

時間測量的精確—跳動（碰撞）已不再是秘密

國中組物理科第二名

高雄市立壽山國民中學

作者：洪誓鴻 郭仲恩

指導教師：邱俊義、曾柏文

一、研究動機

(一)雖然在國中物理課程力學篇，牛頓運動定律沒有談到碰撞觀念，但是運動定律及作用力和反作用力，已經給我們碰撞的一些概念和啓示，升上三年級漸漸的對於高中組全國優勝作品第25屆處理碰撞跳動問題更加了解作者的實驗設計1.作者處理鋼球第一次碰撞至第二次碰撞的時間方法：利用麥克風收到碰撞時所產生的聲音，觸發IC，同時產生一個脈波……，讀入資料記錄到電腦中，再由電腦加以處理。2.作者並未處理碰撞接觸時間，因為鋼球碰撞時間非常短促，不易測得，而把碰撞時間忽略。

(二)利用電子電路，裝置出較新穎的測量方法，用來測量1.碰撞接觸時間2.第一次碰撞至第二次碰撞所需的時間。

二、研究目的

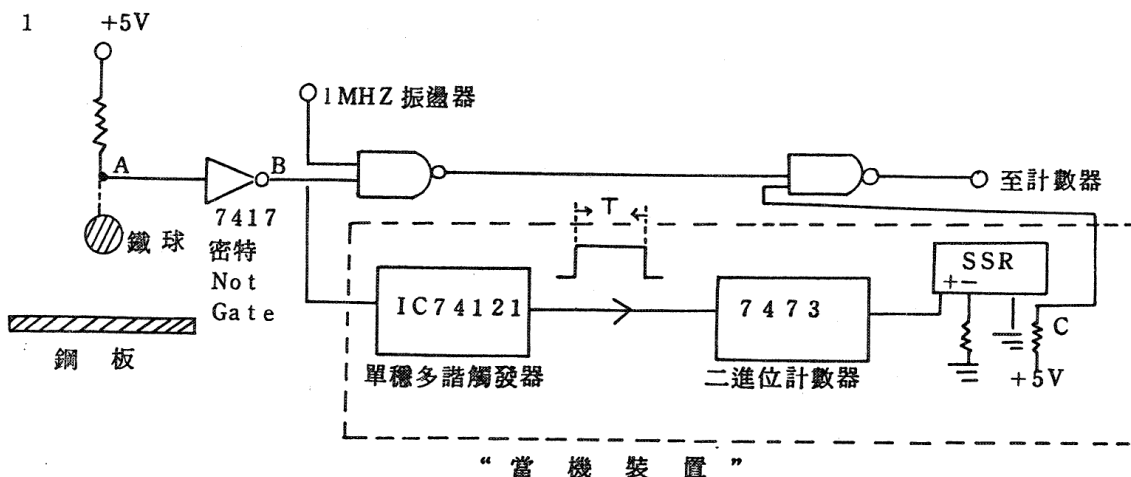
(一)設計新裝置改良「第一次碰撞至第二次碰撞的時間測量」。

(二)設計新裝置測量「碰撞接觸時間」。

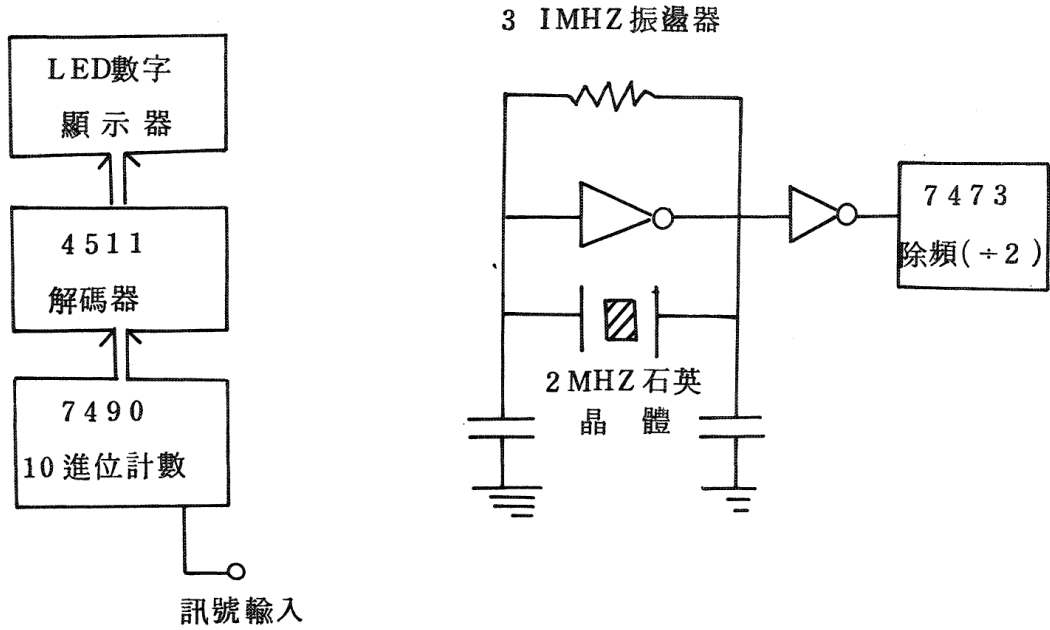
(三)使用上述兩裝置測量出的數據，來探討跳動的秘密。

三、實驗設計及儀器工作原理

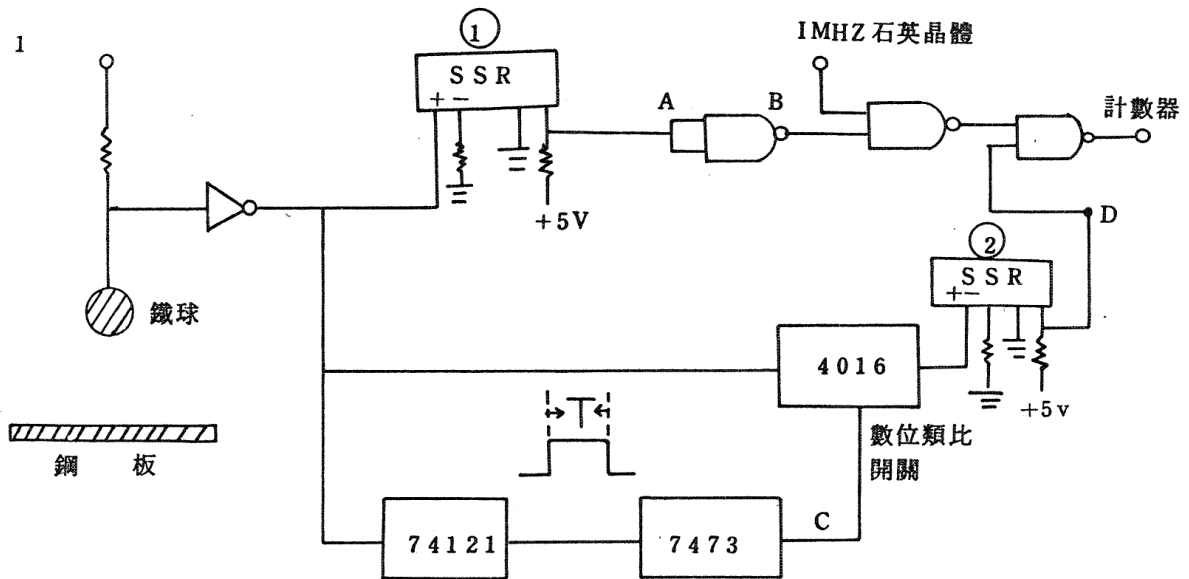
(一)碰撞時間：裝置如圖



2 計數器 (Counter)



(一) 第一次碰撞至第二次碰撞所需的時間：裝置如圖



四、工作原理：略

五、實驗結果及討論

(一) 鋼球與鋼塊碰撞之能量速度變化及 e 值。

(二) 鋼球與鋼塊碰撞前後速度變化與平均衝力 (F)

(三)取m=44.59 g 高度(h) 由0.93 cm 至14.93 cm (每組數據至少測量15次，再取最常出現的測量值，再取平均值。

(四)取m=28.24 g 高度(h) 由1.25 cm 至15.25 cm。

(五)實驗結果及數據：V₁ =入射速度 V₂ =反彈速度

m=44.59 g

m=28.24 g

m=44.59 g 飛行時間除以2為第一次反跳至最高點的時間

h(高度cm)	碰撞時間t1	(t2)	飛行時間t3	v1(cm/sec)	v2(cm/sec)	e值	F(平均衝力gw)
0.93	0.000104	0.07020					
	0.000109	0.06783					
	0.000114	0.000110	0.06773	0.06855	0.0684356	42.6943	33.5334 0.7854 31460.90
	0.000113		0.06944				
	0.000112		0.06753				
1.93	0.000108	0.09370					
	0.000110	0.09372					
	0.000106	0.000108	0.09593	0.09461	0.0944996	61.5045	46.3048 0.7529 45296.64
	0.000112		0.09360				
	0.000106		0.09609				
2.93	0.000098	0.11235					
	0.000108	0.11640					
	0.000118	0.000106	0.11793	0.11528	0.1151784	75.7813	56.4374 0.7447 57013.81
	0.000098		0.11378				
	0.000106		0.11596				
3.93	0.000093	0.12956					
	0.000098	0.12899					
	0.000098	0.000098	0.13056	0.13039	0.1302896	87.7656	63.8419 0.7274 70147.65
	0.000102		0.13072				
	0.000101		0.13211				
4.93	0.000093	0.13947					
	0.000092	0.14314					
	0.000090	0.000092	0.14042	0.14213	0.14204	98.2995	69.5996 0.7080 83081.67
	0.000093		0.14163				
	0.000092		0.14600				
5.93	0.000081	0.15191					
	0.000085	0.15381					
	0.000087	0.000085	0.15584	0.15388	0.1537966	107.8091	75.3603 0.6990 97634.86
	0.000087		0.15080				
	0.000087		0.15705				
6.93	0.000082	0.16502					
	0.000081	0.16332					
	0.000088	0.000082	0.16532	0.16565	0.1655636	116.5453	81.1262 0.6961 109195.69
	0.000079		0.16663				
	0.000082		0.16794				

h(高度cm)碰撞時間t1		(t2)	飛行時間t3		v1(cm/sec)	v2(cm/sec)	e值	F(平均衝力gw)	
	0.000077	0.17512							
	0.000080	0.18437							
7.93	0.000076	0.000077	0.17407	0.17632	0.1762454	124.6708	86.3602	0.6927	125395.91
	0.000076	0.17191							
	0.000074	0.17614							
	0.000075	0.18653							
	0.000072	0.18622							
8.93	0.000075	0.000075	0.18308	0.18510	0.1850252	132.2981	90.6623	0.6853	135668.96
	0.000079	0.18392							
	0.000073	0.18575							
	0.000077	0.19164							
	0.000069	0.19409							
9.93	0.000073	0.000073	0.19560	0.19312	0.1930448	139.5091	94.5920	0.6780	145558.25
	0.000072	0.19352							
	0.000075	0.19074							
	0.000071	0.20384							
	0.000070	0.20288							
10.93	0.000074	0.000072	0.19493	0.19942	0.1993458	146.3653	97.6794	0.6674	153840.10
	0.000073	0.19840							
	0.000073	0.19704							
	0.000073	0.20459							
	0.000070	0.20034							
11.93	0.000074	0.000072	0.21360	0.20578	0.2057058	152.9144	100.7958	0.6592	159931.21
	0.000073	0.20786							
	0.000071	0.20250							
	0.000072	0.21314							
	0.000072	0.20991							
12.93	0.000071	0.000072	0.21725	0.21279	0.212722	159.1942	104.2338	0.6548	166516.45
	0.000074	0.21911							
	0.000071	0.20456							
	0.000070	0.22696							
	0.000070	0.21813							
13.93	0.000076	0.000071	0.22345	0.22051	0.2204366	165.2356	108.0139	0.6537	174174.19
	0.000069	0.21050							
	0.000072	0.22350							
	0.000063	0.22688							
	0.000069	0.22889							
14.93	0.000069	0.000066	0.22887	0.22804	0.2279716	171.0637	111.7061	0.6530	193810.05
	0.000068	0.22800							
	0.000063	0.22755							

m=28.24 g

飛行時間除以2為第一次反跳至最高點的時間

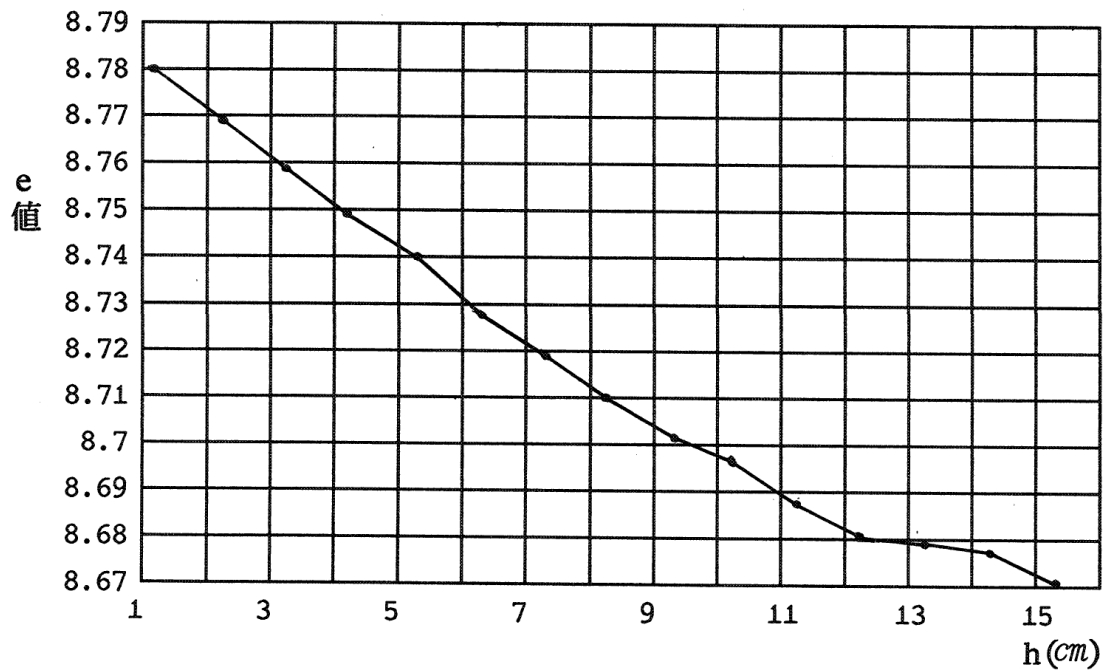
高度h(cm)	碰撞時間t1	(t2)	飛行時間t3	v1(cm/sec)	v2(cm/sec)	e 值	F(平均衝力gw)
1.25	0.000085	0.07762					
	0.000085	0.07805					
	0.000084	0.000084	0.07980	0.07898	0.0788964	49.4975	38.6592 0.7810 30415.23
	0.000081	0.07921					
	0.000083	0.08022					
2.25	0.000086	0.10320					
	0.000080	0.10554					
	0.000078	0.000081	0.10386	0.10420	0.1041230	66.4078	51.0203 0.7683 41804.12
	0.000080	0.10430					
	0.000081	0.10412					
3.25	0.000071	0.12479					
	0.000079	0.12406					
	0.000075	0.000075	0.12317	0.12347	0.1233990	79.8123	60.4655 0.7576 53925.45
	0.000075	0.12204					
	0.000075	0.12331					
4.25	0.000071	0.14453					
	0.000073	0.13981					
	0.000071	0.000071	0.13433	0.13931	0.1392426	91.2688	68.2289 0.7476 64399.92
	0.000072	0.14150					
	0.000070	0.13640					
5.25	0.000069	0.15201					
	0.000069	0.15441					
	0.000070	0.000069	0.15251	0.15312	0.1530474	101.4396	74.9932 0.7393 73498.57
	0.000069	0.15242					
	0.000069	0.15423					
6.25	0.000067	0.16445					
	0.000067	0.16483					
	0.000068	0.000067	0.16321	0.16408	0.1640130	110.6797	80.3664 0.7261 82196.10
	0.000066	0.16445					
	0.000067	0.16346					
7.25	0.000064	0.17356					
	0.000074	0.17450					
	0.000064	0.000066	0.17683	0.17507	0.1750062	119.2057	85.7530 0.7194 89787.48
	0.000062	0.17558					
	0.000065	0.17489					

高度h(cm)	碰撞時間t1	(t2)	飛行時間t3	v1(cm/sec)	v2(cm/sec)	e 值	F(平均衝力gw)
8.25	0.000062	0.18456					
	0.000067	0.18321					
	0.000062	0.000065	0.18456	0.18445	0.1843874	127.1613	90.3498 0.7105 97054.12
	0.000064	0.18537					
	0.000068	0.18456					
9.25	0.000065	0.19459					
	0.000064	0.18842					
	0.000064	0.000064	0.19797	0.19312	0.1930560	134.6477	94.8974 0.7026 103247.03
	0.000064	0.19202					
	0.000063	0.19170					
10.25	0.000062	0.20326					
	0.000065	0.20039					
	0.000065	0.000063	0.20033	0.20148	0.2014152	141.7392	98.6934 0.6963 110352.85
	0.000061	0.20186					
	0.000061	0.20155					
11.25	0.000062	0.20732					
	0.000062	0.20902					
	0.000064	0.000063	0.20821	0.20846	0.2083994	148.4924	102.1157 0.6877 115389.35
	0.000063	0.20899					
	0.000062	0.20877					
12.25	0.000062	0.21465					
	0.000063	0.20715					
	0.000064	0.000062	0.21305	0.21518	0.2151216	154.9516	105.4096 0.6803 120263.06
	0.000061	0.22078					
	0.000062	0.22029					
13.25	0.000062	0.22325					
	0.000063	0.22129					
	0.000062	0.000062	0.22101	0.22306	0.2229960	161.1521	109.2680 0.6780 125713.97
	0.000061	0.22433					
	0.000062	0.22541					
14.25	0.000062	0.23166					
	0.000064	0.23022					
	0.000061	0.000062	0.22998	0.23064	0.2305744	167.1227	112.9815 0.6760 131060.27
	0.000060	0.23144					
	0.000061	0.22988					
15.25	0.000057	0.23682					
	0.000060	0.23654					
	0.000063	0.000060	0.23588	0.23674	0.2366782	172.8872	115.9723 0.6708 139223.42
	0.000058	0.23689					
	0.000061	0.23756					

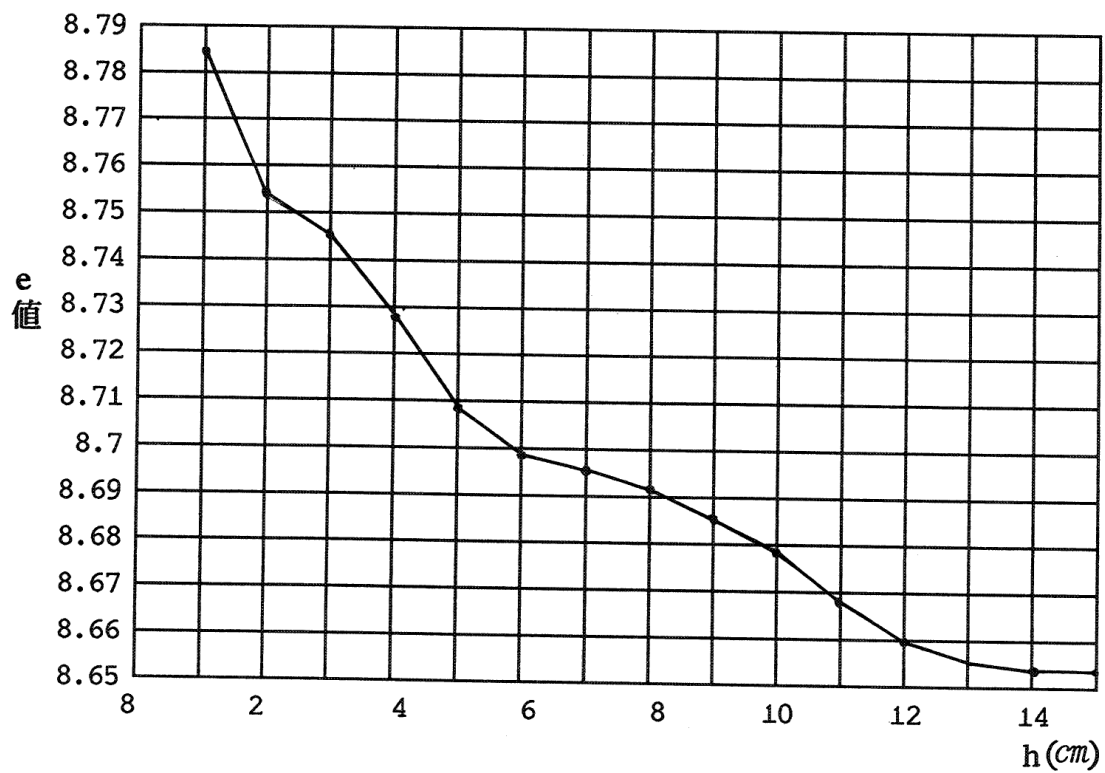
實驗討論

1. 分析高度 (h) 與恢復係數 (e) 值：

m=28.24 g

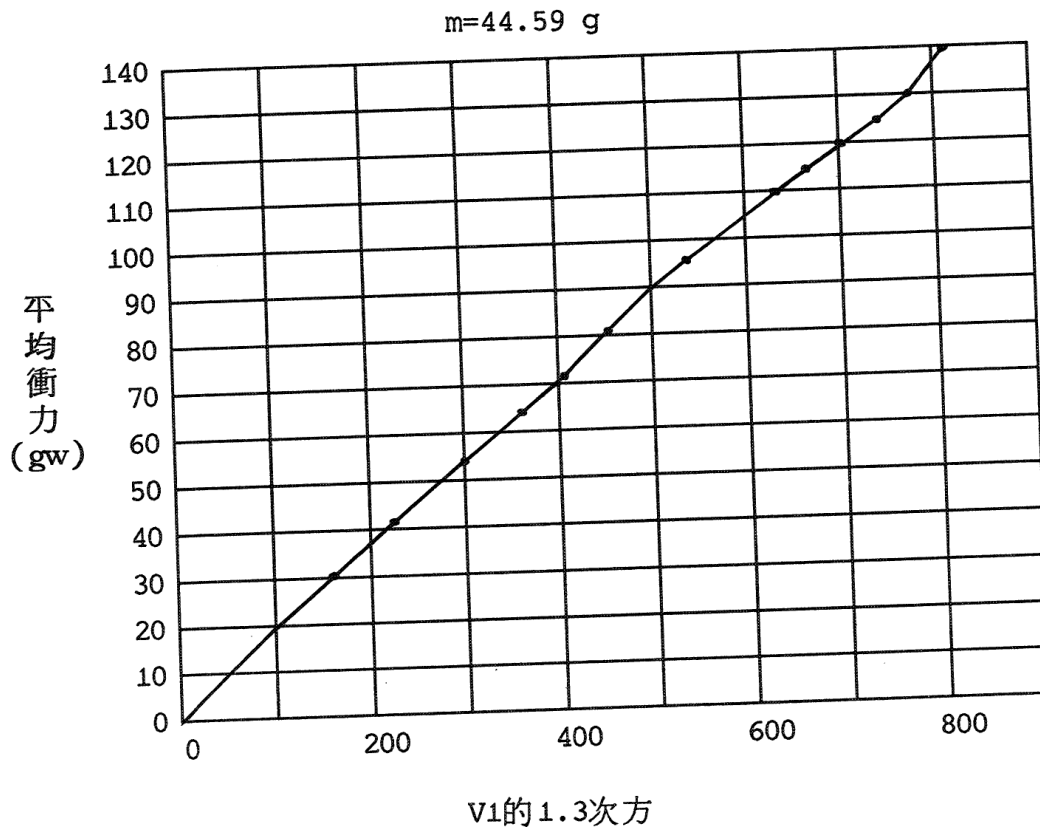
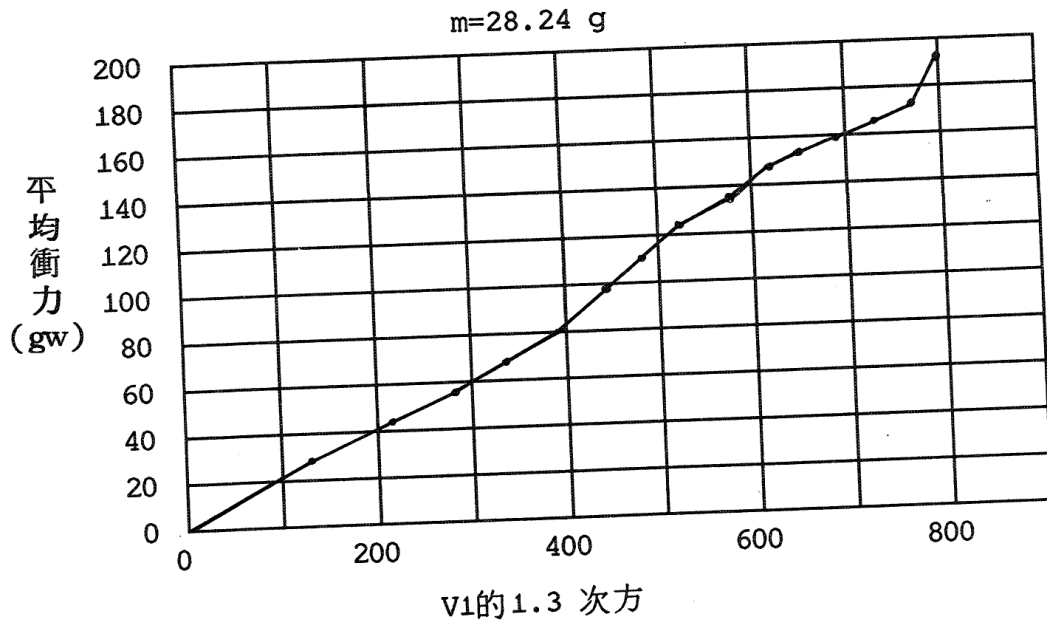


m=44.59 g



由以上圖形可知：當高度愈高，鋼塊所產生的形變越大（這可由高度(h) 與平均衝力(F) 得知），能量消耗多，故e 值會變小，可推知若第二次再撞擊鋼塊時，下降的高度變小，衝力小所造成的形變小，能量消耗少，因此e 值相對地會較大。因此e 值的增減（我們控制其他變因）因是受永久形變的影響。

2.分析平均衝力(F) 和碰撞前速度(U1)之關係：



由圖形分析顯示：(1)當碰撞速度 (V_1) 越大時，所產生的平均衝力也越大，因此鋼塊所產生的形變也越大，所造成的凹痕也愈深，鑑於此點我們在做碰撞測量時，對於較高的高度 (h)，也變換碰撞的點。(2)由數值分析找出了平均衝力 (F) 和碰撞速度 (V_1) 的經驗公式： F 與 V_1 的 1.3 次方成正比。

$$m=28.24 \text{ g} \quad F = 177.3414 \times V_1^{1.3}$$

$$m=44.59 \text{ g} \quad F = 226.9023 \times V_1^{1.3}$$

3. 分析碰撞前速度 V_1 和碰撞時間 t_1 ：略

4. 若我們能找出 V_1 和 t_1 的經驗公式，綜合 F 和 V_1 的經驗公式，在理論上即可分析出 h 高度掉下的鋼球能在鋼板上跳動多少次？分析如下：

第一次跳動：

① 可由 V 和 t 的關係式得知 V_1 和 t_1

V 和 F 關係式得知 V_1 和 F_1

② 再代入：

$$F - mg = m \left(\frac{V_2 - V_1}{t_1} \right) \text{ 求出 } V_2$$

第二次跳動：

① 得知 V_2 再由 $V \sim t$ 關係式得 t_2

再由 $V-F$ 關係式得 F_2

再求出 V_3

第 N 次跳動：

依序類推，直至 $V_n \leq 0$ 時即是跳動停止，如此可推知鋼球的跳動次數。

5. 分析同高度 (h) 不同質量 (m) 鋼球的 e 值：略

六、應用與結論

1. 碰撞問題是自然界中最常見但也是最複雜的現象，利用數位系統能精確地量出「碰撞時間」和「第一次碰撞至第二次碰撞間的時間」，綜合這兩個時間來瞭解碰撞秘密，現在已不再是秘密。

2. 利用「碰撞時間」和「第一次碰撞至第二次碰撞間的時間」這兩組數據即可以來討論跳動的次數和碰撞時的平均衝力。

七、參考資料

(一) 東華物理學

(二) 高中物理

(三) 國中物理

(四)彈性力學

(五)微電子學

(六)全國中小學科學展覽作品：

高中組第卅三屆，第卅五屆，第卅八屆

評語

本作品需要高度的電子電路的知識（如邏輯線路中詳細性能—有 Schmit Trigger Inverter）作者尚能了解並能運用，以設計出合乎需要的儀器，頗為難得。本作品選題雖屬前人作品之延伸，但作者改進碰撞時間的測量，能綜合測量碰撞時間及二次碰撞間隔時間，可合乎對碰撞問題作進一步探討。