

投稿類別：物理類

篇名：
電池你會跳多高？

作者：
涂家甄。市立景美女中。高三信班
郭千瑀。市立景美女中。高三信班
楊詠雯。市立景美女中。高三信班

指導老師：
游慈卉老師

壹●前言

一、研究動機

今年暑假，有一次和家人一起看新聞時，看到了一則關於摔電池可以測電量的新聞，於是便產生了疑問：究竟是甚麼原因，讓電池可以用「摔的」來測量電量呢？所以在好奇心的驅使下，我們開始上網找資料，發現電池之所以可以用「摔的」來測量電量，是因為當電池放電時，原本凝膠態的鋅（以鹼性電池為例）會形成緻密且具滲透性的固態狀氧化鋅，而這樣的變化會增加電池的反彈能力，所以當電池電量降低時，它的反彈高度便會隨之增加。而此時我們又萌生了一個想法：若以太白粉與水的混合物來模擬電池的內部，寶特瓶模擬電池的外殼，是否也可以達到一樣的效果呢？又言，電池的彈跳高度和電量真的存在這樣的關係嗎？

二、研究目的

- (一) 了解為何可以摔電池來測量電池的電量。
- (二) 了解電池在不同電量下的反彈情況。
- (三) 比較電池本身不同的條件是否會影響電池的反彈情況。(以太白粉與水之混合物、麵糰與麵糊之混合物與寶特瓶模擬)
- (四) 以模擬之實驗結果與電池真實之實驗結果作比較。
- (五) 歸納電池電量及內部性質與反彈高度的之關係。

三、研究方法

此研究由兩個部分組成，分別為電池實驗以及寶特瓶模擬，而第二部分又分為兩個階段。在第一階段中，為求模擬電池內部於不同電量時的電解液變化，故我們以麵糰及麵糊之混合物來模擬之；至於第二階段，因僅探究外在因素及質量對於彈跳的影響，故我們以太白粉與水之混合物來模擬電池電解液。

實驗過程如下：

(一) 電池實驗

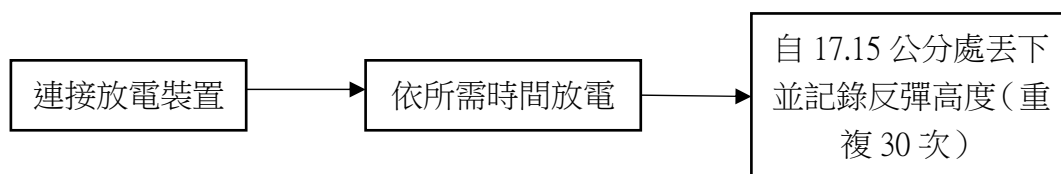


圖 1 電池實驗

(二) 寶特瓶實驗

1. 以麵糰與麵糊之混合物模擬電解液

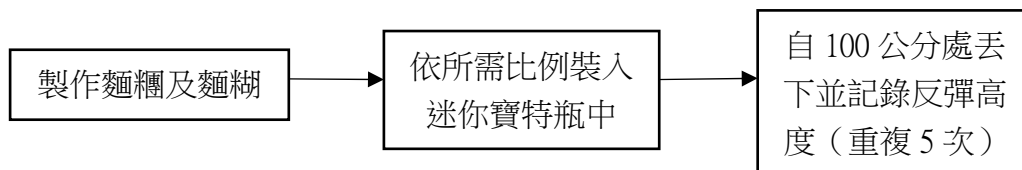


圖 2 寶特瓶實驗第一階段

2. 以太白粉與水之混合物模擬電解液

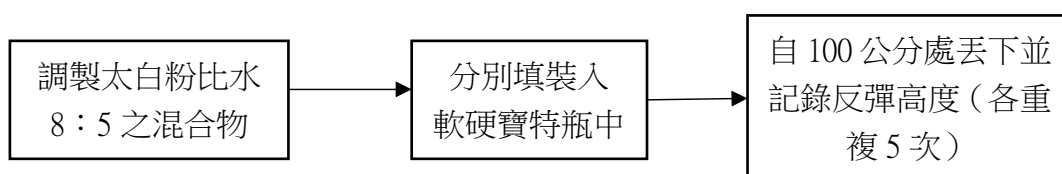


圖 3 第二階段實驗一 比較軟硬寶特瓶之反彈高度

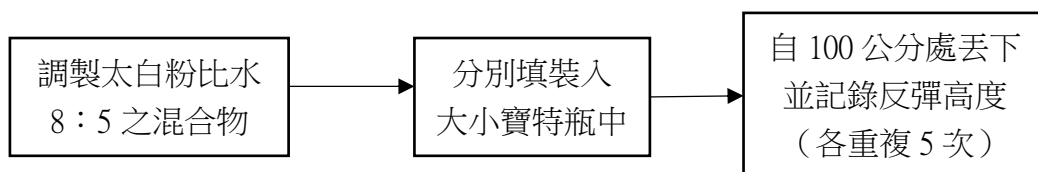


圖 4 第二階段實驗二 比較大小寶特瓶之反彈高度

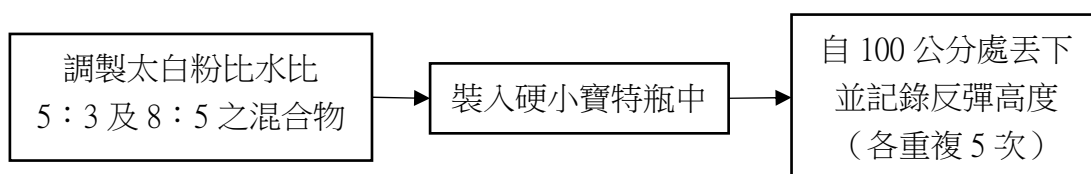


圖 5 第二階段實驗三 改變填充物之比例，比較寶特瓶之反彈高度

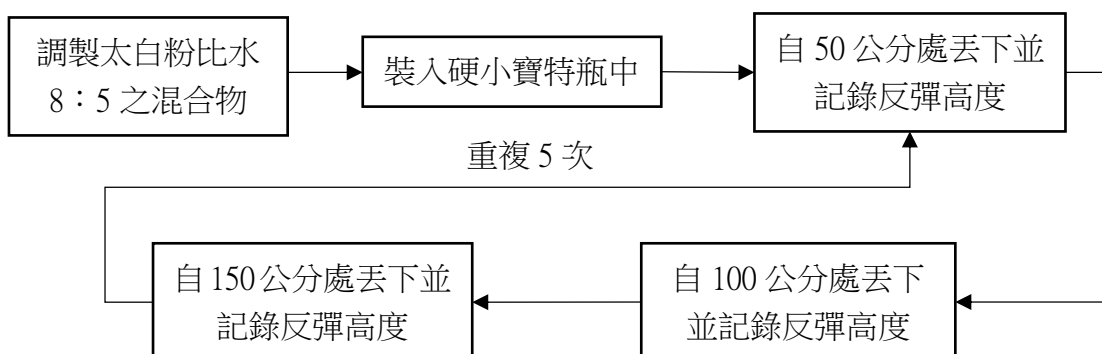


圖 6 第二階段實驗四 改變丟下寶特瓶之高度，比較寶特瓶之反彈高度

貳●正文

一、關於電池與碰撞

一般而言，相同材質的物體，由相同高度釋放後，反彈高度應固定，但「當鹼性電池放電時，其內部原本凝膠態的鋅會形成緻密且具滲透性的固態狀氧化鋅，進而增加電池的彈力」，於是當電池的電量越低，電池的反彈高度便會越大，意即電池內部固態物質比例愈高，電池的反彈高度越大。而丟電池來測電量的這個動作，就是所謂的碰撞。碰撞分為兩種，「若兩物體碰撞前後，總動能不變，則稱為彈性碰撞；若碰撞前後，兩物體之總動能改變，則稱為非彈性碰撞」（簡玉蘭，2016）。本次實驗的第二部分第一階段，即是要模擬電池內部固態成份越高，反彈高度越大的這種現象。

二、關於實驗材料的選定

在第二部分的第二階段實驗中，我們以太白粉與水之混合物來模擬電池內部的電解液。由於以特定比例混合太白粉與水，可使混合物具有黏滯性，「大體而言，流體的黏滯性指的是流體內阻礙流動之本性的一種量度」（洪儒熙、方淳民、黃仁偉，2011）故在此次實驗中我們選擇以此混合物來模擬電池內部的電解液，並且依次改變寶特瓶的軟硬、大小，以及瓶內的填充物之比例和寶特瓶丟下時的高度，藉此探究不同的內部及外部條件，是否會造成寶特瓶反彈高度的差異。

三、研究結果及討論

（一）電池實驗

1. 在此實驗中，我們將鹼性電池分別以電阻及小燈泡放電不同的時間，並將放完電後的電池由 17.15 公分處丟下，藉以觀察電池電量與彈跳高度的關係。
2. 由此實驗，我們得到電池電量與反彈高度呈現一曲線關係，在電池以小燈泡放電 5 至 6 小時（300 至 360 分鐘）時，電池之彈跳高度達到最高點，到了 7 小時（420 分鐘）時，彈跳高度又開始往下降，且電池在放電時間未超過 90 分鐘前，彈跳高度並沒有明顯差異。
3. 由於電阻之電流遠小與小燈泡之電流，且小燈泡在放電時間 90 分鐘內彈跳高度並沒有明顯的變化，故本研究未將電阻之實驗結果納入。
4. 由文獻我們得知，放電時間與彈跳高度應呈一正相關性（註 1），意即放電時間越長彈跳高度應該越高。但我們所作出的實驗結果為一曲線關係，與其研究結果不符，我們推測也許是因為其記錄彈跳高度的方式是用錄音分析兩次落地時間點，並計算其彈跳高度，而我們是以照片快速連拍紀錄找到彈跳最高點，紀錄方式的不同導致結果不同。但

電池你會跳多高？

為何會出現如此大的差異，仍有進一步討論的空間。

表 1 電池電量與彈跳高度之關係

釋放高度 h_1 (cm)	彈起高度 h_2 (cm)	標準差	放電時間 (min)	電流 (A)	$\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$
17.15	2.47	0.11	0	0	0.38
17.15	2.70	0.62	60	0.12	0.40
17.15	2.62	0.29	90	0.12	0.39
17.15	2.97	0.37	105	0.12	0.42
17.15	4.11	0.32	120	0.12	0.49
17.15	4.33	0.61	150	0.12	0.50
17.15	5.17	0.34	165	0.12	0.55
17.15	5.24	0.69	180	0.12	0.55
17.15	6.58	0.37	240	0.12	0.62
17.15	6.84	0.87	300	0.12	0.63
17.15	6.94	0.55	360	0.12	0.64
17.15	6.38	0.67	420	0.12	0.61
17.15	6.40	0.92	465	0.12	0.61
17.15	4.92	0.47	480	0.12	0.54
17.15	4.75	0.41	540	0.12	0.53
17.15	4.87	0.94	660	0.12	0.53
17.15	4.66	0.49	780	0.12	0.52
17.15	6.21	0.38	995	0.12	0.60

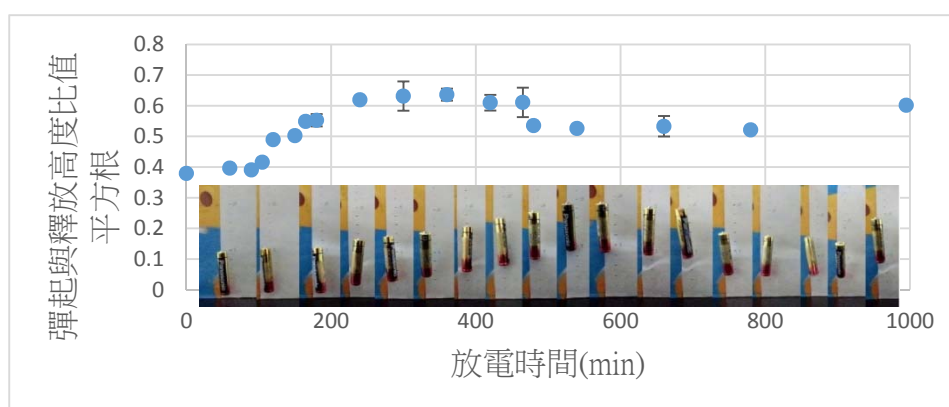


圖 7 電池彈起與釋放高度比值平方根與放電時間之關係圖

- 為了更加了解電池的內部構造，我們拿了一顆未放電的鹼性電池將其剖開，並且發現電池的電解液外頭包有像紙的構造，而內部的電解液有點類似麵糊的狀態。

電池你會跳多高？

- 在本實驗中，其中有一顆電池，我們以小燈泡放電 16 小時 35 分鐘，是放電時間最長的一顆電池，但其彈跳高度卻僅略低於放電 5 至 6 小時（300 至 360 分鐘）時之彈跳最高點，未來我們應研究放電時間更長之情況，並了解當放電時間極長時，電池內部狀態是否有明顯改變。

(二) 寶特瓶模擬

1. 以麵糰與麵糊之混合物模擬電解液

- 由於在第一部分的實驗中，我們將未放電的電池剖開，並發現電池電解液的狀態類似麵糊，而由參考文獻中，我們亦得知在電池放電的過程中，電池的電解液會逐漸轉變為固態的氧化鋅，故我們決定以麵糰以及麵糊的混合物來模擬電池內部電解液的變化。
- 在這項實驗中，我們將麵糰與麵糊混合物以麵糊 100%、75%、50%、25%、0% 的比例分別裝入罐中，從 100 公分處丟下並測量彈起高度，藉以模擬電池於完全未放電、放電四分之一、放電一半、放電四分之三及完全放完電時的情況，並且得到與電池實驗相同的結果，意即電池之彈跳高度與電量呈一曲線關係。

表 2 混合物比例與彈跳高度之關係

比例	釋放高度 h_1 (cm)	彈起高度 h_2 (cm)	標準差	$\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$
麵糰 100% 麵糊 0%	100	35	7.07	0.59
麵糰 75% 麵糊 25%	100	50	5	0.71
麵糰 50% 麵糊 50%	100	50	5	0.71
麵糰 25% 麵糊 75%	100	49	4.18	0.70
麵糰 0% 麵糊 100%	100	47	9.74	0.69

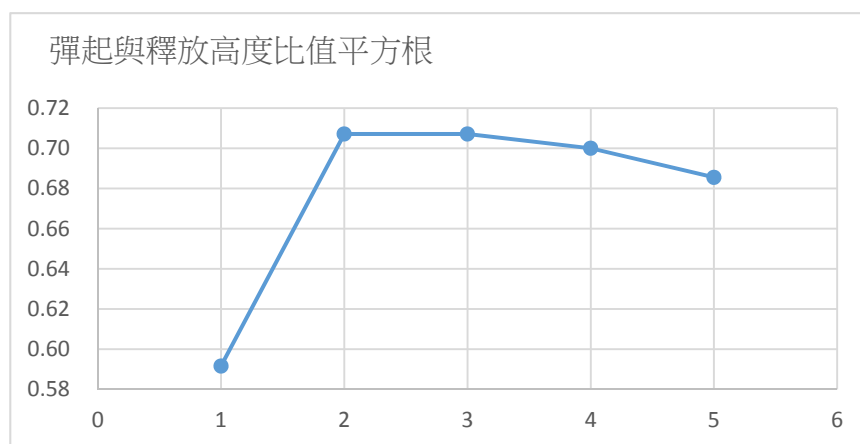


圖 8 混合物彈起與釋放高度比之平方根之關係圖

2. 以太白粉與水之混合物模擬電解液

- (1) 在實驗一中，依實驗測得，填充太白粉與水之混合物的軟寶特瓶之平均彈起高度為 8.4 公分；而填充太白粉與水之混合物的硬寶特瓶之平均彈起高度為 55 公分，故推測瓶子材質越硬，彈起高度越高。
- (2) 在實驗一中，依實驗測得，填充水的軟寶特瓶之平均彈起高度為 23.2 公分，與填充太白粉與水之混合物的軟寶特瓶比較，推測填充物之密度越高，彈起高度越低。

表 3 實驗一 比較軟硬寶特瓶之反彈高度

比例：8:5 (粉:水) 丟下高度：100cm 填充份量：整瓶						
使用瓶子	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
軟大 (混合物)	8cm	11cm	3cm	12cm	8cm	8.4cm
軟大 (水)	24cm	23cm	22cm	24cm	23cm	23.2cm
硬大 (混合物)	55cm	55cm	55cm	55cm	55cm	55cm
硬大 (水)	65cm	55cm	63cm	60cm	65cm	61.6cm

- (3) 在實驗二中，依實驗測得，填充太白粉與水之混合物的大寶特瓶之平均彈起高度為 55 公分；而填充太白粉與水之混合物的小寶特瓶之平均彈起高度為 55.4 公分，故得知瓶子的大小不影響彈起高度，而填充水的寶特瓶之實驗結果亦與此符合。

表 4 實驗二 比較大小寶特瓶之反彈高

比例：8:5 (粉:水) 丟下高度：100cm 填充份量：整瓶						
使用瓶子	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
硬小 (混合物)	54cm	52cm	56cm	60cm	55cm	55.4cm
硬小 (水)	65cm	65cm	65cm	68cm	65cm	65.6cm
硬大 (混合物)	55cm	55cm	55cm	55cm	55cm	55cm
硬大 (水)	65cm	55cm	63cm	60cm	65cm	61.6cm

- (4) 在實驗三中，比較填充物粉與水比例 8：5 (比值 1.6) 與 5：3 (比值 1.67) 之數據，得知 8：5 時平均彈起高度為 55.4 公分；5：3 時平均彈起高度為 45 公分，故推得粉占填充物比例越高，彈起高度越低。

表 5 實驗三 改變填充物之比例，比較寶特瓶之反彈高度

粉：水	使用瓶子：硬小		丟下高度：100cm		填充份量：整瓶	
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
5：3	45cm	35cm	45cm	55cm	45cm	45cm
8：5	54cm	52cm	56cm	60cm	55cm	55.4cm

- (5) 在實驗四中，第四次和第五次的數據與前三次差異極大，而在第五次實驗中瓶蓋破裂導致大量填充物噴出，因此推測此時填充物狀態不佳，故造成實驗誤差。
- (6) 在實驗四中，依據丟下高度 50 公分和 100 公分之數據，比較其彈起高度可推得丟下高度越高，彈起高度越高；但若加上丟下高度 150 公分之數據，那麼此結論將不成立，但由於在丟下高度 150 公分的實驗中，填充物狀態不佳，因而不採用此組數據。故僅由丟下高度 50 公分及 100 公分之數據推測，丟下高度越高，彈起高度越高。

表 6 實驗四 改變丟下寶特瓶之高度，比較寶特瓶之反彈高度

丟下高度	比例：8:5 (粉:水)		使用瓶子：硬小		填充份量：整瓶	
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
50cm	10cm	7.5cm	15cm	10cm	10cm	10.5cm
100cm	54cm	52cm	56cm	60cm	55cm	55.4cm
150cm	43.5cm	47.5cm	50cm	0cm	15cm	47cm

- (7) 由上述實驗結果可以推測，相同電量下，外殼越堅硬的電池可能較他款電池彈起高度高；電池的大小（3 號及 4 號電池）並不會影響其彈起高度。而測電量時，若丟下的基準點越高，則彈起的高度應越高。
- (8) 若僅討論電池放電 0 至 6 小時（0 至 360 分鐘）的情況，真實的電池情況為電量越低，彈起高度越大，意即質量越大，彈起高度越大。但由實驗三及實驗一中比較填充水和填充太白粉與水之混合物之實驗結果我們得知，填充之密度越大，意即質量越大，反彈高度越小。所以我們推測是由於太白粉與水之混合物性質類似非牛頓流體，受力大時（接觸面積大時），像果凍一樣，具有彈性，可能在撞擊地面時易產生形變，部分能量因形變而散失，故無法彈至較大的高度；而水為不容易壓縮的液體，撞擊時散失能量較少，故可彈至較大高度，因此造成了此結果。

參●結論

一、關於電池實驗

- (一) 電池電量與反彈高度呈現一曲線關係，且在以小燈泡放電 5 至 6 小時（300 至 360 分鐘）時，彈跳高度達到最高點；放電時間未超過 90 分鐘前，彈跳高度並沒有明顯差異。
- (二) 推測實驗結果與參考資料不同可能是由於紀錄方式的不同所導致，但確切原因仍有進一步討論的空間。
- (三) 電池的電解液內部的電解液有點類似麵糊的狀態。
- (四) 以小燈泡放電 16 小時 35 分鐘之電池，彈跳高度卻僅略低於電池彈跳最高點，未來我們可往放電時間更長之情況來研究，了解放電時間極長時，電池內部狀態是否有明顯改變。

二、關於寶特瓶模擬

- (一) 以麵糰與麵糊之混合物模擬電解液
 1. 以麵糰與麵糊混合物模擬電池電解液狀態，可得到與電池實驗相同的結果，證明電池確實是因放電後內部固態的比例變高，故彈起高度較未放電之電池為高。
- (二) 以太白粉與水之混合物模擬電解液
 1. 瓶子的硬度越大，彈起高度越高。
 2. 填充物密度越高，彈起高度越低。
 3. 瓶子的大小不影響彈起高度。
 4. 粉占填充物的比例越大，彈起高度越低。
 5. 推測丟下高度越高，彈起高度越高。
 6. 推測在相同電量下，電池外殼越硬，彈起高度越高；測量電量時，丟下高度越高，彈起高度越高。
 7. 推測電池的大小不影響其在相同電量下之彈起高度。
 8. 推測太白粉與水之混合物撞擊地面時，易因形變造成能量散失，故與水比較反彈高度時，會產生互相矛盾的情況。

9. 以實驗三之結果推測電池電量越低(質量越大),反彈高度越大。
(若僅討論電池放電 0 至 6 小時的情況)

肆●引註資料

註 1、Shoham Bhadra,^a Benjamin J. Hertzberg,^b Andrew G. Hsieh,^b Mark Croft,^c Joshua W. Gallaway,^d Barry J. Van Tassell,^e Mylad Chamoun,^f Can Erdonmez,^f Zhong Zhong,^g Tal Sholklipper^h and Daniel A. Steingart^{*b}. (2015). The relationship between coefficient of restitution and state of charge of zinc alkaline primary LR6 batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(18), 9395-9400.

註 2、簡玉蘭(主編)(2016)。**基礎物理(二)B 下冊**。臺南市：翰林出版事業股份有限公司。

註 3、洪儒熙、方淳民、黃仁偉(譯)(2011)。**物理(上)(第九版)**。台北縣：全華圖書股份有限公司。