

物理科

科別：物理科

組別：高中組

作品名稱：『撞』亂了我的心－鐵磁性物質，磁分子的巨
觀性質與聲速

關鍵詞：電磁感應、聲速、鐵磁性

編號：040108

學校名稱：

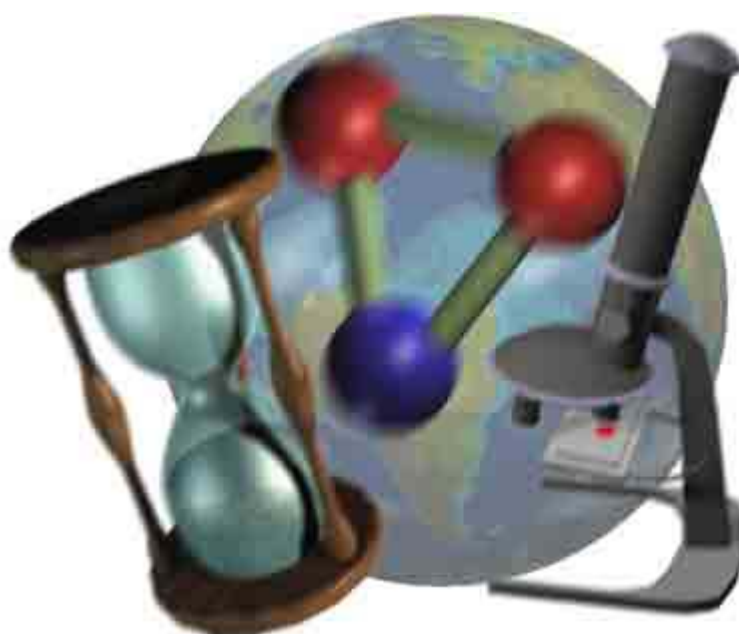
高雄市立高雄女子高級中學

作者姓名：

戴瑩、蘇珮綺、張芷寧

指導老師：

徐德耀、張至君



摘要

本實驗以鐵磁性物質作為實驗材料，經由鐵球撞擊鐵棒的方式，以線圈纏繞在鐵棒上感測振波的行進，並探討線圈所捕捉的波形代表的意義；影響振波及訊號的變因很多，如鐵球撞擊鐵棒的速度、線圈的匝數與圈密度、鐵棒切口面角度、線圈擺放位置，我們均根據變因控制原則一一加以驗證，並證實線圈得到的訊號為聲波通過時的所產生的，鐵棒切口的角度確實會影響聲波的反射。

本實驗最後以單一線圈在鐵棒中不同位置感測以及利用雙線圈在鐵棒的兩端感測，所得到的聲波速度約為 5217m/s，與標準值比較誤差約為 1.6%。

由實驗中得到的感測波波形有奇怪的地方，如線圈在碰撞端時感測波形的第一個波電壓相對甚高，經驗證是由鐵球引起，假如鐵球換成非鐵磁性材料的物體，第一個波則無隆起現象。另外未碰撞時，線圈即可感測到一些零亂的訊號，可能是來自於背景電磁波訊號，假如可以消除，對於觀測會有很大的幫助。

壹、研究動機

每當趴在桌上睡覺時，總是會從桌子裡面聽到由遙遠處傳來的一些從空氣中聽不到的聲音，而且十分的清晰，使我們不禁懷疑，這些聲音到底是哪裡來的？為什麼在空氣中聽不見呢？所以我們想要知道聲音在固體中傳播的情形，為了方便觀測，我們選擇鐵磁性的鐵棒，利用線圈感測傳過鐵棒的波動，以示波器顯示波形，於是設計出以下一連串的實驗。

貳、研究原理

當波動通過鐵磁性物質時，「磁分子」排列受到干擾，本來屬於磁中性的區域，會暫時失去磁中性。因此在鐵棒上繞線圈，當波動通過時，線圈中的磁通量會隨時間變化，線圈中產生了感應電動勢，可由示波器觀察波動通過的狀態。

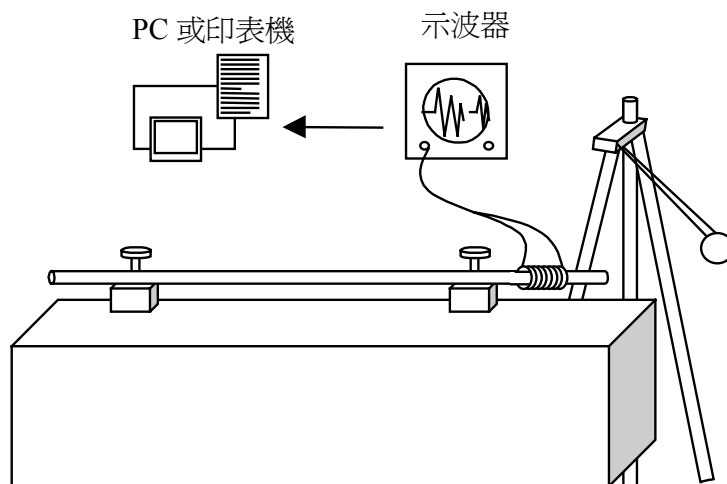
為了定量測量，以鐵球當作單擺，擺至各種幅角，釋放後在最低點碰撞鐵棒，產生了波動。不同的幅角，代表鐵球不同的動能，以此產生不同強弱波動以便觀察波動在鐵棒中的行進。



參、研究設備器材與裝置

器材	數量	器材	數量
示波器(TDS220)	一台	量角器	一個
鐵棒 1.5m	一根	尖嘴鉗	一支
鐵架	數個	游標尺	一個
鐵絲	數包	數位相機	一台
鐵球	一個	計算機	一台
鐵鎚	一支	捲尺	一個
C 型夾	兩個	雙面膠	一捲
漆包線圈 0.17mm	數個	膠帶	一捲
砂紙	一張	剪刀	一支
電線	兩條	WaveStar for Oscilloscopes 軟體	一套

裝置圖甲：

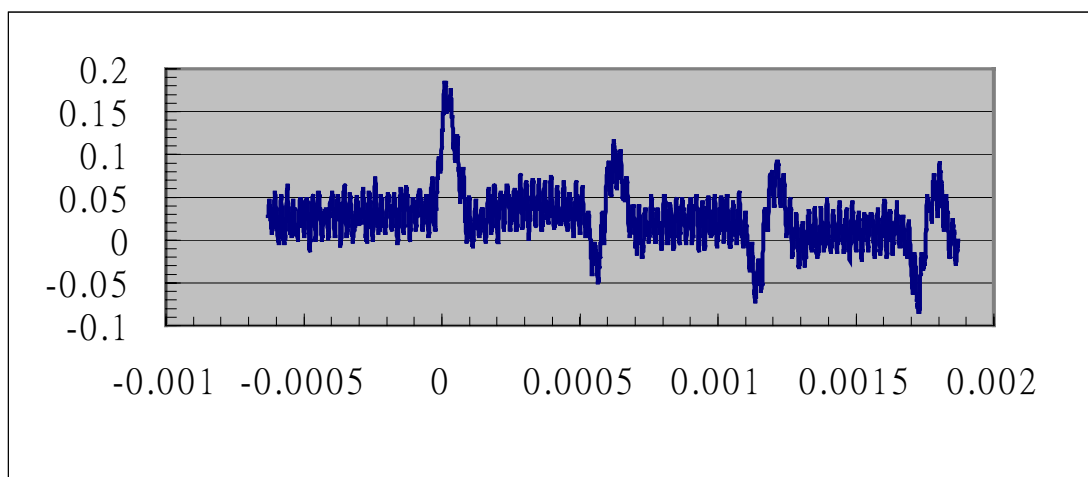




[實驗裝置照片 A]

實驗步驟：

1. 鐵球直徑兩端鎖上細鐵線，固定在鐵架上，鐵棒固定在桌面上，當鐵球擺到最低點時，恰可碰撞鐵棒。
2. 在鐵棒上均勻的繞漆包線，線圈兩端接至示波器的探測棒，由示波器捕捉線圈中的電壓訊號。
3. 數位示波器記錄波動訊號，再經界面卡傳給 PC，以分析捕捉到的訊號的意義。
4. 以 60° 幅角釋放鐵球，碰撞鐵棒，示波器捕捉到由線圈中得到的訊號如下，仔細的觀察，它多出了一些週期性波形，「它」代表什麼呢？以下的設計均為了解影響這些訊號的變因，以及它代表的意義。



肆、研究目的

- (一) 探討鐵球撞擊鐵棒的速度與感應電壓的關係。
- (二) 研究線圈的匝數與圈密度對感應電壓的影響。
- (三) 分析鐵棒切口面角度的不同與感應訊號的關係。
- (四) 分析線圈擺放位置與感應訊號間存在的關係。
- (五) 利用感應訊號週期性的變化，進一步推測在鐵棒中傳播的聲速。
- (六) 探討碰撞球的材料對感應訊號的影響。

伍、研究過程或方式

【實驗一】鐵球碰撞的速度與線圈的第一個感應電壓的關係？

- (一) 研究目的：探討鐵球的撞擊速度與第一個振盪波感應電壓的關係。
 (二) 實驗設計：利用鐵線幅角的變化，來推算鐵球撞擊鐵棒的速度。

操縱變因	鐵線的幅角(每次實驗幅角遞增 5 度)
控制變因	鐵球、鐵棒 1.5m、感應線圈 500 匝

(三) 實驗步驟：

1. 先將 1.5m 鐵棒的兩端固定，並以鐵架及鐵線固定鐵球；在距離鐵球敲擊端 20cm 處置放感應線圈，線圈連接至示波器，如裝置圖甲所示。
2. 將鐵球以不同的幅角敲擊鐵棒，利用示波器觀察紀錄感應訊號，並傳送至電腦，分析第一個振盪波的最大感應電壓值。
3. 分析感應訊號的週期性，並探討鐵球碰撞速度與訊號週期的關係。

(四) 數據及分析：

數據一

※鐵線長度（擺長） $R=0.16\text{m}$

撞擊高度 $H=R(1-\cos\theta)$ ；撞擊速度 $v=\sqrt{2gH}$ （其中 $g=9.8\text{m/s}^2$ ）

表 1：幅角對感應電壓的關係

幅角 θ (度)	50	55	60	65	70	75	80	85	90
撞擊高度 H (m)	0.057	0.068	0.080	0.092	0.105	0.119	0.132	0.146	0.16
撞擊速度 v (m/s)	1.058	1.075	1.119	1.346	1.436	1.525	1.610	1.692	1.771
電壓值 (mv)	180	192	192	210	250	238	238	270	248

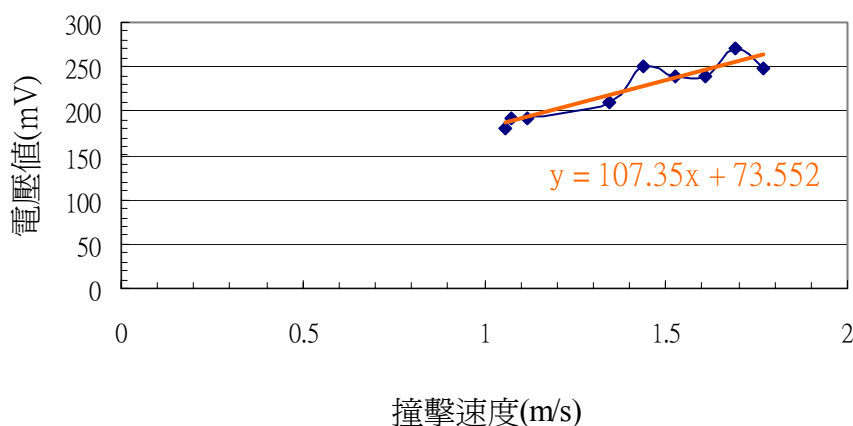


圖 1：撞擊速度對電壓值的關係圖

數據二

表 2：撞擊速度對週期的關係

撞擊速度 v (m/s)	1.058	1.075	1.119	1.346	1.436	1.525	1.610	1.692	1.771
週期 T (ms)	0.575	0.590	0.600	0.575	0.575	0.570	0.585	0.585	0.585

週期平均值=0.582 ms 標準平方差 0.009ms

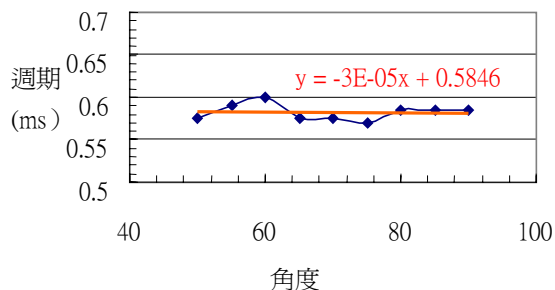


圖 2：週期對角度的關係圖

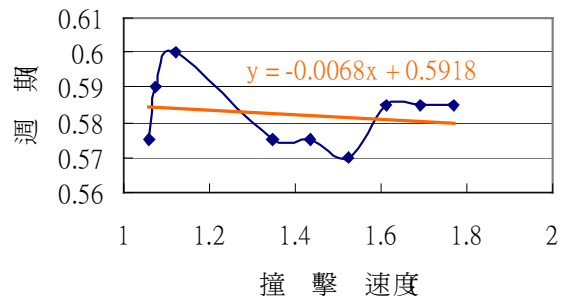


圖 3：週期對撞擊速度的關係圖

(五) 結果與討論：

1. 由數據一的結果發現，線圈感應到第一個振盪波的最大感應電壓值與撞擊的速度呈線性關係。由此可知，當鐵球擺角越大、撞擊的速度越快，則撞擊所產生的波的能量也越大，波的振幅也越大，則產生的感應電壓值就越高。
2. 除此之外，再深入探討撞擊速度與振盪波週期的關係；由數據二.可以觀察到，當我們改變鐵球撞擊的速度時，其振盪波的週期幾乎沒有很大的變化，由趨勢線得到其振盪波的週期值大約在 0.582 ± 0.009 (ms)左右。故撞擊的速度與訊號週期毫無關係。
3. 爲了瞭解影響振盪波感應電壓的因素，我們進一步設計下面實驗來探討感應線圈的幾何形狀對感應電壓值是否有關係？

【實驗二】線圈匝數是否會影響線圈其感應電壓值？

- (一) 研究目的：探討線圈匝數與第一個振盪波感應電壓的關係。
- (二) 實驗設計：

操縱變因	線圈匝數（100～250 匝）
控制變因	鐵球、鐵棒 1.5m、線圈圈密度、鐵線幅角、線圈位置

- (三) 裝置圖：實驗裝置如下圖。



[實驗裝置照片 B]

(四) 實驗步驟：

1. 在鐵棒上距鐵球撞擊端 20cm 處，以口徑 0.17mm 的漆包線緊密纏繞 250 圈（線圈長度約為 5cm），如裝置圖。
2. 以鐵架與鐵線固定鐵球，利用支架將纏上線圈的鐵棒兩端固定，並將感應線圈連接至示波器。
3. 每次實驗線圈遞減 25 匝，鐵球以幅角 60 度的撞擊速度敲擊鐵棒一端，經由示波器觀察紀錄並傳送至電腦，分析第一個穩定的振盪波的感應電壓值。

(五) 數據及分析：

數據三

表 3：圈數對電壓值得關係

圈數（圈）	250	225	200	175	150	125	100
線圈長度（cm）	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2
電壓值（mv）	127	120	141	118	80	61	35

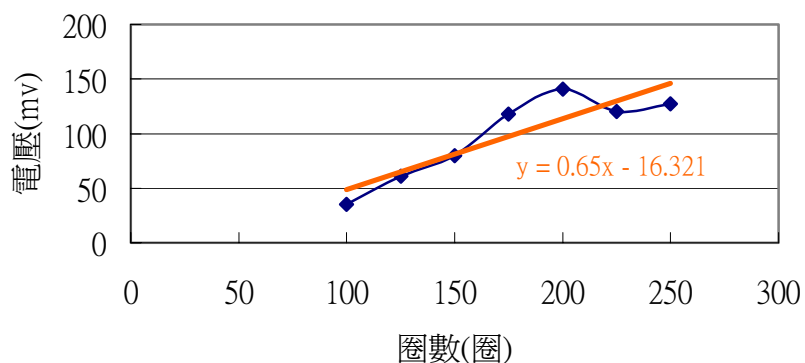


圖 4：圈數對電壓的關係圖

數據四

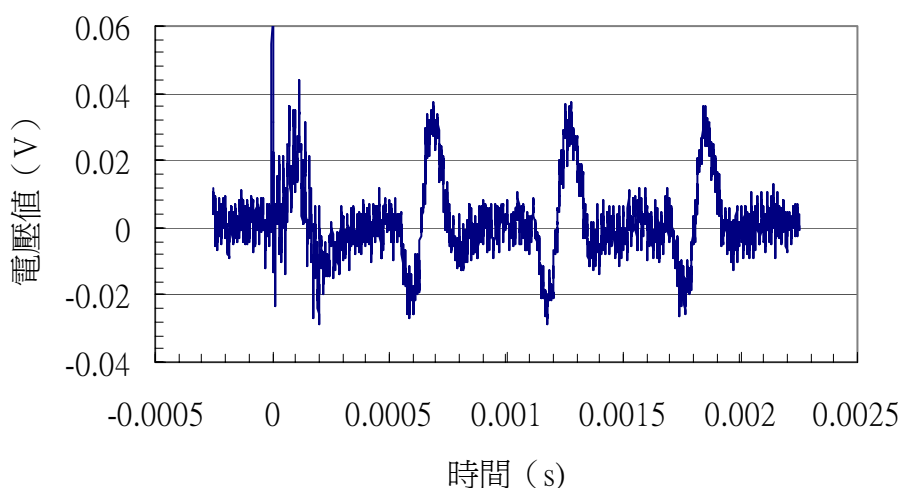


圖 5：線圈匝數為 250 匝的感應訊號。

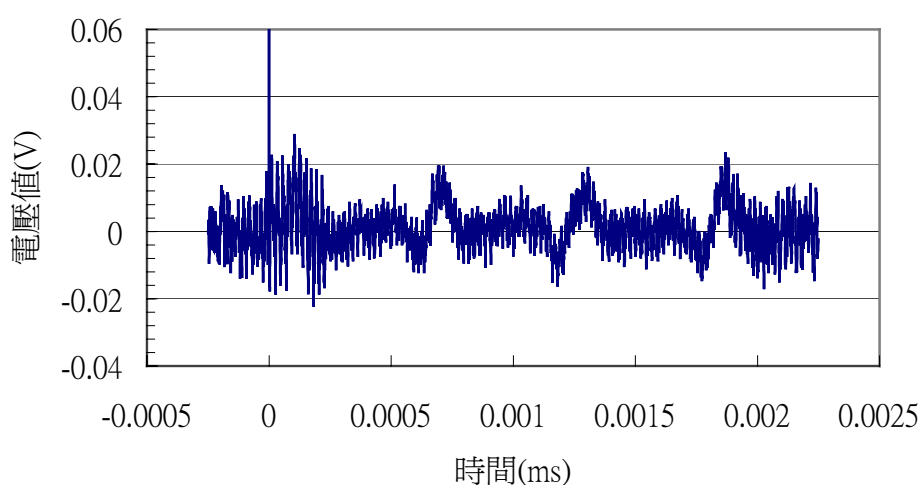


圖 6：線圈匝數為 125 匝的感應訊號。

(六) 結果與討論：

1. 由數據三得知，第一個穩定的感應訊號的最大感應電壓值和線圈匝數呈線性關係；也就是說，當線圈的匝數越多，其感應電壓值越大。
2. 由數據四，當線圈纏繞的匝數少時，線圈長度短，因此能感測振盪波在特定點的電壓訊號；當線圈纏繞的匝數多時，線圈長度長，一方面能增強感應電壓訊號，但感測到的卻是這段長度內的平均訊號無法表現特定點的特色；爲了兩者兼顧我們採中庸，以 150 匝緊密線圈作爲感應線圈。
3. 除此之外，增加線圈的層數亦即增加線圈的圈密度（ $n = \frac{N}{\ell}$ ）是否也會改變其振盪

波的感應電壓值？於是我們設計下面實驗來繼續驗證。

【實驗三】增加線圈的圈密度是否會影響感應電壓？

- (一) 研究目的：探討線圈圈密度與第一個振盪波感應電壓的關係。
- (二) 實驗設計：在線圈長度約 3cm 的長度內，均勻纏繞一層爲 150 匝的線圈，逐次纏繞厚度約五層的線圈，藉以增加線圈的圈密度。

操縱變因	改變線圈的圈密度
控制變因	線圈每一層纏繞 150 匝、鐵球、鐵棒 1.5m、鐵線幅角、線圈位置

(三) 裝置圖：實驗裝置如下圖。



[實驗裝置照片 C]

(四) 實驗步驟：

1. 利用 0.17mm 的漆包線緊密纏繞一個大小恰可套入口徑為 20mm 鐵棒的線圈(共五層，每層 150 匝)，將此線圈作為【實驗三】的感應線圈。
2. 以鐵架、鐵線固定鐵球，以支架固定鐵棒兩端，將步驟 1 的感應線圈套入鐵棒，並固定在距離鐵球敲擊端約 20cm 處，將線圈連接至示波器，如裝置圖所示。
3. 每次減少一層(即 150 匝)線圈，鐵球固定以幅角 60 度的撞擊速度敲擊鐵棒，經由示波器觀察紀錄並傳送至電腦分析第一個振盪波的感應電壓值。

(六) 數據及分析：

數據五：

表 4：層數對電壓值的關係

層數（層）	5	4	3	2	1
圈數（匝）	750	600	450	300	150
圈密度 （匝數/長度 cm）	250	200	150	100	50
電壓值（mv）	70	65	57	45	30

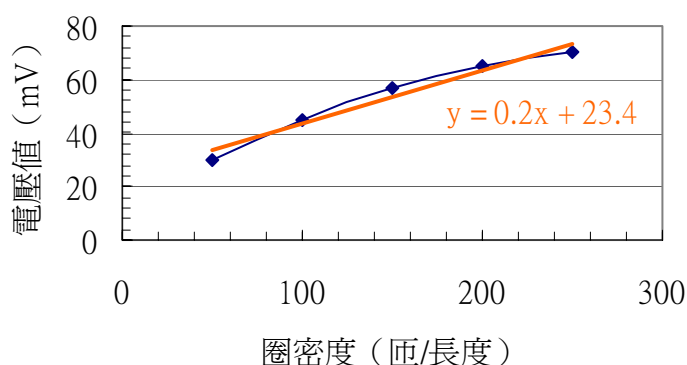


圖 7：電壓值對圈密度的關係圖

(六) 結果與討論：

1. 由實驗結果我們可以發現，當感應線圈纏繞的層數越多，即每單位長度的匝數越多，則振盪波感應得到的電壓值越大，而且接收訊號的能力也越好。因此圈密度與感應電壓值的關係呈線性關係，如上圖 7 所示。
2. 根據【實驗二】與【實驗三】的結果，我們採用單層 150 匝長度 3cm 重複纏繞 5 層，平均圈密度為 250(匝/cm)的線圈作為感應線圈。
3. 鐵棒中的振盪波的感應訊號電壓值會受到線圈幾何形狀的影響，那麼當振盪波在鐵棒中傳遞時，鐵棒兩端的切口面角度(反射面方向)是不是也會影響感應訊號呢？再設計以下實驗觀察。

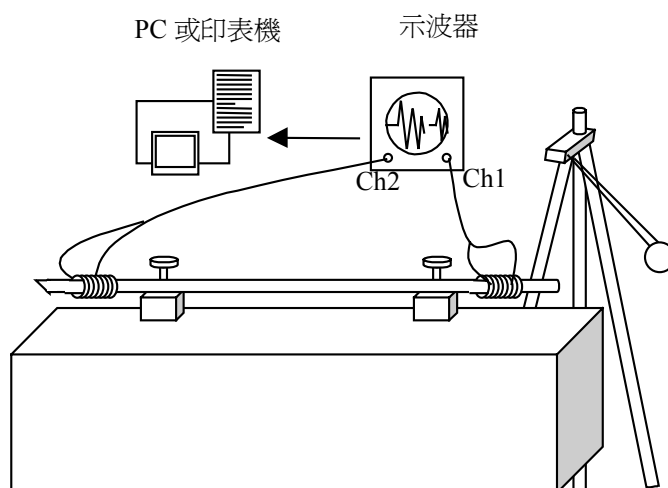
【實驗四】鐵棒兩端的切口面角度與感應訊號的關係？

- (一) 研究目的：比較鐵棒兩端切口面為垂直面與斜切面，其振盪波的感應訊號有何不同？
- (二) 實驗設計：

操縱變因	鐵棒一端的切口面角度
控制變因	鐵球、鐵棒 1.5m、鐵線的幅角……等

(三) 裝置圖：

1. 實驗組-鐵棒兩端切面，鐵球敲擊端為垂直面，另一端斜切面與鐵棒軸夾 17 度角的切面，其裝置如下圖--裝置圖乙。



2. 對照組-鐵棒兩端切面均為垂直面，其裝置如【實驗一】裝置圖甲。

(四) 實驗步驟：

1. 實驗組：以口徑 0.17mm 的漆包線纏繞 2 個圈密度為 250 (匝/cm) 的線圈。並取口徑 20mm、長約 140cm 的鐵棒，將一端斜切與棒軸夾 17 度角，而另一端切面保持與棒軸垂直。以鐵架、鐵線固定鐵球，以支架固定鐵棒，裝置線圈（一線圈距斜切口 0cm，另一個距垂直端 0cm），接上示波器。如實驗組的裝置圖。
2. 對照組：再將單一線圈置放於一個兩端切面都是垂直面的鐵棒上，距鐵球敲擊端 144.5cm 處，作為對照組。
3. 分別以鐵球從擺角 60 度的地方敲擊鐵棒，經由示波器觀察、紀錄。

(五) 數據及分析：

數據六：

實驗組 — ch1, 距垂直端 0cm 處 — ch2, 距斜切口 0cm 處

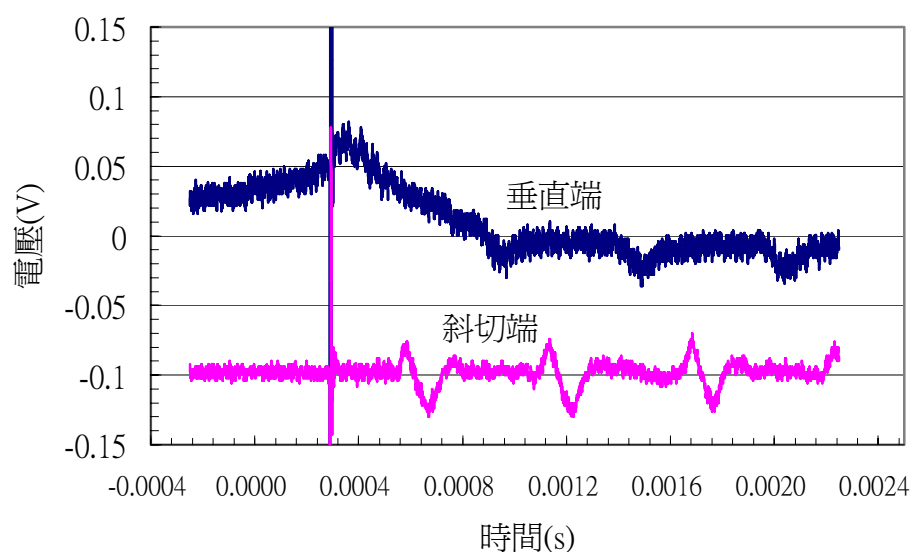


圖 8A：實驗組短時間範圍，振盪波的感應訊號波形

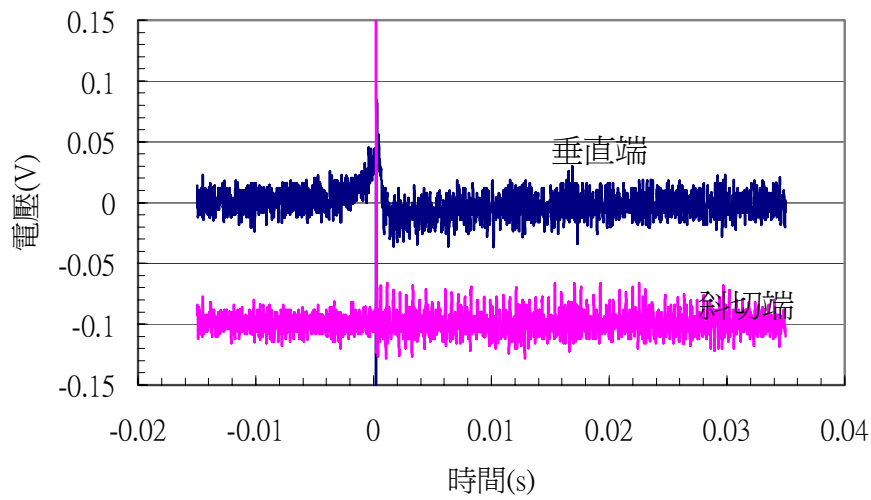


圖 8B：實驗組長時間範圍，振盪波的感應電壓波形

對照組

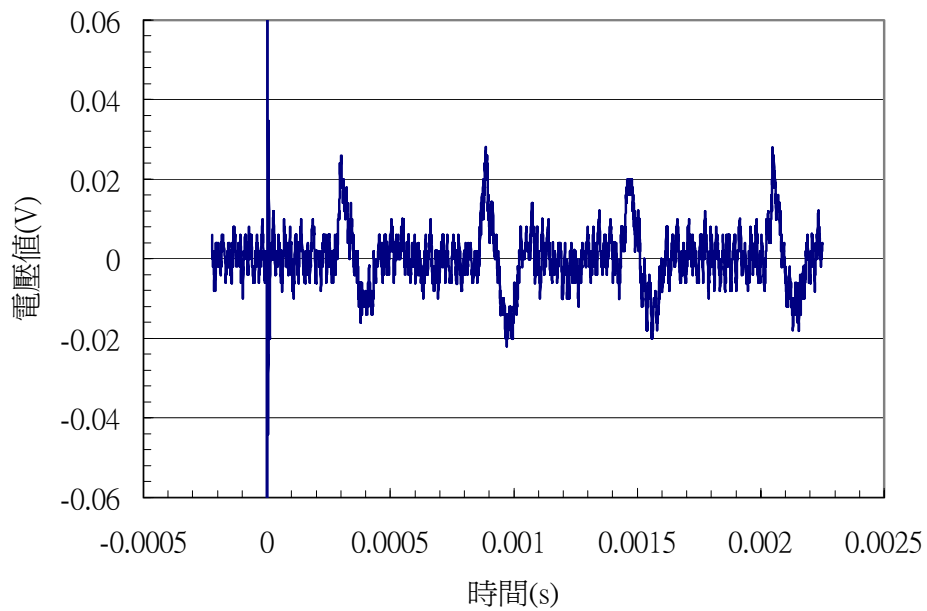


圖 9A：對照組短時間範圍內，振盪波的感應電壓波形

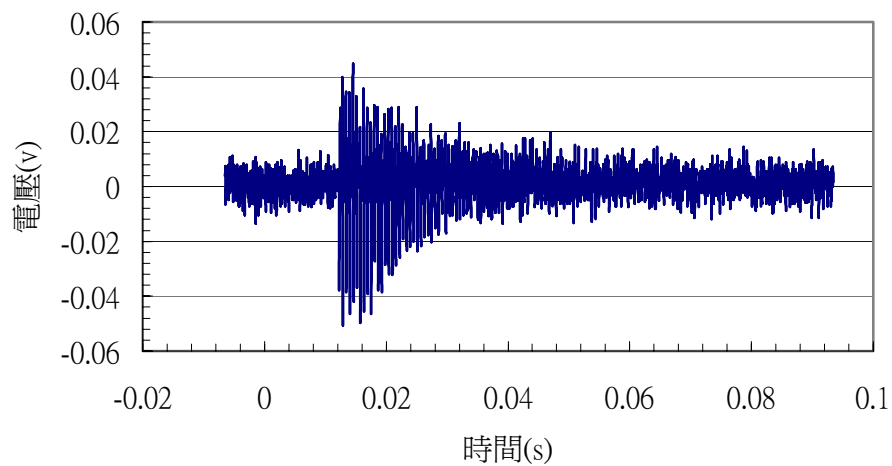


圖 9B：對照組拉長時間，振盪波的感應電壓波形

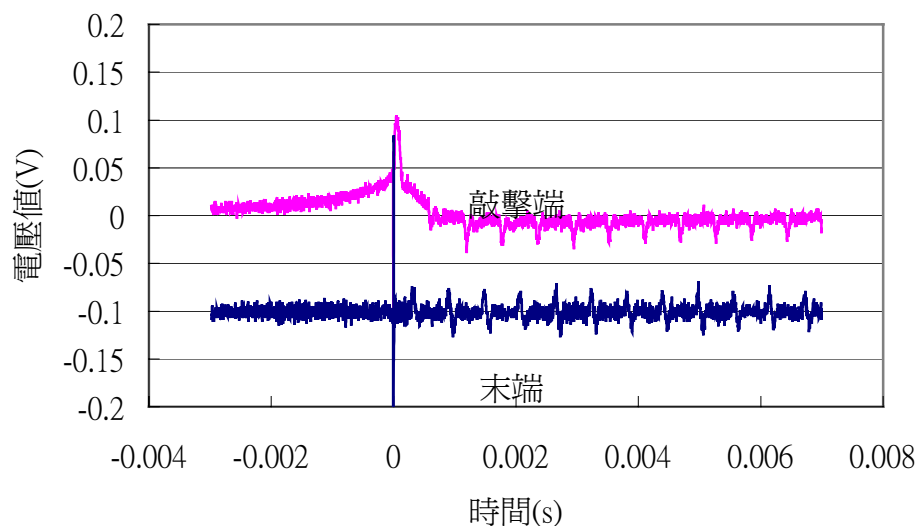


圖 10：鐵棒兩端均為垂直面，在敲擊端及末端振盪波的感應電壓波形

(六) 結果與討論：

1. 由圖 8A 的實驗組的實驗結果可以觀察到，ch1 即敲擊端(垂直切口)的感應訊號，得到的訊號波不十分的清晰；而 ch2 即斜切面的感應訊號波，具有十分清晰的波形，但兩者的週期相同。
2. 由圖 9A 對照組的結果可以觀察到，當鐵棒的兩端都是垂直面時，感應電壓的波形具有規則且週期性的變化；而且由圖 9B 也可以看到，當拉長觀測時間後，感應電壓值在最初時相當大，經過一段時間後(約 12ms)才明顯呈現衰變的現象，故對照組得到的感應電壓值都比實驗組(圖 8B)得到的感應電壓值來的大。
3. 由實驗組(斜切口)的結果發現訊號從一開始就有明顯的衰減，且兩端所得到的感應訊號並不一致；而對照組(垂直面)的實驗結果，如圖 10，可以看到兩端的感應訊號一致，因此我們採用兩端都是垂直面的鐵棒繼續觀測。
4. 不論在實驗組或對照組，都得到反覆出現的連續週期波，我們猜這是振盪波在鐵棒內來回反射所造成的，爲了要證實這個猜測，於是我們將單一感應線圈擺放在兩端都是垂直面的鐵棒上，利用線圈放置於不同的位置(即改變線圈到反射面的距離)來觀察其感應訊號所呈現的波形變化。

【實驗五】線圈在鐵棒的位置是否會影響波形？

(一) 研究目的：改變線圈在鐵棒的位置並觀察其振盪波感應訊號的波形。

(二) 實驗設計：

操縱變因	線圈位置
控制變因	鐵球、鐵棒 1.5m、鐵線的幅角

(三) 裝置圖：如【實驗三】裝置圖

(四) 實驗步驟：

1. 以鐵架、鐵線固定鐵球，以支架固定鐵棒兩端。利用 0.17mm 的漆包線緊密纏繞一個大小恰可套入口徑爲 20mm 鐵棒的線圈(共五層，每層 150 匝，匝密度爲 250 匝/cm)，將此線圈作爲感應線圈，並連接至示波器。

2. 依序改變線圈在鐵棒上的位置，鐵球以固定幅角 60 度釋放敲擊鐵棒，經由示波器觀察紀錄並傳送至電腦分析其波形。
3. 比較線圈在鐵棒上不同位置時感應波形的變化。

(五) 數據及分析：

圖 11 至圖 15 代表線圈在鐵棒上不同位置時，振盪波的感應波形。由圖中可以清楚的看出訊號波為連續週期波形。其中 T_1 表示連續週期波的週期； T_2 表示從第一個最大的波峰到第一個最大的波谷所需之時間。

數據七

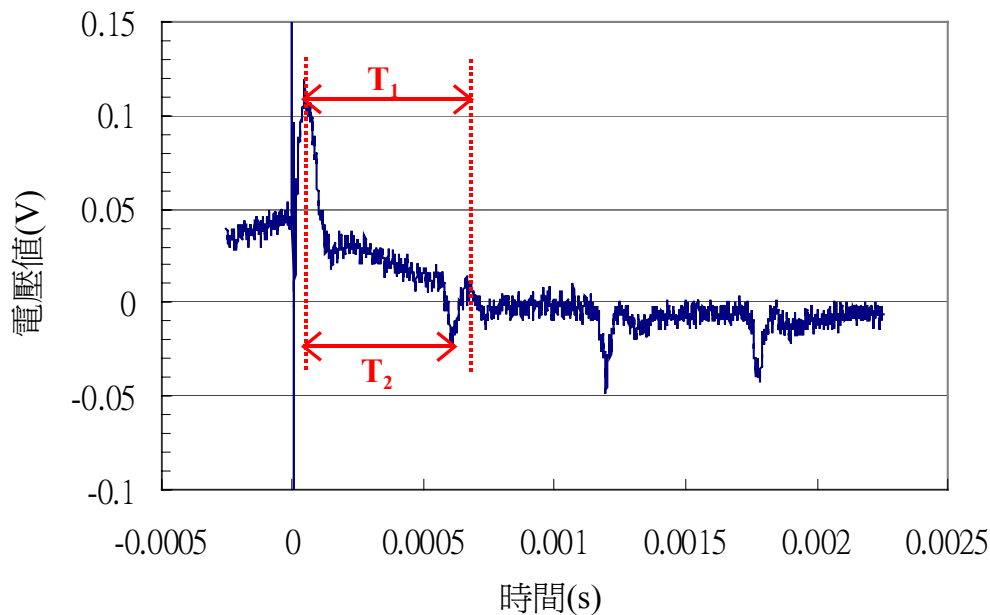


圖 11：為距離鐵球敲擊 0cm 處，線圈感應的訊號波的波形

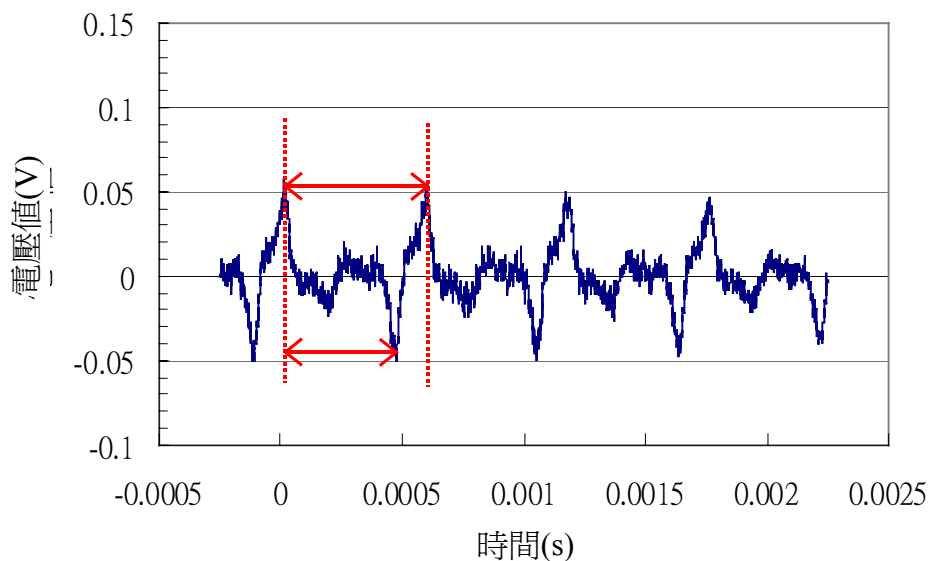


圖 12：為距離鐵球敲擊 30cm 處，線圈感應的訊號波的波形。

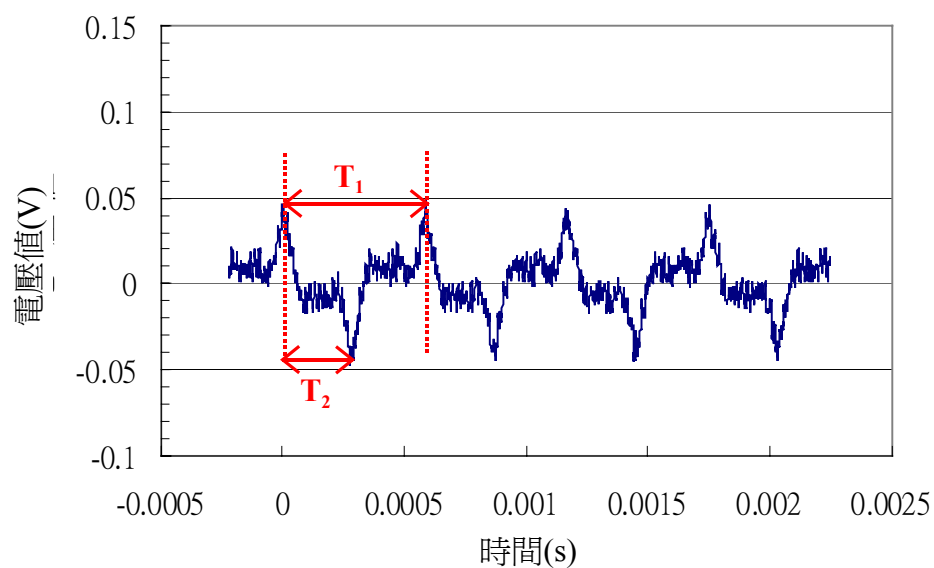


圖 13：為距離鐵球敲擊 75cm 處，線圈感應的訊號波的波形。

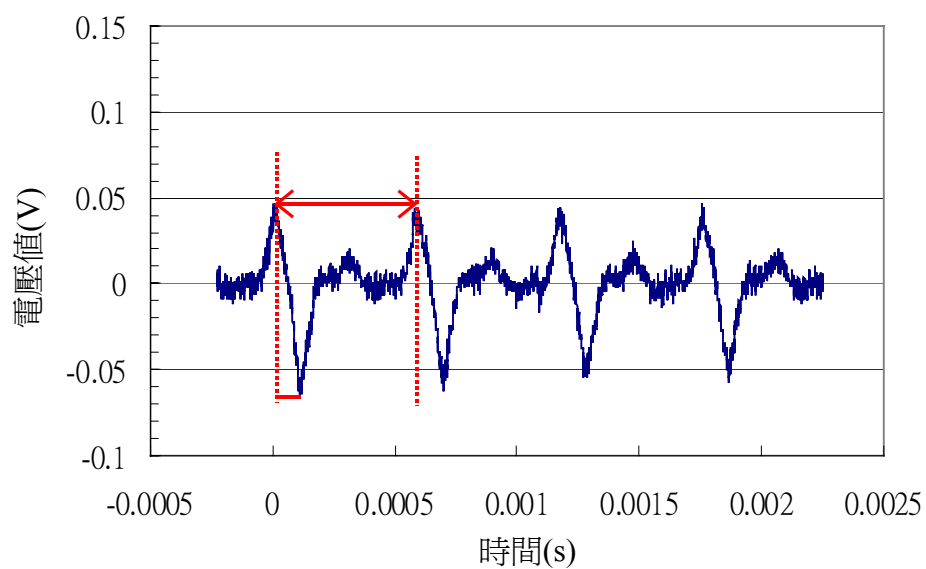


圖 14：為距離鐵球敲擊 120cm 處，線圈感應的訊號波的波形。

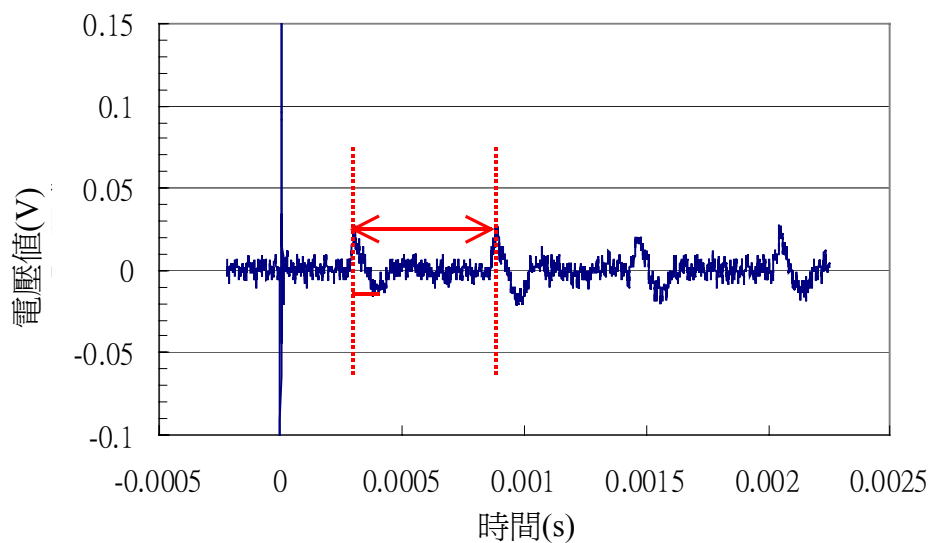


圖 15：為距離鐵球敲擊 144.5cm 處，線圈感應的訊號波的波形。

數據八

表 5：線圈在鐵棒中的位置對時間的關係

線圈距敲擊處的長度 L_1 (cm)	0	30	75	120	144.5
線圈距反射面的長度 L_2 (cm)	150	120	75	30	5.5
時間 T_2 (ms)	0.550	0.440	0.295	0.110	0.090

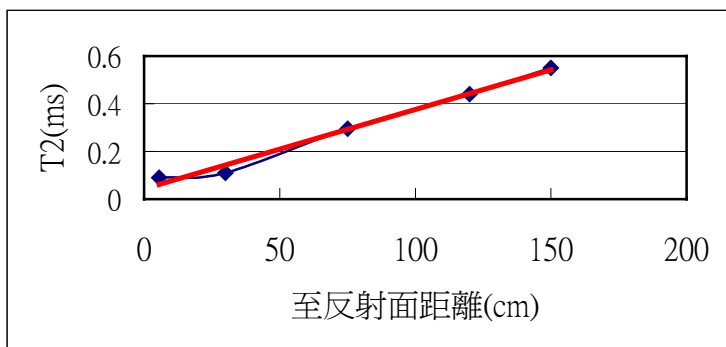


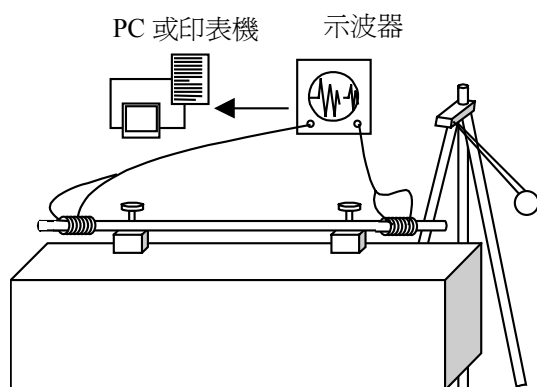
圖 16：線圈在鐵棒中的位置對時間的關係

(六) 結果與討論：

- 經由數據七的圖形，我們可以清楚的觀察到，當線圈放置在鐵棒上不同位置時(線圈到反射面的距離改變)，每個週期波所呈現出來的波形有明顯的差別；而每個週期波的 T_1 時間為定值，而 T_2 卻會隨著線圈距離敲擊端的長度改變，如數據二分析， T_2 時間與線圈至反射面距離 L_2 關係圖為通過原點的斜直線， T_2 與 L_2 成正比。
- 因此由數據八的結果，我們可以推論， T_1 為聲波在鐵棒中往復一週的時間；而 T_2 則是振盪波通過線圈至經由反射面反射回來再一次通過線圈的時間。若訊號波波峰代表前進波的波形，則波谷代表反射波的波形。
- 由此關係，我們進一步推測鐵棒中聲波傳遞的速度。

【實驗六】在鐵棒兩端裝置感應線圈測量振盪波波速

- 研究目的：推測鐵棒中的聲速。
- 實驗設計：利用兩個感應線圈放置在鐵棒的兩端，用來捕捉週期波來回的時間。
- 裝置圖丙：



(四) 實驗步驟：

1. 以鐵架、鐵線固定鐵球，以支架固定鐵棒，兩端裝置線圈，線圈分別接上示波器的 ch1 與 ch2，個別分析兩線圈的感測波形。如裝置圖。
2. 由波形分析週期，並計算聲速。

(五) 數據及分析：

數據九：

— ch1，距敲擊端 144.5cm 處 — ch2，距敲擊端 0cm 處

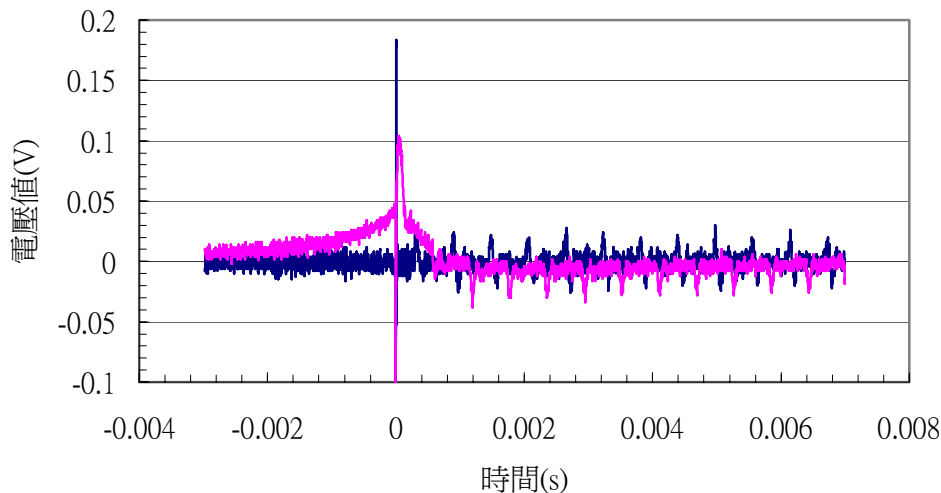


圖 17 線圈在鐵棒兩端的個別感應訊號

(六) 結果與討論：

1. 由圖 17 結果，我們證實了當鐵球撞擊鐵棒後，將聲波傳遞出去，我們可以看到 ch2 反射波的 peak 幾乎位在 ch1 週期波兩個 peak 的中間，聲波在鐵棒中來回傳播，來回時間相同，因此兩端線圈所得到的訊號交替出現，與我們推論的吻合。
2. 於是我們進一步推測在鐵棒中聲波傳遞的速度，訊號週期為 $0.575 \mu s$

$$v = \frac{3m}{0.575 \mu s} \cong 5217 m/s$$

與公認值=5135m/s 作比較，發現誤差值= $\frac{5217-5135}{5135} \cong 0.016$ ，與公認值十分吻合。

3. 由以上的實驗結果(圖 10、11、17)，我們還發現當線圈很靠近撞擊端時，近撞擊端的感應線圈所得到的第一個感應波形相對於其他波形有隆起現象，而遠撞擊端的感應線圈則無此現象，我們在檢查所有相關變因後，猜測這個現象應該是鐵球的『接近』感應線圈行為所引起，於是我們設計下面實驗來驗證。

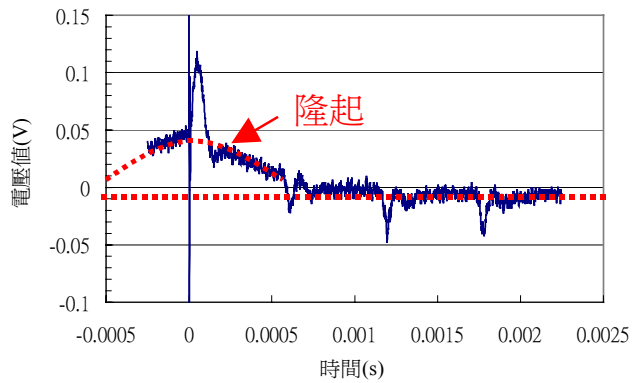


圖 18 以鐵球撞擊鐵棒，近撞擊點的線圈所得的感應訊號

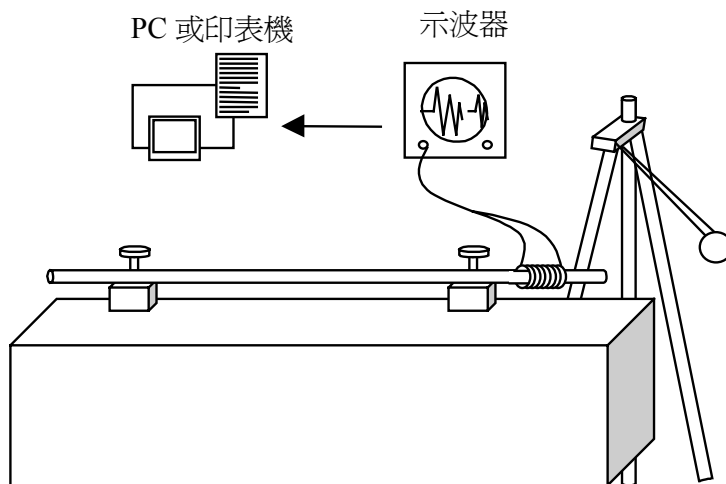
【實驗七】

(一) 研究目的：探討不同材料的物體撞擊鐵棒對感應訊號的影響。

(二) 實驗設計：

操縱變因	物體材料為鐵球、銅槌、鵝卵石和塑膠球
控制變因	線圈每一層纏繞 150 匝共 5 層、鐵棒 1.5m、鐵線幅角、線圈位置

(三) 裝置圖：如裝置圖甲。



(四) 實驗步驟：

1. 以鐵架、鐵線固定鐵球，以支架固定鐵棒，在敲擊端裝置線圈，線圈接上示波器，分析線圈的感測波形。如裝置圖甲。
2. 把步驟 1. 的鐵球改為銅球、撞球和鵝卵石個別再重複步驟 1. 一次

(五) 數據及分析：

數據十：

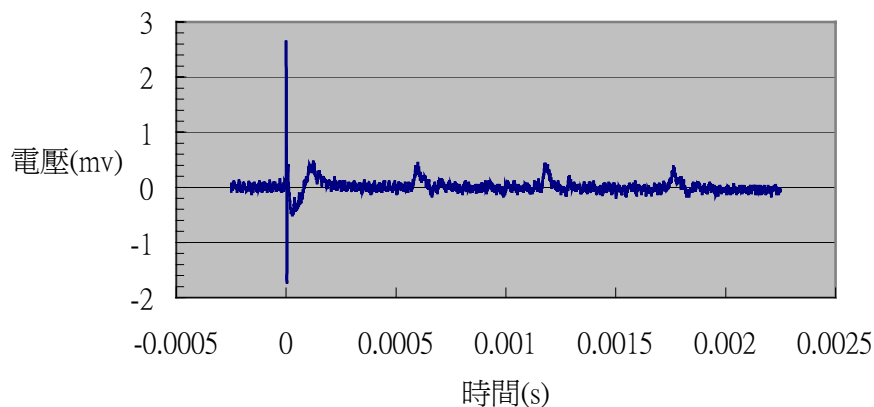


圖 19：以銅錘碰撞鐵棒，線圈所得的感應訊號

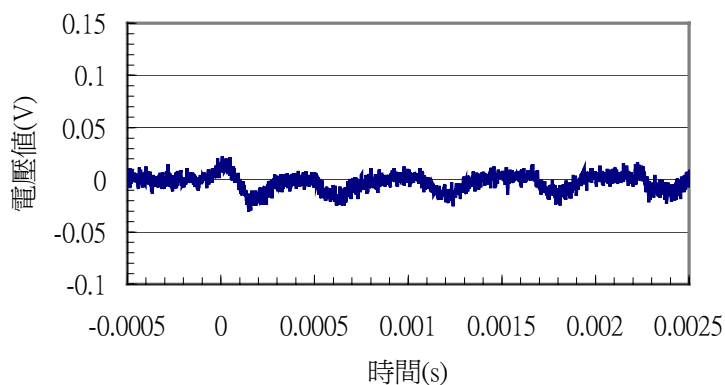


圖 20：以撞球碰撞鐵棒，線圈所得的感應訊號

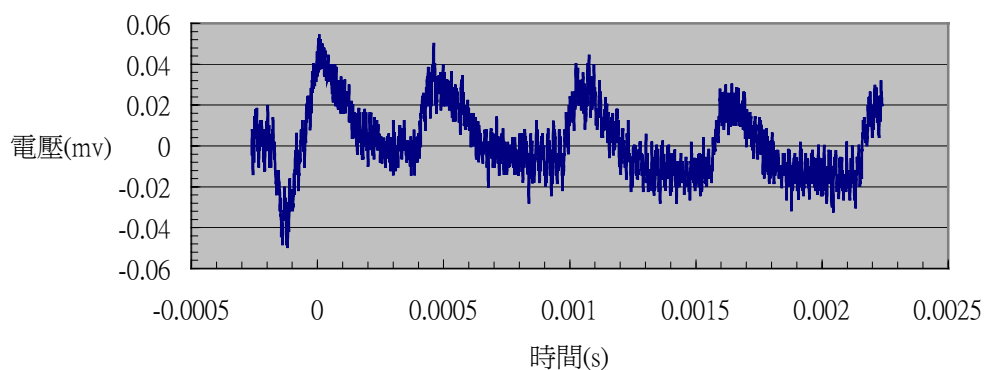


圖 21：以鵝卵石撞球碰撞鐵棒，線圈所得的感應訊號

(六) 結果與討論：

- 1.圖 18 為鐵球碰撞鐵棒，線圈所得的感應訊號；圖 19、20、21 為銅槌、塑膠球、鵝卵石和鐵棒碰撞，線圈所得的感應訊號，互相比較，圖 18 的第一波波形有隆起，而圖 19、20、21 的第一波波形則無隆起。
- 2.鐵球為鐵磁性材料，而銅槌、塑膠球、鵝卵石等均為非鐵磁性材料；第一波波形的隆起應該是----因碰撞與快速接近，使鐵磁性的鐵球中的『磁分子』混亂而失去磁中

性，纏繞在鐵棒的線圈也一併感應到其磁通量的變化，因此使感應電壓合成而變大。

而銅槌、塑膠球、鵝卵石非鐵磁性材料，它的接近與碰撞對纏繞在鐵棒的線圈的磁通量無任何的改變，因此無額外的感應電壓。

3.爲了更進一步的證明這確實是鐵球的影響，將鐵棒改成 PE 棒，以相同的線圈然繞在 PE 棒上面，以相同的鐵球碰撞 PE 棒，試一試是否會有感應電壓。

【實驗八】

(一) 研究目的：鐵球碰撞非鐵磁性的 PE 棒，探討線圈的感應訊號的改變。

(二) 實驗設計：

操縱變因	棒子的材質（PE 膠棒和鐵棒）
控制變因	線圈每一層纏繞 150 匝、PE 棒 1.5m、鐵線幅角、線圈位置

(三) 裝置圖：如裝置圖甲。

(四) 實驗步驟：

1. 以鐵架、鐵線固定鐵球，以支架固定鐵棒，在敲擊端裝置線圈，線圈接上示波器，分析線圈的感測波形。如裝置圖。
2. 把鐵棒改爲膠棒重複步驟 1.再做一次。

(五) 數據及分析：

數據十一：

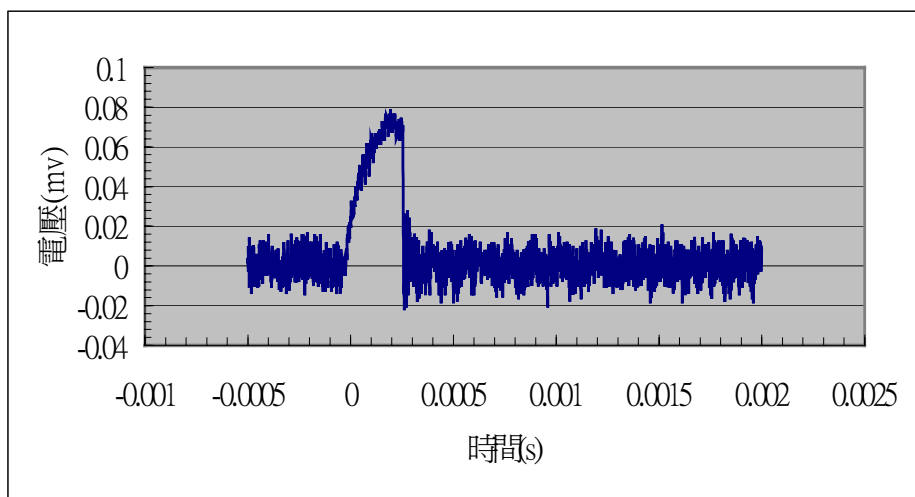


圖 22：鐵球碰撞 PE 棒，只產生一個感應訊號。

(六) 結果與討論：

1. 由圖 18 可看出當鐵球接近鐵棒時，產生巨大的隆起，並在巨大的隆起之後有明顯的週期性電壓值的改變。
2. 而由圖 22 發現相較於鐵棒，當鐵球接近膠棒上的感應線圈的時候，發現電壓值有明顯的改變，由圖 22 可以看到巨大的隆起，我們推測是鐵球接近線圈時，造成磁通量改變而產生感應電壓。
3. 由圖 22 發現電壓值在巨大的隆起之後，並沒有明顯的週期性變化，而且幾乎沒有感應電壓的產生，我們猜想是由於膠棒非鐵磁性物質，當膠棒中微小分子受到撞擊而振動，不會造成磁通量的改變，因此也不會出現感應電壓。

陸、研究結果

1. 我們發現增加鐵球的撞擊速度、增加鐵棒上纏繞線圈的長度及圈密度，都會直接影響到感應訊號的強度，因此我們採取高圈密度，適中線圈長度作為感應線圈(長度 3cm，匝密度 250 匝/cm)。
2. 經由撞擊速度的改變，我們也看到當速度變大時，感應電壓隨之變大，但感應訊號的週期並沒有隨著改變(鐵棒長維持 150cm)，而是維持在 0.582 ± 0.009 (ms) 左右，因此我們推論感應訊號是由於振盪波通過線圈造成，而此振盪波就是鐵球撞擊鐵棒造成聲波。
3. 由實驗四的結果得知，當鐵棒一端的切口斜切 17 度時，其週期波的波形與兩端切口為垂直面時不同；而且由斜切口的結果發現鐵棒兩端線圈所得到的感應訊號並不一致；而兩端都是垂直面的鐵棒，其感應訊號一致，因此我們採用兩端都是垂直面的鐵棒作為測量的鐵棒。
4. 感應線圈所在鐵棒上的位置也會影響到感測波的波形，週期波的波峰至波谷的時間會隨著線圈距離反射面的長度改變，更讓我們確認，若週期波波峰代表前進波的波形，則波谷代表反射波的波形。
5. 在鐵棒兩端放置線圈，同時觀測振波的行進，所得到的感應波波形週期相同，但兩波相對移動了半週期，這個結果證實聲波半週期內走了鐵棒長到達另一個線圈，又經半週期再回到原線圈，充分表達聲波在鐵棒中行進的事實。
6. 利用上述的結果，推測鐵棒中的聲速，大約是 5217m/s。
7. 假如感應線圈很靠近鐵球的碰撞端，則線圈所獲得的感應訊號，第一波形比較以後的出現的波具有隆起的差異，這是因為鐵球是鐵磁性物質，因碰撞而使鐵球內部的磁分子瞬間混亂，感應線圈內的磁通量因而變化而合成電壓較高的訊號。

柒、討論

1. 我們的實驗中，鐵棒屬於鐵磁性物質(ferromagnetic materials)，軟鐵物質可看做是帶有磁場的微小磁鐵(磁分子)的組合，通常磁分子排列混亂，整體呈現磁中性。當鐵棒受撞擊後，因為聲波的傳遞造成磁分子彼此相互擠壓，瞬間失去磁中性，感應線圈中產生磁通量變化。由法拉第定律： $\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$ 可知，因為磁通量 Φ 改變，所以產生感應電動勢 ε 。當線圈的匝數 N 或圈密度增加時 ε 也會跟著增加。
2. 當線圈靠近撞擊端時，所得到波形的第一個波的電壓相對於其他波的電壓升高許多，如實驗六觀測感應波形；而遠端的感應線圈則無此現象，這由於線圈離碰撞的鐵球甚遠，鐵球在遠處的磁場趨於零，因此磁通量並無因而改變。

捌、 結論

1. 量測固體中聲速的實驗方法有許多種，可利用孔特管、壓電晶片等等，而我們根據電磁感應的原理來測量聲波在鐵棒中往復一次的時間，由此實驗也可以清楚觀察到聲波在鐵棒中往復的情況，進一步求得鐵棒中傳播的聲速。
2. 本實驗可以輕易且準確求得鐵棒中的聲速，但是這個方法侷限在測量鐵磁性物質內的聲速。

玖、參考資料及其他

林明瑞主編	高中基礎物理	南一書局
潘家寅譯述	基本物理學（下冊）	科技圖書股份有限公司
陳錫桓編著	大學物理－原理與範例	建宏出版社
曹培熙、駱劍秋、黃衍佑譯著	大學物理學 上冊	曉園出版
劉一貫、周顯光譯著	高級物理學（下冊）	導師出版社
林明瑞主編	高中物理（上冊）（下冊）	南一書局
林明瑞主編	高中物質科學物理篇（下冊）	南一書局

評語

作者驗證了鐵磁性物質的磁域會因振動而變化，從而造成感應電動勢。作者利用線圈量此振動造成的感應電動勢並推測振動在介質的傳遞速度，過程細心求真值得鼓勵。