

SA2-090

研究題目

利用音效卡精密測量時間之研究

——一種既經濟又簡便的時間精密測量方法

研究動機

高一時，在一個偶然的機會下接觸到電腦介面控制，一開始我想做一些簡單的實驗，比如說：用電腦經 8255 介面卡外接光敏電阻線路來做計時，這樣可以用來測量東西的運動速度或單擺的週期；也想玩玩由電腦產生一個固定頻率的信號，透過 8255 卡來推動揚聲器產生聲音。可是不試還好，一試就遇到一大堆的問題！不論我用 C 語言或是 BASIC 寫程式，讀到的時間都不準確，單擺週期一下快一下慢，非常的刺激；揚聲器發出的聲音也是忽快忽慢，完全不是預期的結果。

直到高二我修物理專題，題目是「電磁感應在運動量測之應用」，這個實驗也牽涉到時間測量的問題，還好這時候學校進了一套 PASCO 的 SW-750 電腦介面套件，SW-750 測量的取樣頻率可達 20000Hz，測量時間的效果比 8255 卡好多了！我用 SW-750 完成了物理專題，並且代表學校參加今年的台北市科展得到佳作。但做完物理專題後我常在想，要準確測量時間真的這麼難嗎？一定要花好幾萬買一套 SW-750 嗎？

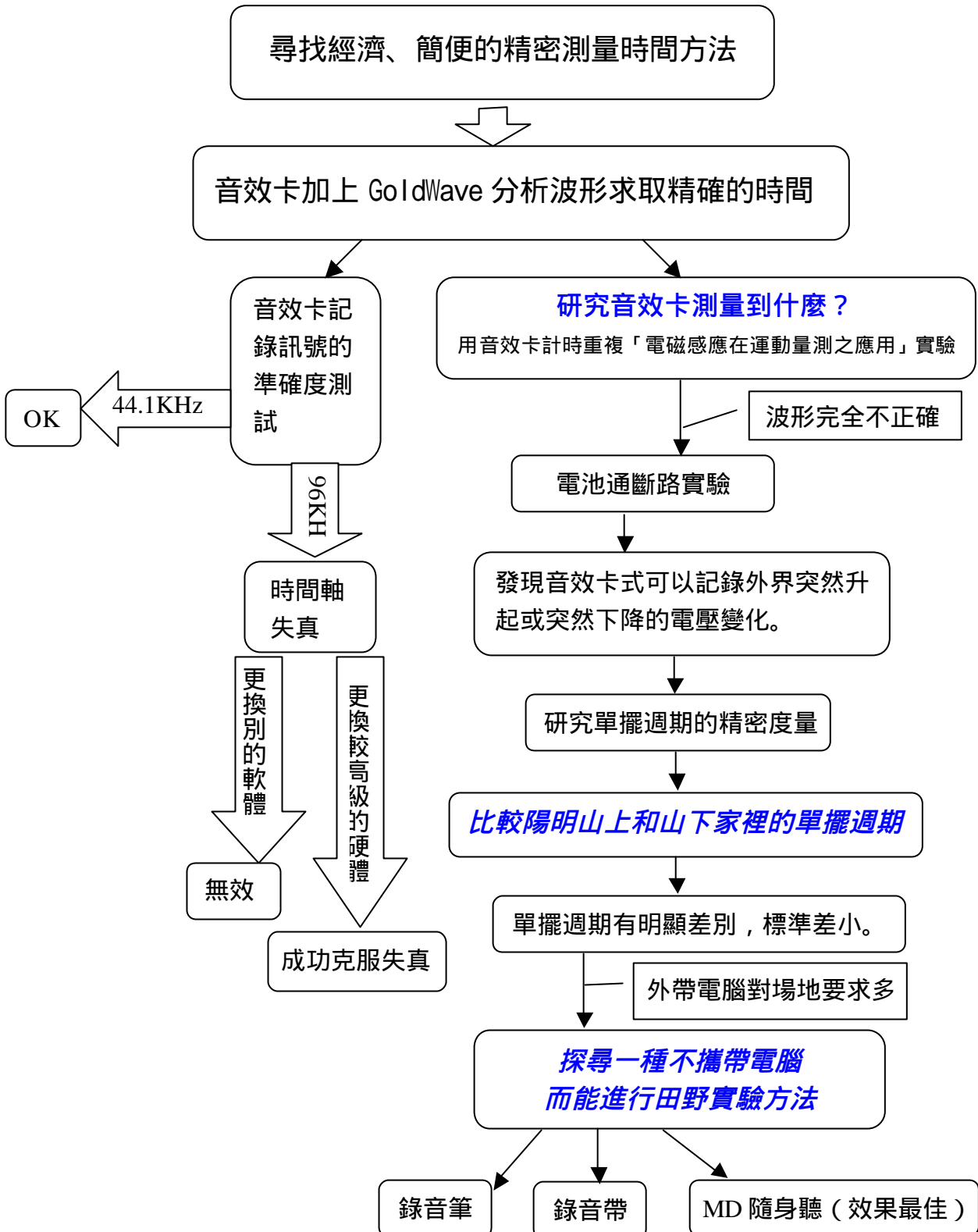
完成校內科展之後，我協助學校英文話劇代表隊配樂，有一天在用 GoldWave 軟體剪輯配樂時想到，為什麼不利用音效卡搭配 GoldWave 來做時間量測呢？我發現用音效卡紀錄訊號，再配合 GoldWave 或是 Nero Wave Editor 等軟體秀出訊號波型，只要將時間軸的尺度放大後，我們就可以精密的分析出這些訊號發生的時間，還蠻精確的。因此產生了「利用音效卡來設計一種既經濟又簡便的時間精密測量方法」的構想。

研究目的

研究利用音效卡來測量時間的可行性，進而設計出一套既經濟又簡便，可以精確的記錄事件發生時間的方法，並實際應用在科學研究上。

研究過程與結果

研究流程圖：



實驗一、音效卡可以精密測量時間嗎？（音效卡可行性之初步測試）

實驗共分成(1-A)、(1-B)、(1-C)等 3 個子實驗

(1-A)Creative CT5880 的實驗

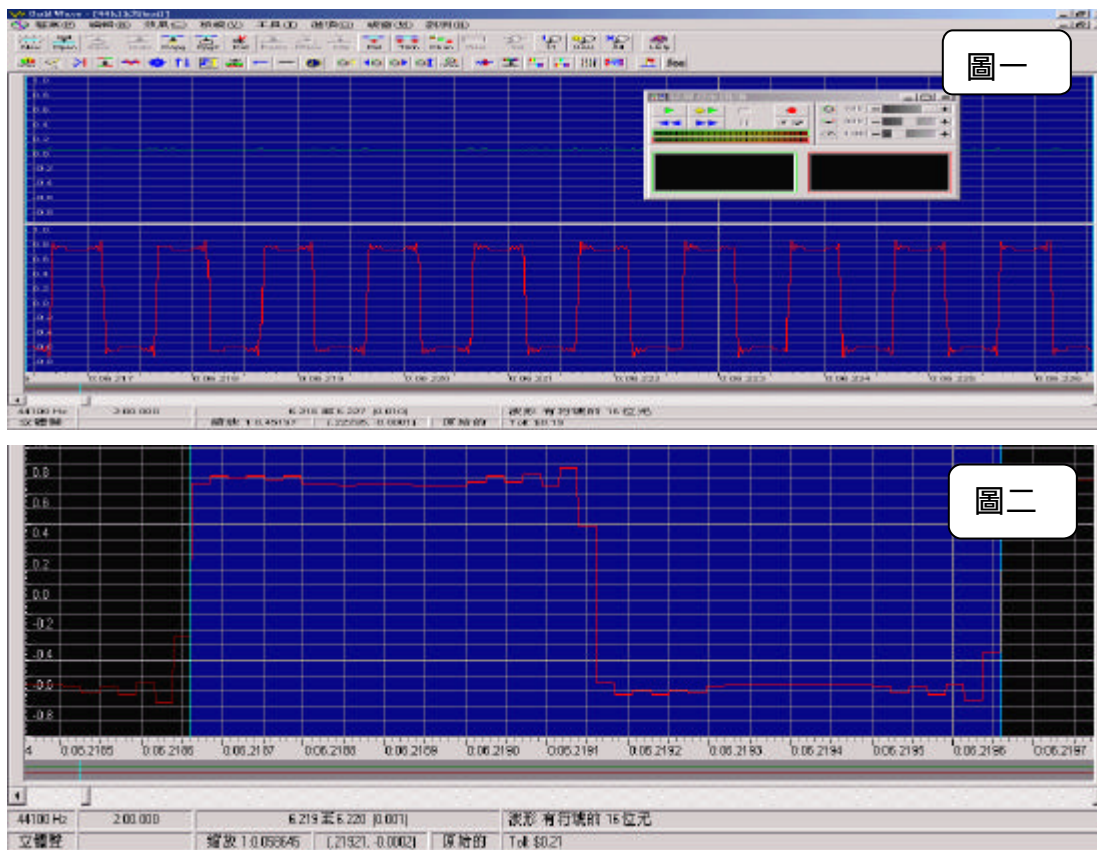
實驗器材：電腦（技嘉主機板-GA-7ZXR-C 內建音效 Creative CT5880）、Tektronix TDS 220 示波器、變壓器等。

實驗步驟：

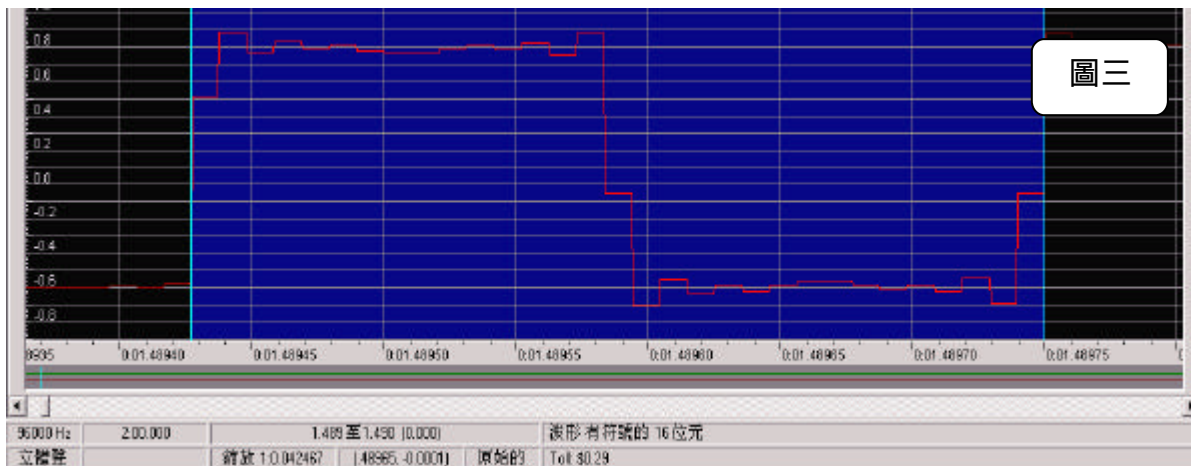
1. 打開電腦將 Tektronix TDS 220 示波器的校正訊號（5V p-p 1KHz）接到音效卡的 LINE IN，執行 GoldWave 軟體，設定取樣頻率來錄音。
2. 用 GoldWave 來觀察紀錄波型。（圖一）
3. 放大到一個週期左右的大小以便精密估計時間。（圖二）因為已知輸入波的頻率，所以由所測得一週期數據就可以判斷用音效卡來測量時間是否準確可行。
4. 改變取樣頻率重複上述實驗。
5. 更換輸入訊號，改以 60Hz 市電經過變壓器降壓後做為輸入訊號源，重複前面實驗步驟 1 到 4。

結果與討論：

（圖一、二）為輸入 1KHz 訊號、取樣頻率為 44.1KHz 時之數據圖，由（圖二）可得到週期為 $6.21966\text{ s} - 6.21866\text{ s} = 0.00100\text{ s}$ ，還頗準確的。



我發現 GoldWave 雖然可以調整成不同的取樣頻率，但是實際上只要取樣率不是 44.1KHz (44.1KHz 就是 CD 音質的取樣頻率)，所測時間就不對。(圖三)輸入 1KH、取樣 96KHz，週期 $1.489750s-1.489427s = 0.000323s$ ，和 $0.001s$ 相差太多，失真嚴重。



下表為經由 PC 內建音效 Creative CT5880 錄音，經整理分析的數據：

取樣頻率	44.1KHz	88.2KHz	96KHz
輸入頻率 1K Hz 測得週期	0.001s	0.000261s	0.000323s
輸入頻率 60 Hz 測得週期	0.0167s	0.004349s	0.005323s

本實驗是用電腦主機板 (GA-7ZXR-C) 內建的音效 (Creative CT5880) 來進行的，我們發見了一些奇怪的現象。雖然在 GoldWave 軟體裡可以調整取樣頻率的，但實際只要取樣率不是 44.1KHz，則時間軸的尺度就會發生錯誤。

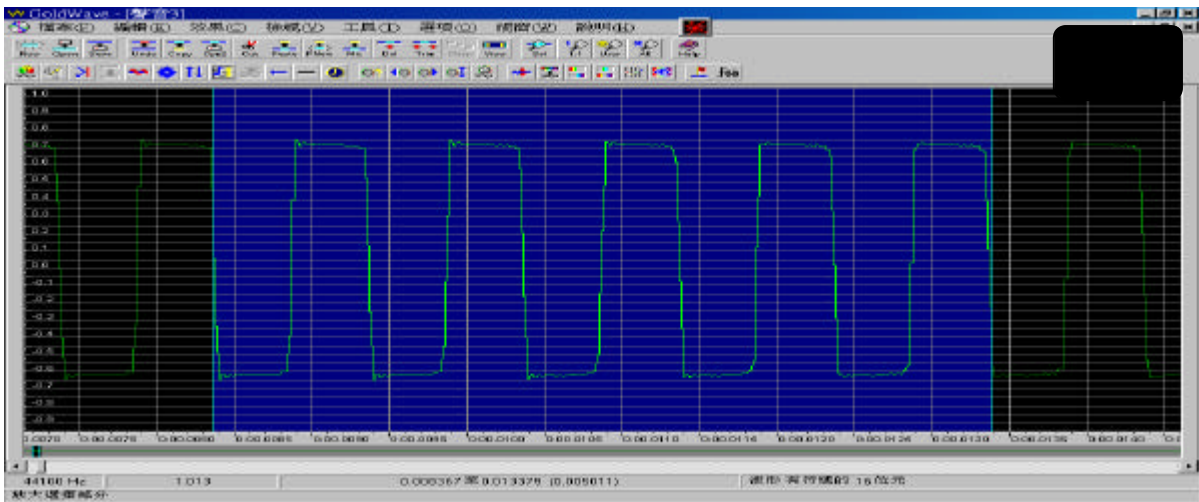
上表就是顯示這樣的結果，取樣頻率為 44.1KHz 時，所測得的週期很準，輸入 1K Hz 測得週期 0.001s、輸入 60 Hz 測得週期 0.0167s。但取樣頻率為 88.2KHz 及 96KHz 時所求得的週期都明顯太短，用這些取樣頻率來音樂錄音時，播放時聽到的聲音頻率也不對。我試過各種音效編輯軟體 (像是：Nero Wave Editor、cool editor.....等) 都沒有用，我便猜測可能是硬體上的問題，於是去光華商場購買了創新浩瀚科技 (Creative) 的 Sound Blaster Live! 5.1 價格一千多元的音效卡來，進行實驗 (1-B); 以及用筆記型電腦做 (1-C)。

(1-B) 使用 Creative Sound Blaster Live! 5.1 音效卡由 Line in 輸入的實驗數據

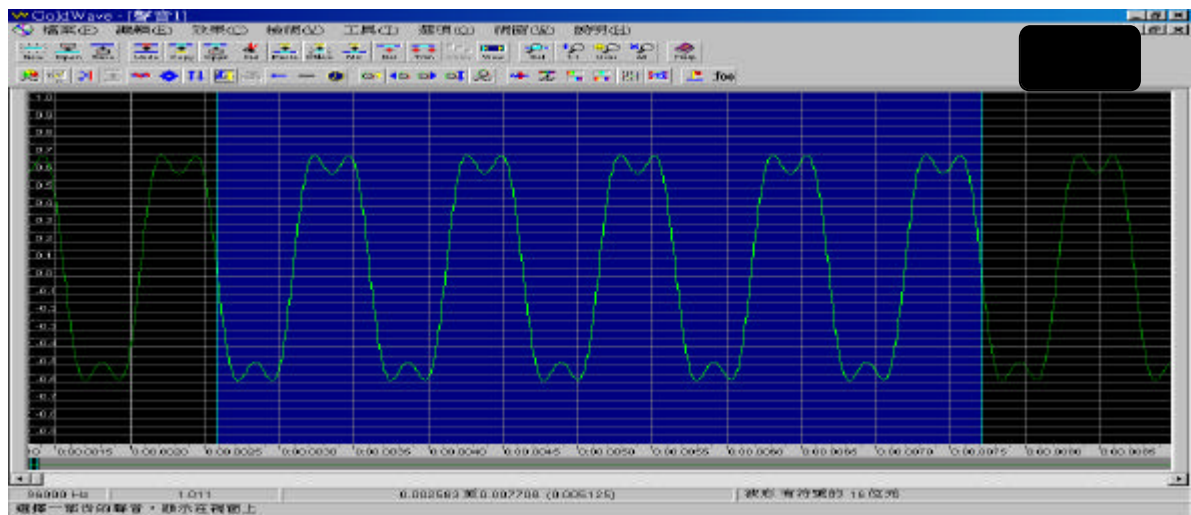
實驗器材、實驗步驟：同上，音效卡改為 Creative Sound Blaster Live! 5.1，輸入 1KHz 進行不同取樣頻率的實驗。

結果與討論：

(圖四)輸入 1KHz、取樣 44.1KHz，5 個週期長 0.005031s，平均 0.001006s。



(圖五) 輸入 1KH、取樣 96KHz，5 個週期 0.005125s、每一週期平均為 0.001025s。



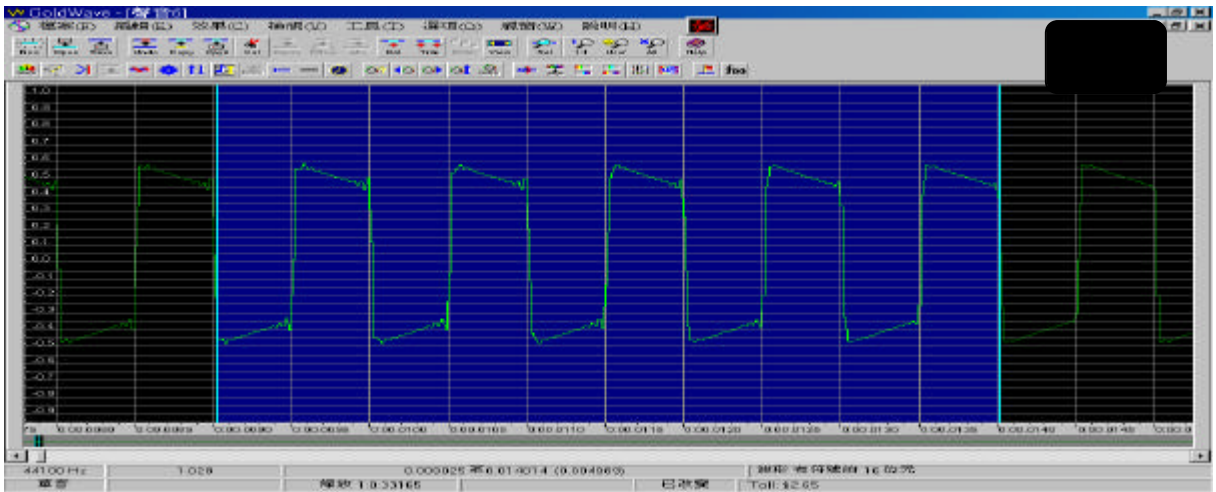
由(圖四、五)可以看出，輸入 1KHz，不管取樣頻率是 44.1KHz 或 96KHz，Creative Sound Blaster Live! 5.1 新音效卡所得到的平均週期 0.001006s、0.001025s 都很接近 0.001s，沒有太大失真！取樣頻率 96KHz 時雖然波形變的不像方波，但不影響時間的估算，不像 Creative CT5880，在取樣 96KHz 時週期竟變成 0.000323s。

(1-C) TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦由 Mic in 輸入訊號的實驗數據

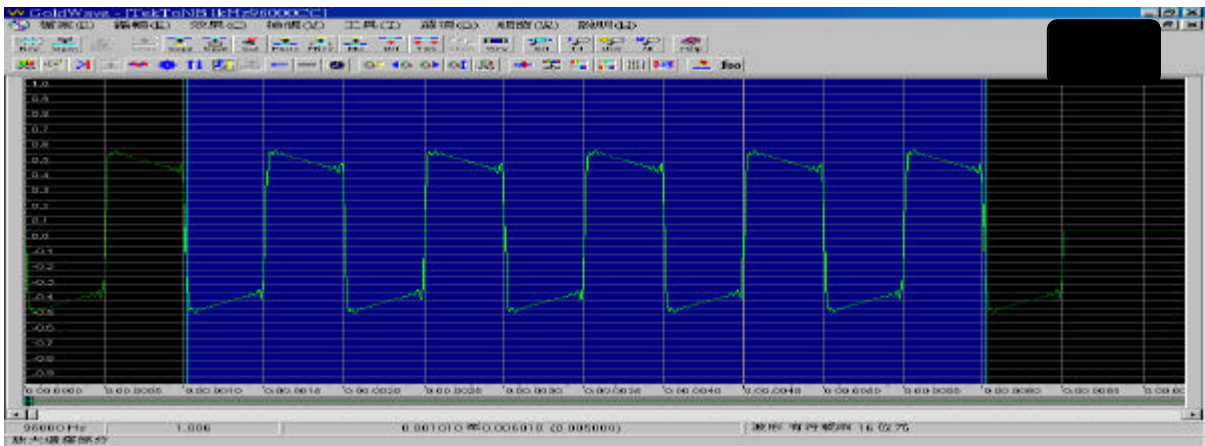
實驗器材、實驗步驟：同上，改為由 TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦音效卡，只輸入 1KHz 進行不同取樣頻率的實驗。：

結果與討論：

(圖六) 輸入 1KH、取樣 44.1KHz，5 個週期 0.004989s，每一週期為 0.000998s 還不錯！



(圖七) 輸入 1KHz、取樣 96KHz，5 個週期 0.005000s，每一週期為 0.001，還真準哩！



實驗一的綜合討論：

創新浩瀚科技 (Creative) 的 Sound Blaster Live! 5.1			
取樣頻率	44.1KHz	8KHz	11025Hz
測得週期 (十個平均)	0.001s	0.001s	0.000997s
取樣頻率	88.2KHz	32KHz	96KHz
測得週期 (十個平均)	0.000966s	0.001s	0.001028s
TOSHIBA Portege 4010			
取樣頻率	44.1KHz		96KHz
測得週期 (十個平均)	0.000998s		0.001000s

由上面數據可以看出，用新購的音效卡 [創新浩瀚科技 (Creative) 的 Sound Blaster Live! 5.1] 或 TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦的內建音效來錄音，時間軸都不會失真

，不同的取樣頻率所測時間都對了！所以會因取樣頻率不同而失真只不過是 Creative CT5880 的問題，不是軟體問題。

實驗二、音效卡測量到什麼？

——用音效卡計時重複「電磁感應在運動量測之應用」實驗

「電磁感應在運動量測之應用」實驗簡述：

這是利用電磁感應測量磁鐵飛行速度的實驗，當磁鐵穿過線圈時，會在線圈產生感應電動勢。由參考文獻得知，若磁鐵以 v 的等速度穿過半徑為 a 的圓形線圈時，磁鐵造成的感應電動勢的極大值、極小值發生在線圈中心上下 $a/2$ 的地方，與 v 大小無關。因此，我們可由兩極值發生的時間間距 Δt ，求出磁鐵的速度 $v = a / \Delta t$ 。

在磁鐵是自由落體而非等速運動時，經數值分析發現，只要落下高度大於 $5a$ 時，則磁鐵通過線圈的平均速度仍然可以用 $v = a / \Delta t$ 來估計。

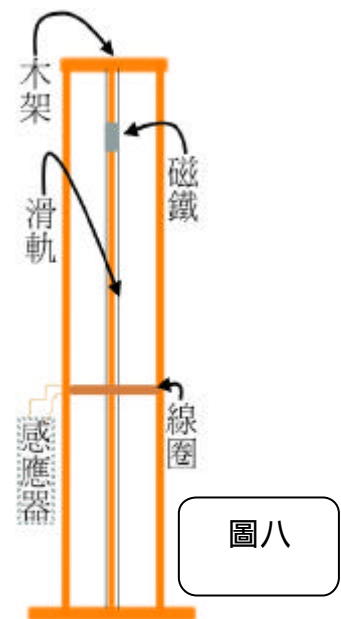
實驗器材：電腦（技嘉主機板-GA-7ZXR-C 內建音效 Creative CT5880）、SW-750 電腦介面套件、線圈、自製木架發射軌、水平儀、強力磁鐵、釣魚線... 等。

實驗分為 (2-A)、(2-B)、(2-C) 三個子實驗：

(2-A) 重覆「電磁感應在運動量測之應用」實驗

實驗步驟：

1. 將相關儀器如(圖八)所示裝置妥當。
2. 將實驗用的磁鐵置於發射軌，並確認即將落下的距離。
3. 讓磁鐵自由落下。
4. 經由音效卡記錄磁鐵經過線圈時的感應電壓變化。
5. 用 GoldWave 得知感應電壓峰值的時間間距 Δt 。
6. 利用前述實驗原理，推測磁鐵通過感應線圈上下 $a/2$ 區間的平均速度 $v = a / \Delta t$ 。



圖八

意外結果：

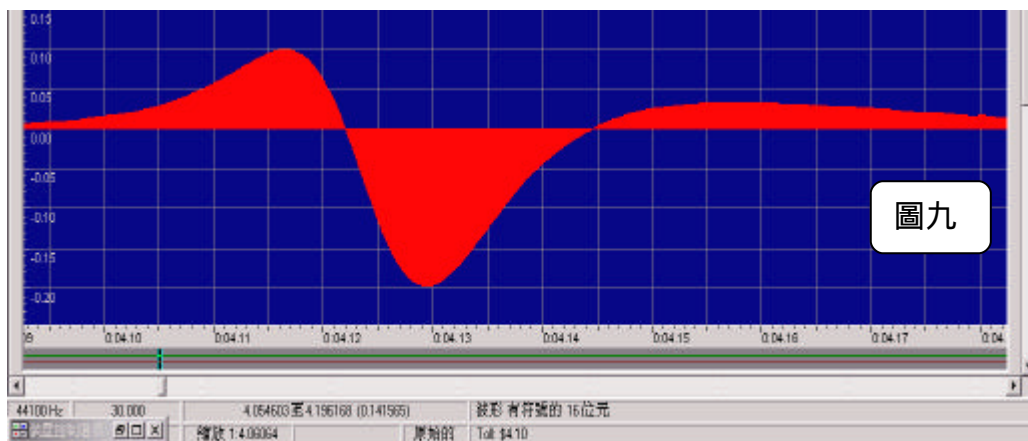
GoldWave 得到類似下(圖九)所示的數據圖，這和理論預測以及科展時用 SW-750 測量所得到的結果都不相同，真令人驚訝不已！顯然音效卡記錄到的並不是隨時間變化的電壓，因此引發進行以下系列實驗。

(2-B)同時使用音效卡及 SW-750 來重覆實驗(2-A)

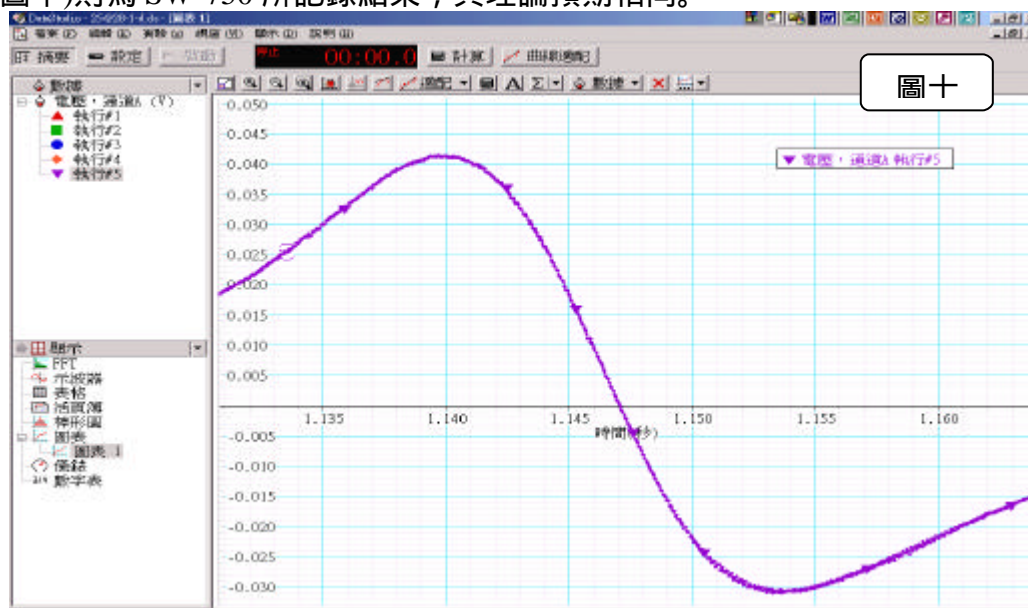
實驗步驟：實驗步驟與(2-A)相似，只是線圈的訊號輸出並連接到音效卡及 SW-750 介面盒，電腦同時執行 GoldWave 及 SW-750 兩程式。

結果與討論：

(圖九)就是並連時 GoldWave 所得到的數據圖不符和理論上的預期。



(圖十)則為 SW-750 所記錄結果，與理論預期相同。



將「電磁感應在運動量測之應用」實驗的線圈訊號並連輸出，分別接到音效卡以及 SW-750 而得到(圖九)、(圖十)。由於兩圖截然不同，確認了音效卡記錄到的並不是電壓的看法。音效卡記錄既然不是隨時間變化的電壓，那到底又是記錄了什麼？

(2-C)進一步研究音效卡到底記錄了什麼？

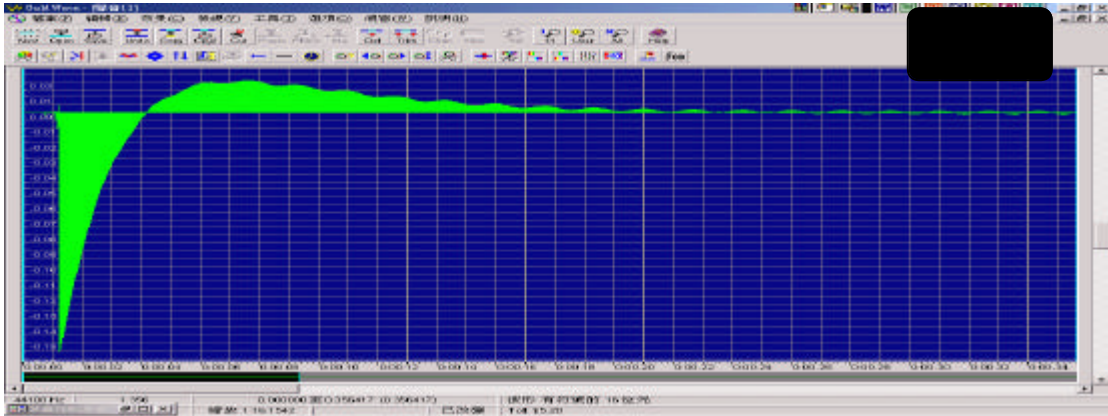
本實驗分成「電池模擬單一電壓突然變化輸入」及「電池模擬單一方形脈衝輸入」兩部分。

實驗步驟：

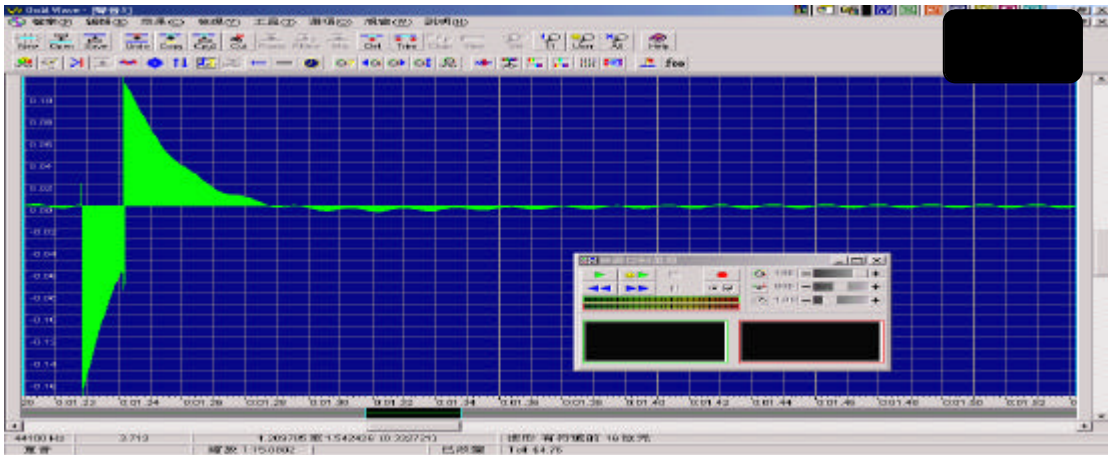
- (1) 電池模擬單一電壓突然變化輸入：步驟與實驗一類似，訊號輸入改為輸入線一直接到電池兩端，經幾秒後才突然分開，這樣就可以探討穩定電壓突然下降之效應。
- (2) 電池模擬單一方形脈衝輸入：步驟與前類似，只是輸入訊號改為將輸入線突然接到電池之後立刻分開，用來模擬單一個的方形波輸入。

結果與討論：

(圖十一)模擬單一電壓變化輸入：訊號輸入線一直接在電池兩端，經幾秒後才突然分開。



(圖十二)模擬單一方形脈衝輸入，訊號輸入線突然接到電池之後立刻分開。



從(圖十一)可以看出模擬單一電壓變化輸入的效應，當外接電壓移去時突然得到一最大訊號，然後逐漸衰減到反相。在前面長期外接電池時段，記錄到的訊號位準為零，此時 60Hz 的雜訊很小；斷路以後才明顯有 60Hz 雜訊。由(圖十二)可以看出單一方形脈衝輸入的效應，瞬間外接一電壓時音效卡立刻紀錄一突然升起訊號然後逐漸衰減，當衰減中途外電壓被移去時則得到另一反相突起最大訊號，然後逐漸衰減到再次反相。在整個記錄過程中一直有 60Hz 的雜訊，只有在接通電池那一段時間雜訊最小。

從以上實驗結果可以確認：「音效卡無法紀錄的電壓大小，但是突然升起或突然下降的電壓變化，確實會被音效卡有效紀錄」。因此，我們可以利用這個特性來記錄光敏電阻兩端的電壓變化時間。

實驗三、用音效卡計時之單擺週期實驗

(3-A) 最初的單擺實驗 (用音效卡及光敏電阻做單擺計時)

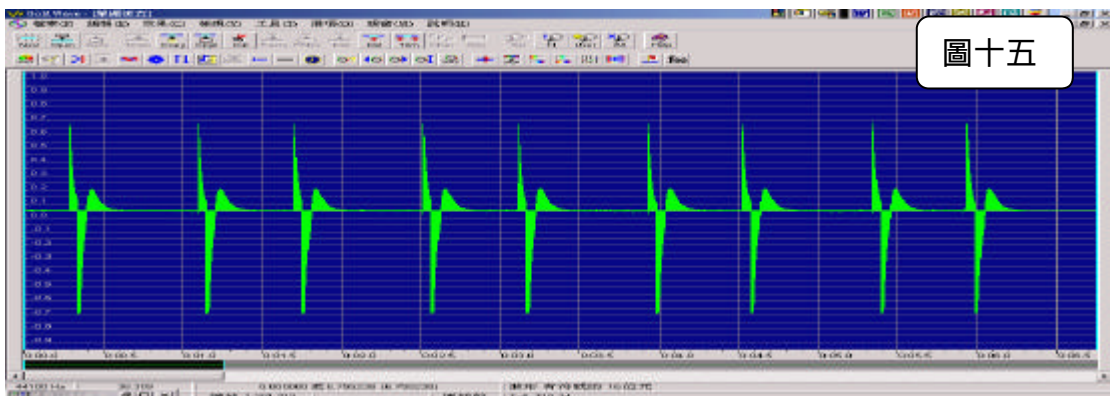
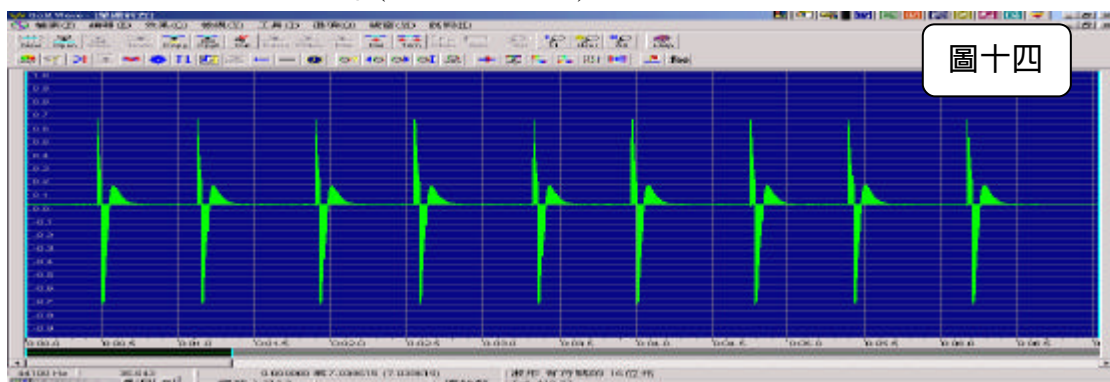
實驗器材：電腦（技嘉主機板-GA-7ZXR-C 內建音效 Creative CT5880）、單擺、雷射、電源供應器、光敏電阻、可變電阻、Tektronix TDS 220 示波器、變壓器等。

實驗步驟：

1. 將相關儀器如(圖十三)裝置。
2. 先調整可變電阻以確定接到 LINE IN 的電壓訊號波峰不會被截掉。
3. 用 GoldWave 錄音，並且由得到的波型求出單擺的週期。

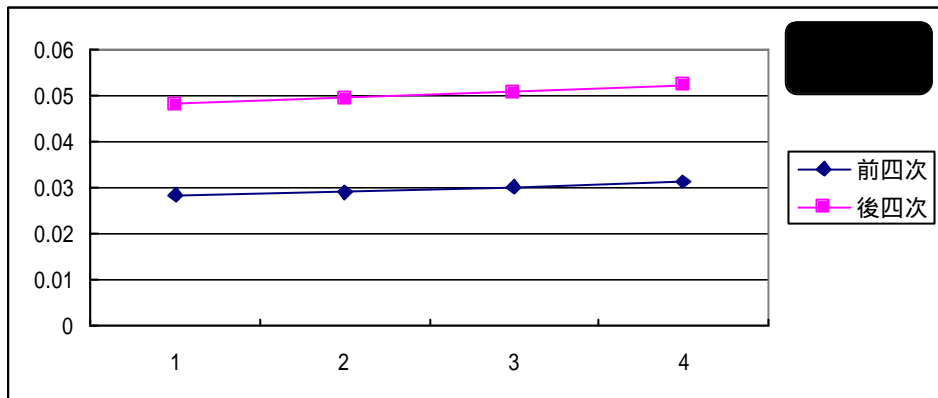
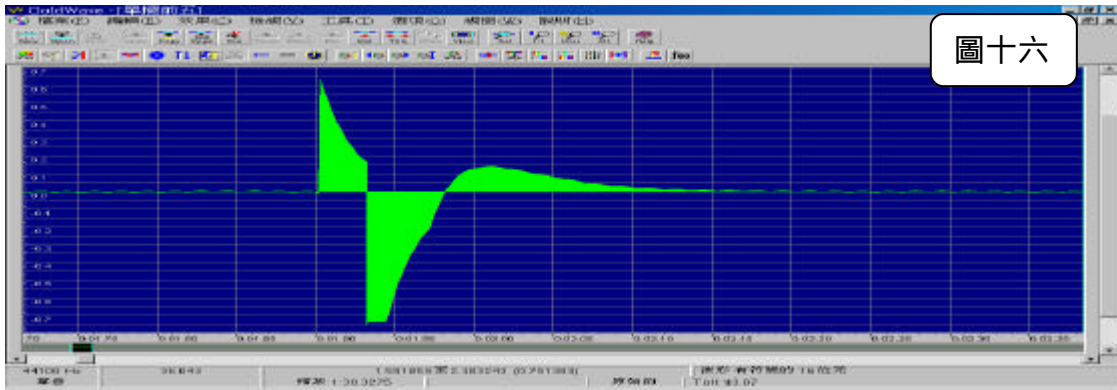
結果與討論：

這是最初用套筒當擺錘由較大角度開始擺動的單擺週期實驗，記錄單擺遮斷雷射光後造成光敏電阻的電壓變化 30 秒，(圖十四、十五)分別為最前面及最後面九次電壓變化圖。

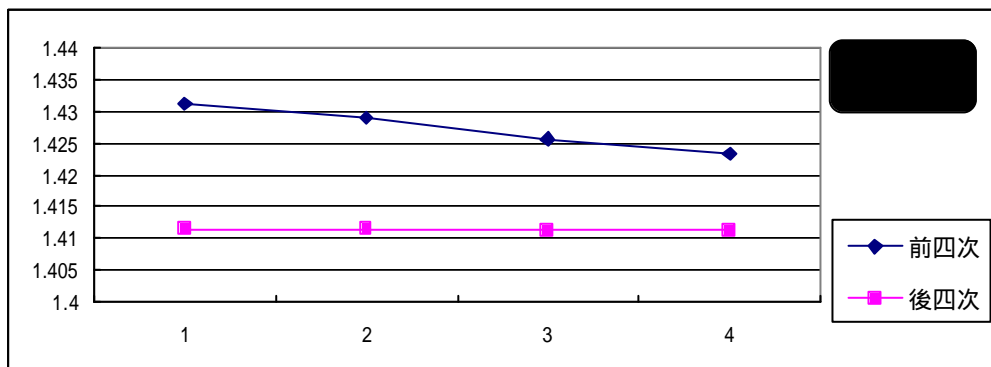


(圖十六)為一次電壓變化的放大圖。圖上訊號突然上升表示雷射光開始被遮住，然後訊號逐漸下降；後來訊號突然掉落反轉極大值時，表示開始又有雷射光照射。我們由一開始訊號突然上升到突然掉落的時間間距及單擺遮蔽長度，可以估算單擺遮住光線時的速率。從第

一次遮蔽，到第三次遮蔽的時間間距，則可以估算單擺週期。



(圖十七)為開始四次擺動擺錘遮蔽雷射光的時間間距及 30 秒末的四次遮蔽時間間距。可以看出因為摩擦力的關係，前四次與末四次的遮蔽時間都呈現穩定增加，單擺的速度因摩擦力逐漸變小了。這很合理，可用我觀察到擺動角振幅逐漸變小做為佐證！



(圖十八)的上面為開始四次的週期，由於摩擦關係擺角逐漸變小而週期也逐漸變小；下面則為 30 秒末的四個週期，因為已經是小角度的擺動了，擺動角振幅雖然也逐漸變小，但週期幾乎不變。

另外我發現提供光敏電阻的電源供應器電壓不夠穩定，所測訊號高高低低的難以觀察，因此就改用乾電池提供光敏電阻電源。改進後實驗結果如前所述，還蠻好的！

(3-B) 單擺計時實驗之改進

改進與結果：

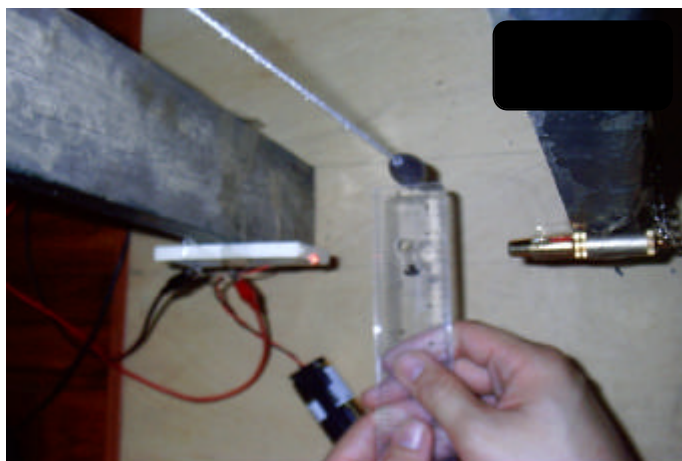
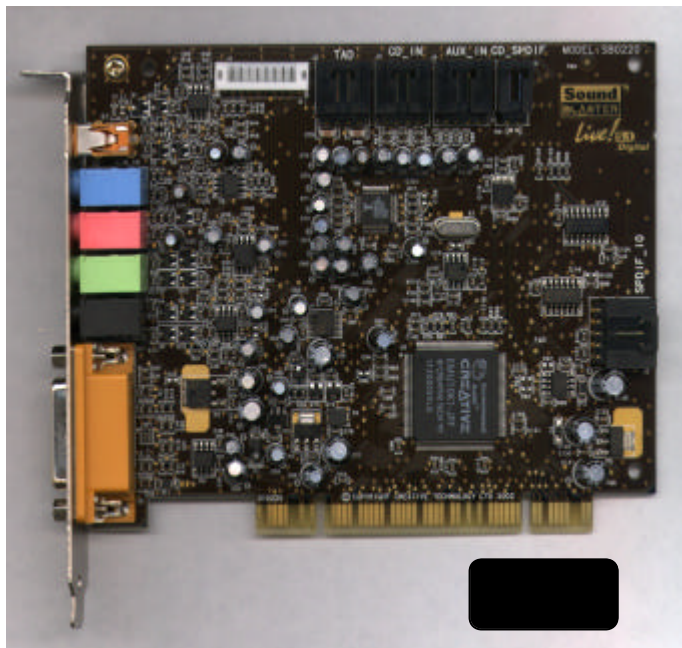
(a)音效卡方面：桌上型電腦不再使用主機板內建音效，另外購買創新浩瀚科技（Creative）的 Sound Blaster Live! 5.1 的音效卡(圖十九)插上使用；或者改接 TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦，用其內建音效。

(b)單擺方面：一開始利用套筒做擺錘在一橫桿上，接著自己做了一個口字形的架子，後來為增進實驗的精密度請人做了一個更穩定的架子（圖二十）並以小鉛球為擺錘。

又根據理論單擺只有在小角度擺動(小於 5 度)時週期才是 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，其後的實驗擺長

固定為 $l=65\text{cm}$ ，每次擺動都以尺頂小鉛球直到雷射會照到尺上固定位置（圖二十一，起使角度約 3.5 度左右），用來確保起始角相同，並盡量控制擺擺動在一直線上。

週期計算：相同的實驗條件重複錄音 10 次，在每次實驗記錄中以相同的原則選 10 個週期平均之，再來計算這 10 次實驗的 averages 週期及標準偏差。



實驗四、陽明山上、山下單擺週期比較（實際應用的價值）

為檢驗本實驗實際應用上的價值，在 9 月 11 日清早 6 點多，我們帶著 TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦及單擺，到陽明山竹子湖路 29-1 號，湖田橋邊的湖田橋小吃店（圖二十二、二十三）的遮雨棚進行單擺週期量測實驗。做完後回到陽明山下的家中立刻重複山上實驗，並比較兩地的實驗數據。

實驗步驟：

1. 打開 TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦。
2. 將相關儀器如(圖十三)裝置，用 GoldWave 錄音，並確定接到 Mic IN 的電壓訊號波峰不會被截掉。
3. 用 GoldWave 來觀察紀錄波型，並且由得到的波型量測十個週期的時間後，平均求出一個週期的時間。
4. 重複 10 次求取數據的大小以及標準差。
5. 更換不同取樣頻率後重複以上實驗。



結果與討論：

本實驗在陽明山上、山下都是使用相同的 TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦及單擺來做實驗。下表為相同的條件重複紀錄 10 次實驗，在每次實驗記錄中以相同的原則選 10 個週期平均之，再來計算這 10 次實驗的週期平均及標準偏差。

第幾次實驗	96KHz 取樣		44.1kHz 取樣	
	陽明山上	山下家中	陽明山上	山下家中
1	1.590328s	1.593821s	15.91311s	15.93855s
2	1.590275s	1.593589s	15.91268s	15.93635s
3	1.590228s	1.593602s	15.9083s	15.93903s
4	1.590012s	1.593643s	15.90211s	15.93871s
5	1.590357s	1.593544s	15.91494s	15.94011s
6	1.590376s	1.593742s	15.9081s	15.93959s
7	1.590115s	1.593383s	15.90503s	15.94036s
8	1.590305s	1.593513s	15.90612s	15.93907s
9	1.590096s	1.59356s	15.90551s	15.94061s
10	1.590498s	1.593549s	15.89757s	15.94052s
平均	1.59026s	1.59359s	1.59074s	1.59393s
標準偏差	0.00014s	0.00012s	0.00053s	0.00013s
山上山下 之週期差異	0.00334s		0.00319s	

96KHz 頻率取樣實驗結果：陽明山上單擺平均週期 1.59026s、標準偏差 0.00014s；陽明山下單擺平均週期 1.59359s、標準偏差 0.00012s。山上山下週期差異 0.00334s 遠大於實驗的標準偏差，可見用音效卡記錄時間，可以精密地區別出不同地方的重力加速度之差異。

44.1kHz 的頻率取樣實驗結果：陽明山上單擺平均週期 1.5907s、標準偏差 0.00053s；陽明山下單擺平均週期 1.5939s、標準偏差 0.00013s。在山上因為是借用小吃店的遮雨棚做實驗，會受風吹等外在因素干擾所以誤差大於山下家中實驗是很合理的，山上山下單擺的週期差異 0.00319s 大於標準偏差。

又 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ ，我本來預期陽明山上單擺週期會比山下長結果卻出意料之外，山

上週期小、重力加速度反而比山下大。無論是以 96KHz 頻率取樣還是以 44.1kHz 的頻率取樣，實驗結果得到的也一樣，都是陽明山上單擺平均週期小於陽明山下，兩地的週期差是實驗標準偏差的六倍以上，因此量測到的陽明山上、山下相同單擺的週期差是有意義的，也就是陽明山上竹子湖附近的重力加速度，大於陽明山下自強隧道附近的重力加速度。

實驗五、不帶電腦進行田野實驗之可行性探討

9月11日早上陽明山風雨還不小，由於風雨中帶著手提式電腦在竹子湖做實驗的經驗讓我想到：「是否能夠不帶電腦來進行田野實驗，以避免電腦在外面容易受到損壞？」第一次想到的是用隨身聽錄音機來錄光敏電阻造成的電壓變化，得到的結果還可以，接著就想到利用錄音筆以及 MD 等。

(5-A) 利用錄音機紀錄訊號再播放輸入電腦

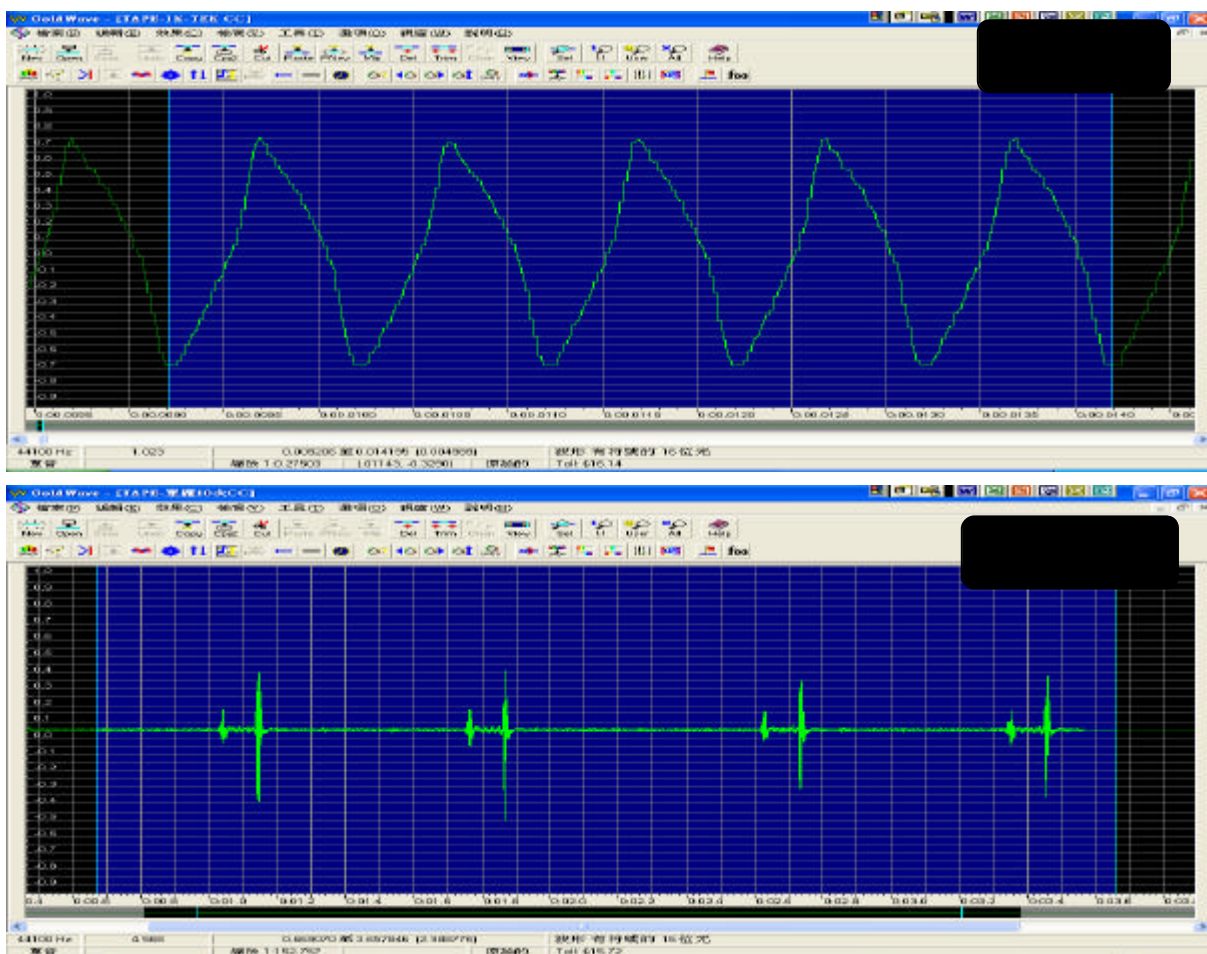
實驗器材：同前面，加上 AIWA 隨身聽錄音機。

實驗步驟：

將相關儀器如實驗 3-A 的(圖十三)裝置，只是將訊號輸到隨身聽錄音機，後來再由錄音機放音輸入電腦用 GoldWave 錄音。

初步結果：

如(圖二十四)為取樣頻率 44.1KHz 之 1KHz 方波記錄圖；(圖二十四之一)為單擺週期訊號圖。不過我想錄音機在錄音及播放時可能因為帶子轉動速度不完全一致而造成誤差，因此想到利用錄音筆來記錄直接將數位訊號轉存到電腦。



(5-B) 利用數位錄音筆紀錄再存入電腦

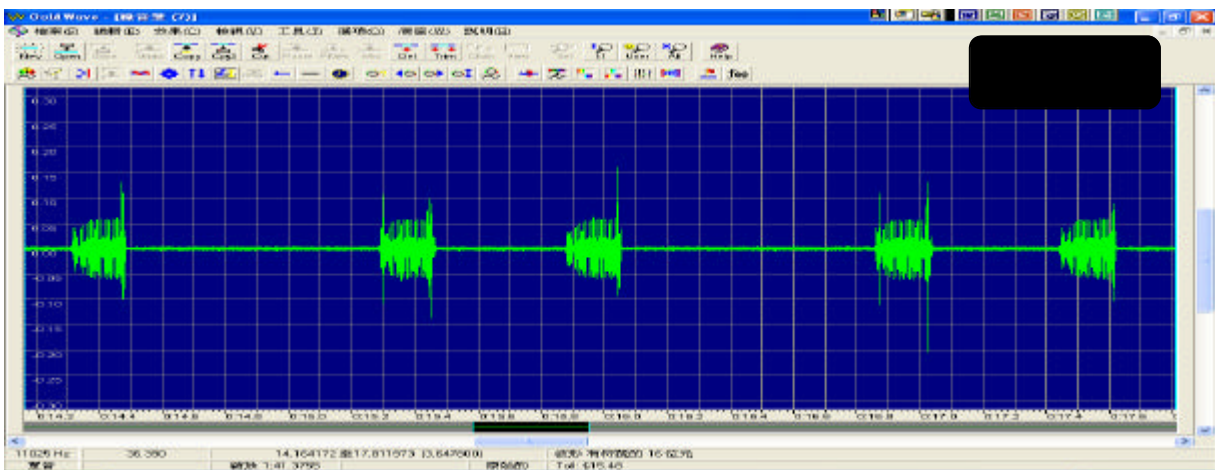
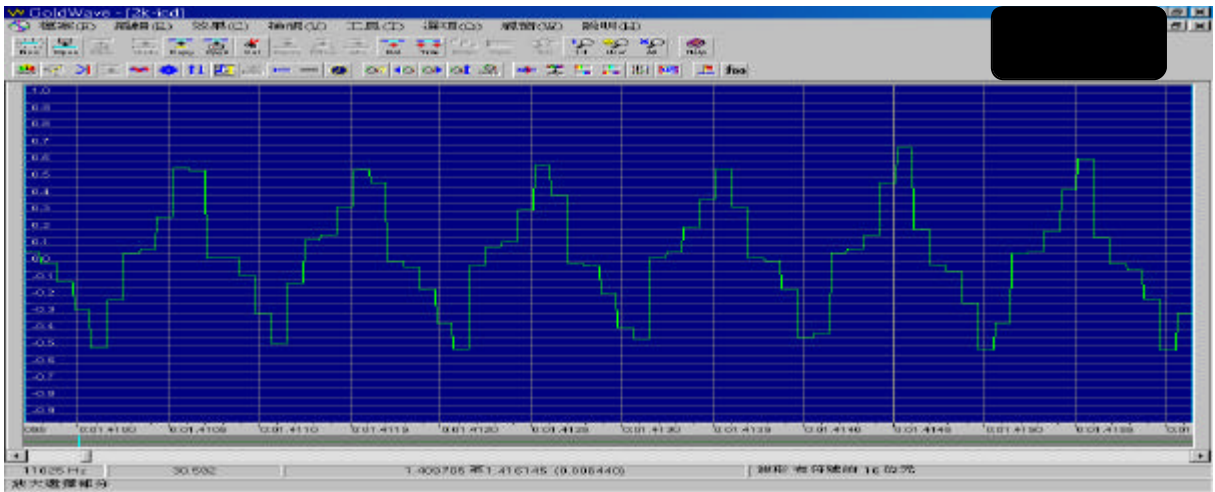
實驗器材：同前面，加上 SONY 的 ICD-R100 以及 DENPA 的 USB-12 兩種錄音筆。

實驗步驟：

將相關儀器如實驗 3-A 裝置，只是先將訊號輸到錄音筆，再由錄音筆輸入到電腦用 GoldWave 分析。

初步結果：

不管是 ICD-R100 或 USB-12 錄音筆得到的結果都類似，取樣頻率低、雜訊多，並不理想。(圖二十五)為輸入 1KHz 方波的錄音筆記錄圖、(圖二十六)則為單擺週期訊號的錄音筆記錄圖。



(5-C) 利用 MD 數位錄音機紀錄再存入電腦

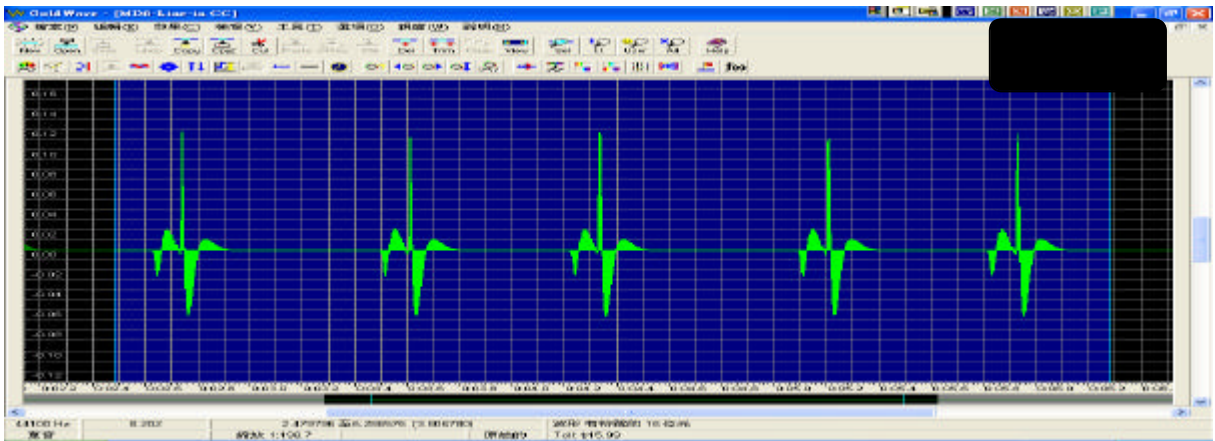
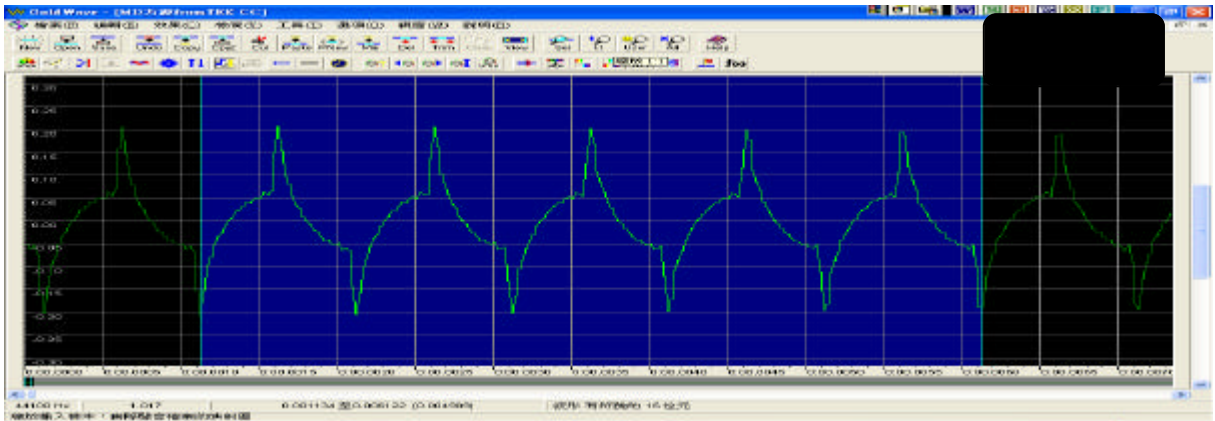
實驗器材：同前面加上 SONY 的 MD 錄音機。

實驗步驟：

將相關儀器如前置，只是將訊號輸到 MD 紀錄，後來再由 MD 放音輸入電腦用 GoldWave 錄音。

初步結果：

(圖二十七)為輸入 1KHz 方波的結果、(圖二十八)則為光敏電阻輸出訊號的圖，取樣快、雜訊少，是理想的轉錄媒介！



實驗五的總結與討論：

我希望能夠經由本實驗，探討不帶電腦進行田野實驗之可行性。首先我發現如果輸入的是 1KHz 方波讀到的波形都會變成尖尖的，不過週期及大致還是 0.001 秒，不會失準。

在 9 月 14 日、28 日分別以錄音帶、錄音筆以及 MD 進行單擺實驗的錄音後，我發現錄音筆的雜訊最大，錄音帶的雜訊比較小，但還是很大，MD 則是雜訊最小的，小到幾乎沒有雜訊。上面實驗記錄經分析得整理到下表數據，很明顯的，MD 錄音計時的結果精密度最高了！

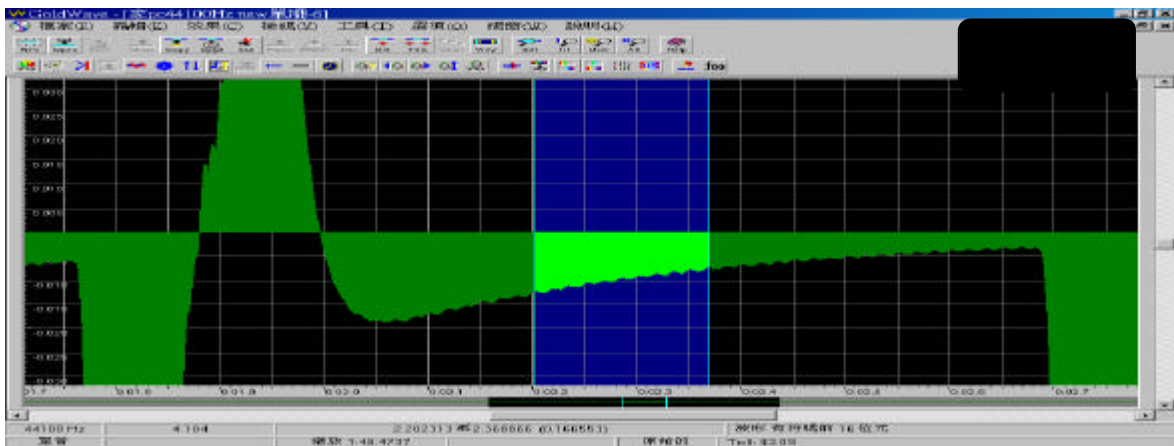
0928 錄音帶記錄			0914 錄音筆			0928MD 記錄	
1	1.5937098s		1	1.5704853s		1	1.5957438s
2	1.5899297s		2	1.5698141s		2	1.5957982s
3	1.5906553s		3	1.5702494s		3	1.5958322s
4	1.5903855s		4	1.5667302s		4	1.5957596s
5	1.5902789s		5	1.5700771s		5	1.5956009s
6	1.5888503s		6	1.5703129s		6	1.5957343s
7	1.5882109s		7	1.5699955s		7	1.5957619s
8	1.5888027s		8	1.5685351s		8	1.5957928s
9	1.590458s		9	1.5703764s		9	1.5957528s
10	1.589381s		10	1.5700408s		10	1.5956735s
平均	1.5901s		平均	1.5697s		平均	1.595745s
標準偏差	0.0015s	>	標準偏差	0.0012s	>	標準偏差	0.000066s

就測得週期的標準差而言，錄音帶的數據誤差最大，推測可能是因為雜訊及錄音帶轉速容易受到電力、帶之鬆緊度不同影響……所造成的，不適合精密的計時實驗。錄音筆誤差也很大，可能是因為雜訊超大以及低取樣率所造成的（只有 11025Hz），所以錄音筆也不適合精密的計時實驗！

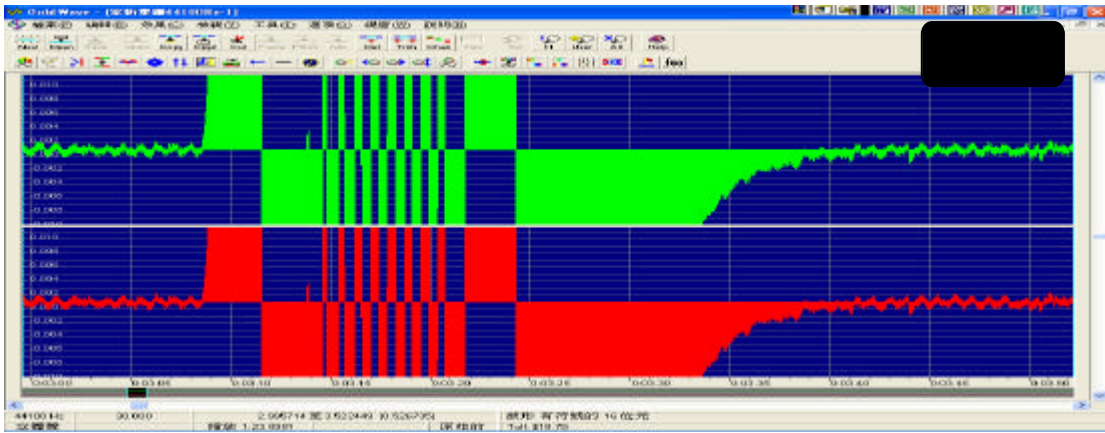
MD 所測得的雜訊非常小，標準差只有 0.00007s 也非常小，最適合進行不帶電腦田野實驗之用。可是因為 MD 所測數據的標準差出奇的小，比 9 月 14 日直接用 PC Sound Blaster Live! 5.1 音效卡實驗的標準差 0.00039s 小，也比 TOSHIBA 筆記型電腦的 0.00013s 小。我覺得很奇怪，於是便進行了以下的比較分析，探討 MD 計時這麼準的原因。

波形雜訊大小與準確度比較：

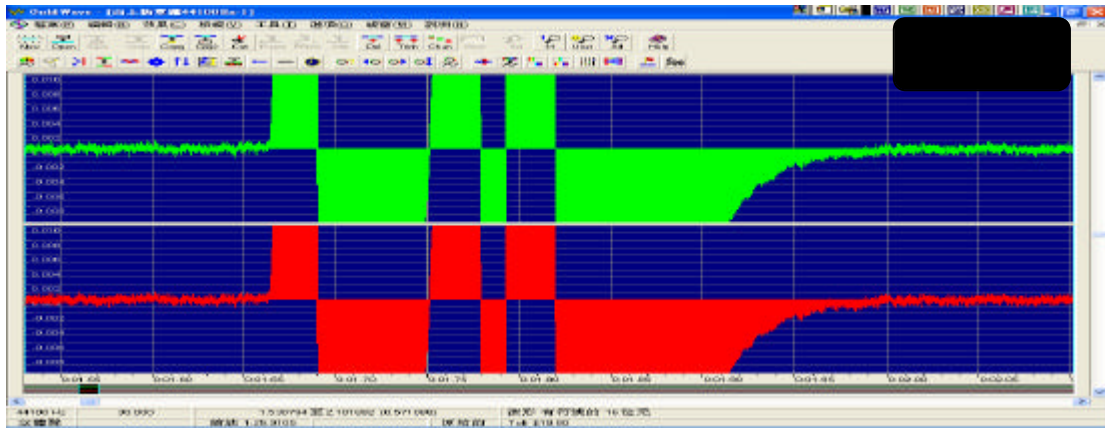
(圖二十九)為桌上型 PC 使用 Sound Blaster Live! 5.1 音效卡錄音的記錄圖，10 個雜訊週期約 0.1665s，換算頻率 60Hz。圖上縱軸格線相距 0.005。



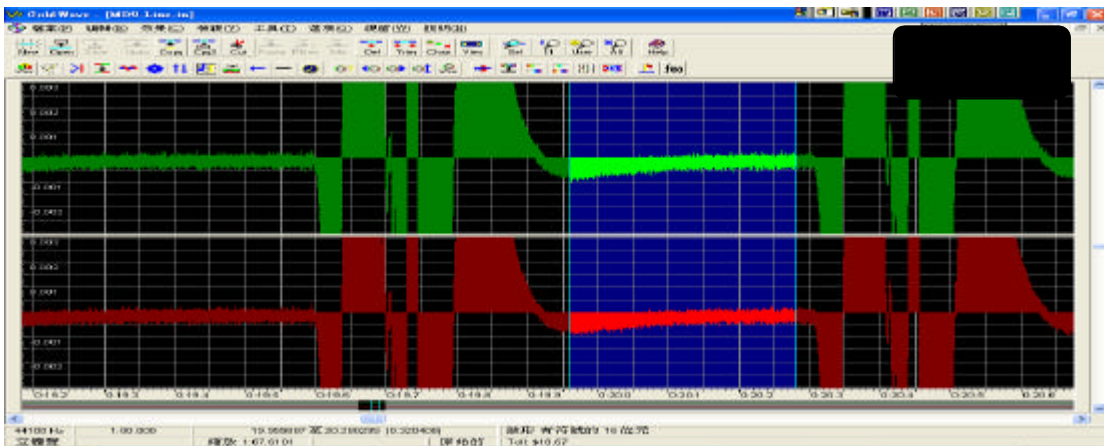
(圖三十)為筆記型電腦(用電池)在家中所做記錄圖，有小雜訊，對數據影響較小。圖上縱軸格線相距 0.001，比(圖二十九)放大許多。



(圖三十一)為筆記型電腦在陽明山上中所記錄圖，雜訊更小。圖上縱軸格線相距 0.001。



(圖三十二)為 MD 在家裡紀錄再經 PC Sound Blaster Live! 5.1 轉錄所得，雜訊非常小。圖上縱軸格線相距 0.0005



跟據以上的比較，我歸納出下面結果：

如果做出來的錄音圖沒有 60Hz 的雜訊的話準確性會提高很多，克服 60Hz 的雜訊後就剩下一些小不規律的小雜訊，小雜訊越小準確度就越高。

MD 錄音時對雜訊的消除做得最好，得到的數據標準差也最小，使用電池的筆記型電腦稍差，標準差也較大，桌上型電腦有很強的 60Hz 雜訊，標準差最大。

結論

以前我用 SW-750 做物理專題時，取樣頻率只有 20KHz，現在利用音效卡，不但不必多花錢買 SW-750，而且可以輕易達到 44.1KHz。如果挑選適當的錄音卡，這樣一來用 GoldWave 軟體，取樣頻率很容易就到達 96KHz，甚至可達 192KHz，比 SW-750 的 20KHz 高得很多了！

雖然 GoldWave 量到的數據和 SW-750 所得到的不同，讓我訝異不已！但經實驗(2-C)對音效卡的記錄情況做了進一步研究之後發現，外界突然增加、或減少的電壓變化都會被音效卡有效紀錄（不是記錄電壓大小），因此我們可以利用這特性來記錄光敏電阻兩端的電壓變化。

實驗(3-A)利用音效卡、光敏電阻做單擺計時，測量結果頗不錯，可以看到在大角度擺動時，擺動週期逐漸變小；在小角度擺動時，週期則近乎不變，這與理論十分吻合！

實驗（3-B）單擺計時之實驗改進，在這個實驗我改用 Sound Blaster Live! 5.1 的音效卡(圖七)；以及用 TOSHIBA Portege 4010 手提式電腦的音效錄音。另外，把支架換成穩定的以減少變因，改進行固定大小的小角度擺動，改進數據分析方法，以進行實驗四。

實驗四做出來陽明山上、山下單擺的週期差異明顯的大於標準差很多，這表示利用音效卡精密量測時間是可行的，可以辨別陽明山下山上的重力加速度差異。

但是電腦實在是太大台，不好攜帶，容易受到天氣、場地的影響，所以我就想：到底有沒有一種輕便、精確又不受氣候影響的方法來測量時間？因而產生了實驗五。

實驗五發現，MD 為不帶電腦進行田野實驗的最佳選擇，它得到的數據標準差小得令人訝異！竟然比 Sound Blaster Live! 5.1 音效卡直些量測得還準！於是引發我進行波形雜訊大小與準確度的比較，從而發現影響數據最大的是 60Hz 的雜訊，只要能夠消除它，準確度就會大幅提昇。

我在做實驗中也意外發現 Gold Wave 可以直接編輯波形，我推測音效卡不只可以讀取時間，而且可以改進成訊號產生器！

我覺得利用音效卡配合光敏電阻做時間精密測量的實驗設計，實在值得推廣到中學、大學教學實驗，甚至用到實際應用的實驗上。本設計所用音效卡本來就放在電腦裡，再加個光敏電阻、一般電阻及乾電池就一切搞定，既經濟又簡便，還可以讓實驗者自由發揮創意，依需要做種種設計與改進！

參考資料。

1. GoldWave 網站
2. P. Carpena, "Velocity measurements through magnetic induction," Am. J. Phys. 65 135-140 (1997)
3. 91 學年麗山高科展報告
4. 大學物理學 李怡嚴 東華書局
5. 高中基礎物理 龍騰出版
6. 高中物質科學物理篇 龍騰出版
7. 高中物理 龍騰出版