中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯
國中組

物理科

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：歐姆~這真是太神奇了！—探討電子在導線中運動的情形

關鍵詞：電阻、電子、歐姆

編號：030101

學校名稱：

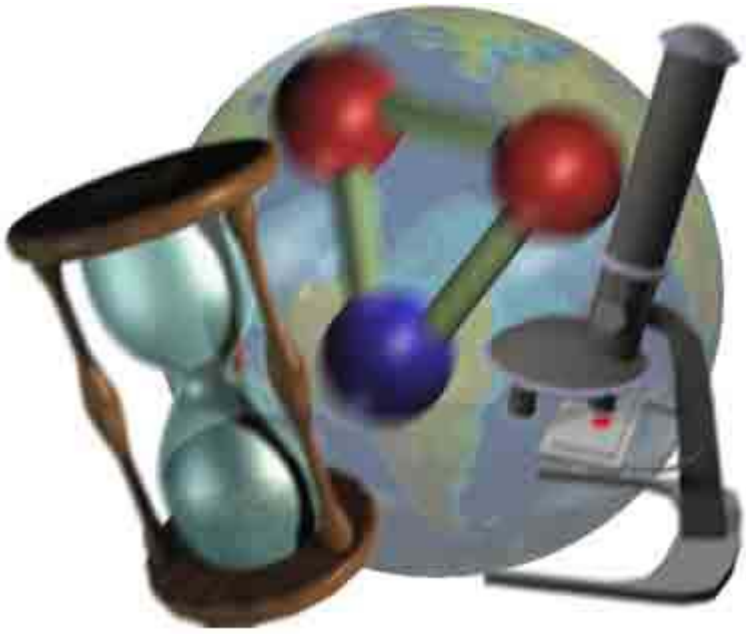
桃園縣立凌雲國民中學

作者姓名：

江文楷、董懷中、湯治威、陳怡妏

指導老師：

林沛萱



摘要

本實驗是將鋼珠在木板製成的彈珠臺中滑落之情形，模擬電子在導線中的運動，並探討電子與導線中原子碰撞時所產生的電阻受哪些因素影響。首先我們改變木板的長度、寬度及鐵釘的疏密度，讓大量的鋼珠從木板上滑落，實驗結果顯示：(一)木板長度愈長，阻力愈大；(二)木板寬度愈寬，阻力愈小；(三)鐵釘愈密，阻力愈大。接著，我們再以相同的木板，讓鋼珠從不同的高度滑落，實驗結果顯示：(四)高度愈大單位時間內通過終點的鋼珠愈多，即流量愈大。整個模擬過程，是希望以較具體的實物更清楚、更明白地感受到「歐姆世界」的神奇！

壹、研究動機

理化老師上課教的第 11 章電，是既複雜又難懂，一會兒電壓、電流，一會兒又是電阻的，實在很難想像電子在導線中實際運動的情形是如何，正當傷腦筋之餘，在夜市中看到了很熱門的彈珠臺，忽然靈機一動，想到老師曾說過，電子的運動跟彈珠台內的彈珠跟有某種程度的相似，於是我們參考各種書籍，設計了類似彈珠臺的裝置，加以研究。

在實驗過程中，剛好南部高速公路正在進行的拓寬的工程，也使我們聯想到電子運動之方式是否也和車子相同，因爲假如車道少，車子所能選擇的路也少，就容易塞車，因此政府才會規劃許多的快速道路或拓寬工程盼望能改善交通。有了這樣進一步的想法，更激起我們研究的鬥志，於是設計了四種不同的彈珠臺來進行實驗。

貳、研究目的

我們將「彈珠模擬電子」、「鐵釘模擬電阻」、「木板的高度模擬電壓」，從彈珠臺的寬度、長度、高度，以及釘子疏密度的不同，來探討電子在導線中運動的情形：

(一)了解導線粗細不同造成電阻的大小。

(二)了解導線長短不同造成電阻的大小。

(三)了解導線材質不同造成電阻的大小。

(四) 了解電壓高低對於導線中電流大小的影響。

參、研究設備及器材

(一)鋼珠： 100 顆 (直徑約 6 厘米) 、150 顆 (直徑約 5 厘米)。

(二)木板八塊 (A_1、B_1、C_1、D_1、 A_2、B_2、C_2、D_2)、鐵釘數根：(裝置簡易圖如圖一)

1. A_1 木板：長 30.70 公分，寬 8.60 公分，共 250 根鐵釘。
   (長 27 排，寬 9 排，間距 1.00 公分)
2. B_1 木板：長 62.00 公分，寬 8.60 公分，共 485 根鐵釘。
   (長 55 排，寬 9 排，間距 1.00 公分)
3. C_1 木板：長 30.70 公分，寬 17.00 公分，共 510 根鐵釘。

(長 27 排，寬 19 排，間距 1.00 公分)

4. D_1 木板：長 30.70 公分，寬 8.60 公分，共 63 根鐵釘。
(長 27 排，寬 9 排，間距 2.00 公分)

5. A_2 木板：長 38.00 公分，寬 8.60 公分，共 250 根鐵釘。
(長 31 排，寬 9 排，間距 1.00 公分)

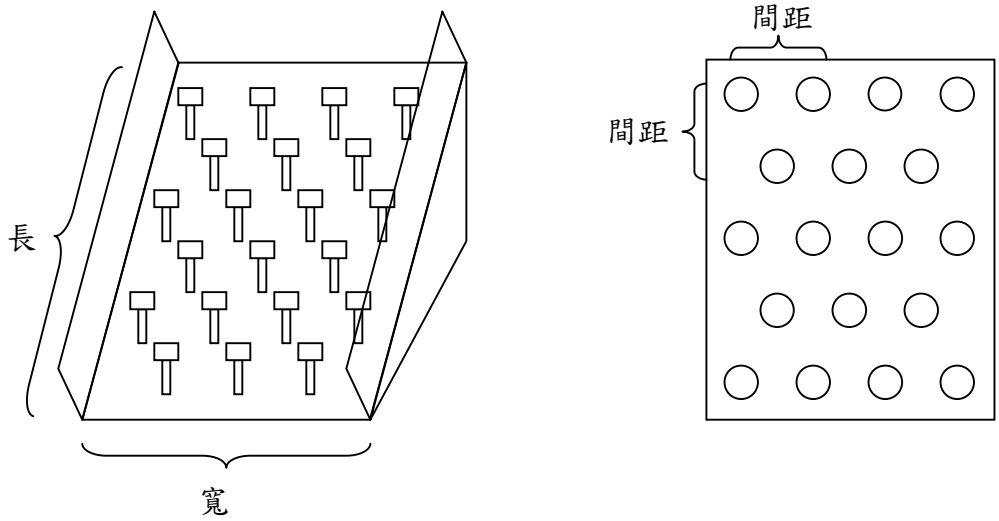
6. B_2 木板：長 77.20 公分，寬 8.60 公分，共 543 根鐵釘。
(長 69 排，寬 9 排，間距 1.00 公分)

7. C_2 木板：長 38.00 公分，寬 17.00 公分，共 507 根鐵釘。
(長 31 排，寬 18 排，間距 1.00 公分)

8. D_2 木板：長 38.00 公分，寬 8.60 公分，共 72 根鐵釘。
(長 16 排，寬 5 排，間距 2.00 公分)

(三)其他：馬錶、瓦愣紙、木片、塑膠盤子等。

圖一　彈珠臺簡易圖



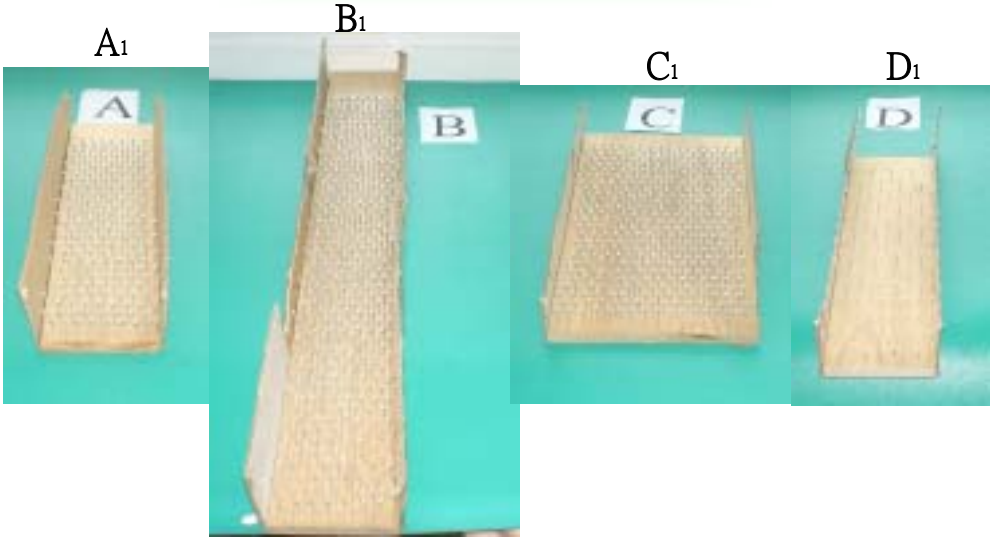
肆、研究過程

過程分爲兩部分：一開始，我們測量鋼珠從木板起始點滑落到終點所需的時間，再進一步去分析所造成的阻力大小，以下稱爲「實驗一」。後來，我們改成讓鋼珠從木板起始點滑落，並在終點處計時第一顆鋼珠彈出至第 N 顆鋼珠彈出所需花費的時間，接著算出每秒通過終點的鋼珠顆數，以下稱爲「實驗二」。

【實驗一】：

(一)取 A_1 木板，於前頭預留約 3~5 公分處(放鋼珠的地方)畫一橫線，在線上每隔 1 公分畫上一點，接著在距第一排 1 公分處畫上第二條線，也在線上每隔 1 公分畫上一點，但與第一排相間畫點形成交叉狀，依此類推往下畫，最後將鐵釘釘在點上，並用瓦愣紙黏在兩側，即完成 A_1 木板的製作。按照相同方式，依據木板長度、寬度以及鐵釘疏密度之不同，完成 B_1 木板、C_1 木板及 D_1 木板，如圖二所示。

圖二　木板 A_1、B_1、C_1、D_1 實際圖樣



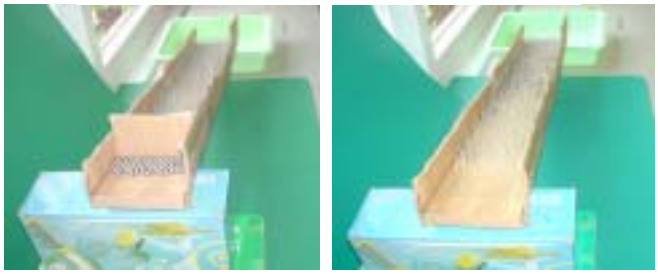
(二)首先量取 A_1 木板上鋼珠滑落的起始高度 20 公分，並用盒子墊其下以固定。

(三)承步驟二，將 100 顆鋼珠(直徑 6mm)放置於 A_1 木板的起點，先用一塊板子隔著，待鋼珠放平後再抽開讓其落下，用馬錶測量從木板起始點滑落到終點所需的時間，並記下木板上鋼珠的剩餘顆數，重複此步驟多次，求其平均，記錄於表一中。(裝置如圖三)

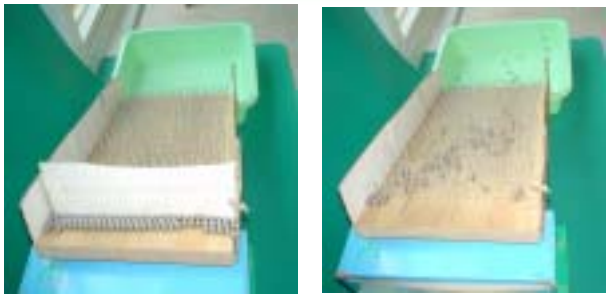
(四)將 A_1 木板依次更換爲 B_1 木板、C_1 木板、C_1 木板，重複步驟二及步驟三，記錄於表一。(裝置如圖四、五、六)

圖三　鋼珠在 A_1 木板滑落的情形

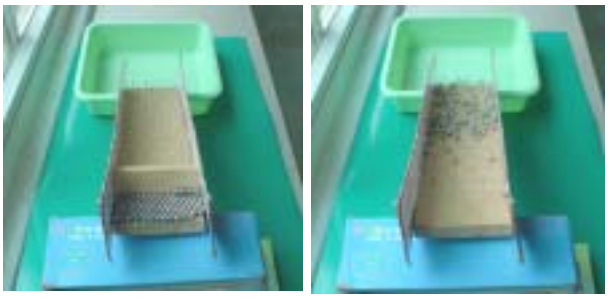
圖四　鋼珠在 B_1 木板滑落的情形



圖五　鋼珠在 C_1 木板滑落的情形



圖六　鋼珠在 D_1 木板滑落的情形



(五)再取 A_1 木板，承步驟二，改變鋼珠滑落的起始高度爲 10 公分、15 公分及 25 公分，重複步驟二，記錄如表二。

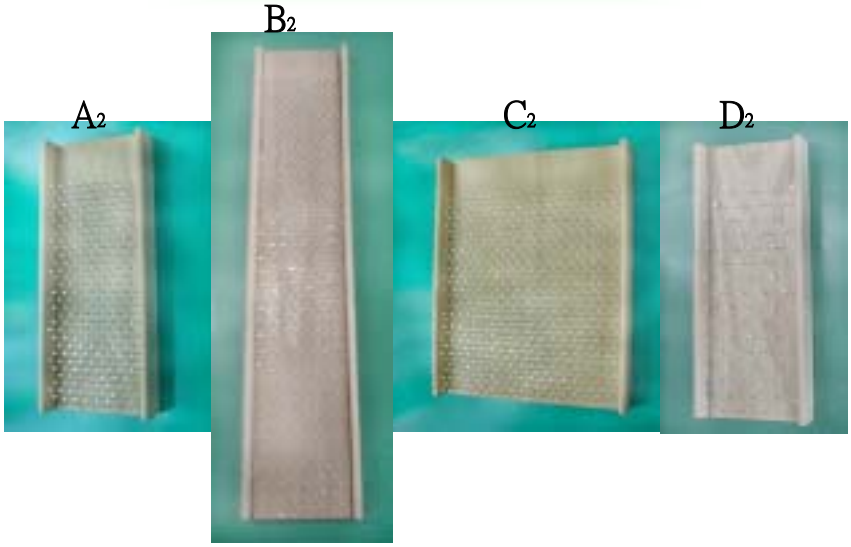
(六)將表一的測量結果，整理成表三與圖十二加以分析討論。

(七)將表一、表二的測量結果，整理成表四與圖十三加以分析討論。

【實驗二】:

(一)A_2、B_2、C_2、D_2四塊木板的做法與實驗一中 A_1、B_1、C_1、D_1類似，不同的是前頭預留較寬的位置，且旁邊改用薄木片釘在兩側，其完成圖如圖七所示。

圖七　木板 A_2、B_2、C_2、D_2實際圖樣



(二)首先量取 A_2 木板上鋼珠滑落的起始高度 15 公分，並用盒子墊其下以固定。

(三)承步驟二，將 150 顆鋼珠(直徑 6mm)放置於 A_2 木板的起點，先用一塊板子隔著，待鋼珠放平後再抽開板子讓其落下，第一顆鋼珠彈出 A_2 木板終點時開始計時，等到鋼珠落下超過約一半的數目再利用木板將其擋住，記下從木板流出的顆數及所需時間，重複此步驟多次，求其平均，記錄於表五。(裝置如圖八)

(四)將 A_2 木板依次更換爲 B_2 木板、C_2 木板、D_2 木板，重複步驟二及步驟三，記錄於表五。(裝置如圖九、十、十一)

圖八　鋼珠在 A_2 木板滑落的情形

圖九　鋼珠在 B_2 木板滑落的情形

圖十　鋼珠在 C_2 木板滑落的情形

圖十一　鋼珠在 D_2 木板滑落的情形

(五)再取 A_2 木板，承步驟二，改變鋼珠滑落的起始高度爲 10 公分、20 公分及 25 公分，重複步驟二，記錄於表六。

(六)將表五的測量結果，作成表七與圖十四加以分析討論。

(七)將表一、表五的測量結果，作成表八與圖十五加以分析討論。

\

伍、研究結果

【實驗一】:

以下爲 100 顆鋼珠(直徑 6mm)在 A_1、B_1、C_1、D_1 四塊不同的木板，於設定不同的條件中，由上方滑落至底部所需的時間與剩餘顆數。

(一) 100 顆鋼珠在 A_1、B_1、C_1、D_1 四塊木板滑落的時間與剩餘顆數，如下

表一　鋼珠在 A_1、B_1、C_1、D_1 木板滑落的時間與剩餘顆數

※A_1 木板，起始高度：20.00 公分																
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
時間 t (s)	3.13	3.09	3.16	3.41	3.88	3.03	3.10	3.31	3.85	3.44	3.10	3.10	3.19	3.09	3.69	3.30
剩餘顆數	14	11	3	5	3	3	3	0	0	0	2	0	0	0	6	3.33
※B_1 木板，起始高度：20.00 公分																
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
時間 t (s)	10.9	10.2	9.59	10.7	8.63	8.09	9.65	8.13	8.56	8.47	9.00	9.28	10.6	9.75	10.2	9.45
剩餘顆數	15	11	15	12	13	14	13	6	14	8	13	10	10	13	9	12
※C_1 木板，起始高度：20.00 公分																
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
時間 t (s)	2.75	2.41	2.34	2.65	2.79	2.75	2.65	2.88	2.56	2.43	2.56	2.38	2.85	2.57	2.72	2.62
剩餘顆數	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0.27
※D_1 木板，起始高度：20.00 公分																
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
時間 t (s)	1.37	1.43	1.20	1.34	1.37	1.41	1.25	1.37	1.41	1.28	1.28	1.38	1.19	1.15	1.13	1.30
剩餘顆數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.07

(二)100 顆鋼珠在 A_1 木板由不同高度滑落的時間與剩餘顆數，如下表：

表二　鋼珠在 A_1 木板由不同高度滑落的時間與剩餘顆數

※A_1 木板，起始高度：10.00 公分																
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
時間 t (s)	4.97	4.90	6.03	5.37	5.25	5.31	5.31	4.72	5.50	4.91	4.59	4.72	5.54	4.56	4.91	5.11
剩餘顆數	12	1	6	10	0	12	9	4	5	1	9	8	3	5	1	5.73
※A_1 木板，起始高度：15.00 公分																
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
時間 t (s)	3.56	3.31	4.44	4.12	4.16	4.37	3.88	3.81	3.78	4.00	4.32	3.46	3.75	3.60	3.38	3.86
剩餘顆數	0	0	0	3	0	0	1	3	2	7	0	7	4	7	0	2.27
※A_1 木板，起始高度：25.00 公分																
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
時間 t (s)	2.53	2.53	2.62	2.62	2.87	2.66	2.88	2.47	2.38	2.82	2.41	2.56	2.50	2.72	2.65	2.61
剩餘顆數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

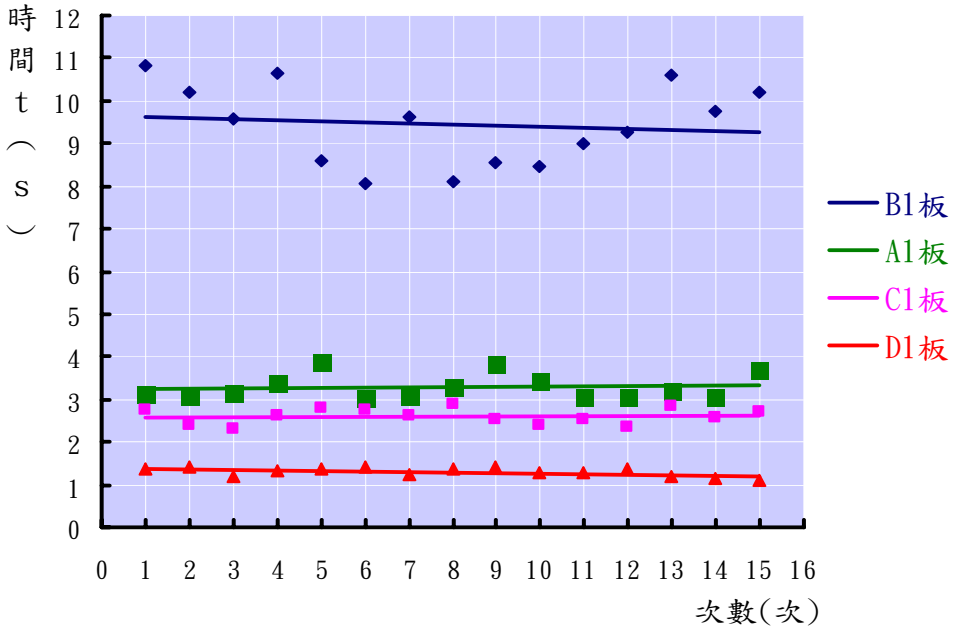
註：表一、表二的測量值中，已刪除不合理數據，即時間誤差太大或鋼珠剩餘顆數太多者。

(三)將 100 顆鋼珠在 A_1、B_1、C_1、D_1 四塊木板由相同高度滑落所需的時間與剩餘顆數，作成表三與圖十二比較如下：

表三　鋼珠在 A_1、B_1、C_1、D_1 木板由同高度落下的測量結果

※ 起始高度：20.00 公分				
木　　板	A_1	B_1	C_1	D_1
平均時間 t (s)	3.30	9.45	2.62	1.30
剩餘顆數(顆)	3.33	12	0.27	0.07

圖十二　A_1、B_1、C_1、D_1 板測量結果

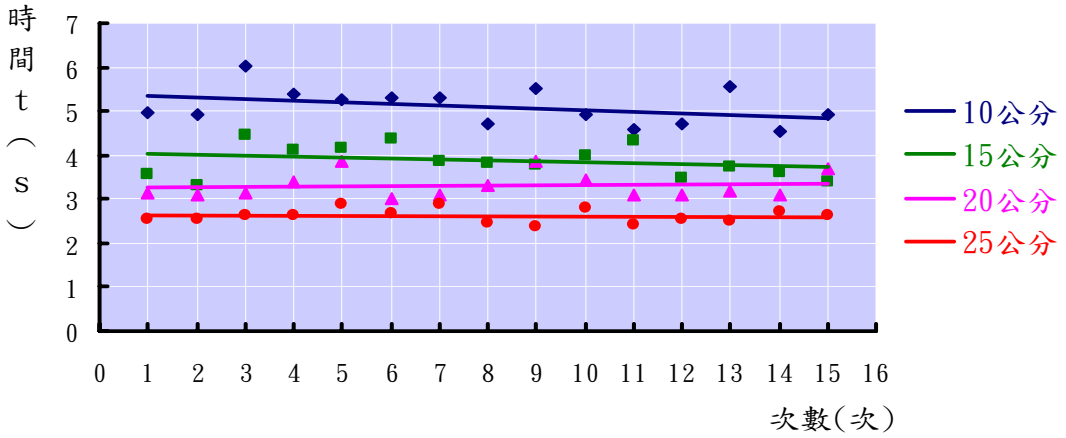


(四)將 100 顆鋼珠在 A_1 木板由不同高度滑落所需的時間與剩餘顆數，作成表四與圖十三比較如下：

表四　鋼珠由 A_1 木板以不同高度落下的測量結果

※ A 木板				
起始高度(cm)	10.00 公分	15.00 公分	20.00 公分	25.00 公分
平均時間 t (s)	5.11	3.86	3.30	2.61
剩餘顆數(顆)	5.73	2.27	3.33	0

圖十三　A_1木板在不同高度的測量結果



【實驗二】:

以下爲 150 顆鋼珠(直徑 5mm)在 A_2、B_2、C_2、D_2四塊不同的木板，於設定不同的條件中，通過木板底部的顆數與時間。

(一)150 顆鋼珠在 A_2、B_2、C_2、D_2四塊木板通過底部截面的顆數與時間，如下表：

表五　鋼珠通過 A_2、B_2、C_2、D_2板木板底部的顆數與時間

※A_2木板，起始高度：15.00 公分											
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間 t (s)	2.52	1.81	2.22	2.05	2.21	3.01	2.16	2.43	2.75	2.66	
顆數(顆)	34	26	26	22	35	38	27	38	41	35	
顆數/時間	13	14	12	11	16	13	13	16	15	13	13
※B_2木板，起始高度：15.00 公分											
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間 t (s)	0.54	0.56	1.16	0.97	0.88	1.22	1.06	0.91	1.06	1.03	
顆數(顆)	26	34	72	51	52	53	48	49	70	59	
顆數/時間	48	61	62	53	59	43	45	54	66	57	55
※C_2木板，起始高度：15.00 公分											
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間 t (s)	0.70	0.87	0.54	0.69	1.07	0.91	0.53	0.50	0.87	0.56	
顆數(顆)	75	103	57	78	100	112	71	50	91	57	
顆數/時間	107	118	106	113	93	123	134	100	105	102	110
※ D_2木板，起始高度：15.00 公分											
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間 t (s)	1.41	0.94	1.10	0.93	1.06	1.43	1.40	1.19	1.20	1.00	
顆數(顆)	44	31	34	28	38	48	45	39	41	33	
顆數/時間	31	33	31	30	36	34	32	33	34	33	33

(二) 150 顆鋼珠在 A_2 木板由不同高度滑落，其通過底部截面的顆數與時間，如下表：

表六　鋼珠由不同高度滑落通過 A_2 木板底部的顆數與時間

※A_2木板，起始高度：25.00 公分											
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間 t (s)	0.90	1.07	1.03	1.04	1.14	0.78	0.72	0.93	1.28	0.96	
顆數(顆)	49	45	57	48	47	34	32	47	55	46	
顆數/時間	54	42	55	46	41	44	44	51	43	48	47
※A_2木板，起始高度：20 公分											
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間 t (s)	1.35	1.06	1.03	1.01	0.91	0.91	1.44	0.91	0.91	1.02	
顆數(顆)	55	36	36	35	37	31	58	36	32	41	
顆數/時間	41	34	35	35	41	34	40	40	35	40	37
※A_2木板，起始高度：10 公分											
次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間 t (s)	1.78	1.60	2.00	1.22	1.51	1.89	1.70	1.46	1.88	1.55	
顆數(顆)	46	42	52	29	40	43	46	35	42	35	
顆數/時間	26	26	26	24	26	23	27	24	22	23	25

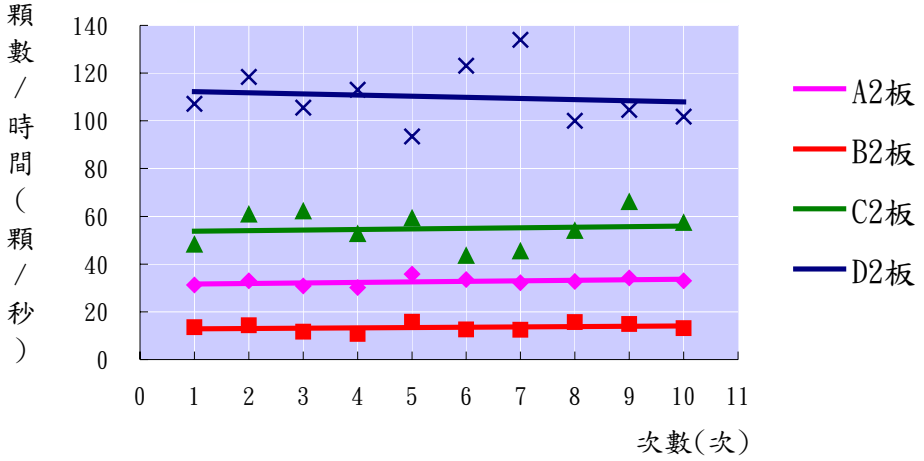
註：表五、表六的測量值中，已刪除不合理數據(即誤差太大)。

(三)將 150 顆鋼珠在 A_2、B_2、C_2、D_2 四塊木板由相同高度滑落，其通過木板底部的顆數與時間，作成表七與圖十四比較如下：

表七　鋼珠在 A_2、B_2、C_2、D_2 板由同高度落下的測量結果

※ 起始高度：15.00 公分				
木　　板	A_2	B_2	C_2	D_2
顆數/時間 (顆/秒)	33	13	55	110

圖十四　A_2、B_2、C_2、D_2 板測量結果

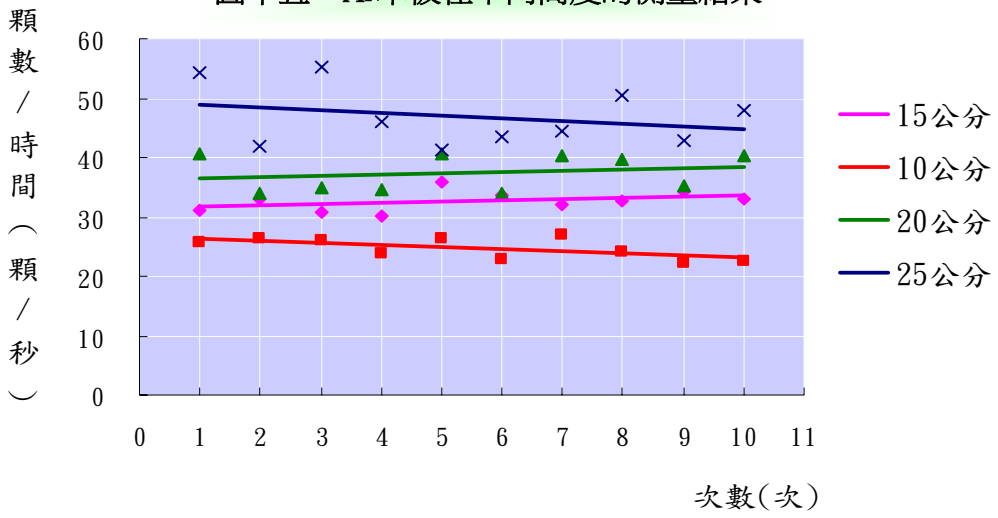


(四)將 150 顆鋼珠在 A_2 木板由不同高度滑落，其通過木板底部的顆數與時間，作成表八與圖十五比較如下：

表八　鋼珠由 A_2 木板以不同高度落下的測量結果

※ A_2 木板				
起始高度(cm)	10.00 公分	15.00 公分	20.00 公分	25.000 公分
顆數/時間 (顆/秒)	25	33	37	47

圖十五　A_2 木板在不同高度的測量結果



陸、討論

由上述實驗結果，我們從木板的長度、寬度、高度及鐵釘的疏密度四項變因，來分析鋼珠滑落的情形與其受到的阻力二者間存在何種關係，並配合理論上的公式來說明，同時也將過程中所遭遇的困難及測量方式與實驗裝置之改進敘述如下：

(一)實驗的理論公式：

1. 均勻導線的電阻：$R=\rho\frac{L}{A}$　(1)式　　(L 爲長度，A 爲截面積，ρ 爲電阻率)
2. 串聯的總電阻：$R=R_1+R_2+\cdots$　(2)式
3. 串聯的總電阻：$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots$　(3)式
4. 歐姆定律：$R=\frac{V}{I}=$ 定值　(4)式　　(V 爲電壓，I 爲電流)
5. 導線中的電流：$I=\frac{Q}{t}$　(5)式　　(Q 爲電量，t 爲通過某截面的時間)

(二)比較的變因

1.長度不同

【實驗一】：比較 A_1 木板與 B_1 木板

就長度不同來探討兩塊木板，A_1 木板平均需 3.30 秒、剩餘 3.33 顆，B_1 木板平均需 9.45 秒、剩餘 12 顆，顯示 A_1 木板所花的時間較 B_1 木板短，剩餘的鋼珠數目較也少。原因在於 A_1 木板僅有 250 根鐵釘，鋼珠與其摩擦的機會較小，運動較快，時間花得少；相對地，長度較長的 B_1 木板有 485 根鐵釘，摩擦的機會較大，時間較多。此結果與(1)式中：「當 ρ 與 A 固定時，R 與 L 成正比」，即「導線愈長，造成的電阻愈大；導線愈短，造成的電阻愈小」之理論相符合。

【實驗二】：比較 A_2 木板與 B_2 木板

以不同方式測量，結果鋼珠在 A_2 木板平均每秒通過 33 顆，B_2 木版爲 13 顆，顯示 A_2 木板平均每秒通過木板底部的顆數較 B_2 木板多，與實驗一同樣是長度不同造成的。但以另一角度來分析，A_2 木板僅有 250 根鐵釘，鋼珠與其摩擦的機會較小，每秒通過截面的顆數就較多(即電流較大)；相對地，長度較長的 B_2 木板有 543 根鐵釘，摩擦機會，每秒通過截面的顆數就較少(即電流較小)。將此結果對應至(4)式中：「V 一定時：I 與 R 成反比」，顯示較短的 A_2 木板電阻小、較長的 B_2 木板電阻大。

【總結】：將導線的長度比擬至串聯，導線愈長表示串聯愈多，也驗證(2)式中：「串聯愈多，電阻愈大」。

2.寬度不同

【實驗一】：比較 A_1 木板與 C_1 木板

就寬度不同來比較兩塊木板，A_1 木板平均需 3.30 秒、剩餘 3.33 顆，C_1 木板平均需 2.62 秒，剩餘 0.27 顆，顯示 C_1 木板所花的時間較 A_1 木板短，剩餘的鋼珠數目也較少。原因在於鋼珠起跑時可選擇的路徑不同，較寬的 C_1 木板鐵釘數目雖多，但起跑時鋼珠可走的路徑較多，減少了彼此碰撞或與鐵釘碰撞的機會，運動較快，時間花得少；相對地，較窄的 A_1 木板起跑時鋼珠可選擇的路徑較少，碰撞的機會多，運動較慢，時間花得多。此結果與(1)式中：「當 ρ 與 L 固定時，R 與 A 成反比」，即「導線愈粗，造成的電阻愈小；導線愈細，造成的電阻愈大」之理論相符合。

【實驗二】：比較 A_2 木板與 C_2 木板

以不同方式測量，結果鋼珠在 A_2 木板平均每秒通過 33 顆，C_2 木板爲 5 顆，顯示 C_2 木板平均每秒通過木板底部的顆數較 A_2 木板多，與實驗一同樣是寬度不同造成的。然而以另一角度來分析，較寬的 C_2 木板鐵釘數目雖多，但起跑時鋼珠可走的路徑較多，減少了彼此碰撞或與鐵釘碰撞的機會，並排前進的機會增加，所以每秒通過截面的顆數就多了；相對地，較窄的 A_2 木板起跑時鋼珠可選擇的路徑較少，碰撞的機會多，，所以每秒通過截面的顆數就少了。將此結果對應至(4)式中：「V 一定時：I 與 R 成反比」，可知較寬的 C_2 木板電阻小、較窄的 A_2 木板電阻大。

【總結】：將導線的寬度比擬至並聯，導線愈寬表示並聯愈多，也驗證(3)式中：「並聯愈多，電阻愈小」。

3.疏密度不同

【實驗一】：比較 A_1 木板與 D_1 木板

就鐵釘疏密不同來探討兩塊木板，A_1 木板需 3.30 秒、剩餘 3.33 顆，D_1 木板需 1.30 秒，剩餘 0.07 顆，顯示 D_1 木板所花的時間較 A_1 木板短，剩餘的鋼珠數目也較少。原因在於鐵釘疏密度造成的鋼珠的碰撞程度不同，D_1 木板鐵釘間距 2.00 公分較疏，使鋼珠運動的空間變大，碰

撞變少，因此時間花得少；相對地，較密的 A_1 木板鐵釘間距 1.00 公分，使鋼珠的碰撞變多，時間也花得多。

【實驗二】：比較 A_2 木板與 D_2 木板

以不同方式測量，測得 A_2 木板每秒通過 33 顆，D_2 木板 110 顆，可知 D_2 木板平均每秒通過截面的顆數 A_2 木板多，與實驗一同樣是鐵釘疏密度不同造成的。再以另一角度來分析，D_2 木板間距 2.00 公分較大而碰撞程度較小，所以每秒通過截面的顆數就多；A_2 木板間距 1.00 公分較小所以碰撞程度較大，所以每秒通過截面的顆數就少。

【總結】：由實驗一與實驗二明顯可知「較疏的 D_2 木板電阻小、較密的 A_2 木板電阻大」，若將鐵釘的疏密度比擬至導線本身的材質，可證明其會影響電阻大小，而(1)式中電阻率 ρ 即代表導線材質的不同。

4.高度不同

【實驗一】：A_1 木板

就滑落的起始高度不同來探討鋼珠在 A_1 木板所需的時間，結果 10 公分時需 5.11 秒、剩餘 5.73 顆，15 公分需 3.86 秒、剩餘 2.27 顆，20 公分需 3.30 秒、剩餘 3.33 顆，25 公分需 2.61 秒、剩餘 0 顆，顯示高度愈高所需時間較短。原因在於高度造成的動力不同，相同木板中鋼珠與鐵釘間的碰撞阻力應相同，但起始高度 25 公分的 A_1 木板坡度較大，使鋼珠滑落的速度加快，時間花得少；相對地，10 公分的坡度較小，鋼珠速度變慢，時間花得多。

【實驗二】：A_2 木板

以不同方式測量，測得 A_2 木板 10 公分時每秒通過底部截面約 25 顆；15 公分時，約 33 顆；20 公分時，約 37 顆；測 25 公分時，約 47 顆，顯示高度由 10 公分漸漸增至 25 公分時，鋼珠每秒通過底部截面的顆數也漸漸變多。從另一角度來分析，而 25 公分波度較陡，造成的推力大，使鋼珠每秒通過底部截面的顆數較多；相對的，10 公分的坡度較平，推力小，每秒通過的顆數較少。

【總結】：將木板的高度比擬成電壓(及電位差)，可證明(4)式的歐姆定律中：「電阻一定時，外加電壓愈大，則電流愈大」。

(三)遭遇困難與實驗裝置之改進

1.珠子的選擇

剛開始時，我們選用直徑約 1.5 公分的半透明彈珠來進行實驗，過程中由於彈珠太大，無法使用較多的數量來模擬導線中的電子，爲了能夠在較理想的環境中進行，改用較小的鋼珠取代，實驗一是用直徑 6 厘米進行的，但在進行實驗二時，發覺 6 厘米的鋼珠都生鏽了，因此在重新購買鋼珠時，不但選擇更小的 5 厘米，也以挑選不易生鏽的材質。

2.鋼珠卡住的情形

在剛開始模擬電子流動路線的時候，常會發生鋼珠被厚紙板卡住的現象，特別是角落或釘子和釘子間的狹角，甚至在起跑時，由於排列太整齊太密，鋼珠反而不會滑落，於是我們嘗試將釘子往旁邊移至適當位置，鋼珠的排列也順其自然，不刻意去移動。

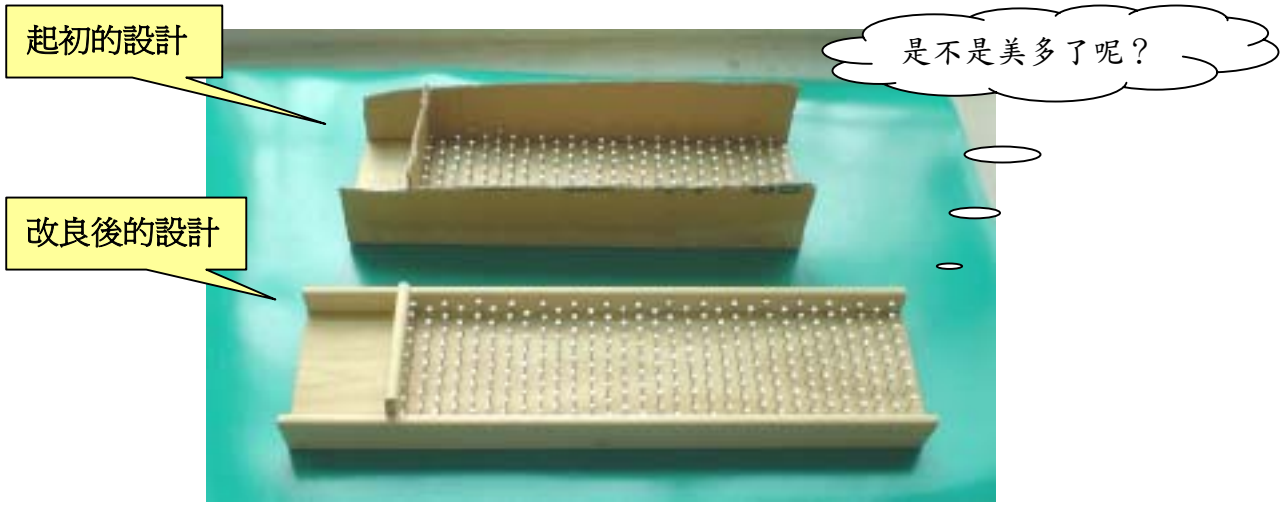
3.測量時間方式的改進

在實驗一中，所採取的方式，是計時 100 顆鋼珠，從起點到終點需花費的時間，再來探討不同變因造成電阻的大小。爲了更進一步與理論相結合，也就是配合電流的定義：「每秒鐘通過

某一截面電量的多寡」，而在實驗二中，改爲記錄某段時間內通過木板底端的鋼珠顆數，再計算求出每秒通過的顆數，即測量「每秒中通過某一截面電子數的多寡」，盼能將電流數據化。

4.實驗裝置的改進

綜合上述實驗過程中遭遇的困難，我們將實驗裝置作了部分的修正，首先將原來用厚紙板的部分擋住旁邊處改爲木片，木板長度也拉長，同時鋼珠起跑的位置預留較原來大，鐵釘也剛好釘在最邊緣處，可避免鋼珠卡住問題，又不破壞原先設計的間隔距離。



柒、結論

(一)從實驗過程可以清楚地了解，電子在長短不同的導線中的運動如同鋼珠一般，導線愈長電阻愈大，愈短電阻愈小；此外，在粗細不同的導線中，則是愈粗電阻愈小，愈細電阻愈大。

(二)對於相同長度與寬度的導線而言，影響電阻大小的則是本身的材料。

(三)用木板的高度比擬電壓的大小，說明推動電子移動的力量是不可忽略的。

(四)本實驗中鋼珠的顆數與實際上導線中電子相比仍落差懸殊，若能再增加鋼珠的數量，可使模擬更爲真實。

(五)雖然在市面上的科學書籍有看到用類似的裝置來比喻電子在導線中運動的情形，可是總止於想像階段，如今親自設計實驗裝置並加以模擬，只能說「歐姆～這真是太神奇了！」

捌、參考資料

(一)休伊特著、陳可崗譯，觀念物理Ⅴ-電磁學.核物哩，第一版，台北市，天下遠見出版社，P.29~P.98，2001 年。

(二)國立編譯館，國民中學理化教科書第二冊，P.97~P.132，第四版，2003 年。

(三)郭治著，小博士教室-物理篇，第一版，台北市，國際少年村，P.33~P.62，1997 年。

(四)福島著，奇妙物理入門，第二版，台北市，國際村文庫書店，P.203~P.233，2002 年。

(五)藤丸卓哉著、劉雪卿譯，物理的快樂讀本，第二版，台北市，國際村文庫書店，P.16~P.35，2001 年。

附錄一　照片與心得

活動照片	實驗心得
	精密地規劃也是實驗的重要步驟之一！
	分工合作，團結力量大！
	有句話說：「三個和尚沒水喝！」這塊板子被我們三個男人戰了！

活動照片	實驗心得
	看他釘釘子的樣子可能會敲到手喔！
	終於開始測試了！
	鋼珠滑落的時機和馬達按下的瞬間必須配合天衣無縫！

活動照片	實驗心得
	看我的表情～ 「認真中的男人最帥！」
	因為物資缺乏，連冰棒盒都用上了！
	兩只若合作無間！

活動照片	實驗心得
	俗話說的好： 「一回生，兩回熟！」 瞧！我釘得多愉快！
	雖然這塊木板最好釘，但我還是非常細心地完成它喔！
	手都快酸死了！ 還不來幫忙啊！

活動照片	實驗心得
	別以為只有男生會做粗活，我們女生也行的！
 呼～終於完成囉！	

「天文家可以告訴你，他對於天空的了解，但是他無法給你他的理解。」
「音樂家可以將充塞天地間的韻律唱給你聽，但是他無法給你掌握節奏的耳朵，也無法給你回應這韻律的聲音。」
「精研數字科學的人，可以告訴你計算和測量的方法，卻無法指引你前去彼處。」
『因為一個人想像的翅膀不能給別人』

評語

研究歷程分工合作，並以簡易模型原創模擬電阻發生的原因。有效解決實驗中所遭遇的問題。