

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040105

影響球體恢復係數變因之探討

學校名稱： 臺中縣私立弘文高級中學

作者：	指導老師：
高二 陳佳卉	盧錦玲
高二 賴亦辰	吳冠輝
高二 林皇谷	
高二 林天健	

關 鍵 詞：恢復係數、金屬結構、聲波分析

影響球體恢復係數變因之探討

作品摘要：

我們改進求恢復係數之方法:以指向性麥克風錄下球及珠子掉落與連續反彈後掉落之聲音，以 Adobe Audition 軟體分析，此軟體是依照時間先後列出聲音之強弱波形，以滑鼠指在波形高峯處，電腦即跳出該處之時刻，兩高峯間之時間比值即是恢復係數。

依此方法求出大小不同的鋼珠撞擊大理石板，大者恢復係數稍小一點。為何如此呢？

為了控制溫度,我們製造簡易恆溫箱。低溫的測量則是進冷凍庫作實驗。結果是鋼珠與大理石板之恢復係數只有在低溫時有明顯降低。塑膠珍珠與大理石板之恢復係數卻只有在高溫時有明顯降低，此時塑膠珍珠可能受熱變得較軟。

每一種球類比賽的使用球，都需知其恢復係數是否合乎標準。我們提供了一個簡單又準確度高的方法。

影響球體恢復係數變因之探討

壹、前言

一、研究動機：

去年中區物理能力競賽之實驗題目是求鋼珠大小與恢復係數之關係，本以為鋼珠大小與恢復係數無關。什麼原因使得大小鋼珠之恢復係數有差異呢？溫度對其也有影響嗎？而充氣之球體，球內氣壓一定會影響恢復係數但其關係式又如何？這都是我想知道的。

二、研究目的：

- 1.改進求恢復係數之方法。
- 2.比較不同大小之鋼珠之恢復係數。
- 3.比較不同溫度之塑膠珍珠之恢復係數。
- 4.比較不同內部氣壓下之籃球、排球、足球之恢復係數。
- 5.比較高爾夫球撞擊不同材料接觸面之恢復係數。

貳、研究方法與過程

- 一、實驗器材：改裝恆溫箱、電子溫度計、電磁鐵電源供應器指向性麥克風、電腦、大小不同之鋼珠、塑膠珍珠、大理石板(2公分厚)。

二、實驗方法：

以指向性麥克風錄下球及珠子掉落與連續反彈後掉落之聲音以 Adobe Audition 軟體分析，此軟體是按時間先後列出聲音之強弱波形，如圖 1 所示，以滑鼠指在高峯處，電腦即跳出該處之時刻，兩高峯間之時間比即是恢復係數。

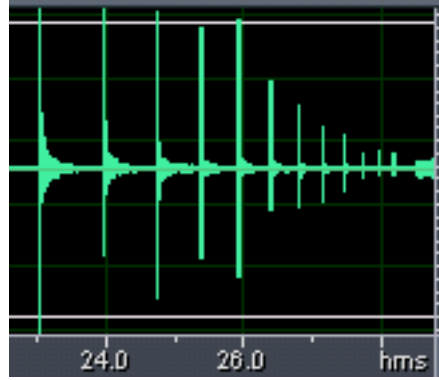


圖 1 鋼珠掉落之聲音波形

三、原理：

恢復係數(coefficient of restitution)為兩彈性球正向碰撞後的相對速度與碰撞前相對速度之比，是一個常數，一般用 e 表示。依材料而定， e 可以取從 0 到 1，其中 1 相當於彈性碰撞，而 0 則相當於完全非彈性碰撞。若一球自高處落下，設反彈前之速度

V_1 ，設反彈後之速度 V_2 ，則
$$e = -\frac{V_2}{V_1} \text{ ---- (1)}$$

恢復係數亦為相鄰兩次碰撞時間間隔的比值，若第二次和第一次碰撞時間間隔為 Δt_{21} ，第三次和第二次碰撞時間間隔為 Δt_{32} ，

由(1)式
$$e = \frac{g \Delta t_{32} / 2}{g \Delta t_{21} / 2} = \frac{\Delta t_{32}}{\Delta t_{21}}$$

參、實驗過程：

一、 將不同大小之鋼珠令其自由落下撞擊大理石板，錄下每次與大理石板撞擊產生之聲音，求其恢復係數。

二、 自製恆溫箱:將烘烤麵包烤箱頂部加裝電磁鐵用以吸住鋼珠(如圖 2 所示)。

挖一小洞以利電子溫度計量確實溫度並用來撥落烤過之塑膠珍珠。



圖 2: 自製恆溫箱

三、 將鋼珠讓電磁鐵用以吸住，溫度達穩定溫度 5 分鐘後，切掉電磁鐵電源，令其自由落下撞擊大理石板，錄下每次與大理石板撞擊產生之聲音，求其恢復係數。改變溫度重複實驗之。

四、 將鐵絲繞成可托住塑膠珍珠之形狀，放上塑膠珍珠，由頂部之洞伸進恆溫箱，溫度達穩定溫度 5 分鐘後，以鑷子將其撥落，錄下每次與大理石板撞擊產生之聲音，求其恢復係數。

五、 零下溫度之恢復係數的測量:將鋼珠、塑膠珍珠、手套、大理石板先放進 -34°C 之冷凍庫，5 分鐘後人再帶電腦及麥克風進入測量。

六、 以球類氣壓計測量氣壓，令不同氣壓下籃球、排球、足球自由落下，錄下每次球與磨石地板撞擊產生之聲音，求恢復

係數。

七、令高爾夫球自由落下撞擊大理石、不銹鋼板、鋁板、木板，

錄下每次與地面撞擊產生之聲音，求其恢復係數。

肆、研究結果:

一、分析錄下之聲音所得數據如表一所示，其中 $T_2 - T_1$ 為第一次反

彈與第二次反彈之時間間隔， $T_3 - T_2$ 為第二次反彈與第三次反

彈之時間間隔。

直徑	T_1	T_2	T_3	恢復係數 $= \frac{T_3 - T_2}{T_2 - T_1}$	平均值	偏差	恢復係數 平均值
1.05	0.30	0.78	1.21	0.90	0.91	-0.01	0.91 ± 0.01
	0.22	0.66	1.06	0.91		0	
	0.2	0.60	0.97	0.92		0.01	
1.25	0.14	0.62	1.04	0.87	0.87	0.00	0.87 ± 0.01
	0.14	0.61	1.03	0.88		+0.01	
	0.18	0.69	1.13	0.86		-0.01	
1.59	0.20	0.67	1.04	0.80	0.81	-0.01	0.81 ± 0.02
	0.18	0.62	0.98	0.83		+0.02	
	0.14	0.65	1.07	0.81		0.00	
2	0.13	0.61	0.97	0.76	0.76	0.00	0.76 ± 0.01
	0.24	0.74	1.12	0.77		+0.01	
	0.2	0.7	1.08	0.76		0.00	
2.54	0.19	0.65	0.95	0.67	0.67	0.00	0.67 ± 0.01
	0.17	0.59	0.86	0.67		0.00	
	0.14	0.55	0.82	0.68		+0.01	
2.86	0.13	0.51	0.73	0.58	0.57	+0.01	0.57 ± 0.02
	0.17	0.56	0.80	0.60		+0.03	
	0.13	0.52	0.74	0.55		-0.02	

表一

二、不同大小之鋼珠之恢復係數與直徑之關係如圖 3 所示：

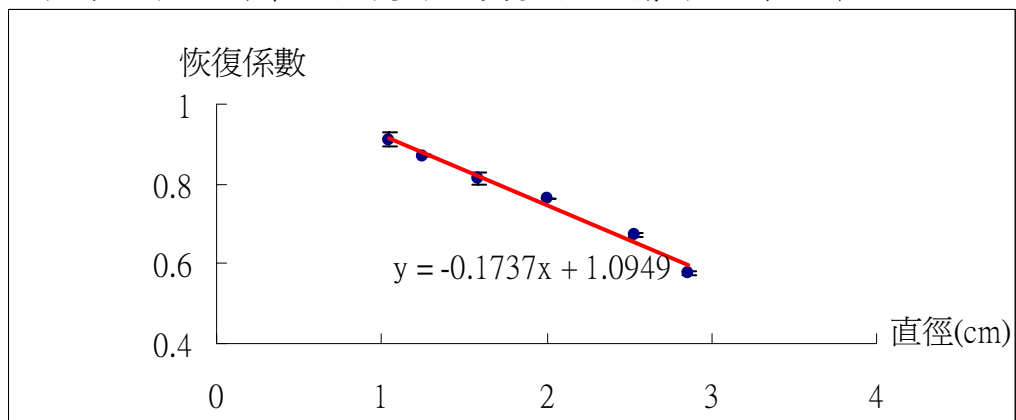


圖 3: 恢復係數與直徑之關係

三、鋼珠之恢復係數與溫度之關係如圖 4 所示：

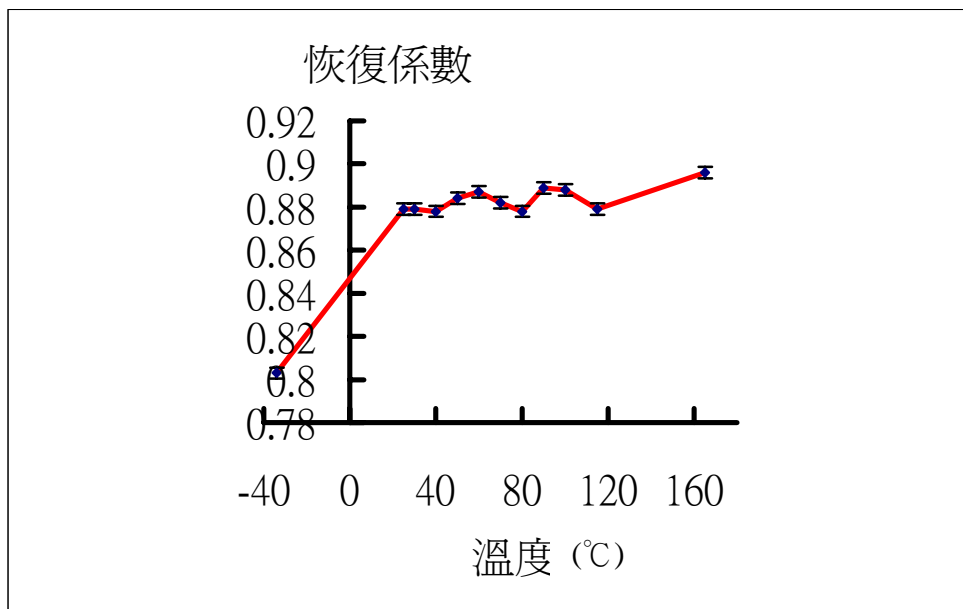


圖 4: 鋼珠之恢復係數與溫度之關係

四、塑膠珍珠之恢復係數與溫度之關係如圖 5 所示：

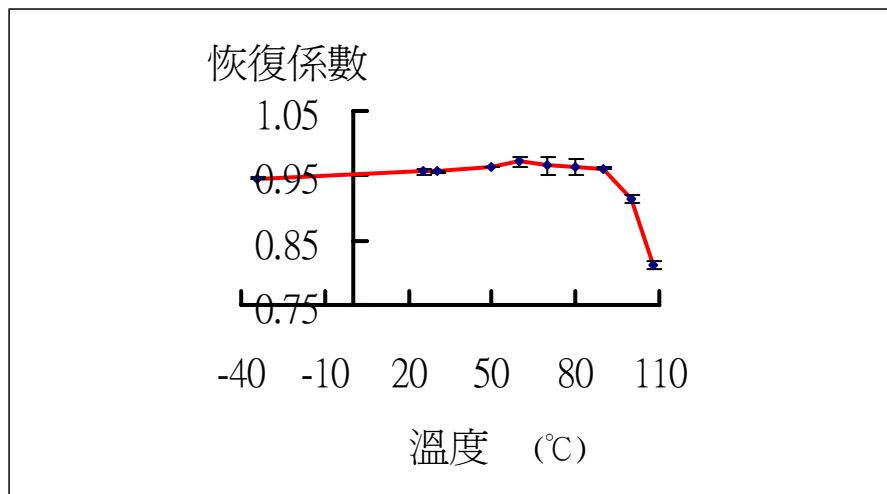


圖 5: 塑膠珍珠之恢復係數與溫度之關係

五、籃球內部氣壓與磨石地板之恢復係數之關係圖如圖 6 所示：

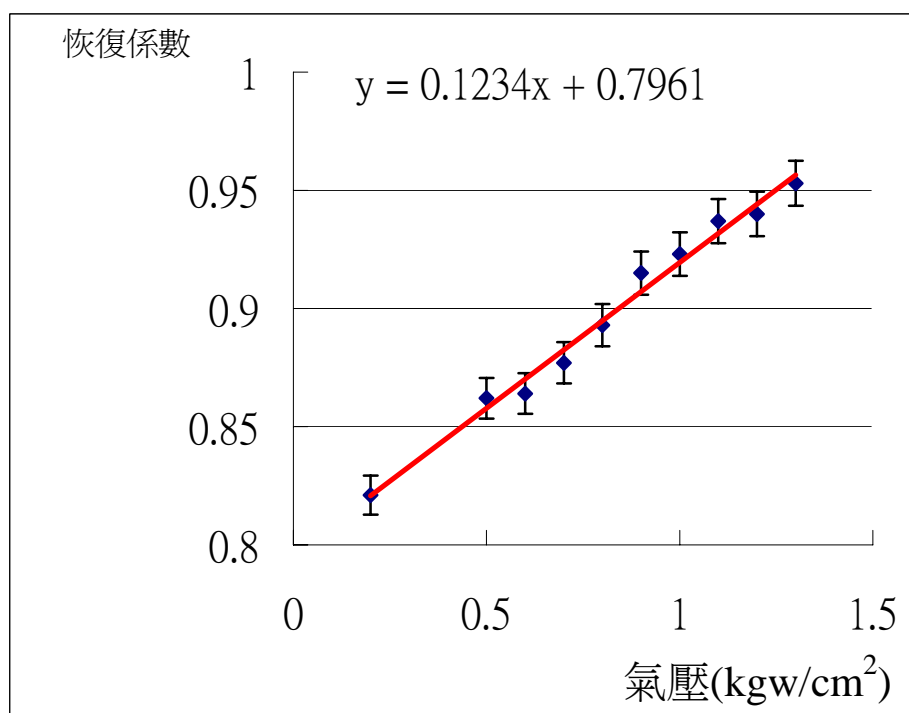


圖 6: 籃球與磨石地板之恢復係數隨內部氣壓之變化

六、排球內部氣壓與磨石地板之恢復係數之關係圖如圖 7 所示：

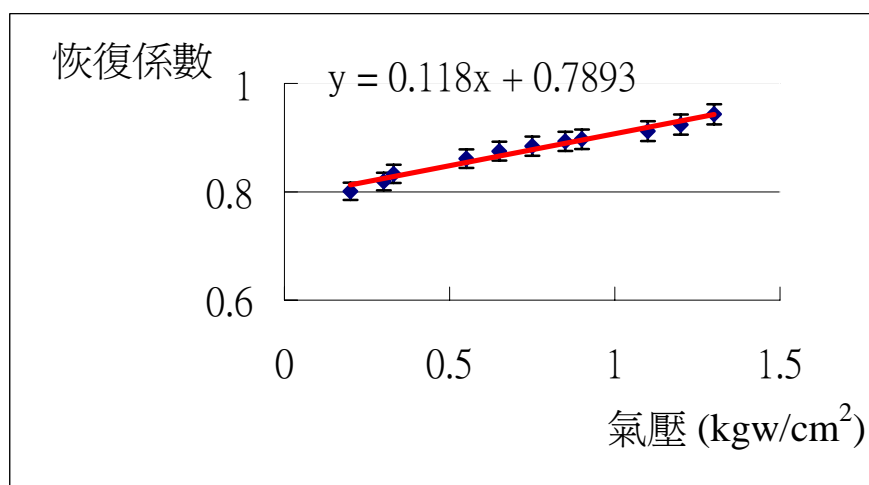


圖 7:排球與磨石地板之恢復係數隨內部氣壓之變化

七、足球內部氣壓與磨石地板之恢復係數之關係圖如圖 8 所示：

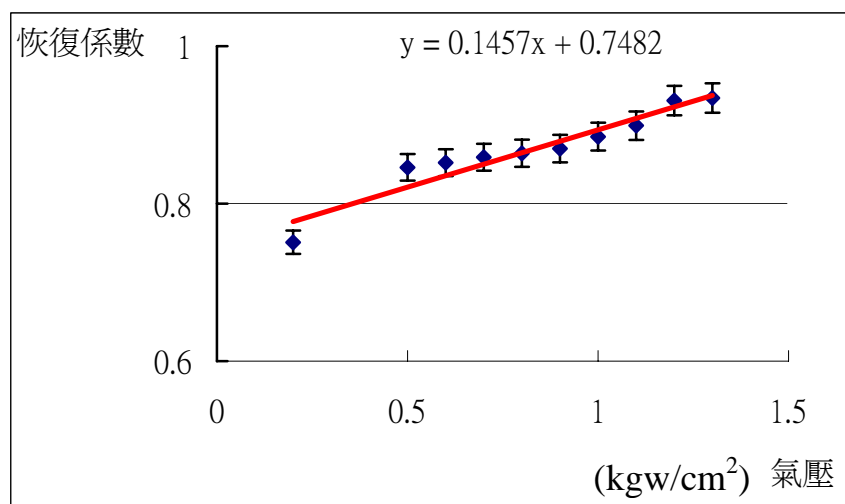


圖 8:足球與磨石地板之恢復係數隨內部氣壓之變化

八、相同氣壓下籃球、排球、足球之恢復係數之比較圖如圖 9 所示：

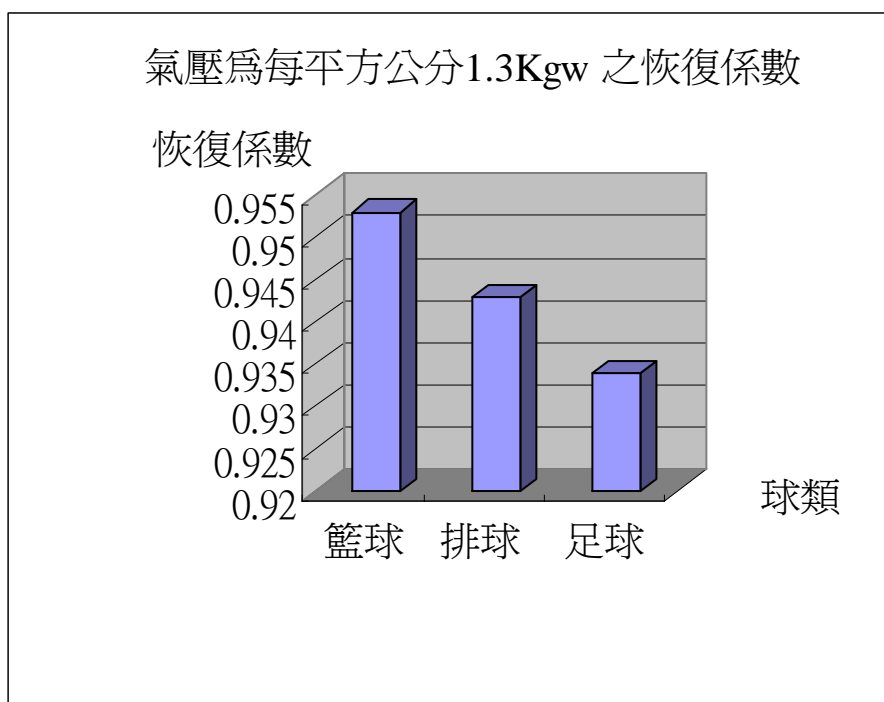


圖 9: 相同氣壓下籃球、排球、足球之恢復係數之比較

九、高爾夫撞擊不同材料之恢復係數如下表

	大理石	花崗石	不銹鋼板	鋁板	木板
高爾夫球	0.91	0.91	0.95	0.66	0.79

表二: 高爾夫撞擊不同材料之恢復係數

伍、討論：

- 一、第三十五屆之全國科展高中組物理作品是以壓電晶片來求恢復係數，他們利用鋼珠打擊壓電晶片時示波器有第一個高峯，反彈再落下時又有另一高峯，利兩高峯間之時間求恢復係數。但我們認為需撞擊到壓電晶片只能測量珠子與

壓電晶片間之恢復係數。我們測恢復係數的方法，可測定任何材料之珠子、球體與接觸面間之恢復係數，甚至可鑑定出是何種質料，簡單而標準偏差小。中華民國棒球協會、中華職棒聯盟，都有對使用之硬式比賽用棒球球體進行測試。恢復係數的測量，則是依據美國材料測試學會編號 F 1887-98 之棒球球體恢復係數測試標準施測。不過我們的方法應是最簡單的了。

二、 球掉落時可錄多次反跳聲音，相鄰兩次時間間隔比在誤差範圍內可說相等，可見恢復係數與下落高度、速度無關。

三、 由表 2 可看到高爾夫球對木板之恢復係數為 0.79，這與我查到的資料：高爾夫球對傳統木製球桿的恢復係數 0.78 非常接近。由表 2 可看到高爾夫球對不銹鋼板之恢復係數為 0.95。這顯然不適合做球桿，因為為了確保球員的確是用「球技」贏得比賽最近，美國高爾夫球總會已經宣布，選手不准使用恢復係數超過 0.83 的球桿。

陸、結論：

一、 大小不同的鋼珠撞擊大理石板，大者恢復係數稍小一點。

二、 鋼珠撞擊大理石板，大理石之結構不像金屬那麼完整，撞

擊時損失之能量應是消耗在大理石較多，較大之鋼珠與其有較大接觸面積，為何能量損失百分比較大，有待繼續推敲。

三、鋼珠與大理石板之恢復係數只有在低溫時有明顯降低(見圖 4)。金屬之熔點很高，室溫至 165°C 金屬結構較無變化，恢復係數也明顯無變化。溫度降至 -34°C ，恢復係數明顯降低，我們想金屬結構應仍是較無變化，應是大理石結構變化，消耗更多能量。

四、塑膠珍珠與大理石板之恢復係數只有在高溫時有明顯降低(見圖 5)。塑膠珍珠較大理石軟，撞擊時損失之能量應是消耗在塑膠珍珠較多，所以是塑膠珍珠主導恢復係數的變化。塑膠珍珠之熔點較低。溫度 100°C 以上塑膠珍珠可能是變軟，恢復係數明顯降低。

五、由以上的研究我們知道：要看溫度對兩者間恢復係數之影響，須先由兩者間之構造比較能量在何者消耗較多，此消耗較多的物質，若隨溫度變化結構發生改變，則必影響恢復係數。

六、由圖 6、圖 7、圖 8 可看出球內氣壓愈大，恢復係數愈大，兩者成線性關係。也就是氣壓愈大彈性愈好，這是很合理

的。因為在強迫振盪時，可壓縮之物件可視為軟彈簧，不可壓縮之物件則視為硬彈簧。今球內氣壓高之氣球較不易壓縮相當於一個彈力常數大之彈簧，所以可彈跳得非常高。不可視其硬梆梆就說沒有彈性。

七、由圖 6、圖 7、圖 8 知球類之恢復係數(y)與內部氣壓(x)之關係式為 $y = a + bx$ ，截距 b 為無氣壓時之恢復係數，應是受材料之影響。由實驗發現籃球材料彈性最好，其次是排球，最後是足球。這又與圖 9 所示相同氣壓下球類之恢復係數：籃球>排球>足球相符合。

柒、應用：

每一種球類比賽的使用球，都需知其恢復係數是否合乎標準。我們提供了一個簡單又準確度高的方法。

捌、參考文獻：

第三十五屆全國科展優勝作品專輯物理科高中組 恢復係數的測定與溫度關係的探討 國立台灣科學教育館彙編。

評	語
---	---

040105 影響球體恢復係數變因之探討

1. 能以簡易方法測量球體恢復係數，且能標示其誤差範圍，
為本作品之特點。
2. 恢復係數與溫度關係圖有特別變化處，未深入進一步研究
其原因，且僅以一點數據顯示欠缺嚴謹性。