飛」研究成果，紙彈寬度愈小，射程愈遠，若限制相同製作材料，長度則視為固定變因。

(七)水平發射與垂直發射對傳統紙彈有較大的大影響，水平發紙會較較遠的飛行距與較小的偏移率。與對圓柱狀的紙彈影響，會隨著粗細而異。

(八)名稱定義:

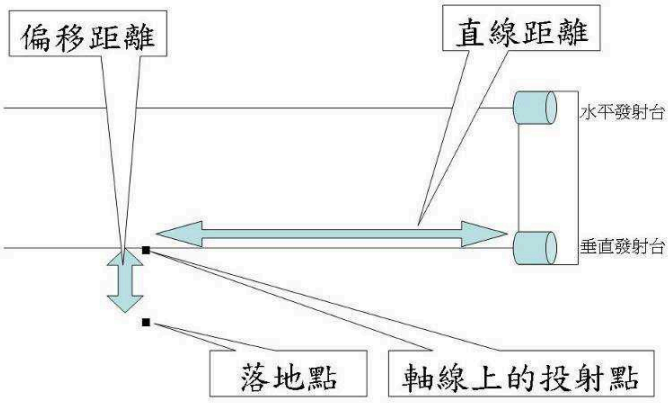
為延續實驗的相容性，本研究有關紙彈相關名詞定義，沿用前人研究「讓紙彈飛」為主。

1. 外形名詞：如圖一所示:與前研究差異主要為本次研究紙彈夾角為固定，利用硬性瞬間膠固定不同紙彈的夾角。



圖一，取自「讓紙彈飛」p4

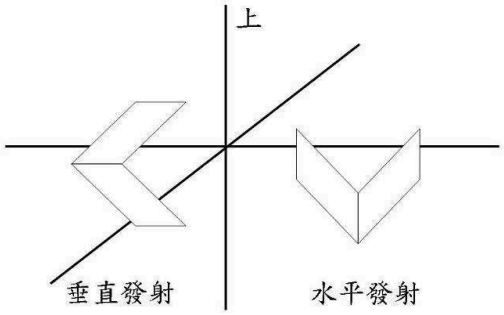
2. 距離測量名詞定義：



圖二，取自「讓紙彈飛」p4

3. 偏移率:依前研究定義所指，偏移率=(偏移距離÷直線距離)*100%

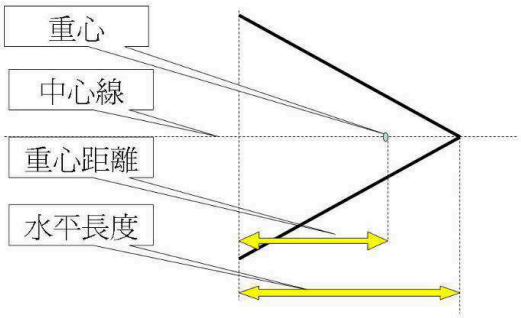
4. 水平發射、垂直發射:指紙彈兩幅翼尾端連線為標，如圖三所示。



圖三，取自「讓紙彈飛」p5

5. 準確度：以發射器中心的水平投射為圓心，半徑每 10cm 繪製同心圓，最內圈為 10 分，往外圈遞減，因材料尺寸，計至第八圈，超過標計為 0 分。

6. 重心位置:以重心距離÷水平長度、百分比化標示，數質大表示重心愈靠前。



圖四，重心位置示意圖，取自「讓射彈飛」p5

二、研究設計:

(一)前人研究以 101mm*101mm 的便條紙為材料，因未尋得相同廠家規格的便條紙，改以 76mm*76mm 規格取代(4g/10 張)，並進行「小寬度紙彈」與「對角捲紙彈」測試，檢證其研究成果是否能通用。設計實驗一，比較 76mm*76mm 便條紙，八摺製作的寬度 9mm*38mm 的紙彈與對角捲長度 53.5mm 的紙彈，進行水平與垂直發射，檢證前研究結論「對角捲紙彈發行效果優異」與「水平發射較垂直發射有較遠的飛行距離與較少的偏移率」。並以結果選擇一種發射方式。

(二)為了控制動力來源的穩定與減少橡皮筋的彈性疲乏因素，製作發射台，統一發射動力。

(三)對角捲紙彈因製作流程，重心的改變僅能透過夾角改變，故本次紙彈設計夾角 20°、30°、40°三種角度紙彈，並使用瞬間膠固定夾角。測量紙彈重心位置，百份比化以利比較。

(四為平衡誤差的影響，本實驗各測試使用各規格紙彈*10，減少紙製品損耗與人工製程的影響。

(五)準確度以標靶方式測量，依前研究，標靶置於發射台前 2 公尺，標靶中心與發射台等高，以十公分為單位，劃設等份同心圓，實驗紀錄採績分制，方

便比較。

三、研究過程：

（一）研究一：以 76mm*76mm 製作的傳統型紙彈，其飛行效果與前人研究 101mm*101mm 的傳統紙彈是否具備相同的規律特性。

	傳統紙彈(9mm*38mm)垂直						傳統紙彈(9mm*38mm)水平					
夾角	20°		30°		40°		20°		30°		40°	
	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離
重心距離	44.46%		45.28%		54.48%		44.46%		45.28%		54.48%	
1	260	8	219	5	242	0	410	61	380	82	266	56
2	320	31	140	0	269	13	510	4	440	50	410	47
3	251	50	253	0	389	49	580	38	445	65	436	74
4	280	24	320	63	452	39	657	2	468	80	454	76
5	263	143	330	32	449	39	475	99	502	34	446	56
6	410	29	378	84	599	9	476	110	605	125	485	22
7	418	0	397	27	605	105	387	11	635	161	562	78
8	500	99	438	25	415	42	541	0	556	140	593	5
9	541	99	534	120	394	155	440	155	410	5	599	41
10	569	21	561	55	490	136	413	64	496	77	731	51
小計	3812	505	3570	412	4304	588	4889	543	4936	819	4981	505
平均	381.2	50.53	357	41.24	430.4	58.79	488.9	54.34	493.6	81.9	498.1	50.5
偏移率	0.133		0.116		0.137		0.111		0.166		0.101	
總平均	389.5233333						493.5333333					
平均偏移	12.82%						12.62%					

表 1：76mm*76mm 傳統型紙彈實驗數據

研究討論

1. 比較垂直發射 20°、30°、40°的平均距離與偏移：

當紙彈垂直發射時，開口夾角 20°、30°、40°的紙彈，多在 400cm 左右，偏移距確 40cm~60cm 之間，開口夾角對偏移率在此次測試實驗中並沒有觀察到明顯的關聯性。

2. 比較水平發射 20°、30°、40°的平均距離與偏移：

當紙彈水平發射時，開口夾角 20°、30°、40°的紙彈，接近 500cm 左右，

偏移距確 50cm~80cm 之間，開口夾角與偏移率在此次測試實驗中並沒有觀察到明顯的聯聯性。

3. 原本預期開口夾角越小，重心位置會越大，但實際測量後反而開口越大(40°)紙彈，重心位置越大(靠前)，所以在兩種發射發式的測試中，飛行距離最遠都是開口角度最大的。預期較大的夾角造成截面積較大，會減損紙彈的飛行效果，這此推論，重心位置的影響更甚於截面積的影響。

4. 比較水平與垂直發射的差異：

水平發射方式平均飛行距離 493.53cm，明顯高於垂直發紙的 389.5cm，兩者相差約 104cm，水平發射飛行效果提昇超過 25%，與前人研究結果(如下表 2)相似。

	水平發射 寬度對距離的影響									
	寬度一 (9.15mm*50mm)		寬度二 (13.75mm*50mm)		寬度三 (16.70*50mm)		寬度四 (21.85mm*50mm)		寬度五 (34.65mm*50mm)	
	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離
平均	631.8	70.09	443.5	61.05	337.3	73.07	230.3	75.33	170.6	66.89
平均距離	362.7									
偏移率		0.1109		0.1377		0.2166		0.3271		0.3921
平均偏移	0.236881189									
	垂直發射 寬度對距離的影響									
	寬度一 (9.15mm*50mm)		寬度二 (13.75mm*50mm)		寬度三 (16.70*50mm)		寬度四 (21.85mm*50mm)		寬度五 (34.65mm*50mm)	
	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離
平均	554.8	80.02	424	91.31	279.1	48.55	257	90.08	144.3	29.33
平均距離	331.84									
偏移率		0.1442		0.2154		0.174		0.3505		0.2033
平均偏移	0.217460172									

表 2:水平發紙與垂直發射距離與偏侈率，取自「讓紙彈飛」實驗一-6，p11。

4. 結論: 開口夾角連帶影響紙彈的截面積、重心，在本實驗中尚未列為探討因素，就現有變因資料而言，紙彈的開口夾角對飛行並無明顯的影響，但發紙射方式的影響與前人的研究結果一致，就傳統紙彈而言，水平發射比垂直發射的飛行距離，這一特性在 101m 便條紙與 76mm 便條紙製作的傳統紙彈上表現一致。

(二)研究二：以 76mm*76mm 製作的對角捲紙彈，其飛行效果與前人研究 101mm*101mm 的對角捲紙彈是否具備相同的規律特性。

	對角捲紙彈(53.5mm)垂直						對角捲紙彈(53.5mm)水平					
夾角	20°		30°		40°		20°		30°		40°	
	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離
重心距離	71.1%		69.6%		65.8%		71.1%		69.6%		65.8%	
1	574	63	346	16	555	40	695	43	482	65	500	0
2	592	140	658	37	663	80	890	0	480	100	680	7
3	624	143	650	54	680	100	765	7	572	5	701	11
4	800	25	691	11	736	30	981	41	670	70	784	73
5	856	97	700	10	735	29	1034	13	800	*150	848	2
6	968	16	731	23	780	65	1262	60	820	*460	874	6
7	1046	84	782	0	860	0	1351	52	950	30	971	21
8	1162	*381	817	55	1047	65	1465	17	1040	15	1020	24
9	1338	*330	863	96	1068	85	1544	90	1087	0	1073	33
10	1400	0	1400	60	1220	0	1576	56	1274	*173	1197	42
小計	9359	1278	7638	362	8343	494	11562	378	8174	1068	8647	217
平均	936	128	764	36	834	49	1156	38	817	107	865	22
偏移率	0.137		0.047		0.059		0.033		0.131		0.025	
總平均	844.7						946.1					
平均偏移	8.10%						6.28%					

表 3:76mm*76mm 製作的對角捲紙彈實驗數據

研究討論

1. 比較垂直發射 20°、30°、40°的平均距離與偏移：

當紙彈垂直發射時，開口夾角 20°、30°、40°的紙彈，飛行距離在 700cm~900cm 左右，偏移距確平均 71cm 之間，開口夾角大小與飛行雖離、偏移率在此次測試實驗中並沒有觀察到明顯的關聯性。但表 3 中標注*號的數據過於異常，極可能是操作失誤的人因素，實驗數據可能失真，這部份實驗的操作方案，應可再精進，

2. 比較水平發射 20°、30°、40°的平均距離與偏移：

當紙彈顏發射時，開口夾角 20°、30°、40°的紙彈，飛行距離在 800cm 以上，偏移距確平均 55.6cm，開口夾角與飛行雖離、偏移率在此次測試實驗中並沒有觀察到明顯的關聯性。但表 3 中標注*號的數據與之前一樣出現異常，對於偏移率的探究造成判讀不易。

3. 夾角大小對飛行距離雖沒有明確的關聯性，但兩種發射方式的最遠距離均出

現在夾角 20°、重心位置最大的紙彈，而且是明顯高於 30°與 40°的紙彈。

3. 在垂直發射方式時，偏移率有隨重心距離越大偏移率越小的頃向，或因發射方向造成的氣流影響不同，水平發射就沒有觀察到這個趨勢

4. 水平與垂直發射的差異。

水平發射方式平均飛行距離 946.1cm，明顯高於垂直發紙的 844.7cm，兩者相差約 101.4cm，水平發射飛行效果提昇超過 12%，與前人研究結果(如下表 3)相反。

101mm*101mm 對角捲紙彈的實驗				
	垂直發射		水平發射	
	飛行距離	偏移距離	飛行距離	偏移距離
平均	933.2	45.2	878.1	26.5
平均距離	905.65			
偏移率		0.0484		0.0302
平均偏移	0.039307143			

表 2:水平發紙與垂直發射距離與偏侈率，取自「讓紙彈飛」實驗四，p25。

4. 結論:

①以 76mm 製作的對角捲紙彈，同樣材料的前提下，飛行距離與偏移均遠優於傳統紙彈的表現，這與前人實驗結果相同。

②垂直發射與垂直發射對飛行距離的影響，與前次研究相反。對比傳統紙彈「水平發射方式優於垂直發射方式」此一特點，在對角捲紙彈上並未觀察到。考量物體外形因素對飛行影響甚大，傳統射彈垂直發射時上、下方空氣產生的力，可能會產生較水平發射較大直接影響，唯這一部份需另行設計實驗探討。

(三)研究三:改變紙彈重心(截面積) 以對角線 107mm*80m 菱形，重 0.2 克，製作兩種規格紙彈。以 107mm 對角線為軸心，長度 53.5mm、開口 30°的長紙彈，開口 30°。另以 80mm 對角線為軸心，長度 40mm、開口 30°的短紙彈。

	80mm 對角線為軸心，長度 40mm (短的)					107mm 對角線為軸心 長度 53.5mm (長的)			
	水平發射		垂直發射			水平發射		垂直發射	
	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離		直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離
重心位置	74.96%					68.51%			

1	893.6	0	139.5	19	1	413	43	1400	0
2	928	35.5	335	42.5	2	693	21	680	0.5
3	945	44.4	443	64.3	3	725.5	42	1400	0.5
4	934	60.4	518.5	71.3	4	860	50	680	100
5	965.5	49.5	1400	0	5	824.8	56.3	1400	30.5
6	1063	39.5	590	0	6	900.4	104	1513	260
7	1081	19.7	590	8.5	7	934.5	88	1751	18.8
8	1069	49.3	680	0	8	1220	0	1400	123.6
9	1118	147.7	858.2	97	9	1394	30	1090	7
10	1400	62	1022	8.7	10	1400	0	820	3.5
小計	10396	508	6576	311	小計	9365	434.3	12134	544.4
平均	1040	50	658	31	平均	658	31	1213	54
平均距離	849					935.5			
偏移率		4.81%		4.71%	偏移率		4.71%		4.45%
平均偏移率	4.76%					4.64%			

表 4:菱形便條紙製作兩種規格的對角捲紙彈實驗數據

研究討論:

1. 經裁切的便條紙製作兩種紙彈，其重量為原大小紙張的一半，紙彈重量由 0.4 克降為 0.2 克，短版(長度 40㎜)外觀較為不同，長版(長度 53.5㎜)的則與原版一樣，長版飛行距離(935.5cm)較短版高出 10%左右，與原版的飛行距離(844.6cm、946..1cm)並無明顯差異。在減少一半重量狀態下，長版、短版紙彈外形長度是影響的飛行距離的最大因素。較長的外形，末端能提供較高的阻力，維持的穩定形態。
2. 相較於原版的紙彈，飛行距離雖沒有明顯的差異，但偏移率由 8.1%、6.28%雙雙降至 4.76%、4.64%。菱形便條紙製作的長短版紙彈，重心位置在 68.51%~74.96%，對體而言重心位置有較原版更靠前端，推論重心越靠前端紙

彈的偏移會越小。

(四)研究五:增加前端比重

經過研究三、四的結果，各形式對角捲紙彈(重心距離 65%以上)飛行距離多在 900cm 上下，與重心位置並無明顯的關聯，但偏移率有隨著重心位置改善的頃向，研究五透過外加配重的方式檢證重心位置是否對偏移率有影響，製作紙彈時，中心加入 1M 釘書針，經測量重心位置達到 70%以上。

	釘書針紙彈水平		釘書針紙彈垂直	
夾角	30		30	
	直線距離	偏移距離	直線距離	偏移距離
重心位置	70.60%			
1	509	10.5	427	0
2	544	7	590	35.9
3	860	194.7	680	0
4	906	17.4	680	0
5	1111	49.3	707.1	33.5
6	1105	10	860	0
7	1168	192	950	0
8	1220	50	270	0
9	1340	0	584	35.5
10	1511	0	714	0
小計	10274	530.9	6462.1	104.9
平均	1027	53	*646*	*10*
偏移率	0.051674	5.10%	*0.01623*	*1.50%*
總平均	836.5			
平均偏移	0.033			

表 5:釘書釘紙彈實驗數據。

研究討論:

1. 釘書針紙彈雖平均飛行距離並無明顯提昇，但在水平發射時出現 1300CM 以上的射擊距離，且多次出現 1100CM 以上的數據，這部份可再做嚴謹的實驗探討。
2. 本實驗結果顯示，釘書針紙彈平均偏移率 3.3%，為各類紙彈中最優，可以推論重心越靠前，偏移率越小。

(五)研究四:對角捲紙彈的準確度:

前人研究對角捲紙彈準確度高於傳統紙彈，本實驗更深入探討各敗對角捲紙彈在不同重心(夾角)對其準確度的影響。

	對角捲紙彈(53.5mm)水平			對角捲紙彈(53.5mm)垂直			長度40mm(短的)	長度40mm(短的)	長度53.5mm(長的)	長度53.5mm(長的)	釘書針紙彈	釘書針紙彈
夾角	20°	30°	40°	20°	30°	40°	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直
重心位置	71.1%	69.6%	65.8%	71.1%	69.6%	65.8%	74.96%		68.51%		70.60%	
	得分	得分	得分	得分	得分	得分	得分	得分	得分	得分	得分	得分
1	10	8	7	7	8	8	10	8	8	10	9	10
2	8	8	8	8	10	9	8	9	8	8	9	10
3	10	10	10	6	9	8	9	8	9	9	9	10
4	10	10	8	9	7	10	8	9	9	9	9	9
5	9	9	8	10	9	7	8	9	7	10	9	9
6	9	9	10	10	10	10	9	10	8	10	8	9
7	10	8	10	7	8	9	10	8	9	9	6	10
8	8	7	9	8	9	8	9	9	10	9	8	9
9	9	9	9	8	8	7	8	10	10	8	10	8
10	8	10	9	9	10	7	8	8	10	10	9	9
小計	91	88	88	82	88	83	87	88	88	92	86	93
平均	9.1	8.8	8.8	8.2	8.8	8.3	8.7	8.8	8.8	9.2	8.6	9.3
平均	8.9			8.433333333			8.75		9			
總平均	8.666666667						8.875				8.95	

表 6: 各類對角捲紙彈準確度

研究討論:

透過測量，各類對角捲紙彈平均得分都在 8.5 以上，隨著重心前移，平均得分也逐漸上昇，數據顯示重心越靠前準確度也會跟著提昇。

伍、研究結果與討論

一、以 76mm 便條紙製作的紙彈，其飛行特性與 101mm 製作的紙彈相似，在傳統紙彈方面，水平射擊飛行效果優於垂直射擊，但在對角捲紙彈則出現相反的現象，前人其餘各類數據應可作為比較討論。

二、以邊長 76mm 便條紙裁切為 80mm*107mm 菱形，分別以不同對角線製作兩種版本的紙彈，雖然重量下降為原本的一半，但飛行距離與原版相近，落在 850cm~950cm 之間，沒有特別差異處，但偏移率有明顯下降，之後的準確率也有沒提昇。

三、長版菱形紙彈外形大小長短與原版一樣，重量由 0.4 克降至 0.2 克，重心位置與原版 30°夾角的紙彈相近，但準確率、偏移率都有改善，這部份紙彈重

量、重心位置之間是否存在關聯，則需再研究。

四、透過增加射彈前端重量，改變紙彈重心的方式，本實驗礙於製作限制，無法製作「2 支釘書計」、「3 支釘書針」…等不同配重物的紙彈，若有機會可考慮改用不同號數的鐵絲製作，作為改變重心的手段。

五、本實驗各類對角捲紙彈，平均飛行距離在 900cm 上下，夾角、重心的改變並沒有明顯影響，但在偏移率、準確度上可以有所提升。

六、前人 101mm 便條紙製作的紙彈，平均飛行距離在 900m 上下，本實驗以 76mm 便條紙製作，在較輕的重量、較小的截面積件下，平均飛行距離也在 900cm 左右，雖最佳成績可達 1400cm 以上，但以單一發射動力而言，或許平均 900cm 是紙的飛行極限。

七、「增加發射動力是否能增加飛行距離」此一問題，參照研究三的實驗，在相同的發射動力，發射外觀相同、重量較輕的紙彈時，橡皮筋能提供長版菱形紙彈較高的推動比，但並未有明顯的增加飛行距離，故在增加發射動力(使用兩橡皮筋)是否增加飛行距離的假設，小組是偏向否定態度。但後續仍可做為研究方向之一。

八、加入外物配重的釘書針紙彈，平均飛行距離沒有明顯提昇，但測得超過 1300cm 以上距離的次數明顯變多，在這樣製作修件下，若可推論為飛行狀態不穩定，造成這般狀態，但其準確度、偏移率卻又有明顯的改善，這部份尚目前比較可能是人為操作的因素。

陸、結論

一、101mm 與 76mm 便條紙學作的對角捲紙彈，飛行效果相近，平均飛行可達 900cm 以上。

二、改變紙彈夾角(重心位置)對飛行距離沒有明顯的效益，但能改善偏移率與提高準確度。

三、紙彈外形的流線、對稱性，會比重量、推動比對紙彈的飛行距離影響力更大。

四、加入外物配重的狀況下，平均飛行距離沒有明顯提昇，但出現 1300cm 以上的次數變多，這與發射技巧、與越快越不穩定有一定關係。

柒、參考文獻資料及其他

一、翰林出版社五下第四單元，4-2 力的測量。

二、https://n.sfs.tw/content/index/12012?noframe=true 弓與箭(10) 箭簇與重心 科學五四三 2011/04/19 科學五四三 2011/04/19

三不周箭頭重量與發距離對箭著精度的影響-2006 國立體育學院論叢 陳詩園 洪得明 邱炳坤

四、第五十二屆「讓紙彈飛」