

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040809

點火槍遙控器

學校名稱：臺中縣私立弘文高級中學

<p>作者：</p> <p>高二 黃以勒</p> <p>高二 劉奇軒</p> <p>高二 龔佳賦</p>	<p>指導老師：</p> <p>張義杰</p>
--	-------------------------

關鍵詞：赫茲、電磁波、檢波器

點火槍搖控器

摘要

本實驗利用電池、電線、LED 組成一簡單的迴路，並在迴路中連接一底片盒，底片盒中放置鋁箔球。利用點火槍，可以使電路由原先的斷路變成通路。改變底片盒中鋁箔球的數量、大小、並嘗試不同的金屬材料，研究點火槍與電路兩者之間的關係，希望能找出點火槍遠端搖控電路之秘密。

壹、研究動機：

偶然在書上看到，利用壓電式點火槍在使用時產生的電磁波，使得氧化鋁的表面熔化，讓原本的斷路變成通路。但由於氧化鋁的熔點高達 $2051^{\circ}C$ ，電磁波是否真的能令其熔化？我們對於這個論點深感懷疑，所以進行了以下的實驗。

貳、研究目的：

- 一、改變鋁箔球的大小，探討點火槍遠端搖控的效果與鋁箔球大小間的關係。
- 二、將鋁箔紙改成其它的導電物質，探討點火槍遠端搖控的效果是否依然存在。
- 三、探討點火槍是如何從遠端搖控電路，並嘗試增強及隔絕點火槍的搖控能力。

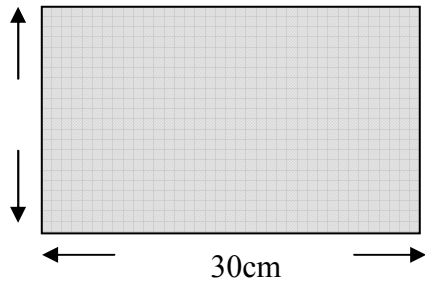
參、研究設備與器材：

- 一、器材：鋁箔紙、膠帶、雙面膠、LED、Led 燈、迴紋針、非訂書針、自動鉛筆筆心、鱷魚夾連接線、電線、漆包線、剪刀、直尺、壓電式點火器、電池、電池盒、塑膠墊板、塑膠杯、塑膠水管、毛料、金屬網

肆、研究過程或方法：

一、重做書上的實驗流程：

(一)準備一塊塑膠墊板，當作電路的底座。

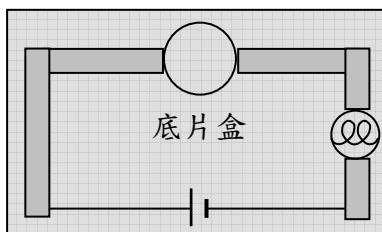


(二)將電池裝入電池盒，並在盒子後面貼上雙面膠，然後將電池盒固定在塑膠墊板上。

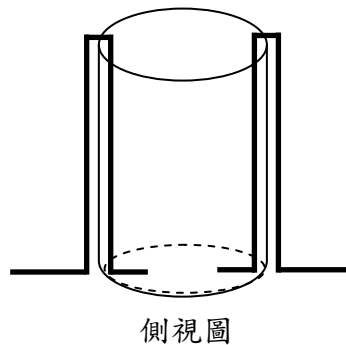
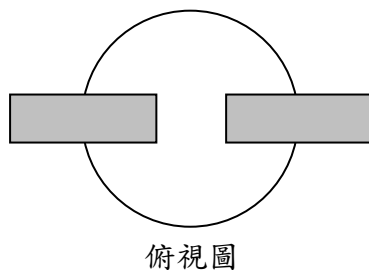


(三)將鋁箔紙折成條狀，充當電線使用，並用雙面膠固定在塑膠墊板上。

(四)將鋁箔條與電線、LED(或 LED 燈)、底片盒連接，如下圖所示。



(五)在底片盒內貼上鋁箔條，如下圖所示。



(六)將鋁箔紙事先切割成相同的面積，然後揉成紙團，丟入底片盒中，紙團至少要把底片盒的底部蓋滿。

(七)實驗時，先用手壓緊底片盒中的鋁箔球，檢查 LED 是否發亮?如果發亮，表示電路連接無誤，可進行下一步驟。若是 LED 不會發亮，再重新檢查電路連接處。

(八)輕輕搖晃基座，使得 LED 不會發亮，顯示此時電路為斷路。

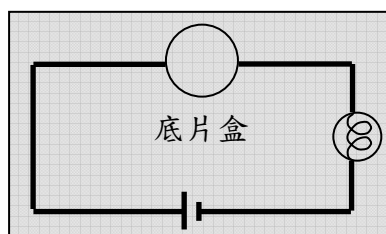
(九)在基座的周圍使用壓電式點火槍，會發現點火槍使用的瞬間，LED 就亮了。

(十)直至再度搖晃基座，LED 才熄滅。

二、改變鋁箔紙的面積，使得揉出來的紙團大小不同，觀察點火槍使用的瞬間，LED 的明亮狀況。

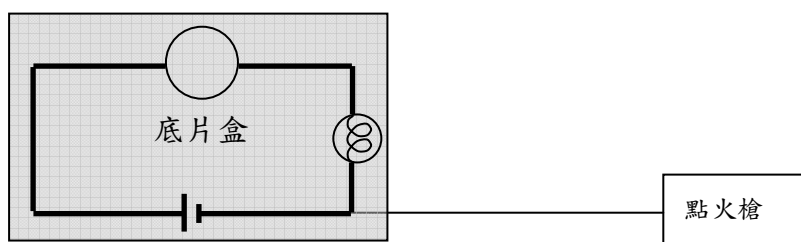
三、將本實驗裝置中，所有用來充當導線使用的鋁箔條全部換成一般的電線，如下圖所示。

並將底片盒中的鋁箔球改成一般的導電物質，如筆心、迴紋針、非訂書針、一元硬幣等，觀察點火槍使用的瞬間，LED 的明亮狀況。



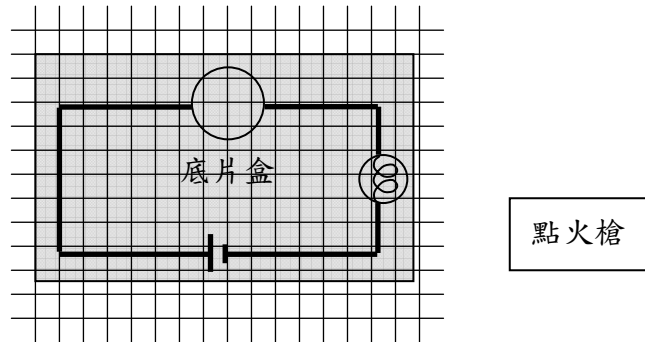
四、改變底片盒內部填充物的數量，觀察點火槍使用的瞬間，LED 的明亮狀況。

五、利用漆包線(或迴紋針)纏繞在電路上的任一處(包含電池亦可)，另一端拉長至遠方，如圖所示。將點火槍靠近在遠端的漆包線(或迴紋針)使用，觀察 LED 的明亮狀況。

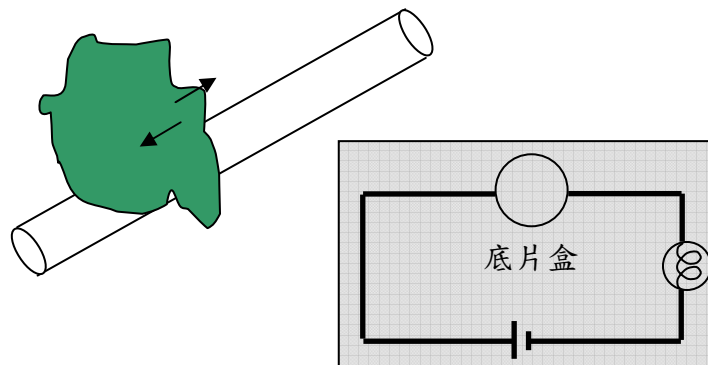


六、準備一台電磁爐，將整個電路含基座，放在電磁爐上面。不需使用點火槍，只打開電磁爐的開關，觀察 LED 明亮狀況。

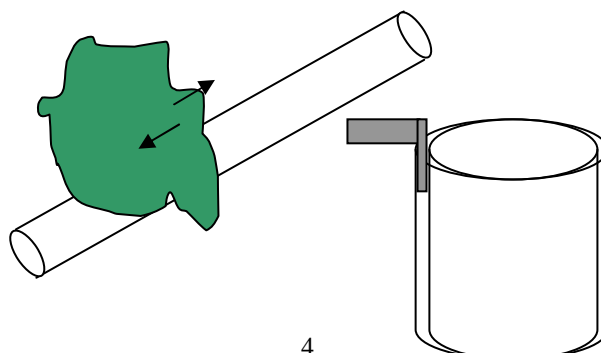
七、準備一片金屬網，覆蓋在整個電路上。然後在金屬網的外圍，使用點火槍，觀察 LED 的明亮狀況。



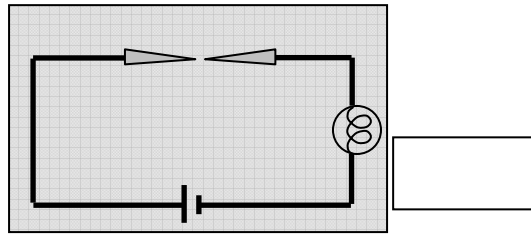
八、準備一塊乾燥的毛料、一段塑膠水管。在實驗裝置旁，利用毛料快速的摩擦塑膠水管，藉以產生靜電，觀察 LED 的明亮狀況。



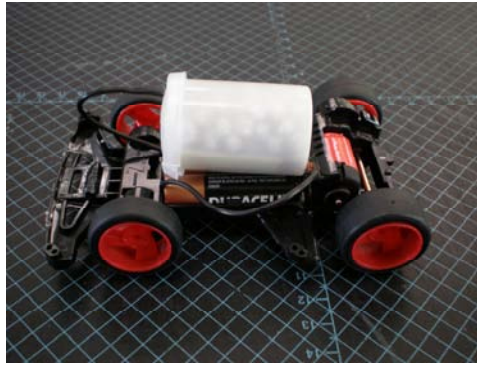
九、利用兩個塑膠杯，內層和外層分別包上鋁箔，但內外層需絕緣，製作出萊頓瓶。然後在萊頓瓶上接出一小段鋁箔，在其旁邊利用毛料摩擦塑膠水管，產生靜電，使得靜電能儲存在萊頓瓶中，如圖所示。之後，拿著萊頓瓶上接出來的那一塊鋁箔，接觸實驗裝置上裸露的金屬部分，觀察 LED 的明亮狀況。



十、取兩根針，固定在保麗龍板上，並將 8 顆電池串聯於電池盒上。將電池的正、負極接在兩根針上。改變兩根針尖端的距離，並在旁邊使用點火槍，觀察兩針端之間是否有火花放電的現象。



十一、準備一台四驅車，將其車體上的塑膠殼拆下。在電池、馬達之間，再加一個底片盒，裡面放滿鉛箔球。在四驅車的旁邊使用點火槍，觀察四驅車是否會因電路導通而起動。並觀察四驅車撞到障礙物之後，會不會自動斷電。



伍、研究結果：

一、重做書上的實驗流程：

用點火槍來當控制開關，效果十分顯著，而且靈敏度很高。幾乎是一使用點火槍，LED 馬上就亮了。而且，若是沒有受到外來的震動，則 LED 將持續的發亮，亦即電路保持通路。若輕敲桌面，會使得底片盒內的鋁箔球晃動，LED 立即熄滅，電路形成斷路。點火槍的位置只要靠近這整個實驗裝置，即可達到搖控開關的用途，並不需要特別的靠近底片盒。而且，在使用點火槍的瞬間，用手摸著底片盒，並沒有感覺溫度有劇烈的升高。

二、改變鋁箔紙的面積，使得揉出來的紙團大小不同：

事先將鋁箔紙裁切成邊長 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 、 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ 、 $6\text{cm} \times 6\text{cm}$ 、 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$ 、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 大小，然後揉成紙團。放入底片盒中，以能蓋滿底片盒的底部為準。實驗結果顯示，邊長 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 揉出來的紙團，基本上一通電，LED 就亮了，電路形成通路，根本不需要靠點火槍控制。而邊長 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ 、 $6\text{cm} \times 6\text{cm}$ 的紙團效果相近，用點火槍控制的效果都很好。但邊長 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$ 、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的紙團，點火槍在控制上較不靈敏，失敗率較高。

三、將鋁箔換成其它的金屬，重覆此實驗：

將用來當導線使用的鋁箔條換成一般電線，將鋁箔球換成其它導體，如筆心、迴紋針、非訂書針、一元硬幣等。重覆此實驗，發現實驗結果並不因為換了材料而有所不同，點火槍依然可以當做搖控器使用。

四、改變底片盒內部填充物的數量：

若在底片盒內部放入迴紋針或鋼珠，只需 3~4 個即可將底部蓋滿，此時的搖控效果最佳。若是底片盒裡放入過多的迴紋針或鋼珠，則不需搖控，LED 就持續發亮了，且搖晃基板也無法使之斷路。

五、 利用金屬來延長點火槍的搖控距離：

在點火槍的開口端，串接許多的迴紋針。則點火槍的本體不用靠近電路，只要利用迴紋針就可以達到遠端搖控的功用。之後，將迴紋針改成漆包線，將漆包線一端接在電路的金屬部分，另一端綁在點火槍的前端，亦有相同的效果。漆包線的長度從教室黑板一直延伸至教室後方，搖控的效果依然很好。顯然，在遠端使用點火槍，只要點火槍和實驗裝置間有金屬，不管是迴紋針還是漆包線，一使用點火槍，則裝置中的 LED 就馬上發亮。

六、 利用電磁爐來替代點火槍：

將整個實驗裝置拿到電磁爐上放置，一打開電磁爐的開關，LED 馬上就亮了。

七、 利用金屬網來隔絕點火槍的搖控作用：

準備一個金屬網，將金屬網整個罩在實驗裝置上，然後將點火槍放在網外使用。則不管如果的使用點火槍，被金屬網罩住的實驗裝置就一直維持斷路，LED 不會亮。

八、 利用毛料摩擦塑膠水管產生的電弧來替代點火槍：

在實驗裝置旁，利用毛料持續的摩擦塑膠水管，但搖控的效果不是很好。在摩擦的過程當中，並無法確定何時 LED 才會亮。而且，空氣的溼度會嚴重影響靜電的產生，若是實驗時的天氣較為潮溼，則利用水管來搖控的效果就很差，甚至摩擦很久，LED 都不會亮。

九、 利用萊頓瓶來替代點火槍：

預先使用毛料摩擦塑膠水管，旁邊放置萊頓瓶，將靜電儲存至瓶中。然後，手持著萊頓瓶，用萊頓瓶內層接出來的鋁箔紙靠近外層的鋁箔紙。則當兩者之間產生電弧時，LED 馬上發亮。當電弧產生後，再利用萊頓瓶去碰觸電路，即使剛剛已經利用電弧放電，但碰觸電路後，LED 依然會馬上發亮。

十、將底片盒改成兩根針彼此相對：

不管將針端靠的多近，在旁邊使用點火槍時，都無法在尖端之間發現火花放電的現象。當然，電路中的 LED 也沒有發亮。

十一、將底片盒接在四驅車上：

將四驅車裝上電池後，一剛開始四驅車並無法起動，可見在底片盒中的鋁箔球有空隙，故使電路斷路。然後在旁邊使用點火槍，四驅車開始前進，此時為通路。當四驅車撞到障礙物時，會自動斷路。

陸、討論：

一、重覆書上的實驗流程，雖然有得到相同的結果，但對於書本的解釋有諸多疑問。書本的解釋是認為鋁箔放置在空氣中，會氧化形成氧化鋁。所以，在底片盒中的鋁箔球表面都是一層薄薄的氧化鋁。氧化鋁本身是絕緣的，所以底片盒中的鋁箔球彼此互相絕緣，此時電路為斷路，LED 不會亮。當使用點火槍時，點火槍內產生電弧，會產生電磁波，該電磁波的能量使得氧化鋁熔化，氧化鋁一熔化，電流就可以藉著鋁箔球傳遞，形成通路，LED 發亮。但我們在實驗的過程當中，發現只要用力壓緊底片盒內的鋁箔球，LED 就會發亮，即形成通路。可見，鋁箔球本身是導電的。其次，氧化鋁的熔點為 $2051^{\circ}C$ ，在點火槍使用時，我們用手摸著底片盒，並沒有發現溫度有顯著的變化。況且，電磁波的能量真的強到能讓氧化鋁熔化嗎？另外，由於用手緊壓鋁箔球就會導通，是否鋁箔球之間的空隙也是影響導電與否的因素？因此我們進行了下一個實驗。

二、利用大小不同的鋁箔球做實驗，發現邊長 $2cm \times 2cm$ 揉成的鋁箔球，放入底片盒中，LED 馬上就亮了，顯示為通路。而邊長 $4cm \times 4cm$ 、 $6cm \times 6cm$ 揉成的鋁箔球，放入底片盒時，一剛開始為斷路，LED 不亮，必須藉助點火槍才能形成通路。至於邊長 $8cm \times 8cm$ 、 $10cm \times 10cm$ 的鋁箔球，也必須藉助點火槍才能形成通路，但失敗率較高。

所以，我們認為鋁箔球本身是導電的，在外圍並沒有氧化鋁做絕緣層。而小顆的鋁箔球，彼此間的空隙小，相接的比較密合，所以電荷可以藉著鋁箔球傳遞。其它尺寸的鋁箔球，彼此間的空隙較大，必須藉助點火槍電弧產生時的電磁波。而且，當鋁箔球的尺寸越大，彼此間的空隙也越大，搖控的效果也越差。

三、為了證明本實驗跟鋁箔球表面的氧化鋁沒有關係，我們將實驗中有用到鋁箔紙的部分全部換掉，連接線改成一般導線，而底片盒中則改成其它的導電物質，如筆心、迴紋針、非訂書針、一元硬幣等。但利用點火槍，依然可以得到相同的結果。因此，我們確定點火槍的搖控原理，不可能是電磁波熔化氧化鋁所造成的。

四、那麼，底片盒中導電物質間的空隙，似乎是決定通路還是斷路的主因。我們在底片盒中，慢慢的增加迴紋針的數目。當迴紋針的數目為 2 個至 3 個時，搖控的效果最佳。點火槍一使用，LED 原來是暗的，馬上發亮。但持續的增加迴紋針的數目，最後 LED 一直發亮。即使輕輕晃動底片盒，LED 也不會熄滅，依然發亮。我們的想法是迴紋針本身是有重量的，當底片盒中裝入過多的迴紋針時，上方迴紋針的重量會去擠壓下方的迴紋針，使得迴紋針之間的空隙變小，甚至緊密貼合。迴紋針具有導電性，又彼此緊密接合，當然會形成通路，LED 持續發亮也是合理的。

五、點火槍雖然可以對電路造成遠端搖控的效果，但每次的有效距離都不同。我們猜想，這是因為每一次搖晃之後，填充物之間的空隙都不同。空隙較小，搖控效果佳，搖控距離就比較遠；空隙較大，搖控效果差，搖控距離就比較近。因此，我們將底片盒的位置改成兩根針。由於尖端之間的距離，是人為可以控制的，所以比較可以準備的量出點火槍的搖控距離。但實驗的結果卻是無法在針的尖端之間看到任何的火花放電現象。由文獻中可知，赫茲當時的電磁波實驗，所使用的電壓相當的高，而我們只有使用 8 顆乾電池，所以效果不明顯。

六、將迴紋針掛在點火槍的開口端，讓迴紋針一個接一個連成一串，只要拿著迴紋針靠近實驗裝置，並使用點火槍，則 LED 就會發亮。可見，點火槍的搖控能力可以藉著迴紋針傳遞。後來，我們將迴紋針改成漆包線，漆包線的長度更是長達數公尺，但遠端搖控的能力依然很好。但點火槍是靠著什麼方式讓原本的斷路變通路，讓 LED 可以發亮？我們認為是來自於空間中電磁波的變化對導線內部電荷的影響所造成的。因此，我們借助電磁爐進行了下一個實驗。

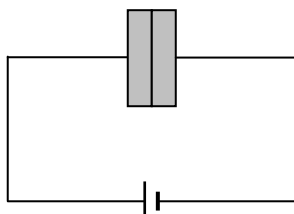
七、將整個實驗裝置放在電磁爐，將開關打開，LED 立即發亮。在高一基礎物理有學過，電磁爐內部有一個線圈，線圈上的電流忽大忽小，使得上方的磁通量也忽大忽小。將金屬製的鍋子放在上方，由於法拉第電磁感應原理，其表面會感應出渦電流，從而使金屬鍋子發熱。因此，電磁爐使用時所產生的電磁波，能夠使上方的實驗裝置，由斷路變成通路，可立即觀察到 LED 發亮。所以，不管是點火槍還是電磁爐，只要能產生電磁波，都能對本實驗裝置造成搖控的現象，不需直接接觸，就能使電路中的 LED 發亮。

八、使用金屬網將整個實驗裝置罩住，然後在金屬網外面使用點火槍，電路當中的 LED 並不會發亮。我們的解釋是，既然點火槍是靠著產生電磁波來使得電路中的 LED 發亮，則金屬會有屏蔽效應，會阻擋外界的電磁波進入。本實驗的結果，只是再度印證點火槍是靠著電磁波來遠端搖控電路。

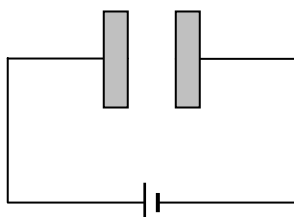
九、利用充電過後的萊頓瓶，放置在實驗裝置附近，並無法使得 LED 發亮。一定要將萊頓瓶碰觸實驗裝置的金屬部分，才能使得 LED 發亮。這個結果令我們感到困惑，因為萊頓瓶中所儲存的電乃是靜電，並不是振盪的電荷，並不會產生電磁波。也就是要使得實驗裝置從斷路變成通路的方法，除了使用電磁波之外，還可以接上高電壓。

十、理論模型：

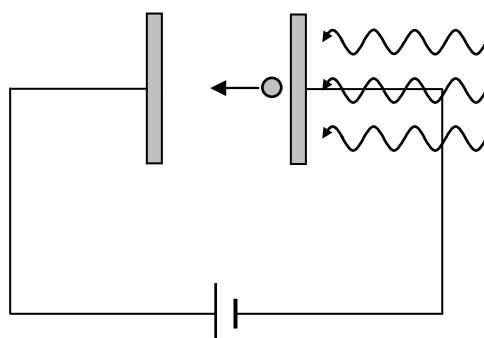
本實驗已證實利用點火槍來遠端遙控 LED 的明暗，是靠著電磁波。這點可從改變電磁波來源(如使用電磁爐)，或利用金屬網來隔絕電磁波(如實驗七)得到驗證。但原因卻不是如書上所描寫的，電磁波將鋁箔球表面的氧化鋁熔化，使得電路導通。我們認為能否順利導電，與底片盒中導電物質間的空隙大小有關。如下圖所示，



圖中的灰色部分為金屬板，將兩片金屬板緊密的接合，則電子將從電池的負極出發，經過兩片金屬板，回到正極，形成通路。但若是兩片金屬板並不是接合在一起，而是在之間有空隙，則形成斷路，如下圖所示。



此時與正極相接的金屬板會帶正電，與負極相接的金屬板會帶負電。若是不斷增加電壓，使得左右兩板之間的電位差極大，則會有電弧現象產生。若與負極連接的金屬板改成極細的金屬針，甚至會產生陰極射線(即電子)。兩個金屬板即使沒有接觸，整個電路也會導通。所以，底片盒中的鋁箔球，由於表面粗糙的緣故，彼此間是有空隙的。因此一開始是呈現斷路。而使用點火槍時，內部會產生火花放電(電弧)，會產生電磁波。電磁波傳遞到實驗裝置時，會使得電荷跟著電磁波振動，得到額外的能量，進而在空隙間造成火花放電，使得電路導通，如圖所示。



更有可能因為電流的流過，使得鋁箔球之間互相吸引，拉近彼此距離，縮小了空隙，使得電荷能不斷的流過鋁箔球。就像用手擠壓底片盒內的鋁箔球，可看到 LED 發亮的原理是一樣的。除非，受到外力敲擊，鋁箔球受到晃動，彼此間的空隙又拉大，整個裝置又回復到斷路。根據上網查到的資料，本實驗裝置其實就是一種簡易的金屬屑檢波器，而且當電磁波通過時，金屬會擠在一起，讓電流較容易通過，此現象稱為「鐵屑效應」。

而萊頓瓶充電後，與電路碰觸，即可使斷路變通路的現象，我們認為與高電壓有關。因為萊頓瓶內的電荷乃是靜電，並不會振盪產生電磁波。但萊頓瓶的電壓很大，輸出的電流卻極小。萊頓瓶只需要提供一高電壓給原先實驗裝置中的電荷，讓其有足夠的能量跨過中間的空隙，就能使電路持續的導通。

十一、應用：

本實驗裝置，除了可以當做一個簡易的電磁波檢測器之外，還可以拿來當做四驅車的搖控開關及自動安全開關。將四驅車的塑膠殼拿掉，在電池、馬達之間，連接一底片盒，並在其中填滿鋁箔球。一剛開始的時候，即使打開四驅車的電源開關，車子依然不會前進。這是因為底片盒中的鋁箔球空隙過大，形成斷路。當使用點火槍時，點火槍的電磁波會讓鋁箔球緊密接觸，形成通路，車子開始前進。當車子撞到障礙物時，由於撞擊時的晃動，使得底片盒中的鋁箔球分離，彼此的空隙又變大，形成斷路。就可以避免车子在不小心中撞到東西時，還保持電流通通的狀況，造成更大的傷害。

結論：

- 一、點火槍能遠端搖控電路，使其由斷路變為通路，是藉助電磁波。
- 二、底片盒中的導電物質彼此間的空隙大小，決定了遠端搖控時的靈敏度。
- 三、使電路由斷路變為通路的原因，並非是電磁波熔化了氧化鋁，書上記載有誤。
- 四、可以利用金屬來接收電磁波，擴大點火槍的搖控範圍。
- 五、改變不同的電磁波來源，只要強度夠強，亦可拿來搖控電路。
- 六、利用電磁波或是高電壓，可以幫助電荷跨過彼此間的空隙，使電路由斷路轉為通路
- 七、電磁波產生時，會使得底片盒中的金屬擠密靠在一起，讓電流更容易通過，此現象稱為鐵屑效應。
- 八、本實驗裝置若應用在四驅車上，是一個非常好的搖控開關。且經過撞擊後，會自動斷電，更是一個性能良好的自動斷電裝置。

柒、參考資料及其他：

- 一、休伊特著，「觀念物理 V，電磁學.核物理」，第一版，台北，天下遠見出版社，pp140-144，2001 年出版
- 二、小暮陽三著，「圖解生活物理世界」，初版，台北，世茂出版社，pp122-pp123，1998 年出版
- 三、林明瑞主編，「基礎物理」，初版，台南，南一出版社，pp146-pp191，2006 年出版
- 四、林懿偉著，「愛麗絲科學魔法遊戲書-30 個神奇的科學遊戲」，初版，臺北市，方智出版社，pp56-pp60，2003 年出版
- 五、鐵屑效應：<http://baike.baidu.com/view/428994.htm>
- 六、赫茲電磁波實驗：
<http://memo.cgu.edu.tw/yun-ju/CGUWeb/SciKnow/PhyStory/Hertz.htm>

